



HAL
open science

Étude de l'influence des traitements de surface sur les propriétés acoustiques d'une étoffe

Hamza Dhim

► **To cite this version:**

Hamza Dhim. Étude de l'influence des traitements de surface sur les propriétés acoustiques d'une étoffe. Mécanique des matériaux [physics.class-ph]. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2023. Français. NNT : 2023MULH5387 . tel-04351538

HAL Id: tel-04351538

<https://theses.hal.science/tel-04351538v1>

Submitted on 18 Dec 2023

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.

Année 2023

N° d'ordre :

UNIVERSITÉ DE HAUTE-ALSACE

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

THESE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE HAUTE-ALSACE

École doctorale : Mathématiques, Sciences de L'information et de l'Ingénieur (ED 269)

Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles

Discipline : Mécanique

Présentée et soutenue publiquement

par

Hamza DHIM

Le 4 juillet 2023

Étude de l'influence des traitements de surface sur les propriétés acoustiques d'une étoffe

Jury :

Pr. Xianyi ZENG	ENSAIT/Gemtex, Roubaix	Rapporteur
Pr. Boubaker JAOUACHI	ENIM, Tunisie	Rapporteur
Pr. Manuel dos SANTOS SILVA	Universidade da Beira Interior, Portugal	Examineur
Dr. Elham MOHSENZADEH	HEI Junia, Lille	Examineur
Prof. Dominique ADOLPHE	ENSISA/LPMT, Mulhouse	Codirecteur de thèse
Dr. Emilie DREAN	ENSISA/LPMT, Mulhouse	Directrice de thèse
Dr. Véronique ZIMPFER	ISL, Saint-Louis	Codirectrice de thèse
Dr. Floriane LECLINCHE	ENSISA/LPMT, Mulhouse	Co-Encadrante de thèse
M. Pierre NAZ	ISL, Saint-Louis	Invité

Remerciements

J'exprime toute ma reconnaissance à mes directeurs et encadrants de thèse, **Mme Emilie DREAN**, **M. Dominique C. ADOLPHE**, **Mme Véronique ZIMPFER**, et **Mme Floriane LECLINCHE** pour leur encadrement, leur disponibilité et leurs conseils tout au long de cette étude.

Je voudrais remercier les rapporteurs et examinateurs de cette thèse **M. Xianyi ZENG**, Professeur des Universités à l'École Nationale Supérieure Des Arts Et Industries Textiles - Université de Lille, **M. Boubaker JAOUACHI**, Professeur à l'École nationale d'ingénieurs de Monastir - Université de Monastir, **M. Manuel dos SANTOS SILVA**, Professeur à l'Universidade da Beira Interior –Portugal et **Mme Elham MOHSENZADEH**, Maître de Conférences à HEI Junia, Lille

Je tiens également à remercier les membres du panel sensoriel pour leur disponibilité et leur motivation lors des séances d'entraînement et de caractérisation.

Je remercie tous mes collègues du formidable appui moral qu'ils m'ont manifesté.

Que tous ceux qui ont cru en moi, m'ont conseillé ou aidé soient aussi remerciés.

Sommaire

LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX	10
INTRODUCTION GENERALE	13
CHAPITRE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	18
1. ETUDE DU BRUIT DE FROTTEMENT ETOFFE CONTRE ETOFFE	18
2. TRAITEMENTS DE SURFACE TEXTILE	22
2.1 <i>Apprêts mécaniques</i>	23
2.2 <i>Traitements chimiques</i>	29
2.3 <i>Synthèse sur les traitements</i>	38
3. PERCEPTION ET CARACTERISATION DU SON	39
3.1 <i>Perception humaine du son</i>	39
3.2 <i>Paramètres du son</i>	40
3.3 <i>Caractérisation psycho-acoustique</i>	42
3.4 <i>Caractérisation instrumentale des signaux sonores</i>	48
4. CARACTERISATION SENSORIELLE	52
4.1 <i>Méthodes d'analyse sensorielle</i>	53
4.2 <i>Analyse objective quantitative</i>	53
4.3 <i>Application de la caractérisation sensorielle sonore</i>	56
4.4 <i>Application de la caractérisation sensorielle tactile</i>	58
5. SYNTHESE	59
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	60
1. PREPARATION DES ECHANTILLONS	60
1.1 <i>Caractéristiques des étoffes</i>	60
1.2 <i>Mise en œuvre des traitements</i>	61
1.3 <i>Synthèse des traitements réalisés</i>	63
2. CARACTERISATION DES ECHANTILLONS ET DES TRAITEMENTS	64
2.1 <i>Efficacité des traitements de surface</i>	64
2.2 <i>Propriétés mécaniques</i>	66
3. CARACTERISATION DU BRUIT DE FROTTEMENT	70
3.1 <i>Dispositif de génération de bruit de frottement</i>	70
3.2 <i>Caractérisation instrumentale</i>	72
3.3 <i>Caractérisation psycho-acoustique</i>	73
4. ANALYSE SENSORIELLE	73
4.1 <i>Analyse sensorielle sonore</i>	74
4.2 <i>Analyse sensorielle tactile</i>	82
4.3 <i>Synthèse sur l'entraînement</i>	91
CHAPITRE III : ETUDES EXPERIMENTALES	93
1. CARACTERISATION DU TISSU 1	93
1.1 <i>Caractérisation instrumentale</i>	94

1.2	<i>Caractérisation psycho-acoustique</i>	100
1.3	<i>Analyse sensorielle sonore</i>	104
1.4	<i>Analyse sensorielle tactile</i>	106
1.5	<i>Caractérisation des propriétés physiques du tissu 1 après traitements</i>	110
1.6	<i>Synthèse sur la caractérisation de l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques du bruit de frottement du tissu 1</i>	118
2.	COMPARAISON DES TROIS ETOFFES ET GENERALISATION DES RESULTATS	119
2.1	<i>Caractérisation des propriétés physiques après traitements</i>	119
2.2	<i>Caractérisation instrumentale</i>	133
2.3	<i>Caractérisation psycho-acoustique</i>	140
2.4	<i>Caractérisation sensorielle sonore</i>	148
2.5	<i>Caractérisation sensorielle tactile</i>	151
3.	CONCLUSIONS DU CHAPITRE III	155
CHAPITRE IV : ETUDE DE CORRELATION ET ETUDE DU POINT DE VUE CONSOMMATEUR		157
1.	ETUDE DES CORRELATIONS	157
1.1	<i>Analyse en composantes principales (ACP)</i>	157
1.2	<i>Cas des traitements adoucissants macro-silicone</i>	159
1.3	<i>Cas des traitements adoucissant micro-silicone</i>	161
1.4	<i>Cas des traitements réticulants</i>	162
1.5	<i>Cas des traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant</i>	164
1.6	<i>Résumé des corrélations</i>	167
2.	ETUDE DE POINT DE VUE CONSOMMATEURS	167
2.1	<i>Profils exprimés par tous les consommateurs</i>	168
2.2	<i>Profils exprimés selon le genre</i>	169
2.3	<i>Conclusions</i>	170
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES		171
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		175
ANNEXES		182
ANNEXE A.	ANALYSE SENSORIELLE SONORE	182
ANNEXE B.	ANALYSE SENSORIELLE TACTILE	185
ANNEXE C.	SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT	190
ANNEXE D.	PROPRIETES DE SURFACE ET DE COMPRESSION	193
ANNEXE E.	COMPARAISON PAR PAIRES DES PARAMETRES DE ZWICKER	211
ANNEXE F.	FICHES TECHNIQUES DES AGENTS DE TRAITEMENT	221
RESUMES		225

Liste des figures

FIGURE 1 : TERMES QUALIFIANT UN SON PERÇU NEGATIVEMENT.....	14
FIGURE 2 : TERMES QUALIFIANT UN SON PERÇU POSITIVEMENT	14
FIGURE 3 : LISTE DES DESCRIPTEURS VALIDEE POUR L'ETUDE CONSOMMATEUR.....	14
FIGURE 4 : AVIS DES CONSOMMATEURS SUR LE LIEN ENTRE LE BRUIT DE FROTTEMENT , ACHAT (A) ET TOUCHER (B).....	15
FIGURE 5 : ARTICLES POUR LESQUELS LE BRUIT DE FROTTEMENT EST CONSIDERE COMME GENANT.....	15
FIGURE 6 : APPAREIL CONÇU PAR LATROCH [3].....	19
FIGURE 7 : REPRESENTATION DU MODELE 1 – MARCHÉ[2].....	20
FIGURE 8 : REPRESENTATION DU MODELE 1 – COURSE[2].....	21
FIGURE 9 : COURBE DE LISSAJOUS [3].....	22
FIGURE 10 : PRINCIPE DU GRATTEGE [14]	23
FIGURE 11 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES ROULEAUX DE GRATTEGE[14].....	23
FIGURE 12 : PRINCIPE DE L'EMERISAGE [16]	24
FIGURE 13 : MECANISME DU TONDAGE TEXTILE [14].....	25
FIGURE 14 : PRINCIPE DU SANFORISAGE [24]	26
FIGURE 15 : PRINCIPE DU CALANDRAGE [16].....	27
FIGURE 16: EXEMPLE DE ROULEAUX GRAVES POUR GAUFRAGE AU RAPPORT [30]	29
FIGURE 17 : APPLICATION DE TRAITEMENT PAR FOULARDAGE [33]	30
FIGURE 18 : PRINCIPE DU PROCEDE PAR PULVERISATION	31
FIGURE 19 : PRINCIPE DU PROCEDE PAR MOUSSE ; (A) APPLICATION PAR COUTEAU ; (B) APPLICATION PAR FOULARD HORIZONTAL [40]	32
FIGURE 20 : FORMULE DE LA MOLECULE DE CELLULOSE [47]	33
FIGURE 21 : MOLECULE DE POLYDIMETHYLSILOXANE [58]	36
FIGURE 22 : FONCTIONNEMENT DU SYSTEME AUDITIF HUMAIN [63]	39
FIGURE 23 : COURBE AUDIOMETRIQUE DE L'OREILLE HUMAINE [65]	40
FIGURE 24 : COURBES ISOSONNIQUES.....	44
FIGURE 25 : PROTOCOLE D'ESSAI POUR LA MESURE DE LA DISTANCE AUDIBLE[85].	46
FIGURE 26 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA LARGEUR DE FILTRE SUR UNE ECHELLE FREQUENTIELLE LINEAIRE ET UNE ECHELLE LOGARITHMIQUE [92]	50
FIGURE 27 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DES PRINCIPES DE RECHERCHE ET DE SELECTION DES DESCRIPTEURS EN VUE DE L'ETABLISSEMENT DE PROFILS SENSORIELS CONVENTIONNELS [102].....	54
FIGURE 28 : FOULARD POUR L'APPLICATION DES TRAITEMENTS	61
FIGURE 29 : PROFILOMETRE KEYENCE.....	64
FIGURE 30 : VUES AU PROFILOMETRE DE LA TAILLE DES PARTICULES D'UN ADOUCISSANT MACRO-SILICONE (AGRANDISSEMENT X1500 FOIS).....	65
FIGURE 31 : VUES AU PROFILOMETRE DE LA TAILLE DES PARTICULES D'UN ADOUCISSANT MICRO-SILICONE (AGRANDISSEMENT X2000 FOIS)	65
FIGURE 32 : (A) STRUCTURE DE LA MOLECULE DE SILOXANE (B) STRUCTURE DE LA MOLECULE D'UREE.....	66
FIGURE 33 : MODULE DE COMPRESSION DU SYSTEME KAWABATA [3].....	68
FIGURE 34 : MODULE DE L'ETAT DE SURFACE DU SYSTEME KAWABATA [3].....	69
FIGURE 35 : DISPOSITIF DE MESURE DE LA PERMEABILITE A L'AIR	70
FIGURE 36 : SYSTEME DE GENERATION ET D'ENREGISTREMENT DU BRUIT DE FROTTEMENT[3]	70
FIGURE 37 : PLACEMENT DES PORTE-ECHANTILLONS [3]	71

FIGURE 38 : REPRESENTATION EN 1/6 D'OCTAVE	72
FIGURE 39 : MODELE DE CALCUL POUR LES PARAMETRE ZWICKER.....	73
FIGURE 40 : ERREUR RESIDUELLE DES PANELISTES LORS DE LA REPETITION N° 1.....	76
FIGURE 41 : ENTRAINEMENT DU PANELISTE N ° 6 (ANALYSE SENSORIELLE SONORE)	76
FIGURE 42 : ERREUR RESIDUELLE DES PANELISTES POUR LES DESCRIPTEURS PENDANT LA REPETITION N° 4.....	77
FIGURE 43 : POUVOIR DE REPETABILITE DE CHAQUE PANELISTE LORS DE L'ENTRAINEMENT	78
FIGURE 44 : POUVOIR DE DISCRIMINATION DE CHAQUE PANELISTE LORS DE L'ENTRAINEMENT	80
FIGURE 45 : SCHEMA DE LA CABINE INDIVIDUELLE [106]	83
FIGURE 46 : ERREUR RESIDUELLE DES PANELISTES POUR LES DESCRIPTEURS LORS DE LA REPETITION N° 1.....	84
FIGURE 47 : ENTRAINEMENT DU PANELISTE 4 POUR L'ANALYSE SENSORIELLE TACTILE	84
FIGURE 48 : ERREUR RESIDUELLE DES PANELISTES (REPETITION N° 5).....	85
FIGURE 49 : EVOLUTION DU POUVOIR DE REPETABILITE DU PANEL AVEC L'ENTRAINEMENT	85
FIGURE 50 : POUVOIR DE DISCRIMINATION DE CHAQUE PANELISTE LORS DES 5 REPETITIONS.....	87
FIGURE 51 : POUVOIR DE REPETABILITE DE CHAQUE PANELISTE LORS DE L'ENTRAINEMENT	90
FIGURE 52 : COMPARAISON ENTRE LES SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 BRUT ET TRAITE.....	94
FIGURE 53 : COMPARAISON ENTRE LE NIVEAU SONORE ET L'AMPLITUDE MAXIMUM DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET APRES TRAITEMENTS ADOUCISSANTS ET RETICULANT	95
FIGURE 54 : COMPARAISON ENTRE LES SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE AVEC LA COMBINAISON ADOUCISSANT MACRO-SILICONE/RETICULANT	96
FIGURE 55 : COMPARAISON ENTRE LE NIVEAU SONORE ET L'AMPLITUDE DU MAXIMUM DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE PAR LA COMBINAISON ADOUCISSANT MACRO-SILICONE/RETICULANT	97
FIGURE 56 : COMPARAISON ENTRE LES SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE PAR LA COMBINAISON ADOUCISSANT MICRO-SILICONE/RETICULANT.....	99
FIGURE 57 : COMPARAISON ENTRE LE NIVEAU SONORE ET L'AMPLITUDE MAXIMUM DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE PAR LA COMBINAISON ADOUCISSANT MICRO-SILICONE/RETICULANT	99
FIGURE 58 : COMPARAISON ENTRE LES PARAMETRES DE ZWICKER DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET APRES TRAITEMENTS ADOUCISSANT ET RETICULANT	101
FIGURE 59 : COMPARAISON ENTRE LES PARAMETRES DE ZWICKER DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE AVEC LA COMBINAISON ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT.....	102
FIGURE 60 : COMPARAISON ENTRE LES PARAMETRES DE ZWICKER DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE AVEC LA COMBINAISON ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT.....	103
FIGURE 61 : PROFIL SENSORIEL SONORE DU TISSU 1 BRUT ET APRES TRAITEMENTS.....	104
FIGURE 62 : PROFIL SENSORIEL SONORE DU TISSU 1 SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT.....	105
FIGURE 63 : PROFIL SENSORIEL SONORE DU TISSU 1 SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT.....	106
FIGURE 64 : PROFIL SENSORIEL TACTILE DU TISSU 1 APRES TRAITEMENTS ADOUCISSANT ET RETICULANT	107
FIGURE 65 : PROFIL SENSORIEL TACTILE DU TISSU 1 APRES TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT	108
FIGURE 66 : PROFIL SENSORIEL TACTILE DU TISSU 1 APRES TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT	109
FIGURE 67 : TENEUR EN MASSE D'ATOMES DE SILICIUM APRES TRAITEMENT ADOUCISSANT.....	111
FIGURE 68 : TENEUR EN MASSE DE ATOME D'AZOTE SUITE AU TRAITEMENT RETICULANT	111
FIGURE 69 : TENEUR EN MASSE EN SILICIUM SUITE AU TRAITEMENTS COMBINES	112
FIGURE 70 : TENEUR EN MASSE EN AZOTE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINES.....	112
FIGURE 71 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LE COEFFICIENT DE FROTTEMENT DU TISSU 1	113

FIGURE 72 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA RUGOSITE GEOMETRIQUE DU TISSU 1	114
FIGURE 73 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'ÉPAISSEUR T_0 DU TISSU 1	114
FIGURE 74 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'ÉPAISSEUR T_M DU TISSU 1	115
FIGURE 75 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'INDICE DE COMPRESSIBILITE DU TISSU 1	115
FIGURE 76 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA LINEARITE DE COMPRESSION DU TISSU 1	116
FIGURE 77 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA RESILIENCE DE COMPRESSION DU TISSU 1	116
FIGURE 78 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'ÉNERGIE DE COMPRESSION DU TISSU 1	117
FIGURE 79 : MESURE DE LA PERMEABILITE A L'AIR DU TISSU 1	117
FIGURE 80 : ETUDE DES ESPACES ENTRE LES FIBRES DANS LES TROIS TISSUS	120
FIGURE 81 : TENEUR EN MASSE D'ATOMES DE SILICIUM SUITE AU TRAITEMENT ADOUCISSANT	120
FIGURE 82 : TENEUR EN MASSE D'ATOME D'AZOTE SUITE AU TRAITEMENT RETICULANT	121
FIGURE 83 : TENEUR EN MASSE EN SILICIUM SUITE AU TRAITEMENTS COMBINES	121
FIGURE 84 : TENEUR EN MASSE EN AZOTE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINES	122
FIGURE 85 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LE COEFFICIENT DE FROTTEMENT POUR LES TROIS TISSUS	124
FIGURE 86 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA RUGOSITE GEOMETRIQUE DES TROIS TISSUS	125
FIGURE 87 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA LINEARITE DE COMPRESSION DES TROIS TISSUS	127
FIGURE 88 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA RESILIENCE DE COMPRESSION DES TROIS TISSUS	128
FIGURE 89 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'ÉNERGIE DE COMPRESSION DES TROIS TISSUS	129
FIGURE 90 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'INDICE DE COMPRESSIBILITE DES TROIS TISSUS	130
FIGURE 91 : MESURE DE LA PERMEABILITE A L'AIR SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS ET RETICULANTS	131
FIGURE 92 : MESURE DE LA PERMEABILITE A L'AIR SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT	132
FIGURE 93 : MESURE DE LA PERMEABILITE A L'AIR SUITE AU TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT	132
FIGURE 94 : COMPARAISON DES VALEURS DU NIVEAU SONORE (DB) POUR LES TRAITEMENTS RETICULANTS	134
FIGURE 95 : COMPARAISON DES VALEURS DE L'AMPLITUDE DU MAXIMUM POUR LES TRAITEMENTS RETICULANT	134
FIGURE 96 : COMPARAISON DES VALEURS DU NIVEAU SONORE POUR LES TRAITEMENTS ADOUCISSANTS	135
FIGURE 97 : COMPARAISON DES VALEURS DE L'AMPLITUDE DU MAXIMUM POUR LES TRAITEMENTS ADOUCISSANTS	135
FIGURE 98 : COMPARAISON DES VALEURS DU NIVEAU SONORE POUR LES TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT	137
FIGURE 99 : COMPARAISON DES VALEURS DE L'AMPLITUDE DU MAXIMUM POUR LES TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO- SILICONE ET RETICULANT	138
FIGURE 100: SYNTHÈSE DES TRAITEMENTS OPTIMAUX	148
FIGURE 101 : PROFILS SENSORIELS SONORES DU TISSU 2 SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS ET RETICULANTS	148
FIGURE 102 : PROFIL SENSORIEL SONORE DU TISSU 3 SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS ET RETICULANTS	149
FIGURE 103 : PROFILS SENSORIELS SONORES DU TISSU 3 SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT	150
FIGURE 104 : PROFILS SENSORIELS TACTILE DU TISSU 2 SUITE AUX TRAITEMENTS INDIVIDUELS	152
FIGURE 105 : PROFILS SENSORIELS TACTILE DU TISSU 3 SUITE AUX TRAITEMENTS INDIVIDUELS	153
FIGURE 106 : PROFILS SENSORIELS SONORES DU TISSU 3 SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT	154
FIGURE 107 : EXEMPLE DE REPRESENTATION GRAPHIQUE DES VARIABLES EN ACP	158
FIGURE 108 : CERCLE DE CORRELATION SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS MACRO-SILICONE DANS LE CAS DU TISSU 2	159
FIGURE 109 : CERCLE DE CORRELATION SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS MACRO-SILICONE DANS LE CAS DU TISSU 3	160
FIGURE 110 : CERCLE DE CORRELATION SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS MICRO-SILICONE DANS LE CAS DU TISSU 2	161
FIGURE 111 : CERCLE DE CORRELATION SUITE AUX TRAITEMENTS ADOUCISSANTS MICRO-SILICONE DANS LE CAS DU TISSU 3	162

FIGURE 112 : CERCLE DE CORRELATION SUITE AUX TRAITEMENTS RETICULANTS DANS LE CAS DU TISSU 2	163
FIGURE 113 : CERCLE DE CORRELATION (F1, F2) SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 1.....	164
FIGURE 114 : CERCLE DE CORRELATION (F1, F3) SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 1.....	165
FIGURE 115 : CERCLE DE CORRELATION (F1, F2) SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 3.....	166
FIGURE 116 : CERCLE DE CORRELATION (F1, F3) SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU	166
FIGURE 117 : LISTE DES DESCRIPTEURS VALIDEE POUR L'ETUDE CONSOMMATEUR.....	168
FIGURE 118 : PROFILS SENSORIELS SUBJECTIFS EXPRIMES PAR TOUS LES CONSOMMATEURS	168
FIGURE 119 : PROFILS SENSORIELS SUBJECTIFS EXPRIMES PAR LES CONSOMMATEURS FEMMES	169
FIGURE 120 : PROFILS SENSORIELS SUBJECTIFS EXPRIMES PAR LES CONSOMMATEURS HOMMES	170

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : METHODES D'ÉVALUATION DE L'EFFET DU GRATAGE SUR LES PROPRIETES DES TRICOTS.....	24
TABLEAU 2 : PROPRIETES D'ABRASION D'UN TISSU AYANT SUBI UN TRAITEMENT DE SANFORISAGE.....	27
TABLEAU 3 : METHODES D'ÉVALUATION DES PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES D'ÉTOFFES APRES CALANDRAGE.....	28
TABLEAU 4 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU PROCEDE PAR FOULARDAGE	31
TABLEAU 5 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU PROCEDE PAR PULVERISATION	31
TABLEAU 6 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU PROCEDE PAR MOUSSE.....	32
TABLEAU 7 : SYNTHÈSE DES APPRETS ET DE LEURS EFFETS SUR LES PROPRIETES DE L'ÉTOFFE TEXTILE.....	38
TABLEAU 8 : BANDES DE FREQUENCES DE L'ÉCHELLE DE BARK	42
TABLEAU 9 : MODELES DE PREDICTION DE LA DISTANCE AUDIBLE DES TISSUS D'UNIFORMES DE COMBAT [85]	47
TABLEAU 10 : COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LES SENSIBILITES AUDITIVES SUBJECTIVES ET LES PARAMETRES SONORES [86]..	47
TABLEAU 11 : STIMULUS ET ORGANE RECEPTEUR DU SYSTEME SENSORIEL	52
TABLEAU 12 : CARACTERISTIQUES DES TISSUS SELECTIONNES	60
TABLEAU 13 : SYNTHÈSE DES TRAITEMENTS REALISES	63
TABLEAU 14 : ANALYSE PAR EDS DE LA COMPOSITION ATOMIQUE DES TISSUS BRUTS.....	66
TABLEAU 15 : PARAMETRES DE COMPRESSION KAWABATA.....	68
TABLEAU 16 : PARAMETRES MESURES PAR LE MODULE DE L'ÉTAT DE SURFACE DU SYSTEME KAWABATA	69
TABLEAU 17 : CONDITIONS DE GENERATION DES BRUITS DE FROTTEMENT [2]	71
TABLEAU 18 : LISTE DES DESCRIPTEURS SENSORIELS SONORES	74
TABLEAU 19 : SEUIL DES PERFORMANCES	78
TABLEAU 20 : POUVOIR DE DISCRIMINATION LORS DE LA PREMIERE REPETITION	79
TABLEAU 21 : POUVOIR DE DISCRIMINATION LORS DE LA QUATRIEME REPETITION	79
TABLEAU 22 : INDICE DE DISCRIMINATION DU PANEL LORS DE L'ENTRAÎNEMENT (FPROD)	80
TABLEAU 23: INDICE DE L'ACCORD ENTRE LES PANELISTES (FINTER).....	81
TABLEAU 24 : LISTE DES DESCRIPTEURS SENSORIEL TACTILE ÉTABLIE ET VALIDÉE PAR F. PHILIPPE [106]	82
TABLEAU 25 : POUVOIR DE DISCRIMINATION LORS DE LA PREMIERE REPETITION.....	86
TABLEAU 26 : POUVOIR DE DISCRIMINATION LORS DE LA CINQUIEME REPETITION.....	87
TABLEAU 27 : INDICE DE DISCRIMINATION ENTRE LES PANELISTES (FPROD)	88
TABLEAU 28 : INDICE DE L'ACCORD ENTRE LES PANELISTES (FINTER)	89
TABLEAU 29 : INDICE DE DISCRIMINATION ENTRE LES PANELISTES (FPROD)	90
TABLEAU 30 : POUVOIR DE DISCRIMINATION LORS DE LA HUITIEME REPETITION	91
TABLEAU 31: INDICE DE L'ACCORD ENTRE LES PANELISTES (FINTER).....	91
TABLEAU 32 : LISTE DES DESCRIPTEURS VALIDES POUR L'ANALYSE SENSORIELLE SONORE ET L'ANALYSE SENSORIELLE TACTILE	92
TABLEAU 33 : CONTEXTE DU TISSU 1	93
TABLEAU 34 : NOMENCLATURE DES TRAITEMENTS REALISES SUR LE TISSU 1.....	93
TABLEAU 35 : COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 BRUT ET TRAITÉ	94
TABLEAU 36 : FREQUENCE DU MAXIMUM ET PLAGE D'AMPLITUDE DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ÉTAT BRUT ET APRES TRAITEMENTS ADOUCISSANTS ET RETICULANT	96
TABLEAU 37 : COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ÉTAT BRUT ET TRAITÉ AVEC LA COMBINAISON ADOUCISSANT MACRO-SILICONE/RETICULANT	97
TABLEAU 38 : FREQUENCE DU MAXIMUM ET PLAGE D'AMPLITUDE DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 TRAITÉ AVEC LA COMBINAISON ADOUCISSANT MACRO-SILICONE/RETICULANT	98

TABLEAU 39 : COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES SPECTRES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 A L'ETAT BRUT ET TRAITE PAR LA COMBINAISON ADOUCISSANT MICRO-SILICONE/RETICULANT.....	98
TABLEAU 40 : FREQUENCE DU MAXIMUM ET PLAGE D'AMPLITUDE DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1 TRAITE AVEC LA COMBINAISON ADOUCISSANT MICRO-SILICONE/RETICULANT	100
TABLEAU 41 : MESURE DES CARACTERISTIQUES STRUCTURELLES DU TISSU 1	110
TABLEAU 42 : CARACTERISTIQUES DES TISSUS 2 ET 3.....	119
TABLEAU 43 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AU TRAITEMENTS INDIVIDUELS DANS LE CAS DU TISSU 1	136
TABLEAU 44 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AU TRAITEMENTS INDIVIDUELS DANS LE CAS DU TISSU 2	136
TABLEAU 45 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AU TRAITEMENTS INDIVIDUELS DANS LE CAS DU TISSU 3	137
TABLEAU 46 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 1.....	138
TABLEAU 47 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 2.....	138
TABLEAU 48 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 3.....	139
TABLEAU 49 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 1.....	139
TABLEAU 50 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 2.....	139
TABLEAU 51 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DU NIVEAU SONORE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MICRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 3.....	140
TABLEAU 52 : ECART (%) DE SONIE DU BRUIT DE FROTTEMENT DES ETOFFES TRAITEES PAR RAPPORT A LA SONIE DE L'ETOFFE BRUTE	141
TABLEAU 53 : ECART (%) DE L'ACUITE DE BRUIT DE FROTTEMENT DES ETOFFES TRAITEES PAR RAPPORT A L'ACUITE DU BRUIT DE FROTTEMENT DE L'ETOFFE BRUTE.....	142
TABLEAU 54 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE STATISTIQUE DES DIFFERENCES DE L'ACUITE SUITE AU TRAITEMENTS INDIVIDUELS DANS LE CAS DU TISSU 1	143
TABLEAU 55 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DE L'ACUITE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINES ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 2.....	143
TABLEAU 56 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DE L'ACUITE SUITE AUX TRAITEMENTS COMBINANT ADOUCISSANT MACRO-SILICONE ET RETICULANT DANS LE CAS DU TISSU 2	144
TABLEAU 57 : ECART (%) DE RUGOSITE DU BRUIT DE FROTTEMENT DES ETOFFES TRAITEES PAR RAPPORT A LA RUGOSITE DU BRUIT DE FROTTEMENT DE L'ETOFFE BRUTE.....	144
TABLEAU 58 : ECART (%) DE L'INTENSITE DE FLUCTUATION DU BRUIT DE FROTTEMENT DES ETOFFES TRAITEES PAR RAPPORT A L'INTENSITE DE FLUCTUATION DU BRUIT DE FROTTEMENT DE L'ETOFFE BRUTE	145
TABLEAU 59 : ETUDE DE LA SIGNIFICATIVITE DE LA DIFFERENCE DE L'INTENSITE DE FLUCTUATION SUITE AUX TRAITEMENTS INDIVIDUELS DANS LE CAS DU TISSU 2.....	146
TABLEAU 60 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1.....	147
TABLEAU 61 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 2.....	147
TABLEAU 62 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 3.....	147
TABLEAU 63 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES SENSORIELLES SONORES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 1.....	151
TABLEAU 64 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES SENSORIELLES SONORES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 2.....	151

TABLEAU 65 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES SENSORIELLES SONORES DU BRUIT DE FROTTEMENT DU TISSU 3.....	151
TABLEAU 66 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SIGNIFICATIFS SUR LES PROPRIETES TACTILES DU TISSU 1.....	155
TABLEAU 67 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SIGNIFICATIFS SUR LES PROPRIETES TACTILES DU TISSU 2.....	155
TABLEAU 68 : RESUME DE L'EFFET DES TRAITEMENTS SIGNIFICATIFS SUR LES PROPRIETES TACTILES DU TISSU 2.....	155

Introduction générale

Lors de ses déplacements, l'être humain génère un frottement tissu contre tissu qui lui-même générera un bruit de frottement dépendant de nombreux paramètres propres notamment au tissu utilisé et aux conditions d'usage. Ce bruit peut procurer à l'utilisateur une sensation de confort, ce qui se traduit par une couleur sonore agréable comme le bruissement de la soie par exemple. Cependant, pour certaines personnes, ces sons peuvent être inconfortables voire gênants ou perturbants comme cela peut être le cas pour le bruit de frottement d'un tissu enduit. En effet, les tissus enduits, comme les vestes imperméables, ont tendance à faire beaucoup de bruit, ce qui peut se révéler dérangeant pour le porteur mais pas seulement.

Dans le cadre d'applications militaires, ces bruits de frottement peuvent être gênants, voire fortement handicapants, lors de la progression du combattant. Il a été constaté dans la littérature que la furtivité visuelle des uniformes a été fortement étudiée à l'inverse de la furtivité acoustique. En effet, peu de travaux ont été réalisés en la matière, c'est pourquoi il convient d'étudier le bruit de frottement des tissus dans le cadre de ces applications.

La problématique de la furtivité acoustique est étudiée au Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT) depuis une dizaine d'années et notamment à travers trois thèses en coopération avec l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL). Le premier travail a porté sur le développement d'un système de génération et d'enregistrement du bruit de frottement simulant le mouvement des bras et notamment le frottement du bras contre le tronc lorsqu'une personne se déplace. Plusieurs types de déplacement ont ainsi été étudiés : la marche, le jogging et la course [1]. Le deuxième travail s'est lui focalisé sur l'analyse des bruits de frottement émis et sur l'identification instrumentale et sensorielle de la signature acoustique de ceux-ci [2]. Enfin, le troisième travail a consisté à étudier l'influence de l'usure par abrasion et par lavage sur ces bruits de frottement [3].

Pour mettre en avant l'importance de l'étude de ces bruits de frottements, un sondage a été réalisé afin de déterminer les termes pouvant décrire le bruit de frottement de vêtements textiles, le but étant d'identifier au mieux les attributs subjectifs permettant la description sonore de ces bruits. Pour cela, il a été demandé aux participants de s'imaginer en train de marcher ou de courir et de qualifier le bruit de frottement généré par le mouvement des bras ou bien des jambes. A l'issue de ce sondage composé de plusieurs questions, 78 personnes ont répondu dont 63,5% de femmes et 36,5 % d'hommes.

La première question du sondage était la suivante : « *Quand il est gênant, le bruit de frottement d'un vêtement quand vous le portez est ... ? (Mettre le terme associé)* ». Les résultats sont présentés à la Figure 1. De façon similaire, les réponses à la question « *Quand il est agréable, le bruit de frottement d'un vêtement quand vous le portez est ... ? (Mettre le terme associé)* » sont présentées par la Figure 2. Ces figures regroupent les adjectifs donnés par les participants, la police d'écriture des différents termes est en corrélation directe avec leur fréquence de citation lors du sondage, c'est-à-dire que plus un mot a une taille de police importante plus celui-ci a été cité par les participants.



Figure 1 : Termes qualifiant un son perçu négativement



Figure 2 : Termes qualifiant un son perçu positivement

Il en ressort que si le son de frottement du textile est perçu négativement, il sera qualifié de désagréable, gênant, stressant, bruyant ou encore fort. A contrario, un son qui est perçu positivement sera lui décrit comme étant doux, silencieux, léger ou encore apaisant. Après des discussions internes, les termes antagonistes ont été regroupés, comme le montre la Figure 3, et seront utilisés lors de l'étude consommateur que nous souhaitons mettre en place durant cette étude.



Figure 3 : Liste des descripteurs validée pour l'étude consommateur

Afin de souligner l'importance du son émis par les étoffes et de son impact sur l'utilisateur ou le consommateur, la question suivante a été posée : (a) *Le bruit de frottement est-il un facteur décisif pour l'achat ?* et la question (b) *Pour évaluer le bruit de frottement, touchez-vous le tissu ?*

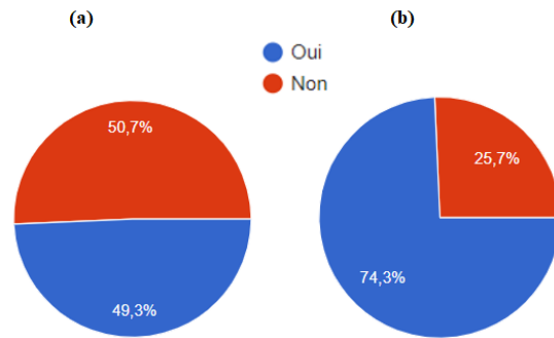


Figure 4 : Avis des consommateurs sur le lien entre le bruit de frottement , achat (a) et toucher (b)

On remarque, d'après la Figure 4, que les consommateurs sont divisés sur le fait que le bruit de frottement pourrait être un facteur décisif concernant l'achat ou non d'un vêtement. En effet, 50,7% pensent que la décision d'achat est fortement liée aux bruits de frottement alors que 49,3% estiment que non. Néanmoins, presque 75 % des participants estiment que le toucher du tissu est important pour évaluer le son de frottement. Ces résultats permettent de mettre en avant l'importance de mener une caractérisation sensorielle tactile et sonore dans ce travail.

De plus, nous avons aussi cherché à déterminer les articles confectionnés pour lesquels le bruit de frottement est gênant. Les réponses sont illustrées la Figure 5.

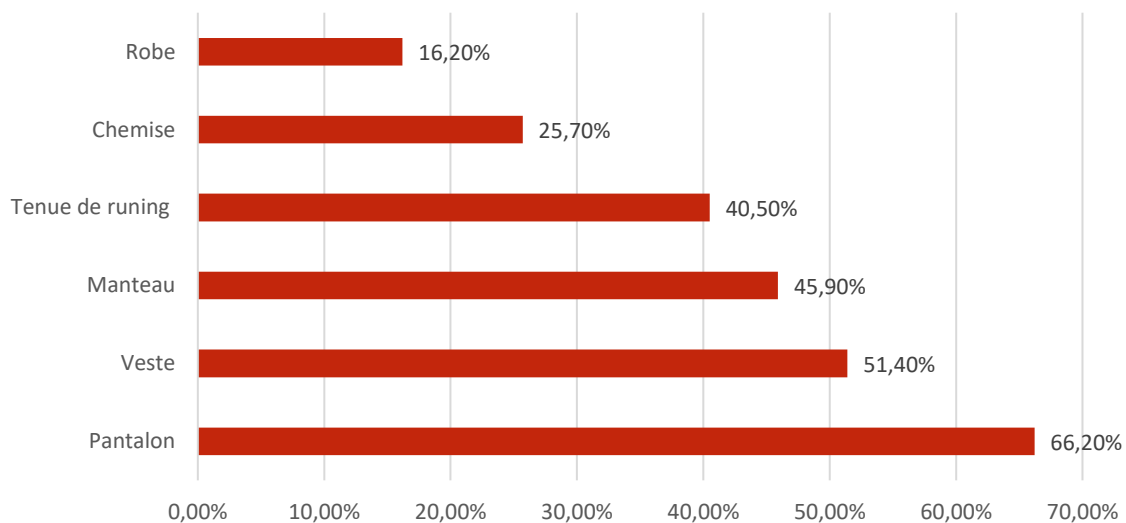


Figure 5 : Articles pour lesquels le bruit de frottement est considéré comme gênant

On remarque que le pantalon est le premier article avec un pourcentage de 66,20 % de réponses puis la veste 51,40 %, le manteau 45,90% et la tenue de running 40,50%.

En conclusion, la majorité des consommateurs ne souhaite pas avoir de vêtements générant un bruit de frottement considéré comme gênant lors d'activités sportives. La présence de ces sons peut être démotivante, agaçante ou encore diminuer la concentration. Il convient donc de noter que la perception du confort ou non peut varier en fonction des préférences individuelles et/ou des situations d'utilisation. Ainsi, il peut être perçu comme plus confortable dans des contextes de détente ou de

loisirs, tandis que dans les contextes professionnels ou plus formels, il peut être considéré comme inapproprié ou perturbant.

Dans la bibliographie, comme nous le verrons plus loin, de nombreuses études font le lien entre surface et son de frottement. Ainsi, il est possible d'obtenir des sons de frottement différents en changeant l'état de surface du matériau, ce qui, en textile, est souvent réalisé lors des étapes d'ennoblissement où des apprêts peuvent être appliqués au textile pour améliorer ses propriétés et répondre plus précisément au cahier des charges. Ces apprêts sont souvent répartis en deux catégories, les chimiques et les mécaniques. Etant donné le grand nombre d'apprêt, nous avons choisi au cours de cette étude de nous concentrer sur les apprêts chimiques.

Entre furtivité acoustique et confort acoustique, l'objectif de ma thèse sera d'étudier l'influence des traitements de surface sur le bruit de frottement étoffe contre étoffe. Ce travail permettra d'appliquer différents traitements de surface et d'être en mesure de caractériser leur influence de façon instrumentale et sensorielle. Ce travail permettra donc de compléter les résultats obtenus lors des thèses précédentes. Pour cela, trois grandes familles de traitements sont envisagées :

- Des traitements adoucissant (type micro-silicone, nano-silicone),
- Des traitements raidissant (type résine easy-care)
- Des combinaisons des deux types de traitements.

Une analyse des influences combinées son et toucher sera effectuée au moyen d'études de corrélations entre les attributs sensoriels sonores, tactiles et les paramètres instrumentaux. Comme nous l'avons vu, le bruit de frottement peut aussi contribuer à l'esthétique ou non de l'expérience sensorielle lors de l'utilisation de vêtements, c'est pour cela qu'une étude du point de vue consommateur a également été effectuée.

Le manuscrit de cette étude est composé de quatre chapitres distincts.

Le premier chapitre de ce travail porte sur l'étude bibliographique. Il s'agit d'une synthèse de l'état de l'art sur les travaux qui portent sur l'effet des traitements de surface, qu'ils soient mécaniques ou chimiques, sur les propriétés acoustiques des étoffes textiles. En premier lieu, les traitements adoucissants et réticulant seront exposés ainsi qu'un résumé des travaux qui ont étudié leur effet sur les propriétés physiques et mécaniques des étoffes textiles. Dans un deuxième temps, une présentation de la perception humaine du son sera détaillée, accompagnée des approches de caractérisation du son, notamment la caractérisation psycho-acoustique, la caractérisation instrumentale et la caractérisation sensorielle sonore. Pour chacune de ces approches, les travaux de la bibliographie se consacrant à la caractérisation de bruit de frottement après des traitements de surface ont été regardés.

Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés au cours de ce travail. Dans un premier temps, les étoffes sélectionnées pour l'étude et leurs caractéristiques principales sont présentées. Puis le protocole expérimental d'applications des traitements adoucissants et réticulants ainsi que les outils statistiques mis en œuvre pour l'analyse des données. En effet, les propriétés mécaniques et physiques des tissus ont été déterminées avant et après traitement. Ensuite, le dispositif de génération et d'enregistrement du bruit de frottement est décrit ainsi que les outils de calcul des paramètres

acoustiques instrumentaux et les paramètres psycho-acoustiques. La dernière partie de ce chapitre traite de l'entraînement des deux panels sensoriels pour les analyses sonore et tactile.

Le troisième chapitre de ce manuscrit présente les résultats de l'étude sous la forme d'une analyse détaillée des différentes méthodes de caractérisation de l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques d'une étoffe. Dans une deuxième partie, une généralisation et une comparaison entre les résultats de l'ensemble des étoffes analysées seront détaillées.

Enfin, le dernier chapitre de cette thèse est consacré à l'étude des corrélations existant entre les différents groupes de paramètres mesurés ou déterminés (paramètres instrumentaux, psycho-acoustiques, sensoriels sonores, sensoriels tactiles et propriétés mécaniques). La dernière partie de ce chapitre a pour but de présenter les résultats d'une étude d'un point de vue consommateur afin de souligner l'interprétation subjective du son de frottement par l'être humain.

Ce manuscrit s'achèvera par un ensemble de conclusions générales puis les perspectives envisagées pour la suite de cette étude seront décrites.

Chapitre I : Partie Bibliographique

La première partie de ce chapitre a pour objectif d'introduire et de situer le contexte de ce travail. Dans la deuxième partie, à partir des résultats obtenus dans les travaux précédents, la notion d'apprêts textile est présentée. Les approches de caractérisation du bruit de frottement, spécifiquement développées dans ce travail, à savoir les caractérisations instrumentales, psycho-acoustiques et la caractérisation sensorielle sonore et tactile, seront présentées.

1. Etude du bruit de frottement étoffe contre étoffe

Lorsque deux étoffes frottent l'une contre l'autre, les fibres en contact sont mises en vibration. 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 acoustique des vêtements [4]. La notion de furtivité acoustique étant devenue une préoccupation croissante dans le domaine du textile, diverses études sur le bruit de frottement des textiles ont été menées.

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.* [5] qui ont utilisé un dispositif de mouvement rotatif pour frotter des étoffes et des fibres en laine. Ils ont pu montrer que les propriétés acoustiques diffèrent selon les matières textiles. Le même auteur a établi en 1962 [6] un lien entre bruit de frottement et 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 [7] en 1986 a développé un appareil qui fait frotter les étoffes sur une poulie à courroie. Cet appareil a été utilisé en 1993 par Fukuyama afin de montrer que les spectres des bruits de frottement d'étoffes en soie et en polyester sont similaires.

En 2000, le groupe de Yi et Cho [8] a développé un autre dispositif (Measuring Apparatus for Fabric Noise, MAFN) pour générer le bruit de frottement des textiles avec un mouvement de translation des étoffes. Dans cette étude, le bruit de différentes étoffes commerciales a été analysé en utilisant la pression acoustique, la plage d'amplitude et la différence fréquentielle. Ces mêmes paramètres acoustiques ont aussi été utilisés par Kim *et al.*, qui ont comparé le bruit généré par le frottement d'étoffes tricotées dans le sens colonne.

En 2010, G. Cho *et al.* [9] 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 mesuré sur le Kawabata Evaluation System.

Récemment, en 2013, Cooper [10] a développé un autre dispositif qui permet de faire frotter une étoffe sur une autre avec une direction précise (en chaîne ou en trame). L'étoffe frottante est fixée sur un traîneau ayant une vitesse contrôlée et déposée sur l'autre étoffe. Il 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.

On peut noter que dans l'ensemble de ces études, les différents appareils développés ne reproduisent pas le mouvement naturel qui provoque la génération de bruit de frottement d'étoffe en portant un vêtement.

C'est notamment pour ces raisons que cette problématique a été étudiée au Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT). Depuis 2010, trois thèses ont été menées en coopération avec l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL).

H. Latroch [1] s'est intéressé, dans le cadre de sa thèse qui a été le premier travail sur ce sujet, à la friction du haut du corps et plus particulièrement au mouvement du haut du bras sur le tronc car par des observations du balancement des bras lors de la marche, il a constaté que ce mouvement provoque une friction entre les parties manche et tronc du vêtement, ce qui engendre un bruit de frottement. Ses travaux ont permis de définir la trajectoire du bras, la surface de frottement et les vitesses du balancement du bras en situation de marche, de jogging et de course. Ces paramètres ont été utilisés afin de développer un dispositif expérimental permettant de reproduire le frottement des étoffes tel qu'il se produit entre le bras et le tronc et d'enregistrer le bruit de frottement ainsi généré. Ce dispositif (Figure 6) permet de reproduire des bruits de frottement dans des conditions proches de la réalité.

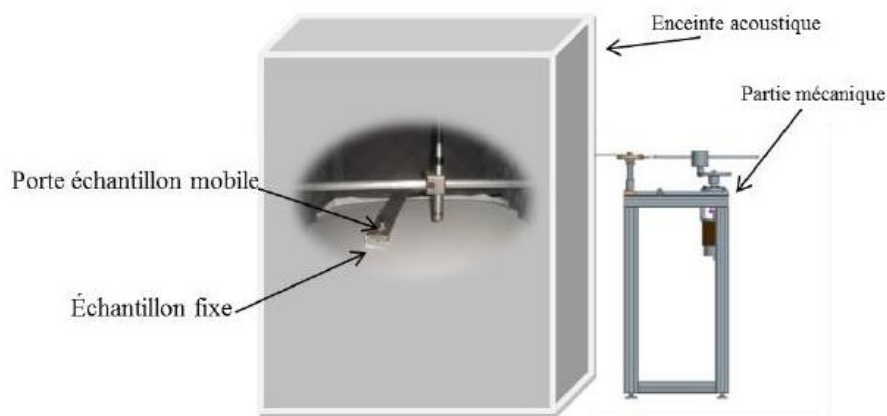


Figure 6 : Appareil conçu par Latroch [3]

Ce travail a permis de mettre en évidence l'influence de la vitesse du frottement sur le niveau du bruit pour trois tissus d'armure toile et de différentes compositions ; le premier est en mélange coton/élasthane, le deuxième en polyamide/polyuréthane et le troisième en 100 % soie. L'analyse a montré que de façon générale, le niveau du bruit augmente quand la vitesse de frottement augmente. Les vitesses de frottement influent sur les niveaux de bruit pour la soie et le tissu polyamide/polyuréthane, mais moins sur le tissu en coton/élasthane. En ce qui concerne l'influence de la surface de contact sur le niveau de bruit du frottement, il a été constaté que le niveau sonore augmente lorsque la surface frottée augmente mais avec une faible différence en décibels (dB).

En 2016, K. Yosouf [2] a utilisé le même dispositif dans le cadre de ses travaux de thèse, afin de caractériser le bruit de frottement des étoffes textiles généré lors de l'activité d'un individu. En complément des paramètres classiques d'analyse du son comme le niveau sonore ou l'amplitude du

maximum du signal, un outil d'analyse du signal appelé « la transformée en S » a été utilisé pour interpréter le signal sonore. K. Yosouf a également abordé une approche sensorielle grâce à un panel sensoriel auditif entraîné (communément appelés panélistes*) en appliquant la méthode d'analyse descriptive quantitative. L'analyse des données a permis de montrer l'influence de l'armure du tissu (coton écru) sur les propriétés sonores. Il a ainsi été démontré que l'armure sergé* 3 possède un niveau sonore plus important et donc que cette armure est la plus bruyante. A l'inverse, l'armure la plus furtive d'un point de vue acoustique est l'armure satin 4. Les résultats obtenus en transformée en S confirment les résultats concernant les paramètres physiques du bruit. L'étude a finalement abouti à un modèle qui exprime une relation linéaire entre le niveau sonore des bruits de frottement des armures en coton écru et certains paramètres mécaniques mesurés par la chaîne de mesure Kawabata Evaluation System, ainsi qu'une relation linéaire entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore des bruits de frottement des armures en coton écru.

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 (coefficient de Pearson) avec la variable dépendante Y doit être le plus important possible.

Le modèle établi, pour la vitesse de marche, est régi par l'Équation 1. La Figure 7 représente ce premier modèle. Il exprime l'influence de la rugosité de la surface textile (X_3) et la résilience de compression (X_6) sur le niveau sonore des bruits de frottement des étoffes testées. D'après la Figure 7, on remarque que le niveau sonore augmente avec la rugosité et diminue avec la résilience de compression.

$$Y = 78,783 - 1,802 \frac{1}{X_3 - 4} - 0,480 X_6 \quad \text{Équation 1}$$

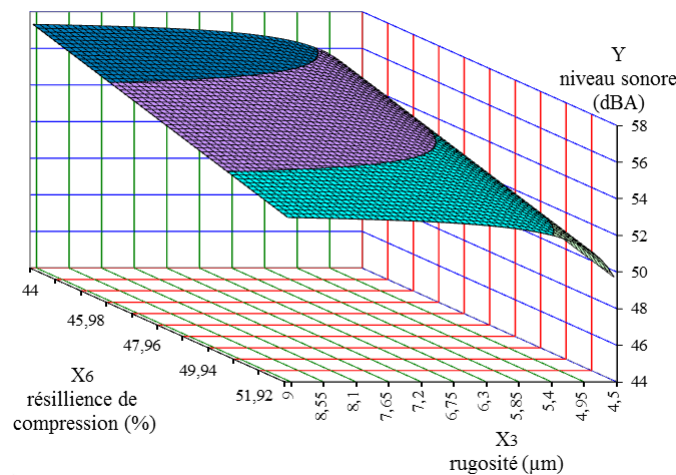


Figure 7 : Représentation du modèle 1 – marche[2]

Pour la configuration course (Figure 8), le modèle présente une relation linéaire entre la rugosité de surface (X_3) et l'énergie de compression (X_5) avec le niveau sonore du bruit (Y). Il est, cette fois-ci, régi par l'Équation 2.

$$Y = 45,60 - 2,279 \frac{1}{X_3 - 4} + \frac{1}{X_5 - 0,20} \quad \text{Équation 2}$$

D'après la Figure 8, on peut voir que le niveau sonore diminue quand l'énergie de compression augmente.

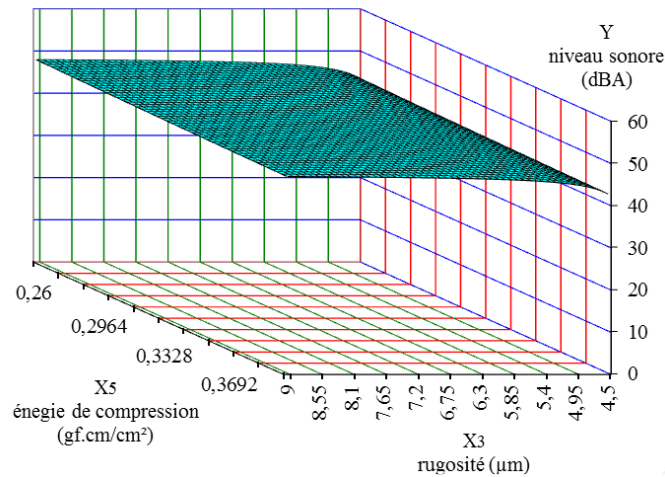


Figure 8 : Représentation du modèle 1 – course[2]

Les modèles prédisent le niveau sonore avec un degré de confiance de 95 % pour la vitesse de la marche et de 90 % pour la vitesse de la course.

Un modèle exprimant une relation linéaire entre les descripteurs sensoriels et le niveau sonore global des bruits de frottement des armures en coton écru a également été proposé, celui-ci est régi par l'Équation 3. Le modèle proposé pour la vitesse de la marche explique la relation linéaire entre le niveau sonore (Y) et les descripteurs monotone-polyphonique (Z_3), grattage (Z_8). Plus le niveau sonore est important, plus la sensation que le bruit est polyphonique et grattant est important.

$$Y = 36,846 + 1,824 Z_3 + 1,680 Z_8 \quad \text{Équation 3}$$

Les études de Latroch [1] et Yosouf [2] ont montré que les propriétés sonores des tissus dépendent de leurs paramètres structurels (matière, armure) mais également de leur état de surface. Parmi les facteurs de modification de cet état de surface, l'usure de l'étoffe est un paramètre important puisqu'elle intervient lors du porté et de l'entretien du vêtement. Pour cette raison, F. Leclinche [3] s'est intéressée, lors de ces travaux de thèse, à l'étude de l'influence de l'usure sur le bruit de frottement des étoffes, et plus précisément sur l'influence du lavage et de l'abrasion. Le système conçu par Latroch a été utilisé après lui avoir apporté quelques améliorations permettant notamment d'optimiser la mesure acoustique. Différentes étoffes ont été usées, soit par des lavages multiples, soit par le procédé d'abrasion Martindale. Ce procédé est décrit dans la série de normes NF ISO 12947 parties 1 à 4 [11]. L'essai consiste à frotter une éprouvette circulaire sur un élément abrasif selon un mouvement de translation formant une courbe de Lissajous comme présenté Figure 9. L'élément

abrasif est une étoffe de laine normalisée. Le frottement s'effectue sous une charge de 9 ou 12 kPa selon le type d'étoffe (habillement ou technique).

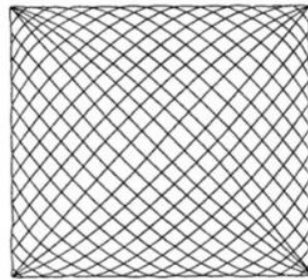


Figure 9 : Courbe de Lissajous [3]

Les paramètres acoustiques tels que le niveau sonore (dB), l'amplitude du maximum (dB), la fréquence du maximum (Hz) et la plage d'amplitude (dB) ont été obtenus à partir d'une transformée de Fourier des spectres sonores. Le système d'évaluation Kawabata (KES) a été utilisé pour mesurer les propriétés de compression et de surface des étoffes. Enfin, l'évaluation des propriétés sensorielles acoustiques a été effectuée au travers d'un panel* entraîné.

Les résultats ont montré une évolution différente du niveau sonore selon la façon dont l'étoffe a été usée. Une étude des corrélations par Analyse en Composantes Principales (ACP) sur l'ensemble de ces paramètres a montré une forte relation entre le niveau sonore, la résilience en compression et le coefficient de frottement des étoffes. Ces travaux pluridisciplinaires ont permis de mettre en évidence l'impact des conditions d'usage des textiles sur le niveau sonore des bruits de friction. En effet, celui-ci varie en fonction de l'état de surface de l'étoffe et donc en fonction de son degré d'usure.

En conclusion de son étude F. Leclinche a indiqué qu'il serait intéressant d'envisager de traiter la surface textile avec différents apprêts mécaniques comme le grattage ou l'émerisage ou à l'aide d'apprêts chimiques tels que les enductions superficielles avec des adoucissants silicone. Il est certain que ces traitements modifieraient les propriétés physiques de l'étoffe textile et donc, changeraient le bruit de frottement généré. Cette étude s'inscrit donc dans cette perspective et c'est pourquoi nous nous sommes intéressés aux différents apprêts textiles permettant de modifier les propriétés de surface de ceux-ci.

Dans le paragraphe suivant, nous allons analyser la bibliographie dédiée à la notion d'apprêts textile, leurs applications et leurs différentes méthodes d'application.

2. Traitements de surface textile

L'apprêt textile est un traitement de finition permettant de donner au produit son aspect final pour répondre à des exigences spécifiques du consommateur et/ou au cahier des charges. Ce traitement peut inclure des propriétés relatives à l'effet visuel, au toucher ou à des caractéristiques appropriées à l'usage auquel la matière textile est destinée [12].

Il existe différentes techniques pour la mise en œuvre de ce traitement :

- L'utilisation d'équipements mécaniques, d'où la notion d'apprêts mécaniques
- L'application d'un traitement de surface nécessitant l'utilisation d'agents chimiques interagissant avec la structure moléculaire des fibres, d'où la notion d'apprêts chimiques.

2.1 Apprêts mécaniques

Afin d'obtenir des tissus à l'apparence, au toucher ou aux propriétés spécifiques, il existe des traitements mécaniques et/ou thermiques permettant d'obtenir l'effet désiré. Les machines permettant ces types de traitements sont classiquement une série de cylindres chauffants, gravés ou non, recouverts de brosses, etc. au travers desquels le textile passe [13], [14]. Les apprêts mécaniques peuvent être classés selon le mécanisme de leur mise en œuvre. On distingue alors les apprêts résultant :

- De l'action purement mécanique comme le grattage ou l'émerisage
- D'une action combinée thermique et mécanique comme le sanforisage, le calandrage ou le gaufrage

2.1.1 Apprêts purement mécaniques

Dans cette partie, les apprêts résultant de l'action purement mécanique seront développés. Ces apprêts sont le grattage, l'émerisage et le tondage ou rasage.

2.1.1.1 Grattage

La Figure 10 montre le mécanisme de grattage des tissus textile. Il consiste à arracher les fibres en surface du tissu à l'aide d'aiguilles métalliques insérées dans des rouleaux, qui grattent la surface du tissu et viennent tirer l'extrémité de la fibre hors des fils. Les extrémités des aiguilles qui dépassent des rouleaux sont des crochets ; leur épaisseur et leur longueur peuvent varier. Elles sont insérées dans une spirale de courroie en caoutchouc spéciale, enroulée autour des rouleaux de grattage (Figure 11).

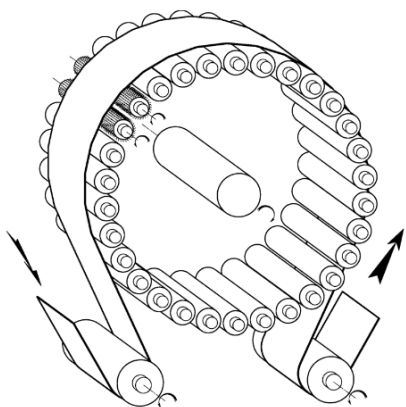


Figure 10 : Principe du grattage [14]

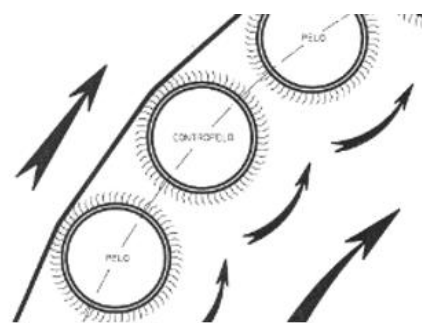


Figure 11 : Représentation schématique des rouleaux de grattage[14]

Le fait de faire sortir les fibres à la surface du tissu augmente l'épaisseur de l'étoffe et lui ajoute un moelleux supplémentaire par ajout d'air dans la structure. Ceci permet de modifier les caractéristiques surfaciques du textile ainsi que ses propriétés d'isolation thermique.

Le grattage est généralement effectué sur l'envers de l'étoffe mais il peut aussi être réalisé sur les deux faces. Il contribue à la présence de certains problèmes comme la diminution des propriétés mécaniques, le retrait de la laize (jusqu'à 25%), et l'augmentation de la tendance au boulochage [13]. Ces affirmations ont été confirmées par Touhiduzzaman *et al.* [15] qui ont étudié les effets du grattage sur les propriétés physiques et mécaniques de trois tricots (deux molletons et une côte 2&2). Les effets ont été caractérisés par les tests résumés dans Tableau 1.

Tableau 1 : Méthodes d'évaluation de l'effet du grattage sur les propriétés des tricots

Test	Méthode
Masse surfacique	EN 12127
Propension des étoffes au boulochage	ISO 12945-1
Propriétés de résistance à l'éclatement des étoffes	ISO 13938-2
Test de vrillage	Méthode 1 seul lavage
Test de rétrécissement	Méthode 1 seul lavage
Essais de solidité des coloris	ISO 105 C06

Il a été constaté que la masse surfacique a changé, ce qui montre que le remplissage et le volume du tricot ont changé. La masse surfacique du molleton a augmenté, celle de la côte a diminué. Le test de résistance à l'éclatement a montré que les échantillons perdent de la résistance. Les tests de rétrécissement et de vrillage ont montré que la stabilité dimensionnelle a été légèrement modifiée : le grattage a entraîné un allongement dans le sens de la largeur. Les tricots boulochent davantage. Il n'y a, par contre, pas d'effet sur la solidité des couleurs au lavage.

2.1.1.2 Emerisage

L'émerisage est un procédé permettant de conférer aux étoffes un toucher « peau de pêche ». L'émerisage s'effectue fréquemment avant teinture.

La machine d'émerisage est constituée de cylindres recouverts de papier émeri (papier abrasif) comme le montre la Figure 12.

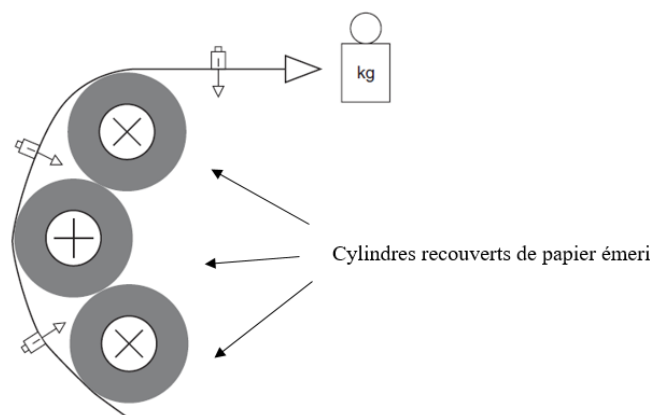


Figure 12 : Principe de l'émerisage [16]

Dans le processus d'émerisage, le tissu est tendu et tiré sur trois à sept cylindres recouverts de papier émeri, qui tournent avec ou contre le passage du tissu. Le frottement contre la surface du papier émeri

se fait sous une pression de contact réglable [16]. L'émerisage permet de générer à la surface du tissu une pilosité abondante et régulière en longueur [17]. La pilosité créée par émerisage est une pilosité de faible longueur par rapport à l'épaisseur du tissu. Il doit toujours être effectué avant la préparation pour éviter une surface irrégulière [18].

Le contrôle de cette technique de finition est essentiel mais il est relativement compliqué. Un papier abrasif trop grossier peut endommager physiquement le tissu, tandis qu'un papier abrasif trop fin accentue la friction ce qui provoque une augmentation de température pouvant mener à la fusion des fibres ou filaments synthétiques présents dans l'étoffe. Avant l'émerisage, il est essentiel que les fibres synthétiques soient traitées avec des lubrifiants et des traitements antistatiques appropriés afin de faciliter l'action de frottement. De plus, les abrasifs utilisés sont susceptibles de s'user rapidement, ce qui entraîne des variations de l'effet en surface [19].

Comme pour le grattage, l'inconvénient de ce type d'apprêt est la réduction des propriétés mécaniques des étoffes. Si un pourcentage élevé de fibres et/ou filaments d'un tissu est abimé, il en résultera une perte importante de la résistance à la traction. Il est donc impératif que les propriétés de traction soient vérifiées afin de répondre à toute exigence de spécification de manière contrôlée. L'émerisage augmentant le volume de l'étoffe dans de faibles proportions et la largeur de celle-ci diminue [20].

2.1.1.3 Rasage

À l'aide d'un couteau, les fibres flottantes sortant des fils sont coupées à une hauteur uniforme pour donner à l'étoffe un aspect régulier. Certains tissus sont rasés près de la surface du tissu afin d'éliminer les fibres en surface, ce qui donne une surface uniforme et lisse [21]. Ce processus est généralement réalisé à l'aide d'une machine de rasage. Elle consiste en un ensemble de lames tranchantes, appelées lames de rasage ou couteaux pour couper les fibres de surface comme le montre la Figure 13.

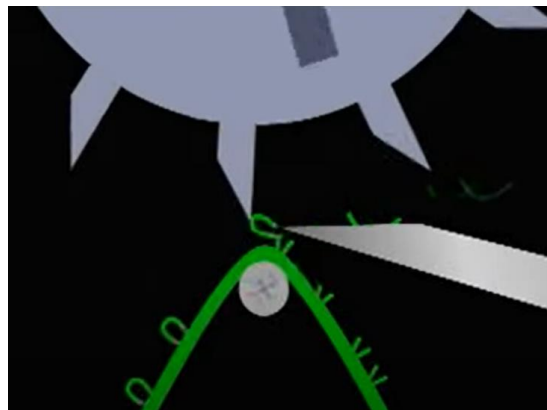


Figure 13 : Mécanisme du tondage textile [14]

Le tissu est placé entre une lame fixe et une lame mobile, et lorsque la lame mobile descend vers la lame fixe, elle coupe les fibres du tissu pour créer une surface lisse et uniforme. Ainsi, les extrémités des fibres ou des fils sont coupées avec précision sur toute la surface du tissu. Avec ce système, il est important que les lames soient alignées correctement, sinon le tissu et les lames risquent d'être endommagés [22].

En général, les lames sont réglées à une distance très précise les unes des autres pour garantir une coupe uniforme et minimiser la quantité de tissu retirée pendant l'opération. La machine peut

également être équipée de rouleaux ou de guides réglables pour maintenir le tissu en place et contrôler sa position pendant le processus.

En général, le rasage peut être utilisé sur une large gamme de tissus (fibres naturelles et synthétiques) mais c'est particulièrement le cas pour les étoffes de laine et les étoffes destinées à être grattées :

- Les tissus de laine cardée ou peignée sont presque toujours rasés pour enlever les fibres lâches ou les imperfections de surface et obtenir une surface uniforme.
- Les étoffes tricotées, tels que les jerseys ou les interlocks, peuvent également être rasés pour éliminer les boucles de surface ou les fibres lâches et améliorer l'apparence et la drapabilité.
- Le rasage de la fourrure en acrylique permet d'égaliser tous les poils.

2.1.2 Apprêts avec action combinée thermique et mécanique

Dans cette partie les apprêts qui résultent d'une action combinée thermique et mécanique vont être développés. Ces apprêts sont le sanforisage, le calandrage et le gaufrage.

2.1.2.1 Sanforisage

Le rétrécissement résiduel d'un tissu résulte en grande partie de la tension appliquée au tissu pendant le tissage et le traitement humide. Certains tissus rétrécissent dans les deux dimensions à la fois en largeur et en longueur pendant les prétraitements textiles (le désencollage, le blanchiment ou le mercerisage) et la teinture [13]. Le sanforisage se base sur l'application d'une action mécanique combinée à de la chaleur dans le but de rendre les étoffes en fibres naturelles irrétrécissables, et plus spécifiquement les étoffes composés de fibres cellulosiques [23].

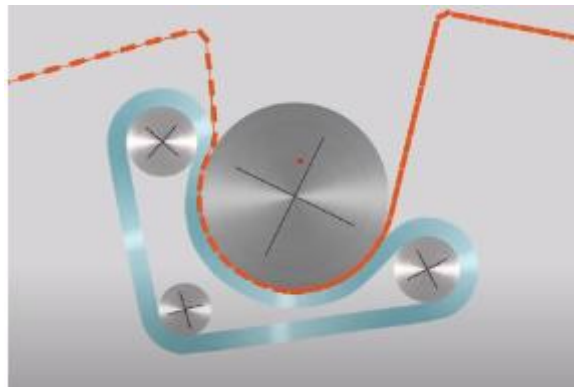


Figure 14 : Principe du sanforisage [24]

Le rétrécissement aura lieu immédiatement après le passage sous le mécanisme chauffant à une température d'environ 180°C. Comme le montre la Figure 14, l'étoffe qui doit être traitée par sanforisage entre par le côté droit de la machine et se retrouve ensuite comprimée entre un rouleau d'aluminium et une paroi perméable feutrée [24]. De la vapeur d'eau est ensuite pulvérisée sur le tissu en compression au travers de la paroi afin de le rendre plus facilement déformable et de lui donner une forme voulue. Sous l'action de la chaleur, la résistance à la flexion de la fibre est diminuée, la réticulation physique est rompue et la matière textile devient plus compressible [16]. Le séchage de l'étoffe a lieu immédiatement après le passage de la machine dans la calandre à feutre afin de fixer définitivement sa forme et lui donner un aspect soyeux et doux.

La capacité de rétrécissement de la machine de sanforisage est de 10 % au maximum. Le degré de rétrécissement est déterminé par l'épaisseur du feutre, en effet, plus le feutre est épais, plus la capacité de rétrécissement est élevée.

Hussain [25] s'est intéressé à l'étude de l'effet du traitement de l'aptitude au boulochage de tissus composés de fibres de polyester/viscose. L'abrasion a été réalisée par le procédé Martindale selon les directives de la norme ISO 12945-2. Il a observé une diminution des grades par rapport au grade de l'étoffe avant sanforisage ce qui veut dire que le tissu est devenu plus apte à boulocher.

Tableau 2 : Propriétés d'abrasion d'un tissu ayant subi un traitement de sanforisage

Cycles	0	1000	2000	3000	4000	5000
Echelle	4-5	3-4	3	3	2-3	1-2

Selon l'auteur, il y a deux explications à cet effet. Premièrement, pendant le sanforisage, le frottement existant entre la nappe de caoutchouc et le tambour en acier force les fils du tissu à se rapprocher, il peut ainsi entraîner un affaiblissement des fibres en surface du tissu. Deuxièmement, après le rétrécissement du tissu dû au sanforisage, le nombre de fils et de fibres par unité de surface augmente, ce qui accroît le risque de formation et de présence de bouloches par unité de surface d'où un mauvais grade de boulochage.

Un autre effet du sanforisage est la diminution la conductivité thermique. Cet effet a été prouvé par Bajzik et Hes [26]. Ils ont étudié l'influence du traitement de finition sur les propriétés thermiques des tissus 100 % coton. Cinq traitements de finition (deux types de finitions hydrophobes, une finition adoucissante, une finition de sanforisage et une finition-anti-feu temporaire) ont été appliqués à trois tissus de coton différents. La conductivité thermique, la résistance thermique, l'absorptivité thermique et la perméabilité à la vapeur d'eau des tissus secs et humides ont été mesurées. Ils ont conclu que l'effet le plus important était celui du sanforisage, en effet celui-ci entraîne une diminution substantielle de la conductivité thermique des échantillons à l'état humide.

2.1.2.2 Calandrage

Le calandrage est un traitement qui peut être appliqué sur tous les types de fibres textiles. Le principe consiste à faire passer l'étoffe entre deux rouleaux rotatifs (Figure 15) superposés et chauffés, la vitesse de rotation et la pression appliquées étant variables.

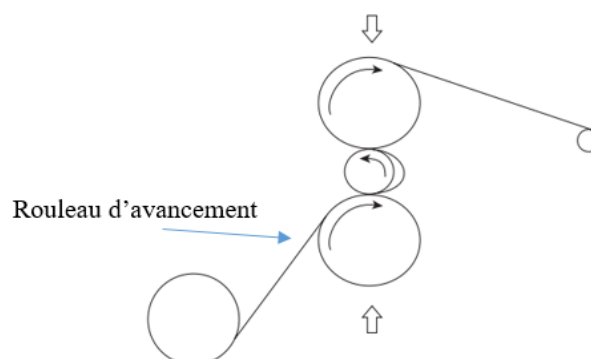


Figure 15 : Principe du calandrage [16]

Les surfaces des rouleaux peuvent être lisses ou gravées pour donner la finition appropriée au tissu selon les spécifications, tandis que le matériaux même des rouleaux peut varier allant de l'acier chromé trempé au thermoplastique élastique [27]. Selon l'effet recherché, le calandrage permet de réaliser trois différents types de finition : le repassage, le gaufrage ou le similisage.

Le repassage [28] du tissu est effectué en faisant passer ce dernier, une ou plusieurs fois, entre un rouleau métallique chauffé et un rouleau métallique recouvert d'une couche plus ou moins élastique. Cela permet d'obtenir un tissu avec une surface plus lisse, plus opaque et d'épaisseur plus faible cependant l'effet du repassage n'est pas permanent.

Mert *et al.* [29] se sont intéressés à l'étude de l'effet des procédés de calandrage sur le confort de costumes. Le calandrage a été effectué sur des tissus ayant deux compositions différentes : laine (40%), polyamide (40%) et polyester (20%) et laine (20%), viscose (40%) et polyester (40%). Les propriétés après calandrage ont été vérifiées selon les normes et procédure présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Méthodes d'évaluation des propriétés physiques et mécaniques d'étoffes après calandrage

Propriétés	Norme ou méthode
Perméabilité à l'air	ISO 9237
Perméabilité à la vapeur d'eau	EN 31092
Épaisseur, résistance thermique et absorption thermique	ALAMBETA (Sensora instruments)
Résistance à l'abrasion	Principe Martindale selon ISO 12945-2
Coefficient de frottement	FRICTORQ II
Rigidité en flexion circulaire	Testeur de rigidité pneumatique numérique SDL Atlas (selon ASTM D4032)

Il a été constaté que les tissus traités par calandrage à l'aide de cylindres à haute température et pression importante (effet très brillant) présentaient une perméabilité à l'air et une résistance thermique plus faibles et des valeurs de rétention thermique plus élevées. En effet, lorsqu'un tissu passe à travers les cylindres, il devient plus lisse et plus fin. Les pores de la structure du tissu sont donc devenus plus petits et la perméabilité à l'air et la résistance thermique diminuent. En outre, en perdant leur structure pileuse, ces tissus présentent une sensation chaud/froid faible donc une sensation de fraîcheur au premier contact et un faible coefficient de frottement.

Le similisage sur calandre permet de conférer au coton un aspect soyeux et/ou mercerisé. Le similisage sur coton sec confère à la matière un aspect soyeux plutôt mais si la matière est traitée à l'état humide avec des températures et des pressions plus élevées on obtiendra un aspect mercerisé. Généralement, les effets obtenus ne sont pas permanents et disparaissent après lavage mais ils peuvent l'être si la matière est traitée avant calandrage par un agent de réticulation [13].

Le gaufrage permet de donner un reliefé aux tissus par passage des étoffes entre deux cylindres gravés avec des motifs (carrés, losanges, autres...). Il existe deux [21] types de gaufrage :

- Le gaufrage à plat, ce traitement est réalisé sur une seule face du tissu, généralement l'endroit.
- Le gaufrage au rapport, en faisant passer le tissu entre deux cylindres gravés pour imprimer le dessin du reliefé sur l'endroit et l'envers de l'étoffe comme le montre la Figure 16.

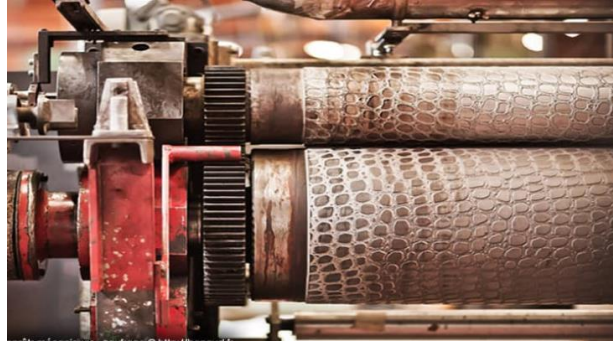


Figure 16: Exemple de rouleaux gravés pour gaufrage au rapport [30]

L'effet du gaufrage est utilisé pour reproduire différents aspects et/ou toucher, comme par exemple le grain du cuir, un aspect tissé, un aspect coups de pinceau ou encore un aspect faux carrelage. Les calandres chauffantes sont également utilisées pour la fabrication de stratifiés. Pour cela, des matériaux thermoplastiques (sous forme de fibres, de fils/filaments ou même étoffe) sont placés entre deux couches de tissu non plastique et sous l'effet de la chaleur et de la pression, les différentes couches de la structure vont fusionner. Ces laminés sont notamment utilisés pour les nappes de table, les housses de sièges et de coussins.

Pour résumer, les traitements mécaniques ont pour principaux objectifs de :

- Modifier par grattage ou émerisage l'aspect et le toucher du textile ce qui engendrera une modification des propriétés de surface et de compression tout en améliorant les propriétés d'isolation thermique.
- Conférer par le sanforisage une stabilité dimensionnelle en imposant un rétrécissement excessif sous l'action combinée de la pression et la chaleur, ce qui va augmenter la masse surfacique et modifier également les propriétés de compression et de surface du tissu.
- Rendre les surfaces textiles plus nettes par rasage en uniformisant la hauteur des fibres, ce qui modifie bien évidemment les propriétés de surface.
- Conférer par le calandrage un aspect lisse et brillant à la matière textile.

2.2 Traitements chimiques

Les traitements chimiques sont des procédés faisant intervenir des produits (appelés apprêts) afin de renforcer certaines fonctions d'aspect ou d'usage des étoffes textiles et de leur conférer des propriétés spécifiques. Il est possible de faire une distinction entre les traitements qui impliquent une réaction chimique de l'agent d'apprêt avec la fibre et les traitements chimiques pour lesquels elle n'est pas nécessaire.

Certains traitements sont spécifiques à certains types de fibres. Par exemple, les apprêts easy-care sont généralement utilisés pour les tissus à base de fibres cellulosiques (comme le coton, la viscose ou le lin) ou à base de mélange de fibres cellulosiques et de fibres synthétiques (par exemple,

polyester/coton pour l'habillement et aramide/viscose pour les vêtements de protection). D'autres traitements ont une gamme d'applications plus générale comme c'est le cas pour les traitements adoucissants.

Il existe plusieurs techniques pour l'application des apprêts chimiques. Les plus classiques sont le foulardage, la pulvérisation ou le procédé par mousse.

2.2.1 Méthodes d'application des traitements chimiques

Dans cette partie, les méthodes d'application des traitements chimiques vont être présentées. Le principe de mise en œuvre de chaque méthode sera expliqué. Une analyse des avantages et des inconvénients permettra de définir la méthode d'application des différents traitements chimiques selon nos besoins.

2.2.1.1 Procédé par foulardage

Le foulardage est utilisé pour la teinture des textiles mais également pour le dépôt des apprêts sur les étoffes [31]. La Figure 17 illustre le principe du foulardage et ses différentes étapes. Dans un premier temps, les produits chimiques sont mis en solution ou en dispersion dans la bache du foulard. Le textile est ensuite immergé en plein bain pour être ensuite essoré par des cylindres exprimeurs [32].

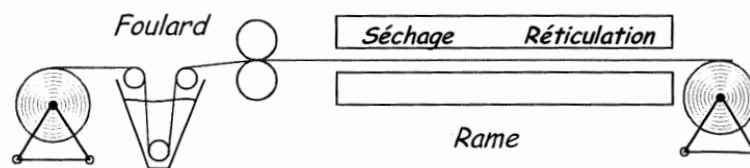


Figure 17 : Application de traitement par foulardage [33]

Lors du traitement, il faut veiller à ce que l'étoffe soit correctement imprégnée du bain. Pour cela, une pression est appliquée entre les deux cylindres pour faire pénétrer les produits et enlever le surplus de bain retenu par l'étoffe. L'imprégnation est contrôlée par un pourcentage qui représente la différence entre la masse imprégnée et la masse sèche avant imprégnation rapportés à la masse sèche. Ce taux s'appelle taux d'exprimage ou taux d'emport (TE) [34]. Il est défini selon l'Équation 4.

$$TE (\%) = \frac{m_{\text{imprégné}} - m_{\text{sec}}}{m_{\text{sec}}} \times 100 \text{ avec } m_x : \text{masse du tissu } X \quad \text{Équation 4}$$

Plus le taux d'exprimage est élevé, plus le tissu retient de solution. Suite à l'exprimage, l'étoffe passe dans un séchoir ou une rame pour éliminer le surplus d'eau et sécher le textile. Certains apprêts nécessitent un traitement thermique supplémentaire permettant de fixer les produits déposés sur la matière textile. On parle alors de traitement de polymérisation comme par exemple dans le cas d'une réticulation de liant ou d'une polycondensation de résine.

Il ressort de la recherche bibliographique que le procédé par foulardage possède des avantages comme des inconvénients [32] [29]. Ils ont été regroupés dans le Tableau 4 page suivante.

Tableau 4 : Avantages et inconvénients du procédé par foulardage

Avantages	Inconvénients
Compatibilité avec différentes préparations de produits chimiques : teinture avec certains colorants, adoucissage, traitement easy-care, ...	Nécessité d'une concentration élevée en produits chimiques de finition
	Effet de queue dans la teinture au rouleau
	Procédé coûteux car nécessitant beaucoup de main d'œuvre
	Consommations d'eau et d'énergie élevées surtout lors du séchage
	Pollution environnementale et surcoût d'investissements pour le traitement des eaux

Au vu des nombreux inconvénients du procédé par foulardage, d'autres techniques plus économiques ont été développées pour minimiser la quantité d'eau emportée par le tissu imprégné tout en gardant un bon rendement, à savoir les procédés par pulvérisation et par mousse.

2.2.1.2 Procédé par pulvérisation

Le principe consiste à pulvériser de fines gouttelettes d'apprêt par l'intermédiaire de multiples buses, comme le montre la Figure 18, sur l'une ou les deux faces d'une étoffe en défilement continu. Le procédé par pulvérisation est plus particulièrement utilisé pour le traitement d'adoucissage car, pour ce type de traitement, il est facile de réajuster l'effet recherché. De plus, il permet de réduire la consommation de substances actives [35].

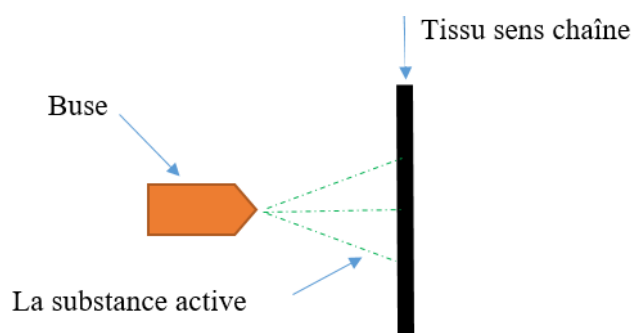


Figure 18 : Principe du procédé par pulvérisation

Les avantages et inconvénients du procédé par pulvérisation sont résumés dans le Tableau 6 [36] [32].

Tableau 5 : Avantages et inconvénients du procédé par pulvérisation

Avantages	Inconvénients
Pas de nuance d'effet quand les produits chimiques ont une affinité avec le support textile	Difficulté d'obtenir une couche parfaitement uniforme sur l'étoffe d'où la nécessité d'une régulation précise
Possibilité d'application sur une ou deux faces du tissu selon le besoin	Bouchage fréquent des buses en particulier lors de l'utilisation de produits chimiques visqueux
Economie d'énergie et réduction de la pollution environnementale	Dépôt d'une partie des produits chimiques sur d'autres éléments que l'étoffe ce qui entraîne une pollution excessive et des dépenses inutiles

2.2.1.3 Procédé par mousse

Le procédé par mousse a l'avantage de consommer moins d'eau puisque l'eau est partiellement remplacée par de l'air [37]. Par exemple pour l'encollage ou le traitement par une résine, la substance active est déposée avec un meilleur rendement car le dépôt se fait uniquement en surface. Ce rendement est conditionné par la capacité de rétention humide de l'étoffe. Si celle-ci est supérieure à 30 %, on considère que le traitement sera réparti plus uniformément à la surface de l'étoffe. Pour la plupart des applications, la mousse est appliquée sur un substrat sec et le tissu est séché à basse température pour faciliter la migration de la substance chimique du traitement qui peut se produire lors du séchage [38].

La mousse haute densité contenant le produit actif est préparée en présence de substances adéquates, comme des agents extenseurs ou des stabilisateurs de mousse [39].

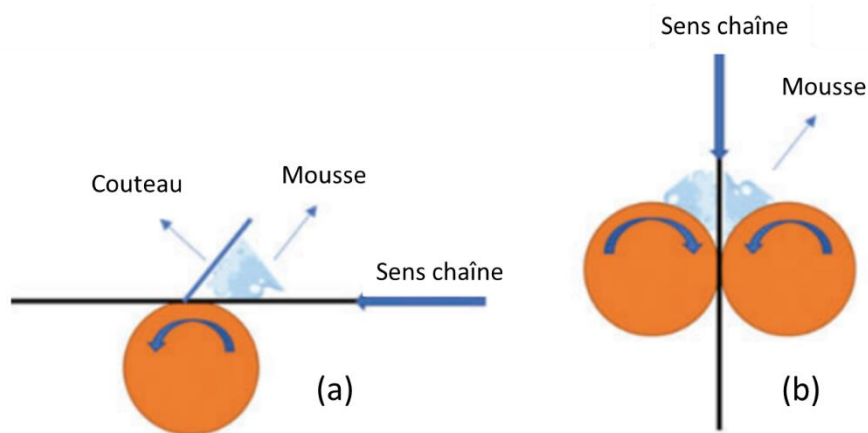


Figure 19 : Principe du procédé par mousse ; (a) application par couteau ; (b) application par foulard horizontal [40]

Une fois préparée, elle est ensuite envoyée dans des cylindres applicateurs selon deux techniques différentes. Elle peut être soit appliquée par un couteau (Figure 19(a)), soit par un foulard horizontal (Figure 19(b)). Les deux techniques permettent de doser correctement le volume de mousse à répartir.

Le procédé par mousse comme les autres procédés d'applications des traitements chimiques possède des avantages et des inconvénients sont résumés dans le Tableau 6 [45] [46].

Tableau 6 : Avantages et inconvénients du procédé par mousse

Avantages	Inconvénients
Amélioration de l'efficacité de production grâce à une vitesse de défilement de l'étoffe élevée et donc économie d'énergie	Difficulté de contrôler certains paramètres comme la stabilité de la mousse, la densité et la taille des bulles, d'où la difficulté d'obtenir une application uniforme
Meilleure distribution et répartition des produits chimiques	Gamme restreinte de produits applicables
Réduction de l'altération des propriétés mécaniques et physiques des étoffes	Dans certains cas, problème de pénétration de la mousse dans le textile
Possibilité de produire des effets nobles qui ne peuvent être obtenus par foulardage	Nécessite des compétences accrues et un personnel bien formé
Réduction de la pollution environnementale	Coût élevé des équipements

On remarque que les procédés par foulardage, pulvérisation et par mousse possèdent chacun des avantages et des inconvénients. Le fait d'avoir une étoffe présentant les mêmes fonctionnalités sur l'ensemble de la surface, indépendamment de la face ou de son sens, entraîne une augmentation inutile des coûts. Il est donc judicieux de se tourner vers des procédés permettant l'application du traitement sur une seule face mais il faut prendre en considération les limites d'efficacité de ceux-ci.

2.2.2 Description des traitements chimiques

Dans cette partie nous allons nous intéresser à la présentation des traitements chimiques. Ils peuvent être classés selon leurs utilités. On distingue :

- Les traitements permettant une protection de l'article contre différentes agressions de son environnement d'utilisation, comme par exemple l'ignifugation (pour protéger la fibre contre la combustion [43]), l'hydrofugation (rendre le tissu imperméable à l'eau [44]) ou l'oléofugation (pour conférer à la fibre une certaine oléophobie en empêchant les huiles et les matières grasses de mouiller ou de salir la fibre [45]) ; ces traitements ne modifiant pas les propriétés de surface de l'étoffe textile, ils ne seront donc pas détaillés par la suite.
- Les traitements permettant d'améliorer la durabilité de l'article et facilitant les opérations d'entretien (lavage et le séchage), comme par exemple le traitement easy-care.
- Les traitements organoleptiques permettant de modifier la perception du consommateur, comme par exemple l'adoucissage (modification de l'état de surface et donc du toucher de l'étoffe) ou le brillantage (effet visuel sur l'étoffe).

La spécificité de chaque type de traitement sera détaillée dans les sous-parties suivantes.

2.2.2.1 Traitement easy-care

Une étoffe ayant subi un traitement easy-care ne se froisse pas pendant son usage et tout froissement est facilement éliminé après lavage. Les étoffes à base de fibres cellulosiques ou à base de mélange de fibres cellulosiques et synthétiques sont très agréables à porter en raison de leurs bonnes propriétés. Cependant au cours du séchage et après lavage, les textiles vont présenter des variations dimensionnelles entraînant notamment un rétrécissement du tissu. Le froissement de ces étoffes dépend des propriétés structurales des fibres.

Les problèmes de froissabilité et de stabilité dimensionnelle des matières cellulosiques sont principalement dus à la présence de groupements hydroxyles (-OH) [46] comme le montre la Figure 20.

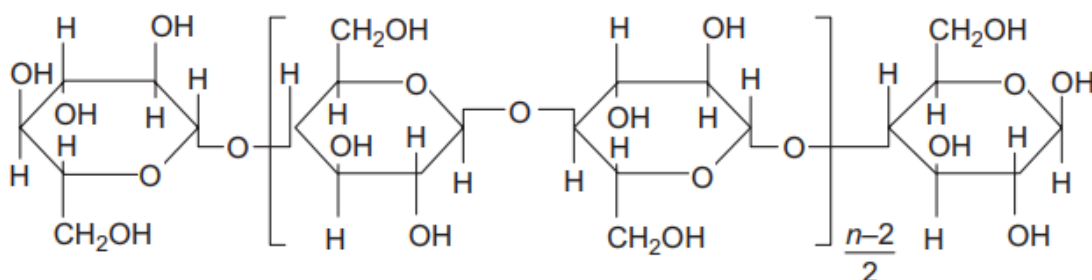


Figure 20 : Formule de la molécule de cellulose [47]

Lors du tissage ou du tricotage, les fibres se retrouvent serrées les unes contre les autres, et des liaisons hydrogène se forment entre elles. L'eau pendant le lavage va rompre ces liaisons hydrogène. En effet, dans le tambour de la machine à laver, les étoffes sont tassées entre-elles et sous mises à de multiples sollicitations. De plus, si au cours du séchage les étoffes ne sont pas bien à plat, des plis pourraient se former et être fixés par les liaisons hydrogène [23]. L'effet est d'autant plus important sur les fibres naturelles que sur les fibres synthétiques puisque ces dernières sont hydrophobes [13].

Une des solutions est de bloquer chimiquement une partie de ces groupes hydroxyles pour éviter le gonflement de la cellulose en présence d'eau et permettant ainsi d'éviter la formation des plis et/ou le rétrécissement de l'article [23].

Pour limiter le froissage, les agents réticulants dont le rôle est de réagir avec les groupements hydroxyles de la cellulose, vont permettre la formation de liaisons covalentes stables assurant le pontage entre les chaînes macromoléculaires de la fibre. Ils ont pour fonction de réduire la tendance au rétrécissement des supports à base de fibres cellulosiques au cours des traitements par voie humide et par voie sèche ainsi que de stabiliser le rétrécissement progressif lors des lavages. Leurs actions proviennent de l'introduction d'agents de réticulation entre les molécules de cellulose, ce qui réduit les aptitudes au gonflement et à l'élasticité de la fibre, (l'étoffe à tendance à se retrouver dans l'état dans lequel elle était au moment où les agents de réticulation ont été introduits) [48].

Les recettes d'apprêts permanents sont généralement des solutions ou des dispersions aqueuses, constituées d'un agent de réticulation, d'un catalyseur et d'un agent mouillant/émulsifiant (principalement un tensioactif non ionique) et d'un certain nombre d'adjuvants. Les adjuvants sont ajoutés pour améliorer ou compenser certains effets du réticulant. On peut citer notamment :

- Les agents de raidissement, agissant sur la « main » de l'étoffe c'est-à-dire sur ses propriétés tactiles (douceur, fermeté, élasticité, finesse, résilience et autres qualités perçues par le toucher [47]. Il peut s'agir de dispersions d'acétate polyvinylique ou bien de dérivés de polyacrylates.
- Les produits permettant de compenser les dégradations du toucher, la diminution de la résistance au déchirement et à l'abrasion dues à la réaction de réticulation. Il peut s'agir de dispersions de polyacrylates, de polysiloxanes, d'huiles polyéthylènes ou encore de polyuréthanes.
- Les produits assouplissants pour améliorer le toucher de l'étoffe, typiquement des assouplisseurs cationiques comme par exemple des huiles de polyéthylène.

Les agents de réticulation les plus utilisés dans les traitements easy-care sont des réactifs contenant du formaldéhyde. La tendance actuelle s'oriente vers l'utilisation d'agents de réticulation des fibres à faible teneur en formaldéhyde voire sans formaldéhyde. Il a été considéré que les résines easy-care à base de DMDHEU peuvent contenir jusqu'à 1 % de formaldéhyde libre [49]. Selon la réglementation de l'Union Européenne, les produits contenant une concentration de formaldéhyde à partir de 0,2 % doivent être classés comme corrosifs [50].

L'effet des traitements easy-care sur les propriétés physiques des étoffes a été étudié dans plusieurs travaux. Une synthèse de ces études est présentée dans la suite de cette partie.

Dans son étude réalisée en 2006, Taleb [49] s'est focalisé sur l'étude de l'influence du traitement easy-care sur les propriétés des tissus en coton. L'agent de réticulation DMedHEU (diméthyl, dihydroxy-éthylène-urée) a été appliqué selon différentes concentrations (0, 50, 100, 150, 200 g/L) sur des tissus en coton déjà blanchis. Il a été observé que l'angle rémanent augmente avec la concentration en agent de réticulation ce qui confirme bien que ce réactif permet de limiter la formation de plis sur le tissu traité. De plus, comme l'indique l'augmentation de la longueur en flexion, le tissu devient plus rigide et son drapé diminue, ce qui le rend moins confortable pour l'utilisateur. Le coefficient de frottement cinétique est moins affecté par le traitement et ne présente pas un changement marqué, cependant, il y a un risque de saturation des groupes hydroxyles des fibres traitées (OH) entraînant un excès de dépôt sur la surface des fibres et une augmentation du coefficient de friction du tissu.

Une autre étude menée par Md. Kamruzzaman et al. [51] avait pour objectif de déterminer la concentration optimale en agent de réticulation pour des étoffes tissées ou tricotées. Ils ont remarqué que le DMDHEU (dihydroxyméthyl, 4, dihydroxyéthylène-urée) était l'un des agents de réticulation le plus performant pour les finitions résistantes au froissement en raison de la présence de quatre groupements hydroxyles. Les groupes N-méthyles du DMDHEU peuvent réticuler la cellulose. Les meilleures recettes trouvées dans cette étude indiquent 60 g/L d'agent de réticulation et 20 g/L de catalyseur pour un traitement easy-care et une recette de 100 g/L d'agent de réticulation et 30 g/L de catalyseur à une température de réticulation de 170°C pour un entretien sans repassage (Iron free).

Selon Tang *et al.* [52], la majorité des études se sont concentrées sur l'étude de l'effet du traitement easy-care sur les propriétés mécaniques des tissus mais le problème de la diminution de l'hydrophilie due à l'effet de ce traitement n'a pas été convenablement étudié. Lau *et al.* [13] ont en effet essayé d'incorporer un adoucissant hydrophile à l'agent de réticulation pour améliorer l'absorption de l'eau. Cependant, cette amélioration était faible et ne résistait pas à des lavages répétés, sans compter qu'elle entraînait une légère détérioration de la main et de la résilience du tissu. Ainsi, Tang *et al.* ont décidé d'examiner de quelle manière les propriétés résultantes de l'effet d'un traitement easy-care peuvent être optimisées, c'est-à-dire d'identifier pour une contexture donnée les conditions de réticulation convenables (soit une réticulation à sec soit une réticulation humide) et le type adéquat d'adoucissant à ajouter.

Pour ce faire, un réticulant (à faible teneur en formaldéhyde) a été utilisé et combiné à divers adoucissants lors d'une réticulation à sec ou humide. Les propriétés mécaniques et de confort ont été mesurées avant et après le lavage. Les traitements ont été appliqués sur trois types de tissus, à savoir un tissu bicouches et deux tissus conventionnels (armure toile et une armure sergé). L'épaisseur des tissus a été mesurée par le système Kawabata (KES-FB3), tandis que la masse surfacique a été déterminée conformément à la norme EN12127 : 1997. L'auto-défroissabilité a été évaluée par la mesure de l'angle rémanent à sec conformément à la norme AATCC 662008. Pour mesurer la propriété d'absorption des textiles, un test à la goutte a été réalisé en appliquant 0,02 ml de goutte d'eau sur le tissu à une distance de 1 cm et le temps nécessaire pour que la goutte d'eau perde sa réflectance spéculaire a été enregistré. La résistance à la déchirure a été déterminée conformément à la norme ASTM D142409. La perméabilité à l'air a été mesurée par le module KES-F (KES-F8-AP1). Les propriétés mécaniques à faibles contraintes des tissus, y compris les propriétés de flexion, de cisaillement, de

traction et de résilience, ont été mesurées à l'aide du KES-F. La rigidité en flexion (B) et la rigidité en cisaillement (G) indiquent la capacité du tissu à résister à la flexion et au cisaillement, respectivement.

Il ressort de cette étude que les tissus réticulés humides ont tendance à avoir une énergie de traction plus élevée et une main plus rigide que les tissus réticulés secs, car leurs fibres sont gonflées et la réticulation a lieu non seulement en surface mais aussi au sein de leur structure interne. Par conséquent, la réticulation humide est préférable lorsque les propriétés liées à la résistance ont plus d'importance que la main du tissu.

2.2.2.2 Traitements adoucissants

Les adoucissants* sont des produits destinés à modifier le toucher [53] des étoffes en réduisant la friction entre les fibres. Il en résulte un toucher qualifié de moelleux ou de doux. Les adoucissants textiles sont des émulsions base aqueuse ou des dispersions de substances actives insolubles dans l'eau, à savoir notamment les adoucissants anioniques, les adoucissants cationiques et les adoucissants à base de silicone [54].

2.2.2.2.1 Adoucissants anioniques

Ces adoucissants sont issus de la condensation d'acides gras [55]. Ils ont de bonnes caractéristiques en tant qu'agents adoucissant lubrifiants, possèdent une bonne stabilité thermique et sont compatibles avec la plupart des colorants sauf évidemment les colorants cationiques puisqu'ils risquent de précipiter avec les molécules de colorant, leurs charges étant antagonistes. Ils sont instables dans l'eau dure et en milieu acide [53].

2.2.2.2.2 Adoucissants cationiques

Il s'agit généralement de sels d'ammonium quaternaire, d'amino-esters et d'amino-amides [56]. Ils sont recommandés pour tous les types de fibres et peuvent être appliqués par épuisement en milieu acide (ph 4-5). Ce sont les meilleurs agents adoucissants et sont généralement appelés velours. Ils forment des liaisons avec le groupe cationique présent en surface de la fibre chargée négativement. De ce fait, ils peuvent causer des problèmes en présence de grands anions et peuvent provoquer une réduction de la solidité à la lumière en présence de colorants directs et réactifs [53].

2.2.2.2.3 Adoucissants à base de silicone

Les adoucissant à base de silicone sont généralement des dérivés de polysiloxane de faible poids moléculaire [57]. Ils sont constitués de longues chaînes linéaires comportant alternativement des atomes de silicium et d'oxygène. En général, deux groupes organiques, tels que des groupes méthyles, sont attachés à chaque atome de silicium. La Figure 21 montre le polydiméthylsiloxane à titre d'exemple de molécule de polysiloxane [58]. La chaîne de polysiloxane repose à plat sur la surface du tissu et produit un toucher doux.

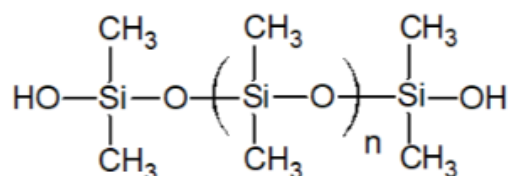


Figure 21 : Molécule de polydiméthylsiloxane [58]

Les adoucissants à base de silicone présentent une assez bonne solidité au lavage. Ils créent un film lubrifiant et sont modérément imperméables à l'eau en surface, de plus ils donnent aux étoffes une main veloutée et soyeuse (souhaitable pour les velours, tissus d'ameublement et tissus émerisés) [53]. En plus de l'effet adoucissant, ils confèrent à l'étoffe des propriétés supplémentaires, tels que la déperlance à l'eau. L'adoucissant agissant comme un lubrifiant, il remplit les espaces entre les fibres et fils pour recouvrir la surface textile d'une fine couche qui réduit le frottement entre les fibres et entre les fils. Il est clair qu'en diminuant la friction, la douceur du tissu sera améliorée [59].

Les adoucissants à base de silicone ont l'inconvénient de ne présenter aucune affinité avec les fibres et leur solidité au lavage est identique à celle des produits cationiques. Ils sont insolubles dans l'eau et doivent donc être appliqués sur les étoffes après dissolution dans des solvants organiques ou sous forme de produits dispersés [53].

La plupart du temps, le traitement d'adoucissage se fait par foulardage avec des solutions relativement concentrées, où la quantité totale du bain est transférée sur le tissu. Dans le cas de procédés discontinus, l'application des adoucissants se fait par épuisement de bain dans des machines de type Jet, overflow ou encore à tourniquet [60].

Les adoucissants à base de silicone peuvent être appliqués seuls ou combinés à d'autres traitements. Ils sont souvent utilisés en complément d'un traitement réticulant pour palier à la rigidification qu'apporte le traitement réticulant au tissu. Certains travaux de recherche ont étudié l'effet des traitements easy-care et adoucissants à base de silicone sur les propriétés physiques des étoffes textiles.

Taleb et al. [49] se sont focalisés sur l'étude de la combinaison des traitements easy-care et adoucissant appliqués dans le même bain. Selon les auteurs, la combinaison permet dans certaines conditions d'améliorer les propriétés physiques et mécaniques des tissus en coton, notamment leur flexibilité. L'étude a également montré que le traitement combiné n'était efficace que si le réticulant était présent en faible quantité. L'ajout de 20 g/L d'adoucissant à une concentration de 50 g/L de réticulant augmente l'angle rémanent pour atteindre un angle très proche de celui mesuré pour le tissu traité avec le réticulant seul à une concentration de 200 g/L. Par conséquent, en appliquant un mélange de réticulant et d'adoucissant, la résistance au froissement du tissu est la même que celle du tissu traité avec un réticulant seul.

Dans le même contexte, Tang *et al.* [52] ont procédé à une étude expérimentale sur l'effet des adoucissants type micro-silicone et nano-silicone et à base d'émulsions de polyalkylène ainsi que les conditions de réticulation (à sec ou humide) et du lavage sur les propriétés mécaniques liées au confort et sous faibles contraintes. Les adoucissants associés à un agent de réticulation, ont été appliqués sur trois types de tissus 100% coton, à savoir un tissu bicouches et deux tissus conventionnels (armure toile et une armure sergé). Il ressort que la combinaison d'une micro-émulsion cationique d'aminopolysiloxane fonctionnel (20 g/L) et d'une émulsion contenant du polyalkylène (20 g/L) est la recette la plus efficace en réticulation à sec (80 g/L) pour donner la plus faible rigidité en flexion (B) et en cisaillement (G) et une perméabilité à l'air meilleure que dans le cas des autres combinaisons de traitements. Ces deux caractéristiques sont essentielles dans le confort.

Dans leur étude en 2014, Jatoi *et al.* [61] se sont focalisés sur la comparaison de l'effet des adoucissants nano, nano/micro et nano/macro émulsions à base de silicone sur les propriétés des tissus en coton. Les résultats montrent que les nano-émulsions dépassent les micro et macro-émulsions en termes de douceur et de faible sensation chaud/froid du tissu. Le traitement avec une émulsion nano-silicone a montré une augmentation significative de l'angle rémanent par rapport aux micro, macro et autres combinaisons, cependant, la combinaison nano/macro a amélioré la résistance à la traction. Selon cette étude, l'adoucissant nano-silicone présente un avantage sur de nombreuses propriétés physiques à l'exception de la résistance à la traction, toutefois celle-ci-peut être compensée par l'utilisation combinée d'un adoucissant nano-silicone avec un adoucissant macro-silicone.

2.3 Synthèse sur les traitements

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons décrit les procédés de modifications de surface par actions mécaniques ou par application d'apprêts chimiques sur les textiles ainsi que les valeurs ajoutées qu'apportent ces derniers au support textile. Le Tableau 7 synthétise, pour chaque apprêt, la nature de son action sur l'étoffe textile, l'effet de chaque traitement sur les propriétés de surface et de compression. En effet, Yosouf [2] a montré que les propriétés acoustiques des bruits de frottement sont directement reliées aux propriétés de surface et de compression des étoffes. Le tableau résume également la possibilité de mise en œuvre de ces apprêts dans notre laboratoire.

Tableau 7 : Synthèse des apprêts et de leurs effets sur les propriétés de l'étoffe textile

Apprêt	Nature /Action sur l'étoffe textile	Modification des propriétés		Possibilité de mise en œuvre au laboratoire
		Surface	Compression	
Grattage	Mécanique	Oui	Oui	Non
Émerisage	Mécanique	Oui	Oui	Non
Sanforisage	Mécanique + thermique	Oui	Oui	Non
Repassage sur calandre	Mécanique + thermique	Oui	Oui	Non
Gaufrage sur calandre	Mécanique + thermique	Oui	Oui	Non
Similisage sur calandre	Mécanique + thermique	Oui	Oui	Non
Easy-care	Chimique	Oui	Oui	Oui
Adoucissant	Chimique	Oui	Oui	Oui

Dans cette partie, un état de l'art non exhaustif sur les traitements adoucissants à base de silicone, les traitements réticulant et leurs combinaisons a été développé ce qui a permis d'avoir une connaissance de leurs effets sur les propriétés physiques des étoffes.

Pour résumer, dans ce travail nous nous intéressons plus particulièrement à l'effet des adoucissants à base de silicone (type micro-silicone, macro-silicone) car ce type d'adoucissant a la spécificité de conférer au textile un toucher siliconé similaire à celui de la peau humaine. Nous allons également regarder l'effet des traitements réticulant (type résine easy-care). Ce traitement a l'avantage de donner une stabilité dimensionnelle à l'étoffe textile mais il lui confère une rigidité supplémentaire. En se référant aux études bibliographiques, nous avons également pu confirmer qu'ils modifient les propriétés de surface et de compression des étoffes.

Nos objectifs étant également de caractériser l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques des étoffes textiles, nous nous concentrerons dans les parties suivantes sur la compréhension du phénomène du son et de sa perception, ainsi que de sa caractérisation.

3. Perception et caractérisation du son

Le son et le bruit sont la conséquence d'une interaction mécanique entre deux structures. Ils sont donc le résultat de la variation de pression ou d'oscillations, dans un milieu (air, eau, solide) généré par une surface vibrante. Le son est donc une vibration acoustique qui se transmet d'une source, jusqu'à un récepteur (oreille ou microphone) engendrant ainsi une sensation auditive ou un signal sonore électrique. Par contre, le bruit est une sensation qui correspond à une variation aléatoire de la pression acoustique, non désiré, voir parasite. Le bruit peut donc contenir toutes les fréquences audibles et il est subjectivement un phénomène sonore indésirable qui est à l'origine d'une sensation auditive désagréable ou inconfortable [3]. 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 [62].

3.1 Perception humaine du son

Pour pouvoir détecter les vibrations des objets qui nous entourent, notre corps humain dispose de deux oreilles (Figure 22).

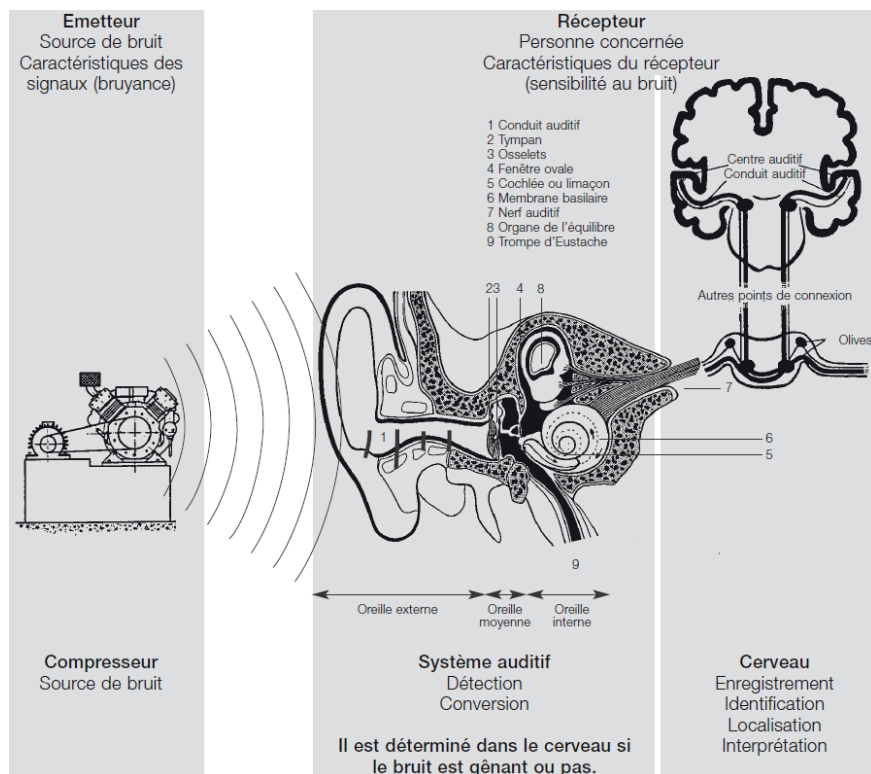


Figure 22 : Fonctionnement du système auditif humain [63]

Lorsque la perturbation (ondes mécaniques) se propage jusqu'à notre oreille, l'air qui vibre à l'intérieur va entraîner dans son mouvement, une petite membrane qu'on appelle le tympan. Le tympan va transformer l'onde acoustique en une onde vibratoire qui se propage vers l'oreille interne (Cochlée)

via la chaîne des osselets. Au niveau de Cochlée des signaux électriques sont générés et vont être envoyés jusqu'au cerveau pour lui communiquer l'information spectrale du son. Ces informations différentes vont permettre à nos cerveaux d'identifier, de reconnaître et de comprendre les différents sons de la vie quotidienne (paroles, musique, bruit de voiture etc...).

En fonction du type de vibration, notre cerveau va créer des sensations différentes. D'une part, plus la vibration est puissante, c'est-à-dire que plus les atomes vibrent avec une plus grande amplitude, plus le volume du son que l'on entend va être élevé. Si le volume devient supérieur à 85 dB [64], il peut même devenir dangereux pour l'oreille. D'autre part, plus la vibration est rapide, plus le son que l'on perçoit sera aigu. De façon analogue, une vibration lente sera perçue comme un son grave. Notre système auditif nous permet ainsi de détecter la vibration des objets qui nous entourent cependant, elles ne nous permettent pas de capter tous les sons.

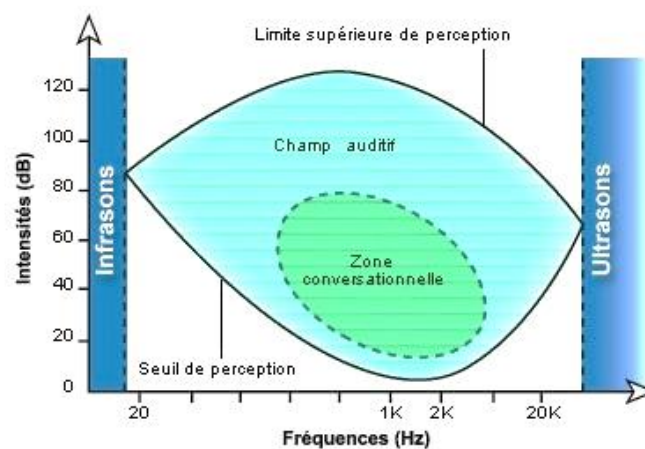


Figure 23 : Courbe audiométrique de l'oreille humaine [65]

En effet, l'oreille humaine n'est sensible qu'aux ondes sonores qui vibrent entre vingt et vingt mille fois par seconde (Figure 23), ce qui correspond à un domaine fréquentiel de [20 Hz à 20 kHz]. Cela veut dire qu'il est impossible pour nous d'entendre un objet qui vibre moins de vingt fois par seconde (ce qui correspond à 20 Hz) ; c'est ce qu'on appelle un infrason. Et à l'inverse, il nous est également impossible d'entendre un objet qui vibre plus de vingt mille fois par seconde (soit 20 kHz), ce que l'on appelle un ultrason.

3.2 Paramètres du son

3.2.1 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) [66]. L'intensité acoustique de référence, qui correspond au seuil d'audibilité est de $10^{-12} W/m^2$, tandis que l'intensité correspondant au seuil de douleur est de $1 W/m^2$ [67].

Comme l'intensité sonore est proportionnelle au carré de la pression efficace, pour des raisons pratiques, les grandeurs physiques les plus représentatives de l'énergie de l'onde acoustique sont la pression acoustique et le niveau sonore [68]. Les vibrations acoustiques dans l'air se traduisent en un point par les fluctuations rapides de la pression autour de la pression atmosphérique P_0 (pression statique). La pression acoustique efficace P_{eff} est la moyenne quadratique temporelle des pressions

acoustiques instantanées $P(t)$ de ce point, calculée sur un intervalle de temps convenable[69]. Cette pression acoustique varie dans le temps, et elle peut s'exprimer par la Équation 5.

$$P_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t P^2(t) dt} \quad \text{Équation 5}$$

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 l'Équation 6, où P_0 correspond au seuil auditif, soit $20 \mu\text{Pa}$.

$$L_p = 20 \log \frac{P_{eff}}{P_0} \quad \text{Équation 6}$$

3.2.2 Hauteur du son

3.2.2.1 Caractérisation de la hauteur

La hauteur peut être définie de différentes manières. La hauteur du son sous son aspect physique consiste à estimer l'énergie comme pour l'intensité. La hauteur du son peut être les données fréquentielles pour lesquelles un certain niveau d'intensité se révèle, pour laquelle on peut trouver le maximum du niveau sonore [70].

Le niveau sonore peut être considéré aussi comme un indicateur de distinction les sources sonores d'un point de vue acoustique, par exemple une source plus bruyante que l'autre. 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 est capable de juger si un son est faible ou fort.

3.2.2.2 Perception de la hauteur

La hauteur du son est la qualité de la sensation qui nous permet de classer les sons allant de grave à aigu. Les sons sont considérés comme graves pour des fréquences inférieures à 400 Hz. Les sons médiums sont ceux dont la fréquence est comprise entre 400 et 1600 Hz, et les sons aigus ceux dont la fréquence est supérieure à 1600 Hz. Castellengo [71] 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 correspond à la hauteur d'un son complexe qui tend à séparer les composantes 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 ou aigu qu'un autre grâce aux différentes hauteurs spectrales.

L'oreille est sensible aux variations en fréquence, 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.

3.2.3 Timbre du son

Le timbre de son permet de faire la distinction entre deux sons de même hauteur et de même intensité, quand il s'agit par exemple de distinguer deux voix humaines. Ce paramètre est assez compliqué à représenter et il faut 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 [70]. C'est une qualité subjective multi-dimensionnelle. Pour cette raison, ce paramètre ne sera pas pris en compte lors de l'analyse du bruit de friction 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 onde sonore ou signal sonore. La notion de signal sonore comme présentation des informations émises par le stimulus.

3.3 Caractérisation psycho-acoustique

La psycho-acoustique est la science qui permet de faire le lien entre les grandeurs physiques des ondes sonores mesurées par des capteurs (microphone) et la perception de celles-ci par des sujets humains. Elle étudie donc les sensations auditives [72]. Elle analyse et classe les sensations auditives et élabore des descriptifs permettant de représenter subjectivement les grandeurs de la sensation auditive produites par les signaux sonores. Elle établit donc un lien entre ces grandeurs subjectives et les grandeurs physiques connues (niveau, fréquence, durée) pour un même signal sonore [73].

3.3.1 Echelle de Bark

Des expériences et tests auditifs ont montré que l'audition humaine combine des stimuli sonores situés dans des bandes de fréquences très voisines. Ces bandes sont appelés bandes critiques [74]. La gamme des fréquences audibles a été classée par Zwicker en 24 bandes critiques sur une échelle de 0 à 24 Bark [75] comme le montre le Tableau 8.

Tableau 8 : Bandes de fréquences de l'échelle de Bark

Bande (Bark)	Fréquence (Hz)	Δ_f (Hz)	Bande (Bark)	Fréquence (Hz)	Δ_f (Hz)	Bande (Bark)	Fréquence (Hz)	Δ_f (Hz)
0	0		9	1080	160	18	4400	700
1	100	100	10	1270	190	19	5300	900
2	200	100	11	1480	210	20	6400	1100
3	300	100	12	1720	240	21	7700	1300
4	400	100	13	2000	280	22	9500	1800
5	510	110	14	2320	320	23	12000	2500
6	630	120	15	2700	380	24	15500	3500
7	770	140	16	3150	450			
8	920	150	17	3700	550			

Par exemple, prenons le Bark 11 du Tableau 8. La bande critique commence à 1270 Hz et se termine à 1480 Hz, il s'agit donc d'une bande critique de 210 Hz. Sur l'échelle des Bark, on constate que Δ_f n'est pas constant. En effet, plus on va vers les hautes fréquences, plus Δ_f est grand. Ce découpage fréquentiel est en relation avec les capacités de notre oreille de différencier les différentes fréquences. De plus, la sensibilité de notre oreille est différente pour chaque bande Bark. Ce découpage fréquentiel permettra de calculer les différents paramètres et de représenter la sensation que provoque un son.

3.3.2 Paramètres de Zwicker

L'objectif visé de la psycho-acoustique est d'identifier et de quantifier le lien entre les paramètres physiques et les sensations. Dans ce contexte, les paramètres de Zwicker [76] à savoir la sonie*, l'acuité*, la rugosité* et l'intensité de fluctuation* ont été définis afin de prendre en compte la perception humaine dans le jugement de la qualité du son.

3.3.2.1 Sonie (sone)

On appelle sonie [63] la composante de la perception auditive subjective liée à l'intensité acoustique. Cette sensation, principalement liée à la pression acoustique, nous permet de différencier un son fort d'un son faible en raison de la conversion et du traitement des stimuli acoustiques dans l'oreille et le cerveau. L'intensité sonore perçue ne dépend pas uniquement du niveau de pression acoustique. La base de l'échelle de sonie est un son pur de fréquence 1 kHz et de niveau sonore 40 dB. Chaque augmentation de 10 dB fait doubler la sonie. Un son de 1 kHz de 50 dB équivaut donc à 2 sones [76]. La mesure de la sonie est exprimée par l'Équation 7.

$$Sonie(z) = \sum_{i=0}^{24} N'(i)\Delta z \text{ sone} [76] \quad \text{Équation 7}$$

avec $\Delta z_i = 1 \text{ bark}$ et $N'(z)$

= la sonie spécifique par bande Bark qui traduit la différence de sensibilité de l'oreille

La sonie spécifique $N'(i)$ montre la distribution de la $Sonie(z)$ dans les bandes critiques. Son unité est le sone/bark[77]. La sonie totale est le résultat des valeurs de la sonie spécifique par une intégration sur le nombre de bande critique dans l'échelle de bark (de 0 à 24).

Comme nous l'avons mentionné, l'oreille humaine ne présente pas la même sensibilité pour toutes les fréquences. En effet, elle est plus sensible aux fréquences de 1 à 4 kHz. En revanche, elle est beaucoup moins sensible aux fréquences plus élevées ou plus basses, c'est pourquoi deux sons de niveaux de pression acoustique équivalents mais de fréquences différentes peuvent nous paraître d'intensités différentes. Et inversement, des sons de fréquences différentes ayant la même sonie (même perception d'intensité sonore) peuvent avoir des pressions acoustiques différentes. Pour évaluer la sonie deux échelles différentes ont été définies :

- L'échelle des « phone » qui tend à comparer un son lambda à un son pur de fréquence 1 kHz[78].
- L'échelle des « sones » basée sur l'estimation directe de l'intensité et sur la loi de Stevens [79] qui relie l'intensité physique du stimulus à la sensation d'une loi de puissance dont l'exposant (dit exposant de Stevens) varie en fonction de la nature du stimulus .

$$S = K.I^\alpha$$

Avec S l'intensité de la sensation, I l'intensité de la stimulation, K une constante et α l'exposant de Stevens.

De courbes normalisées (Figure 24) ont été établies par Fletcher et Munson [66] pour définir les sons purs qui engendrent une sensation de force sonore identique. Pour cela, des courbes isosoniques ont été définies. Un son de n phones est un son provoquant la même sensation qu'un son pur de fréquence

1kHz et de niveau sonore n dB. Chacune des courbes correspond à une sensation d'intensité équivalente quel que soit la fréquence du son.

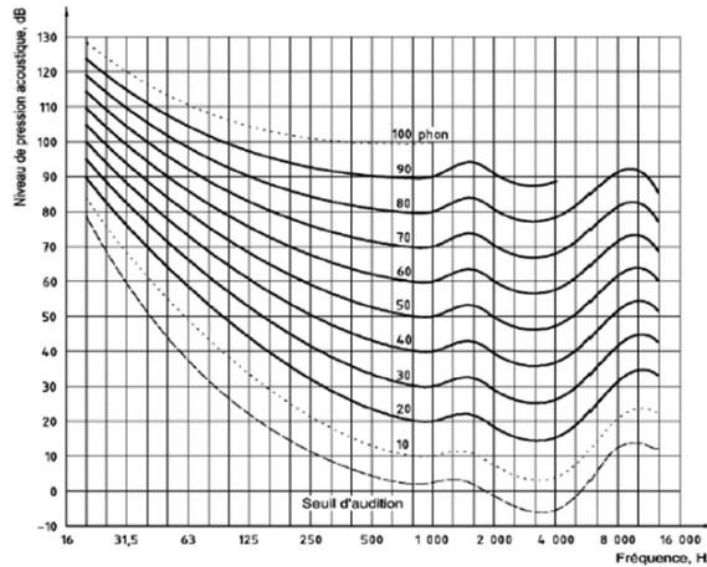


Figure 24 : Courbes isononiques

On remarque que pour des niveaux d'intensité faible, les courbes isononiques sont plus concaves [80]. En effet, il nous est plus facile de différencier deux sons de basses fréquences que deux sons dont les fréquences sont très élevées car la relation entre le niveau sonore et la sensation provoquée dépend de la fréquence du signal. De ces courbes, on a établi différentes pondérations comme la pondération en A. Cette pondération permet de restituer la sensibilité de l'oreille en fonction des fréquences où le niveau en basse fréquence est peu entendu et abaissé.

3.3.2.2 Acuité (Acum)

L'acuité* est un indicateur de la perception d'un bruit aigu quand il est principalement composé de composantes spectrales à fréquences élevées. L'acuité est un élément bien plus important dans la perception du timbre que la structure spectrale fine d'un son. Elle est déterminée par l'enveloppe spectrale du son. Elle amoindrit le caractère agréable d'un son et augmente la gêne produite [63]. L'acuité est indiquée en acum (acum signifie aigu en latin). La mesure de l'acuité est exprimée par l'Équation 8.

$$Acuité(z) = 0.11 \frac{\int_1^{24} N'(z)g(z)}{\int_1^{24} N'(z)} acum[76] \quad \text{Équation 8}$$

Avec $g(z) = \begin{cases} 1 & \text{pour } z \leq 16 \\ 0.066e^{0.171z} & \text{pour } z > 16 \end{cases}$ et $\Delta z = 1 \text{ bark}$ et $N'(z) = \text{la sonie spécifique}$

3.3.2.3 Rugosité (Asper)

Un signal harmonique (comme c'est le cas pour un bruit de frottement), dont l'amplitude est constante mais la fréquence varie en fonction de la valeur d'un autre signal, représente un signal modulé en fréquence [81].

La modulation de fréquence ou FM consiste à transmettre un signal par la modulation de la fréquence d'un signal porteur (porteuse). L'intérêt principal de ce procédé est qu'il ne provoque qu'une faible déviation (modulation) de la fréquence. Cela est dû au fait que les parasites atmosphériques provoquent une forte modulation d'amplitude par l'intermédiaire d'une atténuation variable dans le temps [82].

Lorsque la fréquence de modulation dépasse 20 Hz, la sensation de variation est perçue comme « perturbant » [76]. La rugosité* apparaît avec des signaux sonores ayant une structure temporelle prononcée en raison des modulations de fréquence et d'amplitude. Elle est nettement perceptible en particulier avec des fréquences de modulation entre 20 et 250 Hz. À cause de sa résolution temporelle limitée, l'oreille n'est pas capable de suivre des variations sonores encore plus rapides. La rugosité est influencée, outre la fréquence de modulation, par la différence de niveaux sonores. Elle est maximale avec une fréquence de modulation d'environ 70 Hz. La rugosité est indiquée en aspers [83]. La mesure de la rugosité est exprimée par l'Équation 9.

$$Roughness(z) = \sum_0^{24} R'(z)asper [76] \quad \text{Équation 9}$$

$R'(z) = \text{la rugosité spécifique}$

La rugosité spécifique $R'(z)$ montre la distribution de la *rugosité* (z) dans les bandes critiques. Son unité est le asper/bark [77]. La rugosité totale est le résultat des valeurs de rugosité spécifique par une intégration sur le taux de bande critique (de 0 à 24).

3.3.2.4 Intensité des variations (vacil)

Des variations périodiques ou des grandeurs d'amplitude sont perçues différemment selon la fréquence de modulation. Jusqu'à cinq variations par seconde, l'ouïe est capable de suivre avec précision les fluctuations d'amplitude* et hauteurs de tons (tonie) mais aussi de percevoir les différences d'intensités sonores et de tonies. Au-delà de cinq variations par seconde, l'ouïe rencontre davantage de difficultés, car elle perçoit des stimuli auditifs jusqu'à environ 200 ms. Elle peut percevoir une variation jusqu'à des fréquences de modulation de 20 Hz. Elle est indiquée en vacils (vacillare signifie osciller en latin) et est maximale à 4 Hz [63]. Le calcul de de l'intensité de fluctuation est exprimée par l'Équation 10.

$$Intensité\ de\ fluctuation(z) = \sum_0^{24} F'(z) vacil [38] \quad \text{Équation 10}$$

$$avec\ F'(z) = \frac{0.032\Delta L(z)}{\frac{f_{mod}(z)}{4} + \frac{4}{f_{mod}(z)}}$$

$$\Delta l = 20 \log \left(\frac{N'(1)}{N'(99)} \right), \text{ et } f_{mod} = \text{fréquence de modulation}$$

$$\text{et } \Delta z = 1 \text{ bark et } N'(z) = \text{la sonie spécifique}$$

3.3.3 Caractérisation psycho-acoustique du bruit de frottement

Dans cette partie, l'étude des effets de traitements de surface sur la perception humaine du bruit de frottement des étoffes textiles est développée. La synthèse s'intéresse uniquement aux interprétations des résultats dans les études ayant abordé ce sujet.

Les chercheurs J. Cho *et al.* [76] ont quantifié les caractéristiques du bruit de frottement de huit étoffes différentes. Les bruits de frottement ont été ajusté au même niveau sonore parallèlement avec une analyse subjective afin d'obtenir les paramètres acoustiques affectant les sensations auditives pour un niveau sonore donné. Ils ont constaté que la sonie doublait approximativement à chaque augmentation de 10 dB et que l'intensité de fluctuation augmentait considérablement lorsque le niveau sonore passait de 40 à 50 dB. Avec l'augmentation du niveau sonore, le bruit de frottement de tissu sont perçus négativement comme plus durs, plus forts, plus aigus et moins agréables.

Dans le domaine sportif, E. Jin *et al.* [84] ont examiné les caractéristiques sonores de tissu de kimonos. Ils ont montré que le niveau sonore variait de 71 dB à 83,1 dB et augmentait avec la vitesse de frottement. La sonie était perçue comme étant psychologiquement plus forte à mesure que la vitesse de friction augmente tandis que l'acuité avait une valeur significativement plus faible à mesure que la vitesse de friction augmente. En ce qui concerne la rugosité du bruit e frottement, celle-ci ne s'est pas révélée significative mais le bruit s'avère être plus élevée donc perçu comme plus perturbant. Il a également été montré que l'intensité de fluctuation a tendance à augmenter de manière significative avec la vitesse de frottement.

J. Lee *et al.* [85] ont dans leur étude tenter de trouver les conditions de performances de camouflage d'un point de vue sonore par le biais de l'analyse des relations entre les propriétés mécaniques des tissus (le coefficient de frottement MIU), les caractéristiques sonores (*loudness* donc la sonie) et les distances audibles. La Figure 25 définit le protocole d'essai pour la mesure de la distance audible. Pour cela, le participant s'éloigne du point de départ en ligne droite jusqu'à ce qu'il ne puisse plus détecter le bruit, à partir de ce point la distance entre le point de départ et le point d'arrêt est mesurée et détermine ainsi la distance audible.

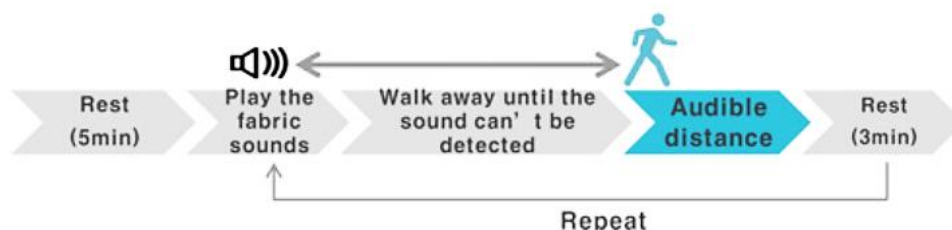


Figure 25 : Protocole d'essai pour la mesure de la distance audible[85].

Il a été démontré à travers cette étude que le coefficient de frottement et la sonie sont les variables affectant le plus la distance audible. Des modèles de prédiction pour évaluer la distance audible des tissus par leurs propriétés mécaniques et psycho acoustiques ont été établis comme le montre le Tableau 9 page suivante.

Tableau 9 : Modèles de prédiction de la distance audible des tissus d'uniformes de combat [85]

Modèle de prédiction : Y= audible distance	Adj. R ²
$Y = 60811,352 MIU^2 - 17447,003 MIU + 1255,777$	0,657
$Y = 0,287 loudness(z)^2 - 3,875 loudness(z) + 14,530$	0,681
Avec $loudness(z) = 7246 MIU^2 - 2159,108 + 14,530 MIU + 171,533$	0,453
$Y = 2,285 loudness(z) - 261,934 MIU + 20,534$	0,825

L'objectif de l'étude de E. Lee *et al.* [86] est d'étudier la relation entre les sensations subjectives et les propriétés sonores du frottement d'un tissu destiné à des applications militaires. Ce tissu a été traité par un matériau à changement de phase (MCP). Le MCP a été appliqué avec deux concentrations différentes (8 et 16 %) à la même température de réticulation de 113 °C. Pour évaluer la sensation auditive subjective des porteurs, cinq paires de descripteurs ont été sélectionnés conformément à une précédente étude [87] pendant laquelle la perception sensorielle du son a été étudiée. Ces descripteurs sont les suivants *Loud-Quiet*, *Sharp-Smooth*, *Rough-Soft*, *Awkward-Comfort*, et *Unpleasant-Pleasant*. Les résultats de l'étude ont montré qu'il y a des corrélations négatives (comme le montre le Tableau 10) entre le niveau sonore, la sonie et le descripteur *Loud-Quiet*, ainsi qu'entre la rugosité et le descripteur *Rough-Soft*. Cela signifie que lorsque les valeurs de la sonie et de la rugosité augmentent, les utilisateurs pourraient ressentir les sons plus forts et les percevoir comme plus rugueux. Le descripteur *Sharp-Smooth* présente aussi une corrélation négative avec l'acuité de telle sorte que le bruit est perçu aigu. Les auteurs (Tableau 10), ont déduit qu'il y a des tendances similaires entre les paramètres sonores objectifs et les résultats de l'analyse subjective.

Tableau 10 : Coefficients de corrélation entre les sensibilités auditives subjectives et les paramètres sonores [86]

	Loud-Quiet	Sharp-Smooth	Rough-Soft	Awkward-Comfort	Unpleasant-Pleasant
SPL	-0,002	-0,127	0,006	-0,051	-0,737**
Loudness (Z)	-0,010	-0,119	-0,028	-0,046	-0,605*
Sharpness (Z)	-0,066	-0,771**	-0,148	0,147	-0,166
Roughness (Z)	-0,174	-0,082	-0,086	-0,174	0,109
Fluctuation Strength (Z)	0,062	0,029	-0,038	-0,090	0,076

*P<0,05 ; **P<0,01

Lors de ses travaux de recherche Chai [88] a étudié un tissu ayant une enduction polyuréthane et un tissu laminé avec un film de polyuréthane. L'objectif était de regarder l'effet de ces deux types de matériaux sur la sensation subjective du bruit de frottement généré par les mouvements lorsque le vêtement est porté. Des différences significatives ont été observées en termes de sonie et d'acuité. Ces deux paramètres sont plus élevés pour le bruit de frottement du tissu enduit que du laminé. L'auteur a également constaté que dans le cas de l'enduction, plus la couche d'enduction est importante, plus le niveau sonore et l'acuité seront élevés.

Lors de son étude Soomin Cho *et al.* [89] ont quantifié les caractéristiques du bruit de frottement des tissus hydrofuges. L'hydrofugation des tissus a été obtenue par enduction d'un tissu 100 % polyester (armure chevron) avec un film de nanofibres de polyuréthane ou bien d'un film de nanofibres de polytétrafluoroéthylène (PTFE). Les mesures ont été effectuées pour plusieurs types de vitesses (marche, jogging et course). L'objectif principal est de comprendre la relation entre les caractéristiques sonores et les propriétés mécaniques du tissu afin d'identifier les facteurs qui affectent le bruit de frottement. L'analyse des résultats montre que le bruit de frottement des tissus enduits avec des fibres de polyuréthane ont un niveau sonore, une sonie et une rugosité significativement plus faibles que les tissus enduits avec des fibres de polyuréthane. Ainsi selon les auteurs, la méthode de dépôt des nanofibres est un moyen efficace de réduire le bruit de frottement des tissus hydrofuges. Cependant, l'acuité et l'intensité de fluctuation ne présentent pas de différences significatives mais les caractéristiques varient en fonction de la vitesse de déplacement. Ces caractéristiques seraient donc contrôlées par les niveaux de vitesse.

Les propriétés mécaniques ont aussi été mesurées par la chaîne de mesure de Kawabata (traction, état de surface, compression et flexion). La comparaison des propriétés mécaniques montre que les tissus enduits avec des fibres de polyuréthane avaient une rigidité en flexion significativement plus faible, et des valeurs plus faibles de rigidité en cisaillement, d'énergie de compression et de masse surfacique que les tissus enduits avec des nanofibres de PTFE.

Ces distinctions ont influencé les caractéristiques sonores et ont donné lieu à un bruit de frottement différent entre les deux types d'enduits cités dans cette étude. Les facteurs influençant le niveau sonore et la sonie sont la résilience de compression, le grammage de nanofibres déposés et les vitesses de frottement. Selon les auteurs, les bruits de frottement des tissus hydrofuges peuvent être minimisés en contrôlant les propriétés mécaniques des tissus et notamment la résilience de compression et le grammage du revêtement en nanofibres.

Dans ce paragraphe, nous nous sommes intéressés à la perception psycho-acoustique du bruit de frottement des étoffes textiles. L'approche de caractérisation par l'étude des paramètres psycho-acoustiques n'a pas été utilisée dans les travaux antérieurs menés dans notre laboratoire. J'ai donc décidé de l'appliquer pour mes travaux car elle permet d'introduire la notion de perception du son, ce qui est intéressant puisque nous souhaitons comparer ces résultats avec l'analyse sensorielle en faisant intervenir le facteur humain et aussi dans la perspective d'augmenter nos connaissances sur ce sujet. Dans la partie suivante, nous présentons l'approche classique d'analyse du signal sonore souvent nommée analyse instrumentale.

3.4 Caractérisation instrumentale des signaux sonores

Puisque le son et le bruit ont pour 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. L'ensemble des paramètres caractérisant les bruits, notamment le niveau sonore, est obtenu après analyse des signaux. Dans ce paragraphe, nous allons exposer les principes des méthodes d'analyse des signaux sonores.

3.4.1 Analyse spectrale

Un signal sonore analogique décrit le comportement temporel d'une onde continue selon son amplitude, sa période ou sa fréquence et sa phase. L'analyse spectrale sert à déterminer la composition fréquentielle de ce signal sonore, c'est-à-dire la distribution de l'énergie du signal sur l'ensemble des bandes de fréquence. On présente un diagramme de l'amplitude en fonction de la bande de fréquence afin d'identifier les domaines fréquentiels prépondérants. On peut en distinguer deux types différents :

- Avec Δf constant, ce qui signifie que l'on utilise toujours la même largeur de bande, par exemple des bandes de 1Hz [2]
- Avec $\Delta f/f$ constant, ce qui permet une analyse plus précise car le diagramme prend en compte la sensibilité de l'oreille humaine. Avec ce principe, le spectre est divisé en bandes de fréquences de largeurs variables (par bandes d'octave, de tiers d'octave, etc...).

On peut remarquer que l'échelle des Bark n'est pas une échelle constante puisqu'en basse fréquence Δf est constant et en haute fréquence c'est $\Delta f/f$ qui est constant. C'est donc un mixte des deux échelles.

La représentation d'un spectre du domaine temporel dans un domaine fréquentiel nécessite un calcul de changement de base réalisé par une transformation de Fourier.

3.4.1.1 Transformation de Fourier

Le théorème formulé par J. Fourier stipule que "sous certaines conditions de dérivation et de continuité, tout signal à temps continu $s(t)$ périodique de période T_0 peut s'écrire sous la forme d'une somme de signaux sinusoïdaux".

Cette somme de fonctions peut être écrite sous une forme trigonométrique réelle (Équation 11). La fonction $s(t)$ peut être considérée comme la somme d'un terme constant a_0 et d'un nombre infini de termes sinusoïdaux appelés harmoniques de rang n .

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t \quad \text{Équation 11}$$

$$\text{Avec } t = \frac{2\pi}{\omega}$$

Il existe aussi une expression complexe (Équation 12) pour le théorème de Fourier sous forme complexe, on obtient alors une décomposition :

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} c_n e^{in\omega t} \quad \text{Équation 12}$$

Les coefficients de Fourier C_n s'expriment selon l'Équation 13.

$$C_n(f) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} f(u) e^{-2i\frac{nu}{T}} du \quad \text{Équation 13}$$

Le passage de l'analogique au numérique consiste en deux étapes successives : l'échantillonnage et la conversion analogique-numérique (CAN) [90]. Cependant, avant d'appliquer la transformation de Fourier au signal, celui-ci doit être échantillonné et observé à travers une certaine fenêtre temporelle.

3.4.1.2 Echantillonnage

L'échantillonnage consiste à transformer un signal analogique continu en signal numérique discret en capturant des valeurs à un intervalle de temps régulier. La fréquence à laquelle les valeurs sont capturées est la fréquence d'échantillonnage exprimée en Hz. Par exemple, une fréquence d'échantillonnage de 44 100 Hz (fréquence d'échantillonnage pour les CD audio de musique) s'interprète par la valeur de 44 100 échantillons par seconde. La résolution fréquentielle Δf et la période d'échantillonnage T_e sont inversement liées comme le montre l'Équation 14.

$$\Delta f = \frac{1}{T_e} \quad \text{Équation 14}$$

L'échantillonnage d'un signal temporel consiste à le multiplier par une suite d'impulsion de Dirac de période T_e . Si la fréquence d'échantillonnage n'est pas bien choisie, un phénomène de repliement du spectre peut se produire.

Ce problème apparaît avec la transformée de Fourier lors du passage de l'espace temporel à l'espace fréquentiel. C'est pour cela que la fréquence d'échantillonnage doit être bien choisie, suffisamment grande pour restituer correctement la totalité des informations transportées par le signal analogique. Afin d'éviter les repliements spectrales, il faut respecter le théorème de Shannon[91] : « la fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale au double de la fréquence maximale du signal analogique. ». Dans ces conditions le signal pourrait être reconstruit dans son intégralité.

3.4.1.3 Analyse d'1/nième d'octave

Le signal à analyser est divisé en fractions de signal par une série de filtres numériques avant de déterminer le niveau. La série de filtres est composée de plusieurs filtres d'une largeur d'1/nième d'octave combinés en parallèle. Un filtre d'octaves est un filtre dont la fréquence limite supérieure est respectivement égale au double de la fréquence limite inférieure et les filtres d'1/3 d'octave divisent les bandes d'octaves en trois autres parties [92].

Les filtres d'1/nième d'octave, n'ont donc pas de largeur de bande absolue, mais une largeur de bande constante relative (Figure 26).

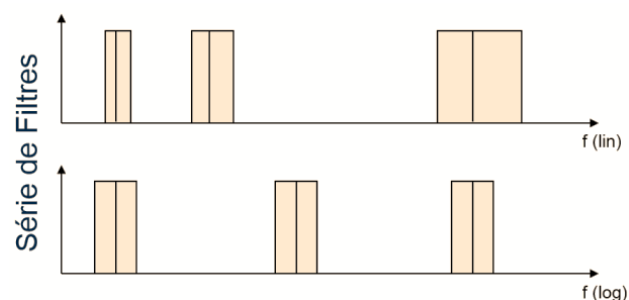


Figure 26 : Représentation schématique de la largeur de filtre sur une échelle fréquentielle linéaire et une échelle logarithmique [92]

Les bandes de fréquence sont équidistantes sur une échelle fréquentielle logarithmique. Reportée sur une échelle fréquentielle linéaire, la largeur du filtre augmente de manière logarithmique (Figure 26). Pour calculer la fréquence centrale de chaque bande d'1/nième d'octave, on utilise la relation suivante : $f_{i+1} = \sqrt[n]{2} \cdot f_i$ en commençant par la fréquence milieu de 1 kHz (donc $\Delta f / f = \sqrt[n]{2} = 2^{\frac{1}{n}}$).

3.4.1.4 Caractérisation instrumentale du bruit de frottement

Dans cette partie, nous nous intéressons aux travaux de recherche qui se sont focalisés sur l'étude des propriétés du bruit de frottement des étoffes textiles. Il en ressort que le bruit peut se caractériser de façon objective par des mesures instrumentales.

Comme dans la partie 1. Etude du bruit de frottement étoffe contre étoffe page 18, Walter *et al.* [93] ont utilisé un dispositif de mouvement rotatif pour froter des étoffes et des fibres en laine. Dans une seconde étude [5], ils ont étudié l'effet de l'enduction d'une fine couche fine de polyamide 6,6 sur la surface d'un tissu en laine. Ils ont observé que le niveau sonore augmente avec l'enduction. L'étude a également prouvé que le niveau sonore augmente avec la diminution de la torsion. En effet, les fils ayant une torsion plus élevée sont plus compacts et ont un diamètre plus petit ce qui, après tissage, engendre un tissu plus fin, moins épais et qui produit donc moins de son.

Le traitement d'hydrofugation par enduction a fait l'objet d'une étude par Y. Yang *et al.* en 2009 [94]. Par des analyses de mouvement de trois volontaires, les vitesses de frottement entre le bras et le tronc en fonction de l'activité (marche, jogging et course) ont été déterminées. Le bruit de frottement de trois tissus en polyamide 6,6 destinés à des articles de sport a été analysé selon les conditions définies précédemment. Les valeurs de niveau sonore varient de 74,4 dB à 79,0 dB, ce qui indique que les bruits de frottement simulés dans des conditions semblables à la vie réelle sont importants. Les valeurs moyennes de la sonie sont de 8,9 sones à la marche, 7,6 sones au jogging et 4,3 à la course, ce qui signifie selon les auteurs que nos vêtements en se frottant font plus de bruit en jogging et à la marche que lorsque nous courons. Les auteurs admettent que les résultats de leur étude peuvent être utiles pour étudier les sensations subjectives.

Y. J. Yang *et al.* [95], ont examiné les caractéristiques acoustiques et mécaniques de la friction de tissus hydrophobes et ils ont étudié la relation entre elles. Ils ont observé que le tissu nylon laminé présente une valeur de niveau sonore plus faible de 10 dB que celui de tissu enduit. De ce fait, le laminage présenterait un avantage par rapport à l'enduction dans l'optique de réduire le bruit de frottement des étoffes. Par étude de corrélation à l'aide du progiciel statistique SPSS, ils ont montré que le niveau sonore est positivement corrélé à l'allongement, la rugosité de surface et l'épaisseur de l'étoffe.

Dans une autre étude, I. Kim *et al.* [96] ont suggéré des conditions de traitements optimales pour minimiser le bruit de frottement du tissu et maximiser le stockage de la chaleur pour un tissu de combat traité avec des matériaux à changement de phase. Ici, les MCP utilisés étaient des microcapsules synthétisées par polymérisation in situ, composées d'octadécane comme matériau de base et de mélamine formaldéhyde comme matériau de paroi. Les variables indépendantes étaient la concentration de MCP (6, 12, 18, 24, 30%) et la température de réticulation (95, 100, 105, 110, 115°C). Ils ont prouvé que le degré d'augmentation du niveau sonore de l'échantillon traité variait de 1,84 à 8,98 %, ce qui démontre bien que le traitement a rendu le bruit de frottement du tissu plus fort.

Les analyses ont abouti à des conditions de traitement optimales pour minimiser le bruit de frottement et maximiser les propriétés de stockage et de libération de chaleur, soit une concentration de 15,9 % et une température de réticulation de 113,6 °C.

En conclusion de cette partie, on peut signaler l'importance de l'approche instrumentale pour la compréhension de l'effet des traitements de surface sur le bruit de frottement des étoffes textile. Nous allons nous intéresser dans le paragraphe suivant à la compréhension d'une autre approche d'analyse faisant intervenir d'une manière directe les sens de l'être humain lors de la caractérisation. Cette approche est connue sous le nom d'analyse sensorielle.

4. Caractérisation sensorielle

L'analyse sensorielle est une science initiée dans les années 1950 qui permet de caractériser les produits avec les sens de l'Homme [97]. Elle consiste à étudier de manière ordonnée et structurée les propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens (Tableau 11) afin de pouvoir le décrire, le classer ou l'améliorer [98].

Tableau 11 : Stimulus et organe récepteur du système sensoriel

Système sensoriel	Stimulus	Organe récepteur	Sensation
Vision	Photons	Rétine	Forme, couleur, etc.
Olfaction	Molécule en phase gazeuse : ortho nasale, rétro nasale	Muqueuse olfactive	Odeur ou bien arômes
Goût	Molécules en suspension dans la salive	Bourgeons gustatifs de la langue	Saveurs : sucré, acide amer, etc.
Toucher (sensibilité tactile et thermique)	Contrainte mécanique ou chaleur	Peau et muqueuses	Rugosité, élasticité, dureté Chaud/froid Piquant, brûlant, irritant
Audition	Vibration de l'air Vibration osseuses	Cochlée : oreille interne, cellules ciliées	Craquant, cassant, croustillant, pétillant

La caractérisation instrumentale apporte de l'information sur le signal sonore (spectre sonore, signature acoustique, niveau sonore...). Les études psycho-acoustiques de la perception auditive sont aussi des paramètres mesurables.

La perception du son par l'écoute et la prise en compte des dimensions physiologiques du fonctionnement de l'oreille semble aussi une approche pertinente pour décrire le son. C'est la raison pour laquelle l'analyse sensorielle sonore pour cette étude est essentielle pour évaluer le bruit de frottement des étoffes textile.

Selon F. Leclanche [3], les traitements de surface modifient le toucher de la surface textile et donc les bruits de frottement des étoffes. C'est pour cela qu'au cours de cette étude, une analyse sensorielle sonore va être effectuée en parallèle d'une analyse sensorielle tactile. Puis, nous ferons le lien entre les deux études afin de mettre en avant les liens ou corrélations existants entre l'ensemble des paramètres obtenus.

4.1 Méthodes d'analyse sensorielle

En pratique, la réponse sensorielle peut être soit verbale, soit écrite ou bien comportementale. Elle rend compte de la perception d'un stimulus ce qui entraîne physiologiquement un traitement par les centres nerveux spécialisés de l'information provenant des organes récepteurs suite à leur excitation par le système nerveux. En fonction de l'objectif et de la nature du produit, la méthode d'analyse ne sera pas la même. Il existe l'analyse sensorielle objective et l'analyse subjective (hédonique).

L'analyse sensorielle objective peut être discriminative. Ce type d'analyse donne un aperçu global des différences entre les produits sans entrer dans le détail de la caractérisation sensorielle des produits. Elles sont simples à mettre en œuvre et font appel à des sujets qui peuvent être peu entraînés. Parmi les outils utilisés pour étudier la discrimination des sujets, on cite le test du triangle [97] et la comparaison par paires avec le modèle de Bradley-Terry [99]. L'analyse sensorielle objective peut aussi être descriptive. L'objectif dans ce cas est de mettre en évidence les ressemblances et les différences entre les produits et d'évaluer l'intensité des descripteurs les caractérisant [97].

L'analyse sensorielle subjective est le plus souvent connue sous le nom d'analyse consommateur. Le service recherche et développement peut choisir de mener une étude de consommateur lors du développement d'un produit ou lors de son optimisation [100] dans le but d'évaluer son acceptabilité par les consommateurs.

Étant donné que l'analyse sensorielle objective et discriminative, elle permet d'évaluer seulement les similitudes et les différences entre produits [3] seule la méthode descriptive connue sous le nom de l'analyse des profils sensoriels nous sera utile pour les analyses sensorielles sonore et tactile qui seront menées dans ce travail.

4.2 Analyse objective quantitative

Il existe différents types d'analyse de profil sensoriel, comme la méthode du spectre, la méthode des profils libres et l'analyse descriptive quantitative souvent connue sous l'appellation de profil sensoriel conventionnel. Dans ce paragraphe nous nous intéressons à la présentation de la méthode de profil sensoriel conventionnel.

4.2.1 Protocole de l'établissement d'un profil sensoriel conventionnel

L'établissement de profils sensoriels conventionnels repose notamment sur la norme NF ISO 11035 [101] qui détaille les étapes clés de ce protocole. Celui-ci peut être résumé par la Figure 27. Lorsque l'ensemble des étapes a été réalisé, les sujets peuvent alors évaluer les produits.

Une fois les descripteurs définis, il faut choisir la façon avec laquelle ils vont être mesurés. Les attributs sensoriels peuvent être mesurés sur différentes échelles [103].

- Echelle CATA (binaire) : les juges cochent simplement la présence ou l'absence des attributs dans les produits. Ce principe permet aux consommateurs non-experts mais représentatifs du marché réel de participer à l'expérience.
- Echelle Just About Right (JAR) : généralement une échelle de 3 ou 5 points où le point médian est le plus désirable. L'exemple typique d'une échelle JAR peut être la suivante : pas assez salé – juste ce qu'il faut - trop salé. Ce principe permet une optimisation plus fine des produits.

- Echelle quantitative (numérique) : typiquement, des échelles de Likert à 5, 7 ou 9 points, ou une échelle non-structurée. Le grand avantage de l'échelle quantitative est qu'elle donne des résultats plus précis. L'inconvénient est qu'elle nécessite un entraînement plus important du panel.

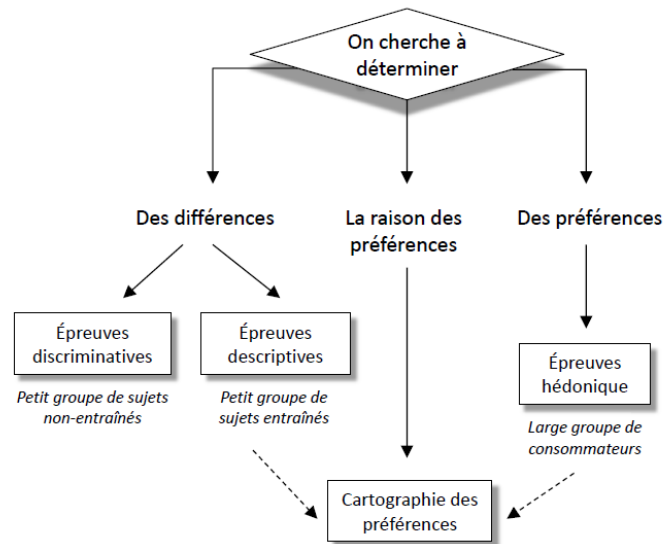


Figure 27 : Schéma méthodologique des principes de recherche et de sélection des descripteurs en vue de l'établissement de profils sensoriels conventionnels [102]

Dans notre travail, nous avons mis en place une évaluation monadique des produits et une échelle linéaire non structurée. Cette échelle fournit au sujet un nombre infini d'endroits pour indiquer l'intensité relative d'un attribut tel qu'il l'a perçu, et permet d'éliminer les sources de biais comme d'éviter les connotations négatives ou bien positives en simplifiant le choix. Cependant, ce type d'échelle implique une phase d'entraînement très approfondie pour arriver à des résultats représentatifs et statistiquement fiables [104].

4.2.2 Sélection des panélistes

L'analyse sensorielle quantitative est réalisée par un ensemble d'évaluateurs aussi appelés panélistes. Selon son expérience en matière d'évaluation des attributs sensoriels, le panéliste est considéré selon la norme NF EN ISO5492[105] comme étant :

- Naïf : n'ayant jamais été évaluateur
- Initié : ayant déjà participé à un essai sensoriel
- Qualifié : il est choisi pour son aptitude à effectuer un essai sensoriel
- Expert : il est capable de réaliser de façon fiable l'analyse sensorielle sur divers produits, autrement dit c'est une personne expérimentée

Qu'il soit recruté en interne ou en externe de l'enseigne (laboratoire ou bien entreprise), le panéliste doit être motivé et avoir une bonne acuité sensorielle concernant le sens en question [2].

4.2.3 Elaboration de la liste des descripteurs

La procédure d'élaboration de la liste des descripteurs est régie par la directive de la norme NF ISO 10035 [101]. Il faut passer par cinq étapes afin d'arriver à une liste cohérente : recherche du plus grand nombre de descripteurs, puis tri qualitatif et quantitatif, tri statistique (afin de former une liste d'environ une quinzaine de descripteurs). A la suite de cela, une phase d'entraînement est nécessaire pour s'assurer de l'objectivité de la démarche.

En ce qui concerne la liste des descripteurs sonores, nous avons décidé de travailler avec la liste déjà établie par Y. Khaldon dans ses travaux [2]. Cette liste a de nouveau été réduite en se basant sur les résultats du travail de F. Leclinche [3]. De façon similaire, pour l'analyse sensorielle tactile, nous avons utilisé la liste de descripteurs établie dans les travaux de F. Philippe [106] et utilisée par S. Ben Said [107] et W. Abbas[108].

4.2.4 Entraînement du panel

Pour une analyse sensorielle descriptive et quantitative, un panel de qualité doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Les juges doivent être en accord avec eux-mêmes, c'est-à-dire que les évaluations de chaque panéliste doivent être répétables d'une session à une autre
- Les juges doivent discriminer les produits
- Les juges doivent être en accord les uns avec les autres

La fiabilité du panel sera donc évaluée par la vérification de ces trois performances : la répétabilité des panélistes, leur pouvoir de discrimination et l'homogénéité des réponses du panel. Nous allons détailler le principe de contrôle de ces critères.

4.2.4.1 Répétabilité des panélistes

Les panélistes doivent être en accord avec eux-mêmes, c'est-à-dire que les évaluations de chaque panéliste doivent être similaires d'une session à une autre. L'entraînement peut être long et demander de nombreuses étapes. D'après Stone et Sidel, quatre répétitions sont suffisantes pour obtenir une bonne répétabilité [3]. La répétabilité peut être évaluée au niveau individuel mais aussi au niveau du panel. La répétabilité du panel correspond à la moyenne de répétabilité individuelle de chaque panéliste.

On peut procéder à une analyse à un facteur produit (ANOVA) pour la mesure de la répétabilité des panélistes. L'ANOVA permet de déterminer l'erreur résiduelle c'est-à-dire l'écart entre deux séances d'évaluation sensorielle. L'erreur est définie par l'Équation 15.

$$\xi = \sqrt{\frac{CMR_{intra}}{\bar{X}}} \quad \text{Équation 15}$$

Avec CMR_{intra} représentant le carré moyen résiduel dû à l'effet produit. C'est la somme des variances entre les produits pour un descripteur évalué pendant deux séances. \bar{X} est la moyenne des notes données par un panéliste pour un descripteur donné entre deux séances successives.

Un seuil d'erreur égal à 1 peut être fixé. Si l'erreur mesurée est supérieure à 1, le panéliste sera considéré comme non répétable.

4.2.4.2 Pouvoir de discrimination

Le pouvoir discriminant d'un panéliste est sa capacité à détecter la différence entre les produits. Mais un panéliste peut être répétable sans être discriminant, en effet il peut donner lors de chacune des sessions, et ce pour tous les produits la note de zéro à un descripteur donné. Dans ce cas, il sera répétable mais ne différenciera pas les produits.

Une ANOVA à un facteur produit est utilisée pour juger ce critère. La probabilité du facteur (P-value) permet de renseigner sur l'existence d'une différence significative entre deux produits. Généralement, on peut fixer un seuil de 5 ou 10 % [3]. Si pour un descripteur donné la p-value calculée est supérieure au seuil fixé, on peut considérer que le panéliste ne différencie pas les produits.

4.2.4.3 Homogénéité des réponses

L'homogénéité des réponses se traduit par en accord des panélistes les uns avec les autres. Cette performance peut être mesurée en utilisant une ANOVA à deux facteurs, produit et sujet. On s'intéresse à la valeur F de Fisher qui renseigne sur la présence de désaccord entre les sujets. En la comparant au seuil de significativité fixé (5 ou 10%) [3], nous pouvons en tirer la conclusion de l'accord du panel ou non. On considère que l'interaction n'est pas significative si $p > 0,10$ ou $0,5$ alors le désaccord entre les panélistes est négligeable.

4.3 Application de la caractérisation sensorielle sonore

La majorité des applications de l'analyse sensorielle concernent le domaine agro-alimentaire pour répondre au besoin d'évaluation des désirs des consommateurs pour tel ou tel produit. Dans le domaine textile, l'analyse sensorielle s'applique souvent à l'évaluation du toucher néanmoins, il y a une prise de conscience croissante concernant le fait que le son du tissu est l'un des aspects clés de la détermination des performances, qu'elles soient esthétiques ou fonctionnelles.

Dans le domaine acoustique, l'analyse sensorielle est utilisée pour juger la qualité sonore des objets. Par exemple dans le domaine alimentaire, Dacremont [109] a analysé le son de mastication de nourriture et la perception du son émis en fonction de leur texture : *croustillant*, *craquant*, et *croquant*. Les travaux de caractérisation 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 [110].

Dans le domaine textile, la première étude menée pour refléter l'influence du bruit de frottement des étoffes sur la sensation de l'homme a été faite en 2001 par J. Cho *et al.* [111]. Dans ces travaux, il a été prouvé qu'un bruit de frottement d'étoffe d'amplitude importante peut générer une sensation négative pour les porteurs du vêtement. L'étude a été faite grâce à 10 étudiants qui ont testé différentes étoffes commerciales. La réaction émotionnelle des sujets a été mesurée grâce à la mesure physiologique d'électroencéphalogrammes (EEG) et de l'activité du système nerveux autonome.

Y. Yang *et al.* ont examiné la sensation subjective du bruit de frottement pour différentes vitesses de mouvement (marche, jogging ou bien course) en portant de vêtements de sport [112]. La caractérisation subjective des bruits de frottement a été évaluée sur une échelle sémantique pour les descripteurs *noisy*, *loud*, *sharp*, *rough*, *hard*, *variable*, *boring* et *unpleasant*. Après analyse des données,

le bruit de frottement généré en vitesse jogging a été jugé comme étant le plus bruyant et le plus désagréable contrairement à celui de la course qui est perçu comme le moins bruyant et le moins rugueux.

Dans une étude plus récente [76], J. Cho et G. Cho 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. 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.

G. Cho *et al.* [113] ont comparé le bruit de frottement d'étoffes commerciales en polyester, en soie et en laine en utilisant une échelle différentielle sémantique comprenant les termes suivants : *softness, loudness, sharpness, clearness, roughness, highness* et *pleasantness*. Les étoffes en laine provoquent la même sensation chez les sujets, tandis que les étoffes en polyester provoquent une sensation différente. Le bruit de l'étoffe en soie est perçu comme un bruit doux et plaisant.

Na *et al.* [114] ont tracé le profil sensoriel, sur une échelle allant de 0 à 5, des réponses auditives des sujets. 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 ». Il est à noter que pour toutes ces études les panélistes étaient non-entraînés et qu'aucune échelle réelle n'a été définie.

Pour évaluer les bruits de frottement des étoffes textiles K. Yosouf [115] [116] a appliqué le protocole de la méthode de l'Analyse Descriptive Quantitative. Onze panélistes ont été choisis pour l'entraînement. Les performances des panélistes (répétabilité, pouvoir de discrimination et homogénéité des réponses) ont été contrôlées pour toutes les conditions. Une liste descriptive de 15 termes, qui sont *grave-aigu, lent-rapide, monotone-polyphonique, homogène-disharmonique, peinant-énergique, sourd-intensif, rythmé, grattage, sciage, abrasif, grinçant, chuintant, couinant, sifflant et résonnant* a été établie. Les écoutes ont été faites dans des conditions identiques en utilisant un casque dans une salle isolée.

L'analyse a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les bruits de la marche et la course des armures satin 5 et chevron. Ce bruit a été décrit *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.

En marche et course, l'armure toile présente un profil sensoriel très similaire à celui des armures chevron et satin 5 avec une différence significative entre les deux vitesses. Pour la vitesse de marche, le bruit de frottement est perçu comme un bruit plus *intensif, plus énergique, plus rapide, plus polyphonique, plus disharmonique* et le plus *sciante*. Pour la course, celui-ci est le plus *rapide* et le plus *grave*.

Le bruit de l'armure sergé 3 a été décrit comme un bruit *disharmonique* pour les deux vitesses de frottement. Il est perçu de façon très similaire au bruit de l'armure sergé 4 pour le descripteur

monotone-polyphonique pour la vitesse de course. Concernant le bruit de l'armure crêpe, il a été perçu comme étant le bruit le plus *aigu* pour la vitesse de marche alors qu'en course c'est le bruit du sergé 4 qui a été décrit comme le plus *aigu*.

Finalement, K. Yosouf a remarqué que les résultats obtenus par l'analyse sensorielle du signal sonore des étoffes confirment les résultats obtenus par le traitement du signal. En termes de perspectives, il propose d'étudier l'influence des traitements de surface sur le signal sonore de l'étoffe en proposant d'identifier le type de traitement qui donnerait lieu à un minimum de frottement et donc à un minimum de bruit généré.

F. Leclinche [117] a également mené une analyse sensorielle dans le cadre de l'étude de l'influence de l'usure par abrasion et par lavage sur le bruit de frottement des étoffes. L'étude a été effectuée en appliquant le protocole de la méthode de l'Analyse Descriptive Quantitative avec un panel entraîné et en reprenant la liste de descripteurs établie par K. Yosouf [115], [116]. Il a été constaté que dans un premier temps les panélistes différencient plus facilement et de façon significative deux bruits générés par deux étoffes différentes. De plus, les différences de perception entre les échantillons sont plus nettes pour l'étude de l'influence de l'abrasion que celle du lavage, ces différences s'expliquent par de plus grandes disparités des propriétés de compression et de surface. Cependant, nous avons remarqué que lorsque le niveau sonore se stabilise, les panélistes éprouvent des difficultés à différencier les bruits de manière significative.

4.4 Application de la caractérisation sensorielle tactile

Les chercheurs de l'industrie textile font évoluer les produits pour répondre aux exigences des consommateurs. Les nouvelles qualités des produits avant d'être mis sur le marché nécessitent d'être évalués. C'est Pierce [118] qui avait initié l'idée d'évaluation de la main des textiles par une mesure instrumentale.

En plus de la caractérisation instrumentale, les chercheurs ont utilisé les méthodologies de l'analyse sensorielle. C'est Binns en 1926 qui a commencé à évaluer le toucher des tissus en laine avec des tests discriminatifs [119]. En tenant compte de l'élasticité de la laine qui représente la principale différence avec les autres fibres textiles, les expériences ont montré qu'il existe une corrélation très importante entre l'élasticité et la douceur. Bogaty *et al.* [120] ont appliqué les techniques d'analyse sensorielle utilisées en agroalimentaire pour évaluer le toucher des surfaces textiles. Il a été prouvé que le toucher rêche est lié au diamètre des fibres utilisées et que cette sensation diminue avec l'augmentation de la longueur des fibres dépassant de la surface du tissu.

Howorth [121] ainsi que Brand [122] se sont intéressés à l'identification des descripteurs sensoriels en textiles permettant l'évaluation de la "main". Dawes et Owen ont mesuré le degré d'accord entre les sujets en analyse sensorielle [123]. Winakor *et al.* ont étudié le problème du choix du type de panel et du nombre nécessaire de panélistes* afin d'obtenir une évaluation crédible [124].

Harada *et al.* (1997) ont tenté de déterminer certaines règles qui doivent être suivies pour l'évaluation sensorielle. Ils ont notamment indiqué qu'une méthode d'évaluation standard doit pouvoir être facilement applicable à tout échantillon de tissu [125].

En France, une méthodologie d'analyse sensorielle de la sensation tactile des tissus a été développée et les résultats ont permis la création de profils sensoriels tactiles. Parmi ces travaux, on peut citer le travail de Soufflet [126], Philippe [127] et Chollakup [128].

Philippe *et al.* ont adapté puis appliqué la méthode d'analyse descriptive, qui a été initialement utilisée pour évaluer les produits agroalimentaire, à la description tactile des tissus et établi une liste de descripteurs à l'aide d'un panel entraîné pour évaluer les propriétés de différents tissus [33].

Dans le cadre du travail de S. Ben Said [107], trois facteurs (armure, titre du fil et matière première) ont été étudiés en utilisant l'analyse sensorielle. L'un des objectifs de son travail concerne l'étude des préférences du consommateur. Il s'agit d'évaluer l'interaction vue-toucher lors de l'appréciation tactile des étoffes. Cette étude a mis en évidence la contribution de la vue pour faciliter l'évaluation tactile des étoffes pour un panel entraîné.

W. Abbas [108] s'est intéressée dans sa thèse à l'étude et à l'évaluation de la qualité et du confort au porter de produits confectionnés (chemise homme) en utilisant la méthode descriptive quantitative grâce à un panel sensoriel entraîné. Le travail a permis de rapprocher les données instrumentales (propriétés mécaniques mesurées avec la chaine Kawabata, drapé, perméabilité à l'air...), et les profils sensoriels (descripteurs sensoriels). En appliquant l'analyse de régression multilinéaire, des équations de régression entre les attributs sensoriels et instrumentaux ont pu être établies.

5. Synthèse

Par le biais de cette étude bibliographique, j'ai établi un état de l'art non exhaustif du sujet de mon travail de thèse. Jusqu'à présent, il est généralement admis que le niveau sonore est le principal paramètre affectant la sensation humaine. Cependant, l'importance fondamentale des analyses sensorielles objectives et subjectives ont fait l'objet d'une analyse beaucoup moins rigoureuse bien qu'ils permettent aussi de caractériser les bruits de frottement des tissus. Cette étude est réalisée dans ce sens afin de compléter les études sur le bruit de frottement par différentes approches et surtout par l'analyse sensorielle objective et l'étude du point de vue consommateur que l'on se propose de réaliser.

Dans notre laboratoire, K. Yosouf et F. Leclinche ont opté pour l'analyse descriptive qui est régie par la norme NF ISO 11035. Ces travaux ont permis d'implanter un panel au sein du laboratoire. Les performances de ce panel en terme de répétabilité, de discrimination et de l'homogénéité ont été démontrées car elles sont primordiales pour une analyse descriptive quantitative.

En ce qui concerne l'état de l'art sur l'influence des traitements de surface sur les propriétés acoustiques des étoffes, les chercheurs ont mis l'accent sur l'analyse des propriétés acoustiques de la friction des étoffes en général sans mettre l'accent sur l'effet des apprêts qu'ils soient mécaniques ou bien chimiques. Cependant, les sons de frottement de tissus enduits ou bien laminés qui présentent un caractère hydrofuge (perméabilité à l'air, à la vapeur d'eau et hydrophobe à l'eau liquide) destinés à l'usage normal ou bien sportif, ont fait l'objet de recherches. A l'issue de ces études les chercheurs ont ouvert des perspectives sur l'importance de combiner les résultats précédents avec une étude consommateurs, analyse que j'aborderai dans la dernière partie de ma thèse.

Chapitre II : Matériels et méthodes

Le deuxième chapitre se concentre principalement sur la présentation des étoffes sélectionnées, la mise en œuvre des traitements sur ces dernières et les méthodes d'évaluation utilisées pour quantifier leur effet sur les propriétés physiques et sensorielles des étoffes.

Ces évaluations se feront au travers de caractérisations instrumentales, psycho-acoustiques et sensorielles sonores et tactiles. Il est à noter qu'au vu du nombre important de données à traiter issues des différentes méthodes de caractérisation, le choix d'un logiciel d'analyse statistique est indispensable pour s'assurer de la représentativité statistique de ces dernières.

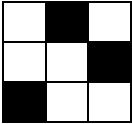
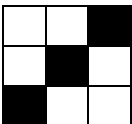
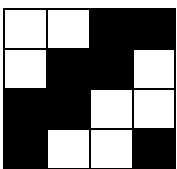
1. Préparation des échantillons

Les tissus choisis pour l'étude sont des tissus de type militaire ou de protection appartenant donc au même espace produit. Ces tissus présentent des contextures différentes. Leur composition et leur contexture ont été vérifiées en suivant les normes spécifiques au domaine. Les caractéristiques mécaniques de ces tissus ont également été évaluées.

1.1 Caractéristiques des étoffes

Un jeu de trois tissus a été sélectionné pour cette étude. Ils sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Caractéristiques des tissus sélectionnés

Etoffe n°	Composition	Armure	Compte chaîne / trame (fils/cm)	Titres chaîne / trame (tex)	Masse surfacique (g/m ²)	
1	Polyester 60 % / coton 40 %	satin 3		24 / 20	63 / 60	258 ± 5%
2	Aramide 60 % / viscose 40 %	sergé 3		32 / 20	44 / 44	250 ± 5%
3	Aramide 50 % / Viscose 50 %	croisé de 2		39 / 24	33 / 33	230 ± 5%

Le premier tissu est un mélange 60 % polyester et 40 % coton. Pour les deux autres, un mélange d'aramide et de viscose dans des proportions différentes. On observe quelques différences en termes de structure : satin de 3, sergé de 3 et croisé de 2. L'ensemble des caractéristiques a été déterminé après avoir conditionné les étoffes dans une atmosphère standardisée (température de 20°C ± 2, humidité relative de 65 % ± 4) selon les directives de la norme NF EN ISO 139 [129]. La contexture des

tissus ainsi que leur masse surfacique ont été déterminées en suivant la procédure des normes NF EN 1049-2 [130] et NF G07-150 [131].

1.2 Mise en œuvre des traitements

Les traitements suivants ont été appliqués sur les étoffes : un traitement réticulant, deux types de traitements adoucissants (micro et macro silicone) et différentes combinaisons réticulant/adoucissant. Ces traitements ont été appliqués en suivant les recommandations du fabricant (voir Annexe F).

Par la suite, la nomenclature suivante sera utilisée tout au long du document afin de nommer les différentes combinaisons étoffes/traitements :

- E₀ pour l'étoffe brute
- La lettre R pour le traitement réticulant
- La lettre I pour le traitement adoucissant micro-silicone
- La lettre A pour le traitement adoucissant macro-silicone
- Le chiffre 1 ou 2 différencie la concentration en traitement

1.2.1 Traitement réticulant

Le traitement réticulant a été préparé à l'aide d'une résine easy-care à base de dérivés cycliques. Sa fonction est de réduire la tendance au rétrécissement de la fibre cellulosique pendant les traitements humides et secs ainsi que de stabiliser le rétrécissement progressif pendant le lavage. L'action provient de l'introduction d'agents de réticulation entre les molécules de cellulose, ce qui réduit les capacités de gonflement et d'élasticité de la fibre.

Selon la fiche technique du fabricant (Figure F. 3), le réticulant utilisé est conforme au certificat GOTS (Global Organic Textile Standard) [132] pour l'apprêt easy-care sans formaldéhyde des fibres de cellulose et leur mélange avec des fibres synthétiques. C'est un dérivé d'urée cyclique. Le réticulant a été appliqué au foulard. La Figure 28 montre le foulard utilisé pour la mise en œuvre du traitement réticulant.



Figure 28 : Foulard pour l'application des traitements

Par ailleurs, les recettes indiquées dans la littérature [133] préconisent les proportions suivantes : pour un traitement easy-care une recette de 60 g/L d'agent de réticulation et 20 g/L de catalyseur et pour un entretien sans repassage une recette de 100g/L d'agent de réticulation et 30 g/L de catalyseur[133]. En utilisant les recommandations de la fiche technique combinées aux informations de la littérature, le protocole suivant a été effectué.

Dans un premier temps, le réticulant a été ajouté dans le bain avec le catalyseur, la concentration de celui-ci doit être 10% supérieure à celle du réticulant. Ensuite, le pH du bain est ajusté à 5 environ par ajout d'acide acétique. Lorsque le bain a atteint une température de 40 ° C, le traitement se poursuit pendant 20 minutes puis le textile est essoré à l'aide du foulard mentionné précédemment pour atteindre 60 % d'humidité résiduelle. Cette humidité résiduelle est contrôlée par le taux d'emport, donné par l'Équation 4. Enfin, le textile est séché à l'étuve sous une température de 110 °C pour atteindre 10 % d'humidité résiduelle en fin de traitement. L'humidité résiduelle finale (10%) est contrôlée par la différence entre la masse de l'étoffe humide en sortie de l'étuve et la masse sèche initiale rapportée à la masse initiale de l'échantillon. Le pourcentage devra être de l'ordre de 10%. La partie « Synthèse des traitements réalisés » détaille la nomenclature des traitements réticulant.

1.2.2 Traitements adoucissants

Les traitements adoucissants ont été réalisés à l'aide de deux types d'adoucissants, un à base de micro-silicone et un à base de macro-silicone, tous deux composés de polysiloxane. Ce type d'adoucissant présente l'avantage d'avoir une bonne résistance au lavage. Il donne aux tissus une main veloutée et soyeuse. Plus d'informations sur les propriétés des adoucissants utilisés sont décrites dans les parties suivantes. Il est à noter que le protocole d'application des traitements adoucissant est le même que celui du traitement réticulant.

1.2.2.1 Adoucissant micro-silicone

Selon la fiche technique (Figure F. 1) du fabricant, l'adoucissant utilisé dans ce cas est approprié pour l'apprêt des tissus composés de fibres cellulosiques, de laine, de fibres synthétiques ainsi que leurs mélanges. C'est un adoucissant hydrophile pour l'apprêt final des textiles sur foulard, ayant une structure micro-émulsion à base de polysiloxane. Nous avons opté pour deux traitements adoucissants. Le premier avec la concentration minimale de l'adoucissant indiquée par le fabricant qui est de 10 g/l et le deuxième avec la concentration maximale de l'adoucissant qui est de 40 g/L.

1.2.2.2 Adoucissant macro-silicone

L'adoucissant macro-silicone utilisé se distingue du précédent adoucissant de par la taille de ses particules. Selon sa fiche technique (Figure F. 2), il possède les mêmes propriétés physiques et le même mode d'application, en particulier une concentration comprise entre 10 à 40 g/L, que celui de l'adoucissant micro-silicone cité dans la partie précédente. Pour pouvoir comparer l'effet de l'adoucissant macro-silicone à celui de l'adoucissant micro-silicone, nous avons opté pour les mêmes concentrations appliquées dans le cas des traitements avec un adoucissant micro-silicone, à savoir un traitement avec la concentration minimale d'adoucissant qui est de 10 g/L et le deuxième avec la concentration maximale d'adoucissant qui est de 40 g/L.

1.2.3 Combinaisons des traitements réticulant et adoucissant

Ces traitements, que ce soit le réticulant ou l'adoucissant, peuvent être combinés afin d'améliorer les propriétés des étoffes traitées. Ainsi, la fiche produit indique qu'il est possible d'appliquer directement dans le même bain le réticulant et l'adoucissant. Dans le cas des mélanges fibres cellulosiques/fibres synthétiques, la recette suggérée est de 50 à 100 g/L de réticulant avec 10 à 40g/L d'adoucissant.

En tenant compte des fiches techniques des agents chimiques et de la contexture des tissus, pour les traitements combinés, les concentrations préparées dans le cas des traitements adoucissants (10 et 40 g/L) et du traitement réticulant (50 et 100 g/L) ont été repris. On estime que rester dans les mêmes conditions de concentrations de chaque agent chimique permettra de mettre en exergue leurs effets dans le cas de la combinaison par rapport à leur application seule.

Le protocole d'application est sensiblement le même, les produits sont mélangés ensemble dans le bain avec un pH égal à 5 et une température de 30 à 40 °C. Après 20 minutes de traitement, le textile est essoré pour atteindre 60 % d'humidité résiduelle puis séché à 10 % d'humidité résiduelle. La partie « Synthèse des traitements réalisés » détaille la nomenclature des traitements combinés.

1.3 Synthèse des traitements réalisés

Sur la base des informations expliquées dans les parties relatives aux traitements réticulant (1.2.1), aux traitements adoucissants (1.2.2) et aux traitements combinés (1.2.3), le Tableau 13 résume l'ensemble des traitements réalisés.

Chaque traitement est accompagné d'une nomenclature qui réfère au tissu, à la nature de l'adoucissant, du réticulant ainsi que la ou les concentrations choisie(s) pour le traitement. Il est à noter que pour chaque traitement, 5 échantillons ont été produits.

Tableau 13 : Synthèse des traitements réalisés

Traitement	Nomenclature	Concentration
Brut	E0	0
Adoucissant micro-silicone	I1	10 g/L
	I2	40 g/L
Adoucissant macro-silicone	A1	10 g/L
	A2	40 g/L
Réticulant	R1	50 g/L
	R2	100 g/L
Combinaisons adoucissant / réticulant	I1 R1	10 g/L - 50 g/L
	I2 R1	40 g/L - 50 g/L
	I1 R2	10 g/L - 100 g/L
	I2 R2	40 g/L - 100 g/L
	A1 R1	10 g/L - 50 g/L
	A2 R1	40 g/L - 50 g/L
	A1 R2	10 g/L - 100 g/L
	A2 R2	40 g/L - 100 g/L

2. Caractérisation des échantillons et des traitements

Pour comprendre l'effet des traitements sur les propriétés physiques des étoffes, nous avons opté pour des techniques de microscopie et de spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS). Ces techniques sont présentées dans la partie 2.1 de ce chapitre. La partie 2.2, présente l'évaluation de l'effet des traitements sur les propriétés mécaniques des étoffes qui a été effectuée avec la chaîne d'évaluation de Kawabata (KES) et plus précisément avec le module de compression (FB3) et le module de l'état de surface (FB4). La perméabilité à l'air des différents échantillons a également été étudiée.

2.1 Efficacité des traitements de surface

Deux paramètres ont été mesurés afin d'évaluer l'efficacité des traitements de surface. Dans un premier temps, la taille des particules a été mesurée à l'aide d'un profilomètre, et ensuite le phénomène de rétention d'adoucissant et de réticulant a été évalué en utilisant la technique de la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS).

2.1.1 Observation au profilomètre

L'observation et la mesure de la taille des particules des adoucissants ont été réalisées à l'aide d'un profilomètre de marque KEYENCE VH-ZST présenté *Figure 29*.

Une goutte d'adoucissant est placée entre deux lamelles propres, puis un grossissement adapté à l'observation des particules est sélectionné. Il n'est pas possible de prendre une image regroupant toutes les particules, même avec la fonction de reconstruction du microscope, puisque celles-ci sont très mobiles dans la solution. Il est possible de mesurer le diamètre de la particule avec une fonction prédéfinie du logiciel du profilomètre. Dix prélèvements de chaque solution d'adoucissant ont été observés ce qui nous a permis mesurer le diamètre de 50 particules au total par type d'adoucissant.



Figure 29 : Profilomètre KEYENCE

Avec un grossissement de 1500 fois, il a été possible d'observer les particules de l'adoucissant macro-silicone comme le montre la *Figure 30*. Les mesures montrent que le diamètre des particules de l'adoucissant macro-silicone s'étale de 40 à 155 μm . Cependant, on peut noter qu'il est possible de trouver certaines particules de taille inférieure à 40 μm .

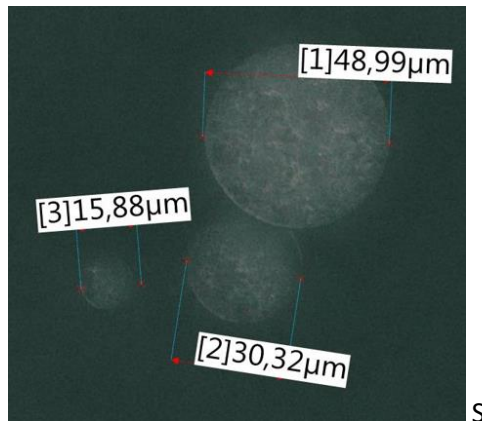


Figure 30 : Vues au profilomètre de la taille des particules d'un adoucissant macro-silicone (agrandissement x1500 fois)

De la même manière, la mesure de la taille des particules de l'adoucissant micro-silicone a été effectuée. Les résultats des mesures sont présentés Figure 31.

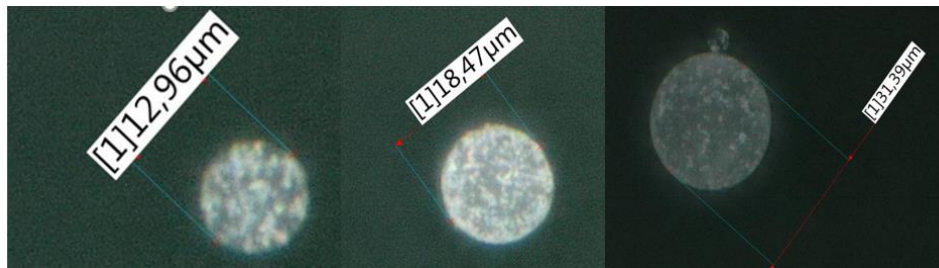


Figure 31 : Vues au profilomètre de la taille des particules d'un adoucissant micro-silicone (agrandissement x2000 fois)

Il est à noter que dans ce cas, le grossissement adéquat pour une observation nette est de 2000 fois. On remarque d'après la Figure 31, que la taille des particules de l'adoucissant micro-silicone s'étale de 10 à 40 µm.

2.1.2 Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS)

La spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS) est une technique de microanalyse chimique qui est généralement réalisée avec un microscope électronique à balayage (MEB). Un faisceau d'électrons balaye la surface de l'échantillon et génère une fluorescence de rayons X à partir des atomes qui se trouvent sur sa trajectoire. Les énergies des photons des rayons X sont caractéristiques de l'élément qui les a produits. Le détecteur mesure le nombre de rayons X émis en fonction de leur énergie. L'énergie du rayon X est caractéristique de l'élément chimique à partir duquel le rayon X a été émis [134].

Au cours de ce travail, nous avons eu recours à cette technique dans l'objectif d'estimer la teneur en adoucissant et en réticulant dans les échantillons après traitement. Pour cela, la teneur en masse d'atomes de silicium va être déterminée puisque les adoucissants sont à base de siloxane dont la structure est présentée Figure 32 (a). Dans le cas du traitement réticulant, on suit cette fois la teneur en azote puisque le réticulant mis en œuvre est à base d'urée comme le montre la Figure 32 (b).

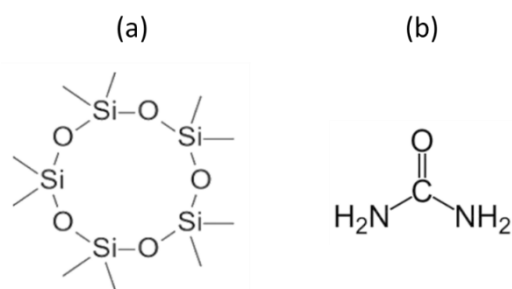


Figure 32 : (a) Structure de la molécule de siloxane (b) Structure de la molécule d'urée

Pour un même traitement, cinq échantillons (carré de 1 cm de côté), relevés à différents endroits des étoffes traitées, ont été testés afin de comprendre la rétention des agents de traitements des textiles. Néanmoins, ces mesures ne sont valables qu'à condition que les tissus bruts soient exempts de silicium et d'azote. Le Tableau 14 illustre la teneur en masse de chaque élément atomique des trois tissus bruts.

Tableau 14 : Analyse par EDS de la composition atomique des tissus bruts

1 EO				2 EO				3 EO			
Formula	mass%	Atom%	Sigma	Formula	mass%	Atom%	Sigma	Formula	mass%	Atom%	Sigma
C	62.36	71.13	0.01	C	60.89	68.22	0.01	C	69.33	75.40	0.01
O	31.05	26.59	0.03	O	36.44	30.65	0.02	O	29.59	24.16	0.02
Al	0.59	0.30	0.00	P	1.18	0.51	0.00	P	0.46	0.19	0.00
Cl	2.70	1.04	0.01	S	1.38	0.58	0.00	S	0.49	0.20	0.00
Ti	3.30	0.94	0.01	Ca	0.11	0.04	0.00	Cl	0.13	0.05	0.00
Total	100.00	100.00		Total	100.00	100.00		Total	100.00	100.00	

D'après le Tableau 14, il ressort que les tissus bruts ne présentent pas de teneur en azote et en silicium. Ainsi, pour les mesures suivantes, on s'assure que les teneurs en azote et en silicium proviennent effectivement des traitements adoucissants et réticulant.

L'analyse des résultats de mesure par EDS sera détaillée dans le chapitre 3.

2.2 Propriétés mécaniques

Selon les travaux de K. Yosouf [18], le bruit de frottement est principalement lié aux propriétés de surface et de compression du textile. Ces propriétés ont été mesurées à l'aide du module de compression FB3 (Figure 33) et du module de surface FB4 (Figure 34) de la chaîne de mesure Kawabata Evaluation System (KES) [19]. Les mesures ont été réalisées dans une atmosphère standardisée (température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, humidité relative de $65\% \pm 4\%$) selon les directives de la norme NF EN ISO 139 [129]. Les échantillons ont été conditionnés pendant 24 heures avant d'être testés. Pour chaque paramètre mesuré avec le système Kawabata, le nombre de mesure a été déterminé de façon à ce que la limite pratique d'erreur (LPE) soit inférieure à 5 % (équation 15).

2.2.1 La statistique descriptive des mesures

On détermine souvent le coefficient de variation pour évaluer la cohérence des résultats. Le coefficient de variation est déterminé par l'Équation 16.

$$CV\% = 100 * \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad \text{Équation 16}$$

Avec

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})}{n}} \quad \text{Équation 17}$$

Avec σ l'écart type (Équation 17) relatif de la population et \bar{x} la moyenne de celle-ci. Le coefficient de variation permet de calculer la dispersion relative des résultats autour de la moyenne. Plus sa valeur sera élevée, plus la dispersion autour de la moyenne sera grande. Pour une population, un coefficient de variation inférieure à 5 % traduit généralement une faible variabilité.

Afin d'évaluer la précision de l'estimation d'un paramètre mesuré sur un échantillon, la Limite Pratique d'Erreur (LPE) dans l'intervalle de confiance IC a été calculée. L'intervalle de confiance et la limite pratique d'erreur s'expriment selon l'Équation 18 et l'Équation 19.

$$IC = t_s * \frac{\sigma}{\sqrt{N - 1}} \quad \text{Équation 18}$$

$$LPE = 100 * \frac{IC}{\bar{X}} \quad \text{Équation 19}$$

Avec t_s la valeur de la variable t-Student issue des tables statistiques pour une probabilité α fixée à 5%, σ représente l'écart-type de la population statistique considérée. Le paramètre N est le nombre de mesures réalisées et \bar{X} la moyenne de la population. Pour que les résultats soient statistiquement valables, notamment dans le cas des mesures effectuées avec le Kawabata Evaluation System, un nombre suffisant de mesures est nécessaire. Lorsque la valeur seuil de la LPE est atteinte, le nombre de mesures est satisfaisant et par conséquent, le coefficient de variation est statistiquement représentatif. Préférentiellement, le seuil de la LPE est fixé à 3% mais les résultats sont acceptables dès que celle-ci est inférieure à 5%.

Afin d'étudier la significativité statistique de la différence des moyennes des propriétés de compression et de l'état de surface par l'effet des différents traitements une comparaison par paires va être effectué. L'outil statistique pour mener cette comparaison est le test de Student.

2.2.2 Principe théorique de comparaison par paire avec le test de Student

Les tests de comparaison 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.[135]

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). 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 20 [136]. La signification est prise au niveau de 5%.

$$LSD = t * \sqrt{CMR \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \quad \text{Équation 20}$$

Avec t la distribution de Tstudent, 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'observation des produits 1 et 2 respectivement. CMR représente le carré moyen résiduel (intra-groupe) obtenue par ANOVA

2.2.3 Propriétés de compression

La Figure 33 (a) illustre le module de compression du système Kawabata. L'échantillon de tissu est comprimé latéralement jusqu'à une pression maximum de 5 kPa (50 gf/cm²). La pression appliquée et l'épaisseur du tissu correspondante sont enregistrées simultanément en un cycle de compression/relaxation. L'épaisseur du tissu T_0 est mesurée à une pression de 50 Pa, la compressibilité et la résilience de compression sont calculées à partir du diagramme de compression enregistré (Figure 33 (b)).

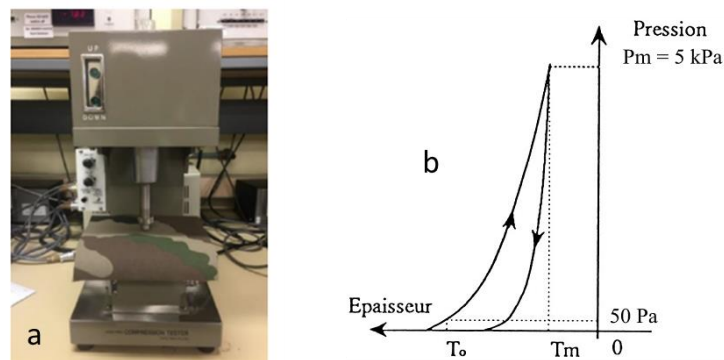


Figure 33 : Module de compression du système Kawabata [3]

La vitesse d'essai doit être adaptée à l'épaisseur de l'étoffe testée. Dans notre cas, les textiles présentent des épaisseurs standards, c'est-à-dire inférieures à 5 mm donc la vitesse de test est de 0,02 mm/s.

Le Tableau 15 présente les paramètres mesurés par le module de compression KES-FB3.

Tableau 15 : Paramètres de compression Kawabata

Kawabata	Paramètre	Symbole	Unité	Unité SI
FB3 Compression	Linéarité de compression	LC	-	-
	Energie de compression	WC	gf.cm/cm ²	J.m ⁻²
	Résilience de compression	RC	%	%
	Epaisseur à 50 Pa	T_0	mm	mm
	Epaisseur à 5 kPa	T_m	mm	mm

2.2.4 Propriétés de l'état de surface

La Figure 34 (a) présente le module de l'état de surface du système Kawabata utilisé pour évaluer l'état de surface d'étoffe textile. Le système est équipé de deux capteurs inductifs. Le premier capteur permet la mesure du coefficient de frottement, il a été spécialement conçu pour reproduire la surface d'un doigt. Le deuxième permet de reproduire l'angle et donc de mesurer la rugosité de la surface. L'ensemble de ces mesures sont en relation avec la sensation du toucher de la surface.

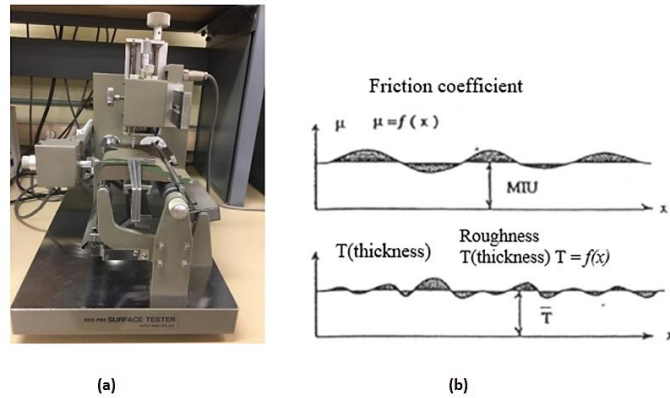


Figure 34 : Module de l'état de surface du système Kawabata [3]

Un échantillon est fixé à une extrémité sur un cylindre tournant autour de son axe et est maintenu à l'autre par une pince. Le cylindre est entraîné à la vitesse de 1 mm/seconde par un moteur synchrone qui entraîne l'échantillon. Lorsque l'échantillon s'est déplacé de 3 cm, le sens de rotation du moteur est inversé et l'échantillon regagne sa position initiale avec la même vitesse.

Pour la mesure du coefficient de frottement MIU, le capteur de friction, connecté à un transmetteur est placé directement sur la surface de tissu. La pré-tension sur l'échantillon est transmise par la pince qui bloque l'extrémité de l'échantillon et qui est solidaire du dispositif assurant la tension.

Pour la mesure de la rugosité géométrique (SMD), le mouvement vertical du capteur qui touche la surface du tissu, causé par la rugosité du tissu testé, est détecté par le transducteur. Les caractéristiques de la friction et de la rugosité sont enregistrées en même temps dans trois intégrateurs pendant que le tissu se déplace.

Les enregistrements du capteur sont matérialisés par les graphes de la Figure 34 (b). A partir de ce diagramme sont calculés les paramètres définis dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Paramètres mesurés par le module de l'état de surface du système Kawabata

Kawabata	Paramètre	Symbole	Unité	Unité SI
FB4 Etat de Surface	Coefficient de frottement	MIU	-	-
	Moyenne quadratique du coefficient de frottement	MMD	-	-
	Rugosité géométrique	SMD	μm	μm

2.2.5 Perméabilité à l'air

La notion de perméabilité à l'air est largement utilisée dans l'industrie textile pour interpréter les caractéristiques intrinsèques des étoffes. Cette information technique est employée fréquemment par les fabricants de vêtements pour décrire la performance fonctionnelle des produits. Elle est considérablement influencée par les propriétés du matériau et notamment par l'armure de l'étoffe, sa contexture mais aussi la matière des fils de chaîne et de trames et leurs titres.

Dans le cadre de cette étude, le dépôt des adoucissants en surface des tissus mais également celui du réticulant qui a tendance à jouer sur la stabilité dimensionnelle pourraient diminuer les pores de la

structure et influencer la perméabilité à l'air. Une étude de corrélations sera faite par la suite pour vérifier cette hypothèse.

Le principe de la mesure consiste à mesurer la quantité de l'air (flux d'air) qui traverse la surface de l'échantillon pendant un temps donné, pour une surface d'échantillon donnée et une pression donnée.



Figure 35 : Dispositif de mesure de la perméabilité à l'air

Les mesures de perméabilité ont été réalisées selon la norme NF EN ISO 9237 [137] à l'aide de l'appareil Textest FX 3300. Les tests ont été réalisés comme suit : une pression de 196 Pa et une surface de 20 cm². La mesure est faite en L/m²/s. Dans le cadre de cette caractérisation, un minimum de dix mesures a été réalisé pour chaque traitement afin d'obtenir des valeurs de LPE inférieur à 5 %.

3. Caractérisation du bruit de frottement

Cette partie présente le dispositif de génération et d'enregistrement des bruits de frottement, la chaîne d'acquisition du signal sonore ainsi que les programmes de calcul des paramètres acoustiques instrumentaux et des paramètres psycho-acoustiques.

3.1 Dispositif de génération de bruit de frottement

Pour la génération et l'enregistrement du bruit de frottement, le dispositif développé au laboratoire dans le cadre de la thèse H. Latroch [1] a été utilisé.

La partie simulation du mouvement du système, présentée par la Figure 36, comprend une partie mécanique et des supports fixe et mobile.

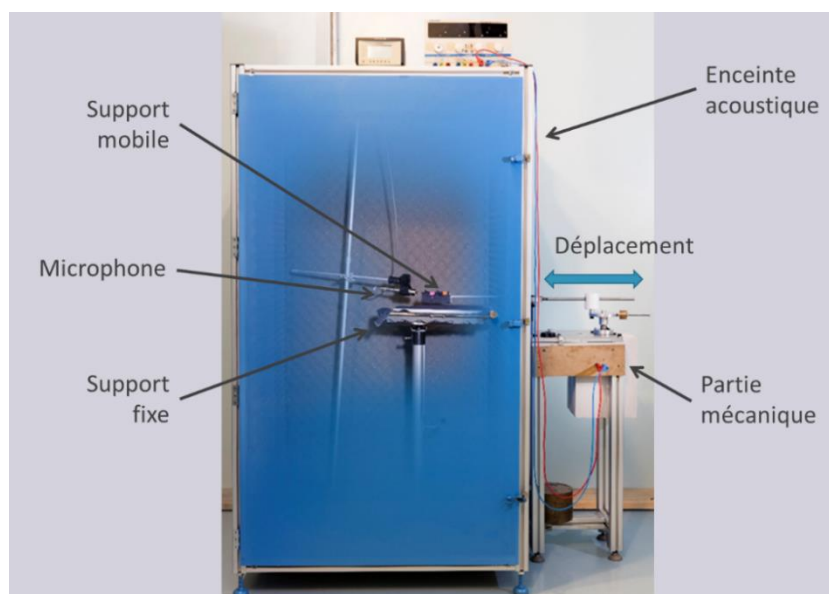


Figure 36 : Système de génération et d'enregistrement du bruit de frottement[3]

Le système comporte une partie mécanique qui va permettre de reproduire le mouvement de balancement du bras d'une personne permettant la simulation du frottement du bras contre le tronc quand une personne se déplace.

Le dispositif d'enregistrement est placé à l'intérieur d'une enceinte acoustique. Elle a été dimensionnée de manière à éliminer la réflexion du son puis validée dans une chambre réverbérante. La partie mécanique assure la conversion du mouvement de rotation d'un moteur électrique à courant continu, en mouvement de balancement. La longueur du support mobile, les dimensions des éléments tournants ainsi que la vitesse du moteur ont été calculées en fonction des mesures de surface et de vitesses réalisées par H. Latroch. La vitesse de frottement est contrôlée, grâce à la tension du moteur. K. Yosouf [2] a introduit la mesure de la pression entre le bras et le haut du corps. La mesure s'effectue avec un capteur de pression piézo-résistif. Le Tableau 17 résume les conditions de génération du bruit de frottement dans le cas de la marche, du footing et de la course.

Tableau 17 : Conditions de génération des bruits de frottement [2]

Mouvement	Vitesse moyenne du bras ($m.s^{-1}$)	Surface de frottement (cm^2)	Pression appliquée (kPa)
Marche	0,56	90	1,67
Footing	0,94	120	2,35
Course	1,64	170	3,85

Deux échantillons d'étoffes de même nature sont mis en contact afin de simuler le bruit de frottement d'une étoffe sur elle-même (Figure 37). L'échantillon fixe est placé au-dessus d'une plaque en silicone modélisant la peau. L'échantillon mobile est accroché à un bras métallique mobile qui opère un mouvement de balayage à vitesse variable. De ce fait, cet échantillon viendra frotter sur l'échantillon fixe dans les sens chaîne et le sens trame de façon simultanée.



Figure 37 : Placement des porte-échantillons [3]

La chaîne d'acquisition est constituée d'un microphone à champ-libre Brüel & Kjaer d'un demi-pouce (type 4190). Ce microphone est fixé à un support réglable en hauteur et positionné à 1 cm de l'échantillon mobile à l'intérieur de l'enceinte acoustique afin de détecter le bruit de frottement des échantillons. L'enregistrement du bruit de frottement est fait en utilisant un enregistreur type Sony (PCM-10) connecté à un amplificateur Brüel & Kjaer (type 2606).

3.2 Caractérisation instrumentale

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 100 Hz sur les signaux bruts, ceci afin de réduire tout bruit de fond inférieur à 100 Hz.

Avec une fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz et une sensibilité de 1450 mV/Pa du microphone, une transformée de Fourier est appliquée afin d'obtenir le spectre sonore.

Les spectres sont aussi présentés en 1/6 d'octave pour donner le niveau sonore SPL car l'analyse en bande d'octave permet de traduire la réponse de l'oreille au signal sonore [3]. La Figure 38 montre un exemple d'une représentation en 1/6 d'octave.

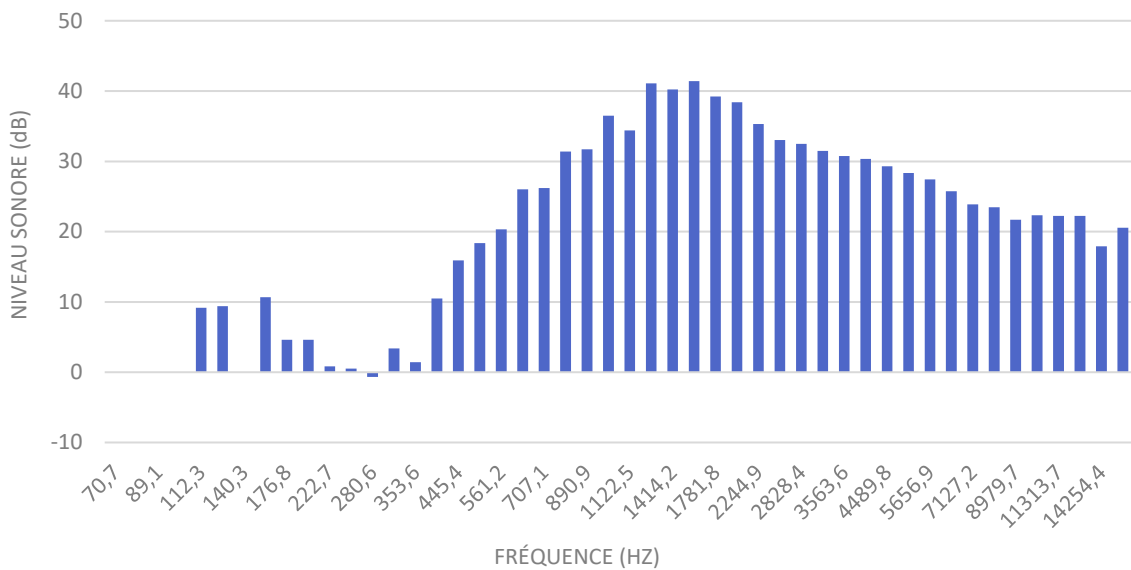


Figure 38 : Représentation en 1/6 d'octave

De ce spectre, nous pouvons extraire ces paramètres qui sont détaillés ci-dessous.

- Le niveau sonore SPL en dB est obtenu à partir de l'Équation 21.

$$SPL = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_1}{10}} + \dots + 10^{\frac{SPL_n}{10}} \right) \quad \text{Équation 21}$$

Avec le paramètre SPL_n qui est le niveau sonore de chaque bande. Ce paramètre est le plus utilisé en acoustique, il permet de comparer les bruits de frottements de différentes étoffes et de déterminer si une étoffe est plus bruyante qu'une autre.

- L'amplitude du maximum que l'on note L_m qui s'exprime en dB, ainsi que la fréquence correspondante, notée f_{max} . Ces paramètres permettent de déterminer le maximum d'amplitude dans la zone fréquentielle afin de voir s'il se situe dans l'intervalle des fréquences les plus perceptibles par l'oreille humaine.
- La plage d'amplitude notée ΔL . Ce critère nous permet essentiellement d'indiquer si le bruit de frottement est homogène et monotone. Il est décrit par l'Équation 22.

$$\Delta L = SPL - L_m \quad \text{Équation 22}$$

Il est parfois difficile d'interpréter les différences entre les spectres donc pour cela, on propose d'estimer la corrélation entre deux spectres à l'aide du coefficient défini par l'Équation 23.

$$COR(X, Y) = \sqrt{\frac{covariance(X, Y)^2}{Variance(X).Variance(Y)}} \quad \text{Équation 23}$$

Où X et Y représentent deux spectres sonores différents. Le coefficient a été arbitrairement déterminé sur le domaine fréquentiel [70Hz-10kHz] puisque ce domaine correspond au domaine fréquentiel des bruits de frottements des étoffes. De plus, la comparaison ne s'effectue que pour les fréquences où le bruit du système de mesure n'est pas prépondérant. Plus la valeur du coefficient sera proche de 1, plus la corrélation entre les deux courbes sera grande.

3.3 Caractérisation psycho-acoustique

Dans la partie bibliographie, les différents modèles de calcul des paramètres de Zwicker ont été détaillés. On retrouve ainsi la sonie, l'acuité, la rugosité et l'intensité de fluctuation. Dans notre cas, ces paramètres ont été calculés avec le logiciel Brüel & Kjær [138].

La Figure 39 présente l'interface du programme de calcul utilisé. Il est composé d'un filtre passe haut et de la fonction prédéfinie SQ metrics. Cette fonction permet, à partir du signal filtré, de calculer différents paramètres selon les directives de la norme DIN 45631 1989[139]. Seuls les paramètres de Zwicker ont été calculés dans notre étude.

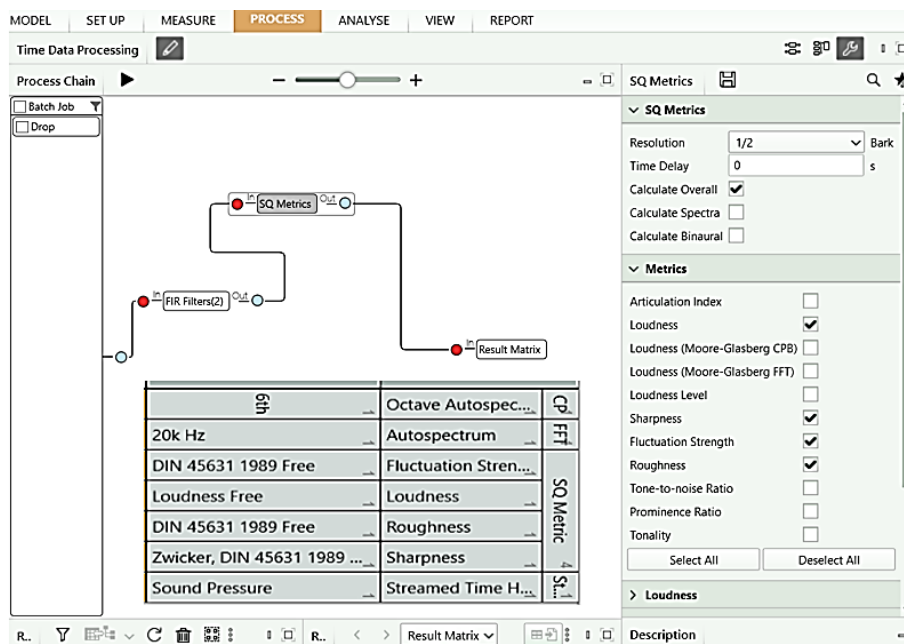


Figure 39 : Modèle de calcul pour les paramètres Zwicker

4. Analyse sensorielle

Pour les analyses sensorielles sonore et tactile, comme cité dans la partie bibliographique, nous avons opté pour la méthode d'analyse descriptive. Cette méthode est régie par les principes de la norme NF ISO 11035 [101] qui détaille les étapes de l'établissement de profils sensoriel conventionnels. Nous disposons de deux panels différents pour les deux types d'analyse sensorielle.

En analyse sensorielle, les profils sensoriels ont la forme d'un profil serpent. On note que sur les graphes présentant les profils sensoriels, le lissage entre les notes moyennes du panel sera présenté par des pointillés, car les descripteurs ne suivent pas une fonction continue. Ce mode de présentation est aussi adopté pour tracer les graphes présentant l'erreur critique pour évaluer la répétabilité.

4.1 Analyse sensorielle sonore

L'analyse sensorielle sonore descriptive a été initiée par K. Yosouf [2] puis F. Leclinche [3] a poursuivi l'étude lors de ses recherches. L'analyse menée ici suit la méthodologie développée dans ces travaux.

4.1.1 Présentation du panel

Le panel est composé de 10 personnes (6 femmes et 4 hommes) issues du laboratoire et d'âges compris entre 25 et 55 ans. Il est à noter que seul trois des panélistes du panel avaient déjà participé aux études menées précédemment au laboratoire par K. Yosouf et F. Leclinche. Il a donc été nécessaire de former et d'entraîner de nouveau le panel pour l'évaluation sensorielle.

4.1.2 Liste des descripteurs

K. Yosouf avait établi une liste de 15 descripteurs dont 6 sont bipolaires, liste reprise dans les travaux de F. Leclinche lors des séances d'entraînement des panélistes. Des analyses statistiques ont montré que les panélistes éprouvent souvent des difficultés à évaluer les descripteurs *grinçant*, *chuintant*, *couinant* et *sifflant*. Par principe de continuité, j'ai décidé d'utiliser la liste de descripteurs établie dans ses travaux pour la caractérisation des bruits de frottement dans la suite de mon étude. Cette liste est présentée dans le Tableau 18. Elle a été regroupée dans un formulaire présenté enAnnexe A.

Tableau 18 : Liste des descripteurs sensoriels sonores

Descripteurs bipolaires	Descripteurs simples
Grave-aigu	Rythmé
Lent-rapide	Abrasif
Monotone-polyphonique	Sciage
Homogène-Disharmonique	Grattage
Peinant-Energique	Résonant
Sourd-Intensif	

4.1.3 Conditions d'évaluation

L'entraînement pour l'analyse sensorielle sonore ainsi que les séances de la caractérisation du bruit de frottement ont été effectuée dans une salle choisie pour être loin de toutes nuisances sonores afin d'éviter au maximum toutes sortes de biais. De plus, lors de l'évaluation, les panélistes utilisent un casque de marque SENNHEISER pour l'écoute du bruit de frottement des étoffes et son évaluation. Cette évaluation se fait en attribuant une note allant de 0 à 10 pour chaque descripteur.

4.1.4 Entraînement pour l'analyse sensorielle sonore

La phase d'entraînement du panel s'est déroulée sur 4 répétitions. Pendant celles-ci, nous allons vérifier les performances des panélistes selon les critères déjà mentionnés dans le chapitre précédent.

Pour rappel, une répétition représente deux évaluations dans deux séances successives. Afin de vérifier les performances des panélistes de façon individuelle et du panel dans son ensemble, des analyses de variance (ANOVA) ont été faites.

4.1.4.1 Analyse de la variance (ANOVA)

L'ANOVA est une méthode d'analyse qui permet d'envisager l'étude de la dépendance d'une variable quantitative continue à une ou deux variables qualitatives [140]. Les variables qualitatives impliquées sont appelées facteurs et on peut s'intéresser aux effets principaux de ces facteurs et ainsi à leurs interactions sur la variable quantitative étudiée. On parle alors d'une ANOVA à un ou deux facteurs. La variable quantitative est appelée variable dépendante. Les facteurs sont les variables indépendantes. Il va s'agir d'établir si la dépendance étudiée est ou non significative pour le facteur considéré. Nous allons tester la moyenne de la variable quantitative d'étude est ou non homogène sur l'ensemble des modalités prises par la ou les variables qualitatives pour lesquelles elle a été calculée.

Pour montrer qu'une ou deux variables qualitatives influent sur la variable quantitative d'être amené à rejeter l'hypothèse nulle H_0 d'égalité des moyennes par l'analyse de la variance. Le Test réalisé est le test de Fischer. Ce test permet de comparer la variance inter-échantillon à la variance intra-échantillon [141].

$$F = \frac{\text{variance inter - échantillon}}{\text{variance intra - échantillon}} \quad \text{Équation 24}$$

La valeur F (Équation 24) obtenue est alors comparée à la valeur critique F_α de la table de Fischer avec un risque α (souvent $\alpha = 5\%$). Si le rapport de ces deux variances s'éloigne assez fortement de F_α , alors les produits présentent des différences significatives au seuil de probabilité α , ce qui conduit à rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Sinon, la dispersion des résultats à l'intérieur des populations est plus importante que celle entre les moyennes et donc les produits sont identiques.

4.1.4.2 Répétabilité

La répétabilité des panélistes a été déterminée grâce à une analyse de variance ANOVA à un facteur produit, ce facteur étant le bruit de frottement des différents échantillons. Une erreur critique ξ (équation 11) égale à 1 a été fixée de façon arbitraire. Au-dessus de cette valeur, le panéliste n'est pas considéré comme répétable pour un descripteur donné. Cette erreur a été calculée pour chacune des répétitions d'entraînement. Pour rappel, une répétition représente deux évaluations des bruits de frottement au cours de deux séances successives. Donc pour chaque panéliste, l'erreur (ξ) est calculée pour les quatre répétitions et pour chacun des descripteurs. Les résultats de la première et de la dernière répétition sont présentés en Figure 40 et Figure 42. Ceux des répétitions intermédiaires (2 et 3) se trouvent en Annexe A.

D'après la Figure 40 représentant l'erreur pour chaque panéliste suite à la première répétition, on remarque que l'erreur moyenne du jugement de l'ensemble des descripteurs par chaque panéliste est bien inférieure à 1. C'est un bon indice de départ d'entraînement qui indique que le nombre de descripteurs pour lesquels les panélistes ne sont pas répétables est faible.

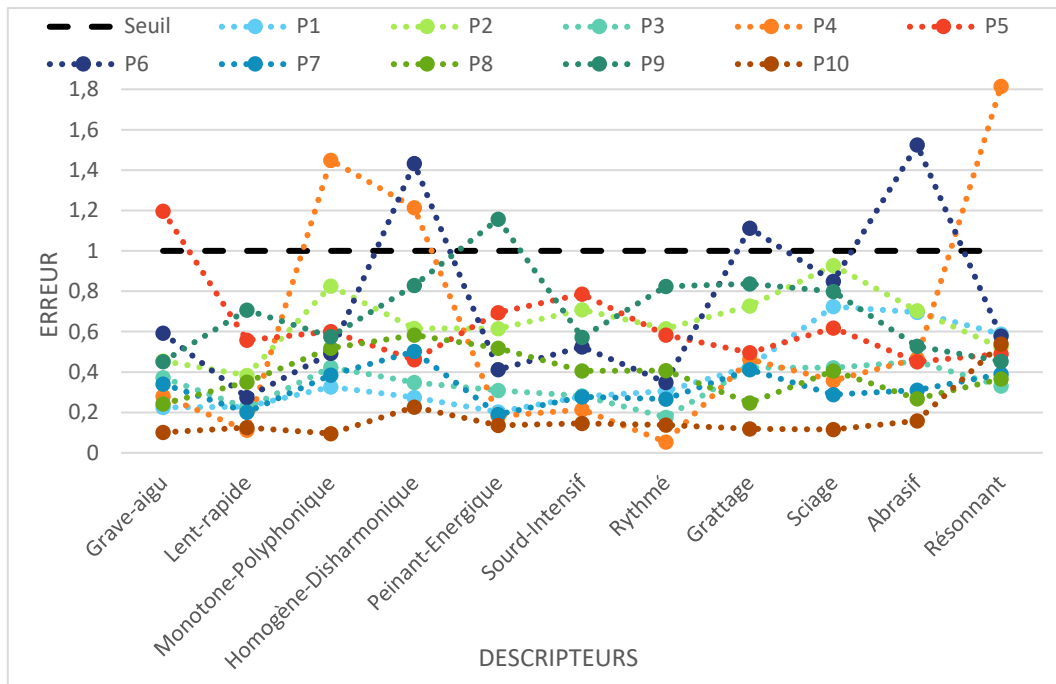


Figure 40 : Erreur résiduelle des panélistes lors de la répétition n° 1

En effet, l'erreur n'est supérieure à 1 que pour certains descripteurs ; les panélistes sont considérés comme non répétables. Pour le panéliste P4, l'évaluation des descripteurs *monotone-polyphonique*, *homogène-dysharmonique* et *résonnant* est variable ; pour le panéliste P5, il s'agit du descripteur *grave-aigu* ; pour le panéliste P9, *peinant-énergique*. Etant donné que ces panélistes n'ont jamais été entraînés à l'évaluation des bruits de frottement, il est normal de constater ces valeurs d'erreur. Une discussion a été nécessaire pour leur expliquer les définitions des descripteurs pour lesquels ils ne sont pas répétables.

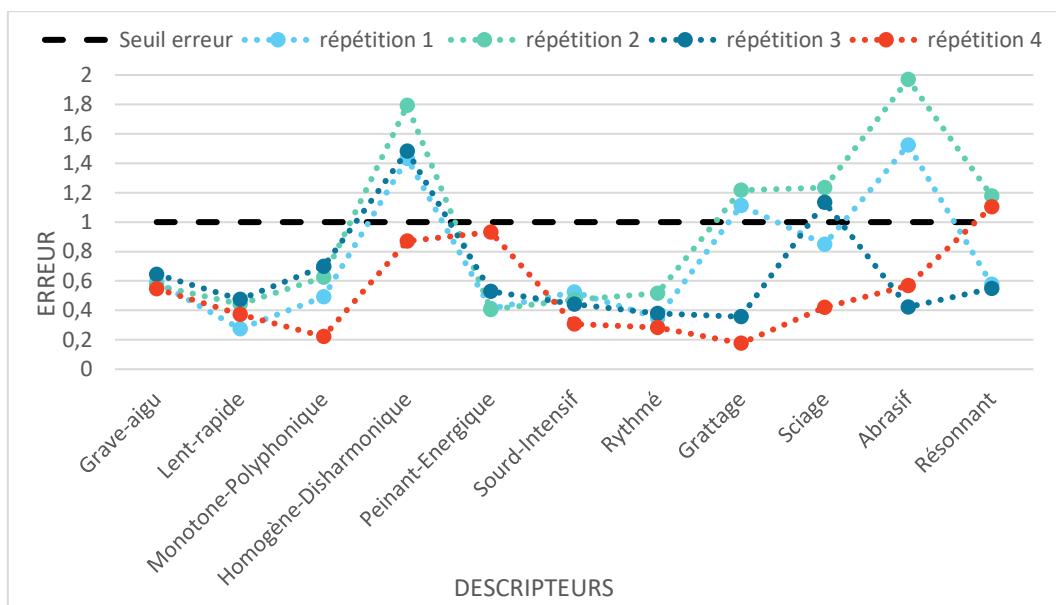


Figure 41 : Entraînement du panéliste n° 6 (analyse sensorielle sonore)

D'après la Figure 41, on remarque que la répétabilité du paneliste 6 s'est dégradée au cours de la deuxième répétition. Ce sujet a montré une erreur largement supérieure à 1, surtout pour les

descripteurs *homogène-disharmonique*, *grattage*, *sciage* et *abrasif*. A la troisième répétition, on constate que ce panéliste devient répétable pour les descripteurs *abrasifs*, *grattage* et *sciage* mais pas pour le descripteur *homogène-disharmonique*.

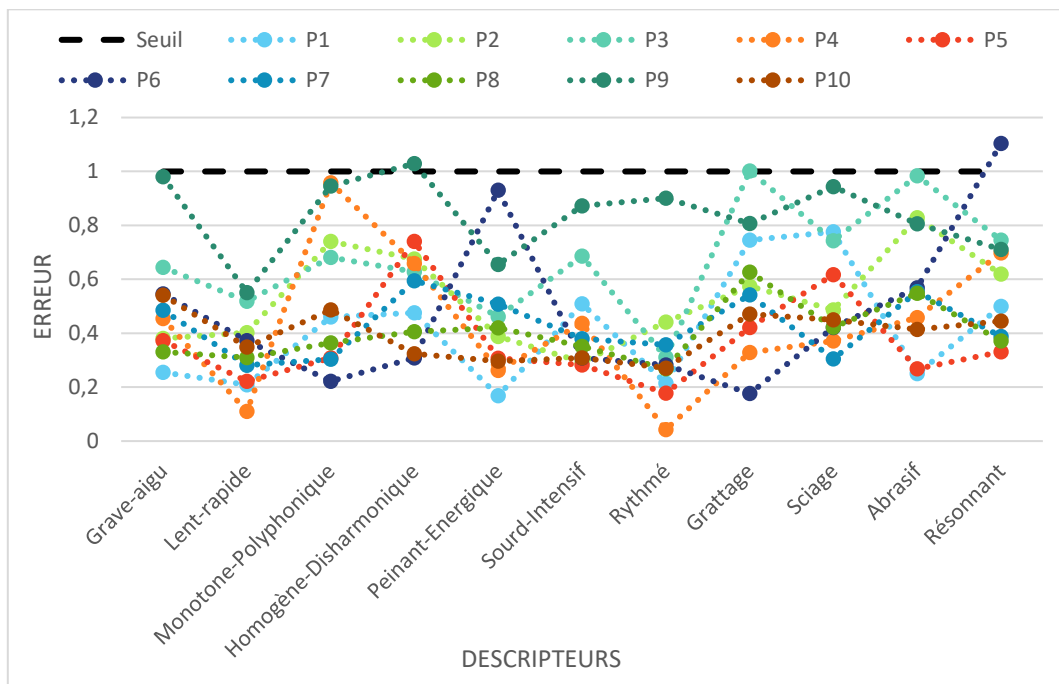


Figure 42 : Erreur résiduelle des panélistes pour les descripteurs pendant la répétition n° 4

Avec la succession des séances d'entraînement, on remarque que le nombre de descripteurs pour lesquels les panélistes ne sont pas répétables se réduit progressivement. D'après la Figure 42, on remarque que seul le panéliste P9 présente une erreur de 1,03 pour le descripteur *homogène-disharmonique* et le panéliste P6 a une valeur d'erreur de jugement de 1,1 pour le descripteur *sciage*. On peut estimer que ces valeurs sont acceptables puisque les panélistes vont être amené à faire d'autres améliorations et donc continuer à s'entraîner. A la suite de cette étude, on peut donc confirmer que l'ensemble des panélistes est répétable.

Étant donné que l'erreur moyenne pour l'ensemble des descripteurs de chaque panéliste est largement inférieure à 1, on peut estimer que la répétabilité des panélistes s'est bien améliorée et que le panel est bien répétable. En effet, comme le montre la Figure 43, le pouvoir de répétabilité de chaque sujet s'est amélioré au cours de l'entraînement.

On constate ainsi que les panélistes les plus répétables sont les panélistes P1, P2, P4, P5, P7, P8 et P10. Le P9 n'est répétable que pour 10 descripteurs et P6 est devenu répétable pour 10 descripteurs alors qu'il ne l'était que pour 6 lors de la première répétition. Ces résultats montrent l'importance de l'entraînement pour ce genre d'étude.

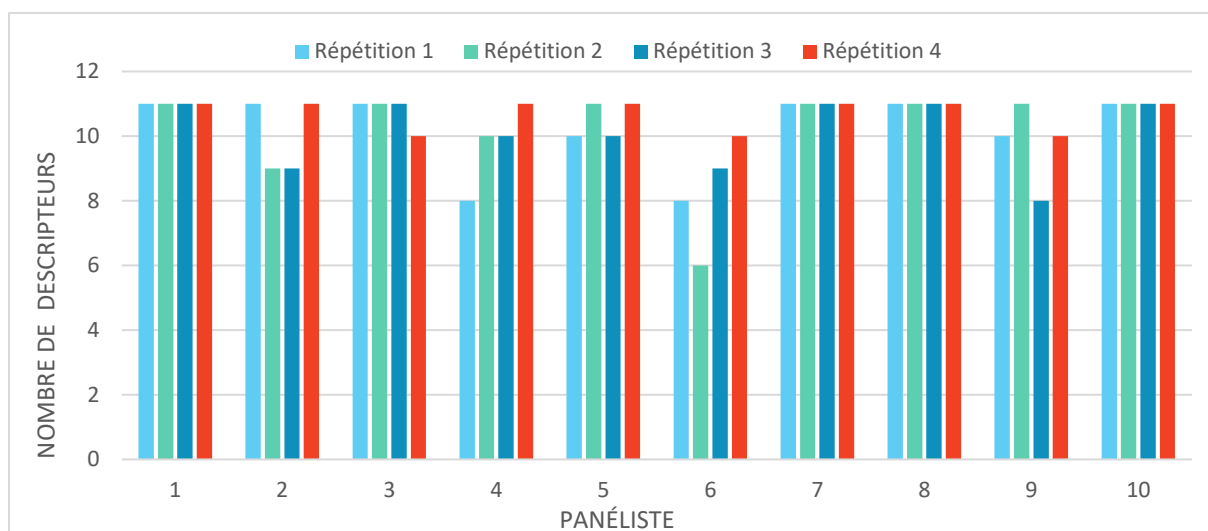


Figure 43 : Pouvoir de répétabilité de chaque panéliste lors de l’entraînement

4.1.4.3 Pouvoir de discrimination et accord du panel

L’un des critères utilisés pour l’évaluation des performances des panélistes est le pouvoir de discrimination et l’accord du panel. Pour cela, le logiciel Xlstat a été utilisé, et plus précisément la fonctionnalité « Analyse de la qualité d’un panel sensoriel » dont le calcul se base sur les principes théoriques déjà cités dans la partie bibliographie. Deux paramètres importants nous intéressent dans ce cas, FPROD et FINTER.

- P_value : FPROD qui correspond à la valeur de la statistique de Fisher de l’effet produit
- P_value : FINTER qui correspond à la valeur de l’interaction. La colonne renseigne sur la présence de désaccord entre les sujets.

Tableau 19 : Seuil des performances

FPROD	FINTER
p < 0,05	p < 0,05
0,05 < p < 0,10	0,05 < p < 0,10
p > 0,10	p > 0,10

Des seuils ont été définis pour chaque couleur, que ce soit pour le paramètre FPROD ou le paramètre FINTER. Le seuil pour ces deux indices est de 10 %. Le code couleur est défini en fonction du risque associé à la statistique de Fischer. Les cases vertes de la colonne FPROD indiquent que l’effet produit est significatif au risque $\alpha = 0,01$. Dans ce cas, cela signifie que le panel est discriminant. A l’inverse, les cases vertes de la colonne FINTER indiquent que l’interaction n’est pas significative ($p > 0,10$), donc le désaccord entre les panélistes est négligeable. Les cases jaunes et rouges indiquent que le niveau de performance de chaque indice se dégrade.

Il est à noter que la discrimination d’un panéliste peut également être déterminée. Nous avons fixé un seuil de 5% pour lequel le panéliste est discriminant. Le calcul s’effectue avec une ANOVA lors d’une

répétition sur l'ensemble des données exprimées par le panéliste pour un descripteur et pour tous les produits évalués. Si la p-value est inférieure au seuil, le panéliste est discriminant.

Les Tableau 20 et Tableau 21 présentent les p-values déterminées pour chaque descripteur respectivement lors de la première et de la quatrième répétition. Les valeurs en gras en indiquent les p-values inférieures à 5 %. Il s'agit du seuil en-dessous duquel le panéliste discrimine les propriétés du bruit de frottement. Il est à noter que les p-values des répétitions 2 et 3 se trouvent en Annexe A.

Tableau 20 : Pouvoir de discrimination lors de la première répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Grave-aigu	0,16	0,45	0,03	0,01	0,83	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06
Lent-rapide	0,08	0,13	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01
Monotone-Polyphonique	0,00	0,79	0,00	0,08	0,01	0,41	0,31	0,11	0,32	0,00
Homogène-Disharmonique	0,00	0,74	0,00	0,63	0,00	0,52	0,02	0,92	0,82	0,09
Peinant-Energique	0,00	0,07	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,16	0,98	0,06
Sourd-intensif	0,01	0,11	0,00	0,67	0,01	0,54	0,00	0,00	0,02	0,00
Rythmé	0,08	0,32	0,00	0,11	0,02	0,38	0,00	0,58	0,32	0,06
Grattage	0,80	0,08	0,02	0,04	0,16	0,33	0,25	0,00	0,21	0,00
Sciage	0,08	0,19	0,09	0,18	0,42	0,07	0,03	0,05	0,03	0,02
Abrasif	0,99	0,63	0,02	0,02	0,20	0,28	0,00	0,00	0,01	0,33
Résonnant	0,04	0,68	0,00	0,49	0,00	0,42	0,00	0,32	0,00	0,57

Tableau 21 : Pouvoir de discrimination lors de la quatrième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Grave-aigu	0,029	0,046	0,033	0,001	0,030	0,000	0,045	0,000	0,029	0,028
Lent-rapide	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Monotone-Polyphonique	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,041	0,004	0,004
Homogène-Disharmonique	0,004	0,170	0,053	0,002	0,114	0,017	0,491	0,788	0,201	0,596
Peinant-Energique	0,004	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000
Sourd-intensif	0,003	0,003	0,002	0,003	0,000	0,018	0,000	0,000	0,002	0,003
Rythmé	0,002	0,001	0,002	0,005	0,000	0,002	0,000	0,479	0,009	0,020
Grattage	0,020	0,020	0,021	0,024	0,033	0,000	0,020	0,004	0,021	0,003
Sciage	0,082	0,009	0,094	0,181	0,415	0,074	0,034	0,050	0,028	0,016
Abrasif	0,000	0,000	0,000	0,036	0,003	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000
Résonnant	0,000	0,000	0,000	0,026	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Le pouvoir de discrimination de chaque panéliste s'améliore d'une répétition à une autre, surtout pour les panélistes 2 et 6 (Figure 44). Ces deux panélistes n'avaient encore jamais participé à ce type d'étude d'où une amélioration nette de leurs performances.

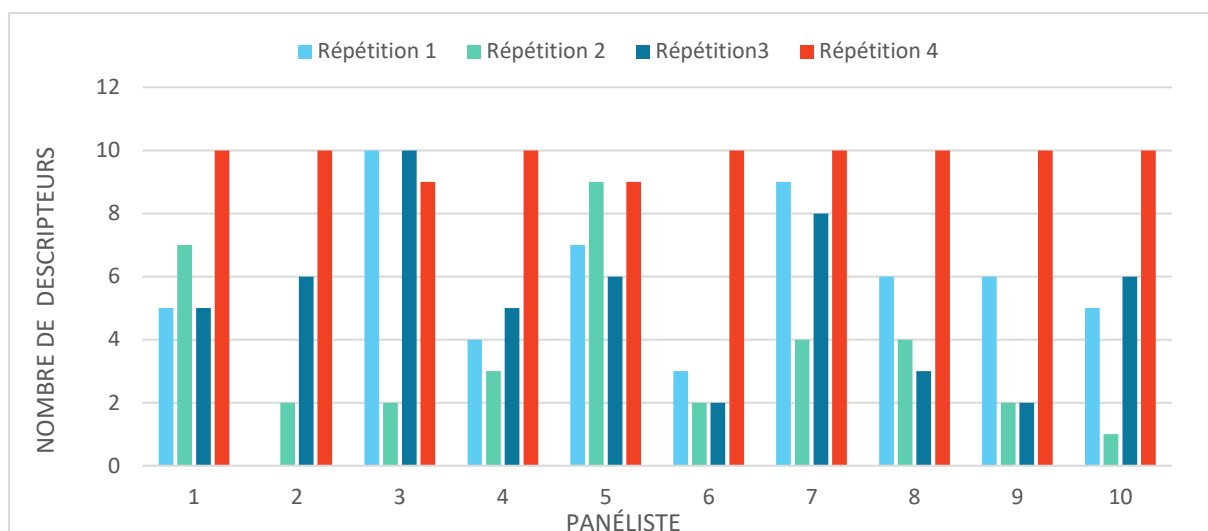


Figure 44 : Pouvoir de discrimination de chaque panéliste lors de l'entraînement

Nous avons également calculé l'indice de discrimination du panel pour chaque descripteur. Le panel, au-delà de 10 %, ne serait pas discriminant. Donc, plus la valeur de FPROD est faible par rapport à ce seuil (10%) plus le panel aura la capacité à différencier les propriétés sonores. Les résultats du calcul de l'indice de discrimination (Tableau 22) vont de même avec les observations qui citent que le pouvoir de discrimination s'améliore avec les répétitions. On peut en effet dire que le panel est en globalité non discriminant lors des trois premières répétitions pour les deux descripteurs *grave-aigu* et *grattage*, et il le devient à la répétition n° 4. On remarque aussi que l'effet produit persiste avec le descripteur *homogène – disharmonique*. Concernant le descripteur *sciage*, lors de cette répétition le panel a manifesté une non-discrimination. Cette observation se confirme à travers le Tableau 23. En effet, lors de la répétition 4 certains sujets ne sont pas discriminants pour le descripteur *homogène – disharmonique*, c'est le cas des panélistes P2, P3, P5, P7, P8, P9 et P10. Concernant le descripteur *sciage*, il n'est pas discriminé par les panélistes P1, P3, P4 et P5 et P6.

Tableau 22 : Indice de discrimination du panel lors de l'entraînement (FPROD)

Descripteurs	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4
Lent-rapide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Peinant-Energique	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sourd-intensif	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Rythmé	<0,0001	0,000	<0,0001	<0,0001
Monotone-Polyphonique	0,001	0,150	0,005	0,009
Homogène-Disharmonique	0,004	0,271	0,082	0,274
Résonnant	0,012	0,001	<0,0001	<0,0001
Abrasif	0,013	0,005	0,087	<0,0001
Sciage	0,020	0,013	0,023	0,144
Grave-aigu	0,111	0,088	0,344	0,006
Grattage	0,371	0,332	0,523	<0,0001

Ces deux descripteurs ne nous semblent pas trop pertinents pour la caractérisation du bruit de frottement des étoffes textiles. Les panélistes étant, de plus, peu performants sur ces deux descripteurs, une décision sera prise après l'étude des performances de l'accord du panel pour leur exploitation ou non dans l'établissement des profils sensoriels sonores.

Une ANOVA à deux facteurs (panéliste x bruit de frottement) a été utilisée afin de vérifier si les panélistes sont en accord ou non. Pour rappel, les cases vertes de la colonne FINTER indiquent que l'interaction n'est pas significative ($p > 0,10$), et donc que le désaccord entre les panélistes est négligeable.

Tableau 23: Indice de l'accord entre les panélistes (FINTER)

Descripteurs	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4
Lent-rapide	0,000	<0,0001	<0,0001	0,150
Peinant-Energique	0,004	<0,0001	<0,0001	0,271
Sourd-intensif	0	<0,0001	0,007	0,152
Rythmé	0	0,912	0,944	0,377
Monotone-Polyphonique	0,005	0,150	0,103	0,111
Homogène-Disharmonique	0,115	0,220	0,030	0,003
Résonnant	<0,0001	0,056	0,032	0,884
Abrasif	<0,0001	0,993	0,843	0,404
Sciage	0,001	0,383	0,005	0,000
Grave-aigu	<0,0001	0,001	0,344	0,104
Grattage	0,001	0,091	0,014	0,247

En se concentrant sur l'analyse de l'indice de l'accord entre les panélistes (FINTER) présentée dans le Tableau 23, on remarque que le panel montre une interaction significative (p -valeur < 10%) lors de la première répétition pour l'ensemble des descripteurs sauf pour le descripteur *homogène-disharmonique*, donc il n'y a pas d'accord significatif en les panélistes.

Afin d'améliorer les performances de l'accord, des discussions avec le panel ont été nécessaires afin de leur rappeler les définitions des termes et leur permettre de comprendre les descripteurs de la même façon.

On remarque que suite à la deuxième répétition, l'interaction sujet x produit a commencé à se réduire pour certains descripteurs (*rythmé*, *monotone-polyphonique*, *résonnant*, *abrasif* et *sciage*).

Lors de la troisième répétition, le nombre de descripteurs pour lequel l'interaction sujet x produit est non significative continue à croître. Ce sont les descripteurs, *lent-rapide*, *peinant-énergique* et *sourd-intensif* qui s'ajoutent à la liste des descripteurs pour lesquels les panélistes sont en accord.

Suite à la quatrième répétition, on remarque que l'interaction produit x panéliste n'est plus significative pour l'ensemble des descripteurs sauf pour les deux descripteurs *sciage* et *homogène-disharmonique*. Pour ces deux descripteurs, les panélistes n'étant pas non plus discriminants, nous avons décidé de les éliminer des profils sensoriels sonores qui seront établis dans la phase de caractérisation.

4.2 Analyse sensorielle tactile

L'évaluation sensorielle se base sur l'analyse descriptive quantitative des produits textiles pour le sens du toucher. Nous cherchons à travers cette évaluation à contrôler l'aspect tactile des tissus après les différents traitements. Pour ce faire, l'ensemble des évaluations fournies sera traité statistiquement grâce au logiciel XLSTAT (module analyse sensorielle) selon les mêmes principes que ceux détaillés pour l'analyse sensorielle sonore.

4.2.1 Présentation du panel

Pour notre travail de recherche, nous avons choisi un panel interne compte tenu de ses avantages. Nous avons recruté des personnes qui travaillent dans différents services (administration, services techniques, doctorants et enseignants-chercheurs) du laboratoire.

Les travaux de F. Philippe avait permis de créer un panel entraîné au sein du LPMT mais au moment de cette étude, il ne restait qu'un seul panéliste. Par conséquent, il a été nécessaire de reconstituer un nouveau panel. D'après la littérature, un minimum de six personnes doit composer le panel [106]. Le nouveau panel est composé de 8 personnes (4 femmes et 4 hommes) dont un panéliste déjà entraîné sur l'analyse sensorielle tactile. Le panéliste le plus jeune a 25 ans et le plus âgé a 55 ans. Il est à noter que mon panel est composé de deux panélistes qui font partie du panel formé pour l'analyse sensorielle sonore.

4.2.2 Liste des descripteurs

Nous avons utilisé la liste des descripteurs établie et déjà utilisée dans les travaux de F. Philippe [106] et S. Ben Said [107]. Cette liste a été aussi utilisée par W. Abbas [108] qui s'est intéressée à l'étude de la qualité du confort au porter de produits confectionnés. W. Abbas a apporté un changement dans l'ordre d'évaluation des descripteurs suite à la demande de son panel. Cette liste comprend 15 descripteurs classifiés en deux groupes : simple et bipolaire. Elle est détaillée dans le Tableau 24.

Tableau 24 : Liste des descripteurs sensoriel tactile établie et validée par F. Philippe [106]

Descripteurs simples	Descripteurs bipolaires
Collant	Froid-Chaud
Glissant	Fin-Épais
Doux	Sec-Gras
Granuleux	Léger-Lourd
Pileux	Souple-Rigide
Reliefé	
Élastique	
Tombant	
Nerveux	
Froissable	

Au vu de cette liste de descripteurs, il semble évident que pour certains d'entre eux les différents traitements étudiés ne modifieront ni la perception des panélistes ni les propriétés tactiles. Cependant,

il a été décidé de les conserver dans un premier temps puis de voir les résultats des études statistiques avant de prendre une décision. Citons l'exemple des descripteurs *léger-lourd*, *chaud-froid*, *élastique*, *tombant* et *froid-chaud*.

4.2.3 Conditions d'évaluation

Les séances d'évaluation se déroulent dans des conditions standardisées, c'est-à-dire avec une atmosphère contrôlée (20°C et 65% HR) en accord avec la norme NF EN ISO 139 [129]. Les étoffes sont, au préalable, conditionnées au minimum 24 h avant les tests. Les panélistes se lavent les mains en début de séance avec le même type de savon et les séchent avec une serviette jetable.

L'essai est réalisé à l'intérieur d'une cabine individuelle (Figure 45) empêchant les panelistes de voir l'étoffe à évaluer afin de ne pas engendrer de biais de perception. Les étoffes sont codifiées avec un numéro choisi au hasard. La séance d'évaluation est limitée à 30 minutes pour éviter tout effet de saturation et de fatigue. De plus, une seule évaluation par jour est recommandée afin d'éviter les effets mémoire éventuels.

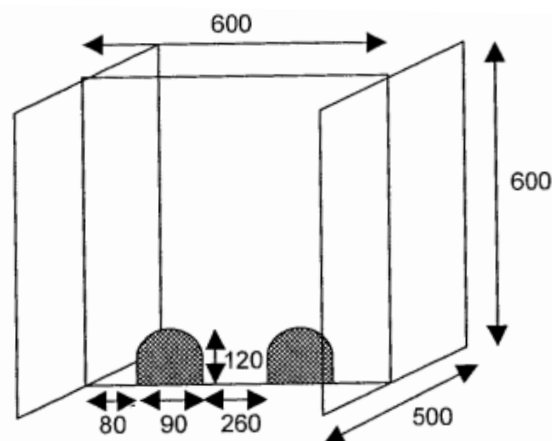


Figure 45 : Schéma de la cabine individuelle [106]

Pour l'entraînement, nous avons utilisé les 10 étoffes d'entraînement définies F. Philippe [106] et W. Abbas [108] dans leur travail de thèse. Ces étoffes sont soit tricotées, soit tissées, et possèdent des textures différentes. L'objectif est de mettre en place un panel sensoriel capable d'évaluer tout type d'étoffe.

4.2.4 Entraînement pour l'analyse sensorielle tactile

L'entraînement a été réalisé selon la même méthodologie que pour l'analyse sensorielle sonore.

4.2.4.1 Répétabilité des panélistes

La Figure 46 présente la répétabilité du panel au cours de la première répétition. Nous pouvons constater que certains panélistes sont bien répétables dès la première répétition car pour l'ensemble des descripteurs tactiles leur erreur résiduelle est nettement inférieure à 1. C'est le cas des panélistes 1, 3 et 8.

En revanche, d'autres panélistes ont une erreur de jugement pour certains descripteurs largement supérieurs au seuil. En effet le panéliste 2 n'était pas répétable pour le descripteur *granuleux* et le panéliste 4 pour le descripteur *pileux*. Il est normal de constater ces valeurs d'erreur car ce sont des

sujets débutants qui n'ont jamais fait d'analyse sensorielle. C'est pour cela que l'évolution de l'erreur de jugement de chaque panéliste a été suivie lors de chaque répétition. Le détail de ce calcul se trouvent Annexe B

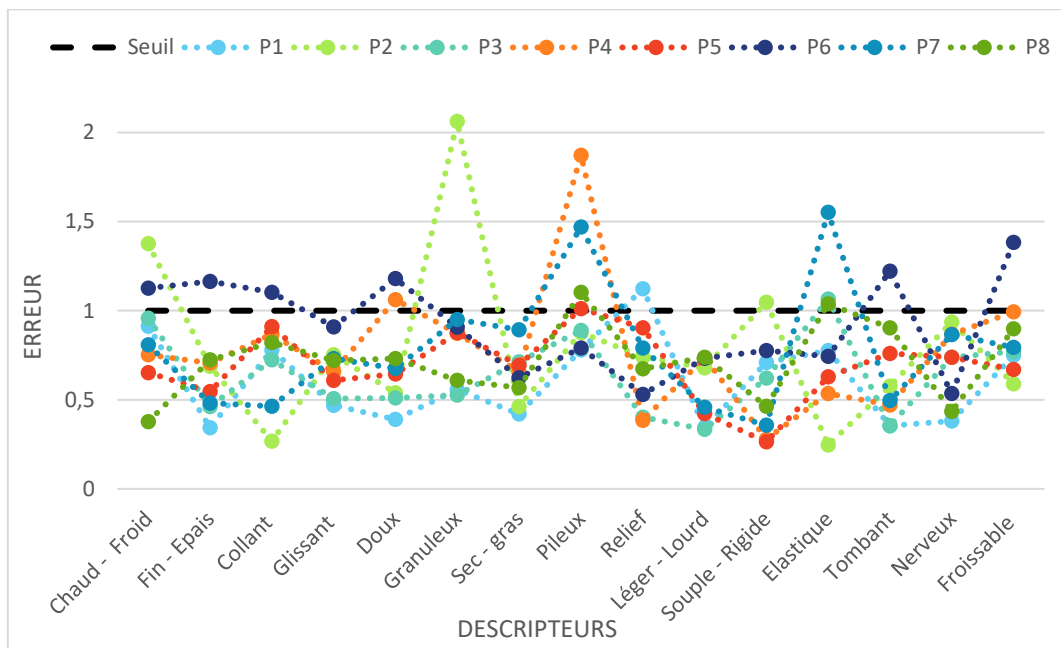


Figure 46 : Erreur résiduelle des panélistes pour les descripteurs lors de la répétition n° 1

D'après la Figure 47, on remarque que pour le paneliste 4 sa répétabilité s'est dégradée au cours de la deuxième répétition. Ce sujet montre une erreur largement supérieure à 1, surtout pour les descripteurs *collant*, *sec-gras*, *souple-rigide* et *tombant*.

Pour pallier ce genre d'anomalie, j'ai discuté avec chaque panéliste pour leur expliquer les définitions des descripteurs pour lesquelles ils ne sont pas répétables et pour m'assurer que chacun comprenne les descripteurs de la même façon.

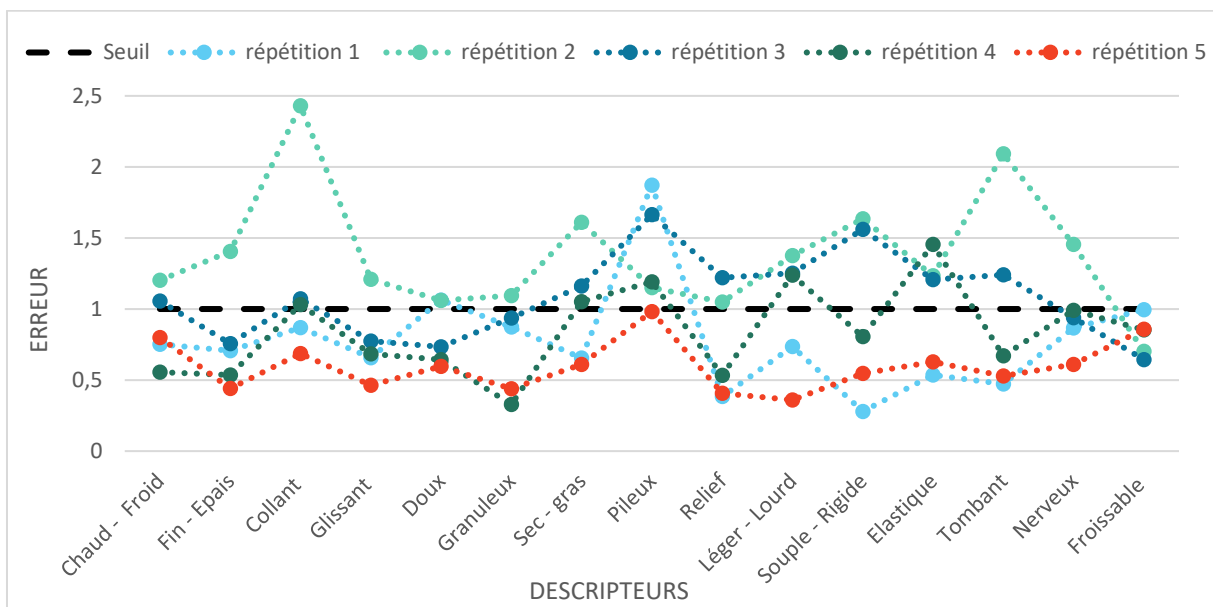


Figure 47 : Entraînement du panéliste 4 pour l'analyse sensorielle tactile

Nous pouvons constater que le panéliste 4 au cours de la troisième répétition devient répétable pour le descripteur *collant* malgré une légère dégradation de répétabilité pour le descripteur *pileux*. Sur l'ensemble des descripteurs, nous remarquons que l'erreur de jugement de ce panéliste devient plus faible au cours des répétitions suivantes.

A l'échelle du panel, l'observation de l'atténuation de l'erreur est bien confirmée avec la Figure 48 qui illustre l'erreur du panel lors de la cinquième répétition, ce qui montre que chaque panéliste donne des réponses de plus en plus similaires d'une séance à l'autre.

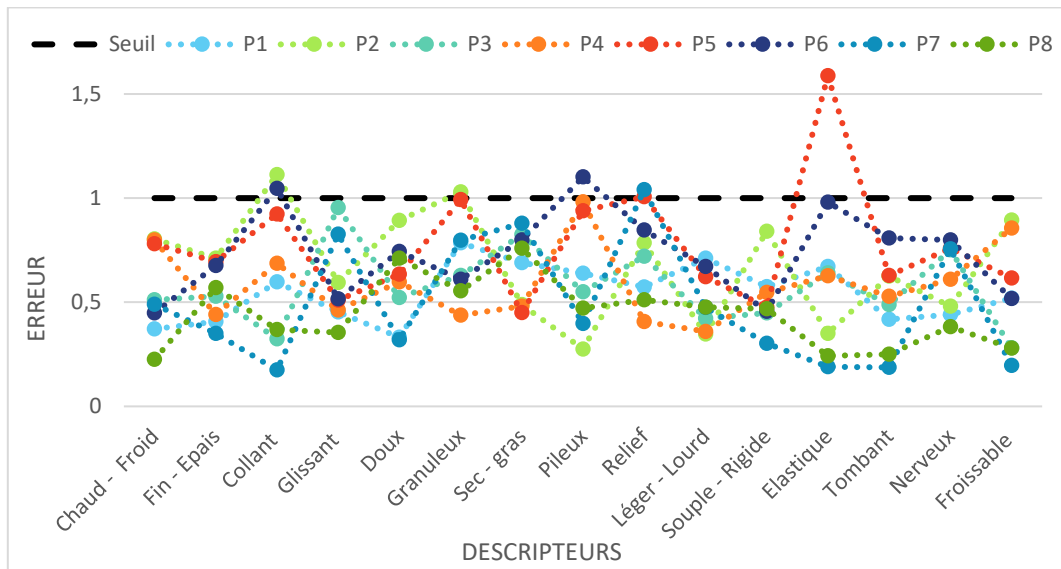


Figure 48 : Erreur résiduelle des panélistes (répétition n° 5)

Pour une meilleure interprétation, on présente dans la Figure 49, l'évolution en fonction des répétitions du nombre des descripteurs pour lesquels les panélistes sont répétables. Avec la succession des répétitions, on remarque que ce nombre est en croissance. De ce fait, le meilleur résultat est enregistré pendant la dernière répétition (5).

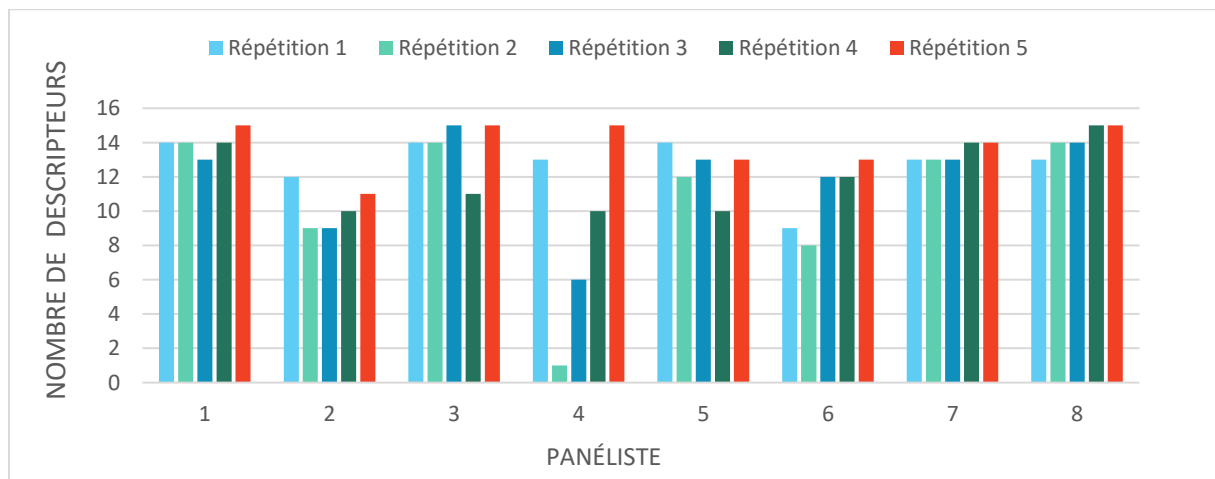


Figure 49 : Evolution du pouvoir de répétabilité du panel avec l'entraînement

Les panélistes les plus répétables sont les panélistes P1, P3 et P8. On observe que le panéliste P2 n'est répétable que pour 13 descripteurs et le panéliste P7 pour 14. Cependant, si l'on se réfère aux valeurs

de l'erreur, on constate qu'elles sont presque égales à 1. Etant donné ces observations, on peut estimer que le panel est bien répétable à l'issue de l'entraînement.

4.2.4.2 Pouvoir de discrimination

Le pouvoir de discrimination des panélistes est évalué par une analyse de variance ANOVA à un facteur. L'analyse est réalisée pour chaque descripteur sur les notes sensorielles exprimées par chaque panéliste lors d'une répétition. Les p-values déterminées pour chaque descripteur sont regroupées dans des tableaux dans lesquels les valeurs en gras indiquent les p-values inférieures à 5 %, seuil en dessous duquel nous considérons que le panéliste discrimine les propriétés tactiles des produits.

Tableau 25 : Pouvoir de discrimination lors de la première répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Chaud - Froid	0,015	0,186	0,681	0,012	0,287	0,170	0,539	0,801
Fin - Epais	0,042	0,001	0,000	0,013	0,003	0,283	0,003	0,016
Collant	0,157	0,000	0,901	0,243	0,280	0,230	0,601	0,108
Glissant	0,367	0,168	0,166	0,054	0,058	0,389	0,131	0,169
Doux	0,011	0,065	0,022	0,050	0,008	0,744	0,101	0,090
Granuleux	0,586	0,513	0,641	<0,0001	0,209	0,163	0,028	0,041
Sec - gras	0,249	0,474	0,032	0,223	0,155	0,103	0,047	0,001
Pileux	0,071	0,123	0,688	0,006	0,071	0,274	0,567	0,197
Reliefé	0,000	0,010	<0,0001	0,001	0,036	<0,0001	0,001	0,017
Léger - Lourd	0,009	0,000	<0,0001	<0,0001	0,003	0,007	0,002	0,005
Souple - Rigide	0,024	0,080	0,003	<0,0001	<0,0001	0,002	0,002	0,000
Elastique	0,001	<0,0001	0,146	0,000	0,002	0,003	0,009	0,014
Tombant	0,000	0,000	0,000	0,122	0,150	0,260	0,024	0,065
Nerveux	0,223	0,025	0,073	0,003	0,044	0,000	0,012	0,001
Froissable	0,006	0,001	0,832	0,287	0,042	0,352	0,012	0,085

On remarque lors de la première répétition (Tableau 25) que tous les panélistes éprouvent des difficultés à discriminer les descripteurs *glissant* et *collant*. Les panélistes P5, P6, P7 et P8 ne sont pas discriminants pour le descripteur *chaud-froid* et les panélistes P1, P2 et P3 ne sont pas discriminants pour les descripteurs *granuleux* et *pileux*. Ces observations préliminaires sont évidentes et normales puisqu'il s'agit des premières sessions d'entraînement. Il est à noter que le calcul des répétitions 2, 3 et 4 se trouve en Annexe B.

Le Tableau 26 montre le pouvoir de discrimination de chaque panéliste lors de la cinquième répétition. Presque tous les panélistes sont devenus discriminants pour la majorité des descripteurs.

Tableau 26 : Pouvoir de discrimination lors de la cinquième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Chaud - Froid	0,040	0,045	0,019	0,002	0,590	0,129	0,171	0,816
Fin - Epais	0,003	0,001	0,001	<0,0001	0,002	0,000	0,000	0,004
Collant	0,007	0,407	0,388	0,009	0,324	0,025	0,500	0,410
Glissant	0,041	0,003	0,125	0,001	0,010	0,188	0,377	0,001
Doux	0,001	0,021	0,019	0,014	0,047	0,002	0,004	0,041
Granuleux	0,033	0,210	0,040	<0,0001	0,052	0,004	0,006	0,001
Sec - gras	0,114	0,500	0,301	0,047	0,092	0,697	0,049	0,511
Pileux	0,246	0,532	0,063	0,128	0,015	0,073	0,384	0,008
Reliefé	<0,0001	0,087	0,001	<0,0001	0,002	0,029	0,017	0,001
Léger - Lourd	0,027	<0,0001	0,000	<0,0001	0,006	<0,0001	0,027	0,000
Souple - Rigide	0,013	0,012	0,000	0,000	0,004	0,001	0,002	0,001
Elastique	0,000	0,588	0,011	0,000	0,597	0,000	<0,0001	<0,0001
Tombant	0,001	0,010	0,012	0,000	0,032	0,003	0,001	<0,0001
Nerveux	0,000	0,191	0,086	0,004	0,050	0,015	0,008	0,000
Froissable	0,002	0,006	0,474	0,307	0,003	0,000	<0,0001	0,000

La Figure 50 illustre l'évolution du nombre de descripteurs pour lesquels les panélistes sont discriminants à chaque répétition.

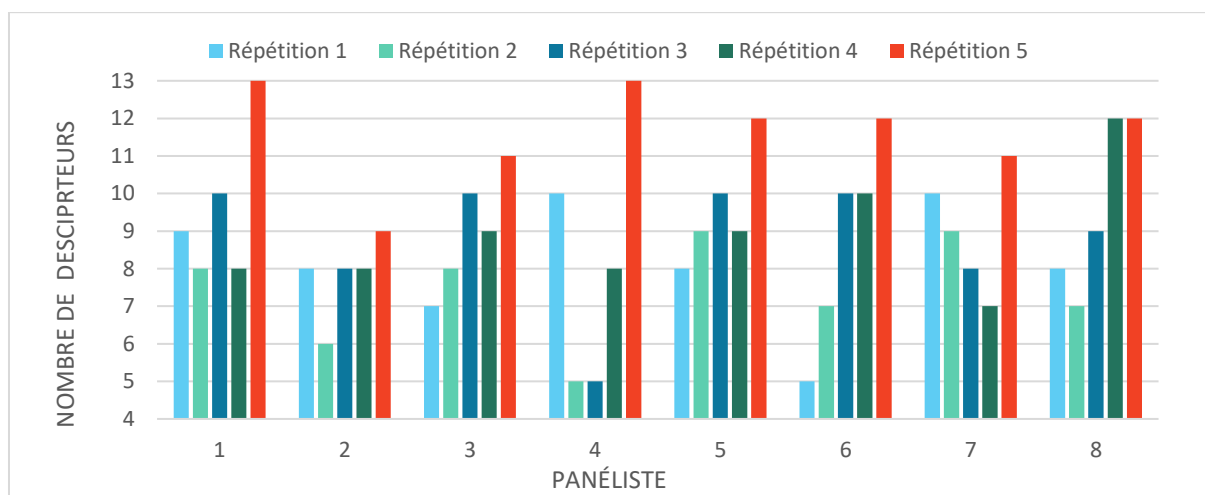


Figure 50 : Pouvoir de discrimination de chaque panéliste lors des 5 répétitions

On remarque d'après la Figure 50 que le nombre descripteurs pour lesquels les panélistes sont discriminants augmente à chaque répétition. Le meilleur pouvoir de discrimination est celui de la cinquième répétition, comme attendu.

L'indice de discrimination du panel pour chaque descripteur (Tableau 27) a également été calculé. Comme expliqué dans la partie précédente, FPROD correspond à la valeur de la statistique de Fisher de l'effet produit dont en résulte une P-value d'une ANOVA à un facteur. Le panel au-delà de 10 % ne serait pas discriminant, donc plus la valeur de FPROD est faible par rapport à ce seuil (10%), plus le

panel aura la capacité à différencier les propriétés tactiles. Nous rappelons qu'une répétition concerne deux évaluations lors de deux séances successives. Comme attendu, les résultats du calcul de l'indice de discrimination montrent que le pouvoir de discrimination s'améliore avec les répétitions.

Le panel est en globalité discriminant à partir de la troisième répétition puisque toutes les p-values sont nettement inférieures à 10 %. Le panel n'était pas discriminant pour les descripteurs *chaud-froid* et *granuleux* lors de la première répétition. Il le reste lors de la deuxième répétition.

Tableau 27 : Indice de discrimination entre les panélistes (FPROD)

Descripteurs	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4	Répétition 5
Chaud - Froid	0,474	0,830	0,016	0,002	0,009
Fin - Epais	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Collant	0,000	0,034	0,030	0,027	0,006
Glissant	0,003	0,000	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Doux	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Granuleux	0,108	0,004	0,006	0,003	0,002
Sec - gras	0,000	0,005	0,002	0,014	0,001
Pileux	0,000	<0,0001	0,005	0,005	0,000
Reliefé	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Léger - Lourd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Souple - Rigide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Elastique	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tombant	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Nerveux	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Froissable	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,000	0,002

Nous avons montré que le panel est devenu en globalité discriminant mais en se référant au Tableau 26, on peut définir les descripteurs pour lesquels un ou plusieurs panélistes éprouvent encore des difficultés de discrimination. Nous citons à titre d'exemple le descripteur *chaud-froid* pour les panélistes P5, P6, P7 et P8 ; le descripteur *collant* pour les panélistes P2, P3, P6, P7 et P8 ou encore le descripteur *nerveux* pour P2.

Dans notre cas, nous savons que les traitements n'auront pas d'influence sur certains descripteurs mais nous les avons tout de même conservés pour l'étude statistique. Il s'agit des descripteurs *léger-lourd*, *fin-épais*, *chaud-froid*, *élastique*, et *tombant*. Ces descripteurs sont donc susceptibles d'être éliminés par la suite. Une décision sera prise suite à l'analyse des performances de l'accord entre les panélistes.

4.2.4.3 Accord entre les panélistes

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à étudier l'accord entre les panélistes. Une ANOVA à deux facteurs a été utilisée dans le but de voir si les panélistes sont en accord ou non. A l'inverse de FPROD, les cases vertes de la colonne FINTER indiquent que l'interaction n'est pas significative ($p > 0,10$), donc le désaccord entre les panélistes est négligeable.

Tableau 28 : Indice de l'accord entre les panélistes (FINTER)

Descripteurs	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4	Répétition 5
Chaud - Froid	0,000	0,900	0,009	0,008	<0,0001
Fin - Epais	0,559	0,016	0,003	0,000	<0,0001
Collant	0,221	0,957	0,933	0,559	0,000
Glissant	0,002	0,001	<0,0001	0,051	0,001
Doux	0,444	0,004	0,067	0,406	0,015
Granuleux	<0,0001	0,000	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sec - gras	0,003	0,075	0,060	0,000	0,558
Pileux	0,273	0,047	0,001	<0,0001	0,001
Reliefé	<0,0001	0,071	0,019	<0,0001	<0,0001
Léger - Lourd	0,000	0,108	<0,0001	0,007	<0,0001
Souple - Rigide	0,000	0,237	0,049	0,002	0,009
Elastique	0,009	0,700	0,067	0,127	0,253
Tombant	0,274	0,830	0,084	0,264	0,001
Nerveux	0,158	0,698	0,048	0,029	0,000
Froissable	0,106	0,358	0,011	<0,0001	<0,0001

D'après le Tableau 28, on remarque que suite aux quatre répétitions l'accord entre les panélistes n'est pas suffisamment satisfaisant puisqu'il fluctue d'une répétition à une autre pour certains descripteurs tandis que pour d'autres descripteurs le panel est systématiquement en désaccord (descripteurs *granuleux* et *glissant*).

Le panel a atteint de bonnes performances de répétabilité et de discrimination. Par contre, étant donnée la non performance de l'accord entre les panélistes, il a été décidé de continuer l'entraînement avec de nouvelles mesures que nous détaillerons dans la partie suivante.

4.2.5 Optimisation de l'entraînement

Il a été décidé de réduire le nombre de descripteurs en éliminant ceux sur lesquels nous avons jugé que les traitements n'auront pas d'effet. Nous avons également supprimé les descripteurs qui sont évalués en volume et non en surface puisque le frottement s'effectue en surface. Ces descripteurs sont les suivants : *chaud-froid*, *fin-épais*, *léger-lourd*, *élastique*, *tombant*, *nerveux* et *froissable*. De plus, afin d'améliorer l'homogénéité des réponses, des discussions supplémentaires avec le panel ont été faites afin d'améliorer les performances. L'optimisation de l'entraînement s'est déroulée sur 4 quatre séances (donc trois répétitions).

4.2.5.1 Répétabilité des panélistes

L'erreur résiduelle de chaque panéliste lors des répétitions 6, 7 et 8 a été calculée (voir Annexe B). La Figure 51 illustre l'erreur résiduelle de chaque panéliste suite à la dernière répétition.

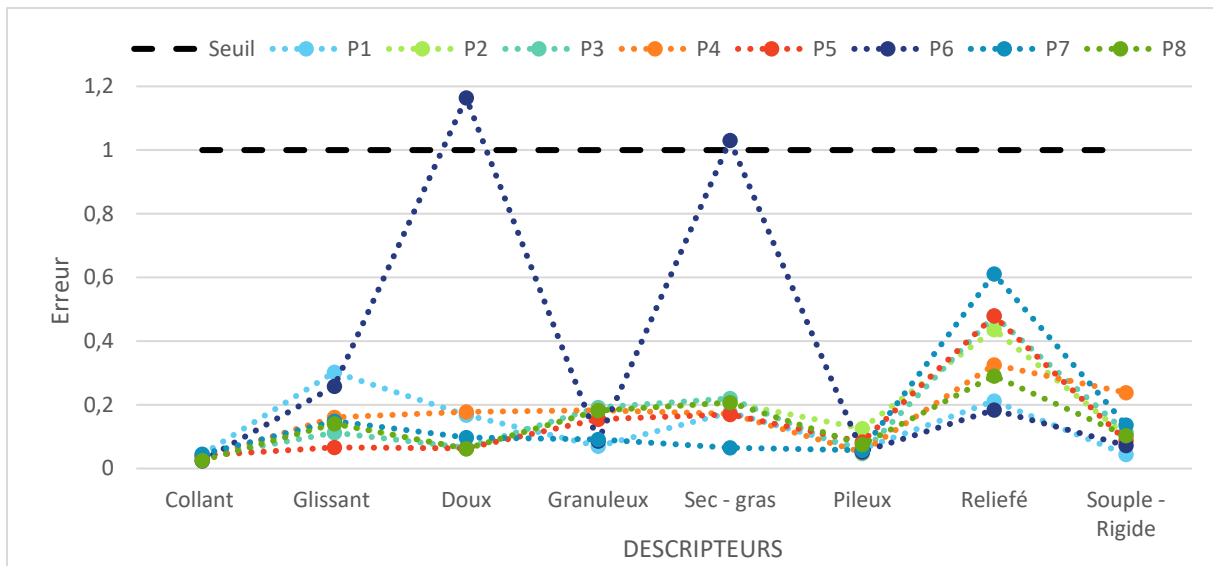


Figure 51 : Pouvoir de répétabilité de chaque panéliste lors de l'entraînement

On remarque que le panel continue à être bien répétable à chaque répétition et que l'erreur est très inférieure à 1, sauf pour le panéliste P6 qui n'est pas répétable pour les descripteurs *doux* et *sec-gras*. Une décision sera prise quant à la prise en compte de ses notes pour ces deux descripteurs lors de la phase de caractérisation.

4.2.5.2 Pouvoir de discrimination

D'après le Tableau 29 qui illustre l'indice de discrimination, nous pouvons dire que le panel continue à être discriminant en globalité pour tous les descripteurs puisque les p-values (FPROD) sont nettement inférieures à 10 %.

Tableau 29 : Indice de discrimination entre les panélistes (FPROD)

Descripteurs	Répétition 6	Répétition 7	Répétition 8
Collant	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Glissant	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Doux	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Granuleux	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sec - gras	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pileux	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Relié	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Souple - Rigide	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Le Tableau 30 regroupe l'ensemble de p-value déterminées pour chaque descripteur lors de la septième répétition. Il est à noter que les résultats de ce même calcul qui concerne les répétitions 6 et 7 se trouve en Annexe B. Les valeurs en gras indiquent les p-values inférieures à 5 % (seuil en dessous duquel nous considérons que le panéliste discrimine les propriétés tactiles des produits).

Nous remarquons que les panélistes sont bien discriminants pour les huit descripteurs que nous avons conservés, sauf le panéliste P6 qui ne discrimine toujours pas le descripteur *sec-gras*.

Tableau 30 : Pouvoir de discrimination lors de la huitième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Collant	0,000	<0,0001	0,000	<0,0001	0,000	<0,0001	0,000	<0,0001
Glissant	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Doux	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,000	<0,0001	0,038	<0,0001	<0,0001
Granuleux	<0,0001	<0,0001	0,000	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sec - gras	0,000	0,000	0,000	<0,0001	<0,0001	0,395	<0,0001	0,000
Pileux	0,001	0,027	0,000	0,000	0,007	0,001	0,003	0,001
Reliefé	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,000	<0,0001
Souple - Rigide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

4.2.5.3 Accord entre les panélistes

D'après le Tableau 31, qui regroupe l'indice de l'accord entre les panélistes (FINTER), on remarque que lors de la cinquième répétition le panel montre une interaction significative (p-value <10 %) pour le descripteur *reliefé* donc il n'y a pas d'accord. Suite aux deux répétitions suivantes, on remarque que l'interaction produit-panéliste n'est plus significative pour l'ensemble des descripteurs donc le désaccord entre tous les panélistes est négligeable.

Tableau 31: Indice de l'accord entre les panélistes (FINTER)

Descripteurs	Répétition 6	Répétition 7	Répétition 8
Collant	0,997	0,730	0,877
Glissant	0,884	0,863	0,995
Doux	0,839	0,392	0,253
Granuleux	0,512	0,953	0,953
Sec - gras	0,666	0,245	0,658
Pileux	0,986	0,447	0,422
Reliefé	0,001	0,947	0,534
Souple - Rigide	0,994	0,812	0,812

4.3 Synthèse sur l'entraînement

Lors de cette partie, la méthode de l'entraînement pour l'analyse sensorielle a été bien développée en prenant appui sur les outils statistiques. Cela consiste à évaluer trois performances qui sont la répétabilité de chaque panéliste, leur discrimination des bruits de frottement pour les descripteurs sensoriels sonore et pour les descripteurs sensoriels tactile ainsi que l'accord entre les panélistes.

Il ressort de la phase d'entraînement pour l'analyse sensorielle sonore que le panel est toujours en désaccord pour les deux descripteurs *sciage* et *homogène-disharmonique*. Pour ces deux descripteurs, les panélistes sont également non discriminants, il a donc été décidé de ne pas les prendre en considération pendant la phase de caractérisation.

En ce qui concerne la phase d'entraînement pour l'analyse sensorielle tactile, la première phase a été très utile pour améliorer la répétabilité et la discrimination de chaque panéliste mais par contre le panel est en désaccord. De ce fait, une deuxième phase d'optimisation s'est avérée nécessaire pour arriver à un accord entre les panélistes. Les descripteurs sur lesquels nous avons jugé que les traitements n'auront pas d'effet ont été éliminés, ce qui a permis d'arriver un accord entre les panélistes.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons dire que les performances du panel en termes de répétabilité, de discrimination et d'accord sont conformes aux principes de l'analyse sensorielle et plus précisément à la méthode d'analyse descriptive. Ainsi, le Tableau 32 résume les descripteurs choisis pour mener l'analyse sensorielle sonore et l'analyse sensorielle tactile.

Tableau 32 : Liste des descripteurs validés pour l'analyse sensorielle sonore et l'analyse sensorielle tactile

Analyse sensorielle sonore	Analyse sensorielle tactile
Grave-aigu	Collant
Lent-rapide	Glissant
Monotone-polyphonique	Doux
Peinant-Energique	Pileux
Sourd-Intensif	Granuleux
Rythmé	Reliefé
Abrasif	Souple - Rigide
Grattage	Sec - gras
Résonant	

Chapitre III : Etudes expérimentales

Comme nous l'avons précisé dans la partie Matériels et méthodes, trois tissus ont été sélectionnés pour mener cette étude. Ces tissus ont des contextures différentes ce qui permettra d'élargir l'horizon des connaissances sur l'effet des traitements de surface sur les propriétés acoustique d'une étoffe textile. La première partie de ce chapitre se focalise sur l'analyse des effets de traitements sur les propriétés acoustiques du tissu 1. D'une manière plus détaillée, l'effet des traitements sur chaque paramètre sera interprété et comparé entre les différents traitements. La deuxième partie de ce chapitre permettra de mettre en avant la généralisation des effets des traitements sur l'ensemble des tissus par l'intermédiaire des outils statistiques décrits précédemment.

1. Caractérisation du tissu 1

Dans cette partie, l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques du tissu 1 sera analysé. Le Tableau 33 rappelle la contexture de ce tissu et le Tableau 34 la nomenclature des traitements réalisés.

Tableau 33 : Contexture du tissu 1

Etoffe n°	Composition	Armure	Compte / Duitage (fils/cm)	Titres chaîne / trame (tex)	Masse surfacique (g/m ²)
1	Polyester 60 % / coton 40 %	satin 3	24 / 20	63 / 60	258 ± 5%

Tableau 34 : Nomenclature des traitements réalisés sur le tissu 1

Traitement	Nomenclature	Concentration
Brut	E0	0
Adoucissant micro-silicone	I1	10 g/L
	I2	40 g/L
Adoucissant macro-silicone	A1	10 g/L
	A2	40 g/L
Réticulant	R1	50 g/L
	R2	100 g/L
Combinaisons adoucissant / réticulant	I1 R1	10 g/L - 50 g/L
	I2 R1	40 g/L - 50 g/L
	I1 R2	10 g/L - 100 g/L
	I2 R2	40 g/L - 100 g/L
	A1 R1	10 g/L - 50 g/L
	A2 R1	40 g/L - 50 g/L
	A1 R2	10 g/L - 100 g/L
	A2 R2	40 g/L - 100 g/L

1.1 Caractérisation instrumentale

La caractérisation se répartit en trois phases selon la nature des traitements. En premier lieu, on s'intéresse à l'effet des traitements individuels sur le bruit de frottement généré, puis à la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant, et enfin à la combinaison adoucissant micro-silicone/réticulant.

1.1.1 Influence des traitements individuels

La Figure 52 montre la comparaison entre les spectres sonores de l'échantillon brut et les spectres des échantillons traités soit par des adoucissants, soit par un réticulant. Il s'agit ici de mettre en avant les traitements individuels sans combinaison. On note que sur tous les graphiques présentant les spectres sonores, la zone de sensibilité de l'oreille (1 à 3 kHz) sera indiquée par un rectangle bleu.

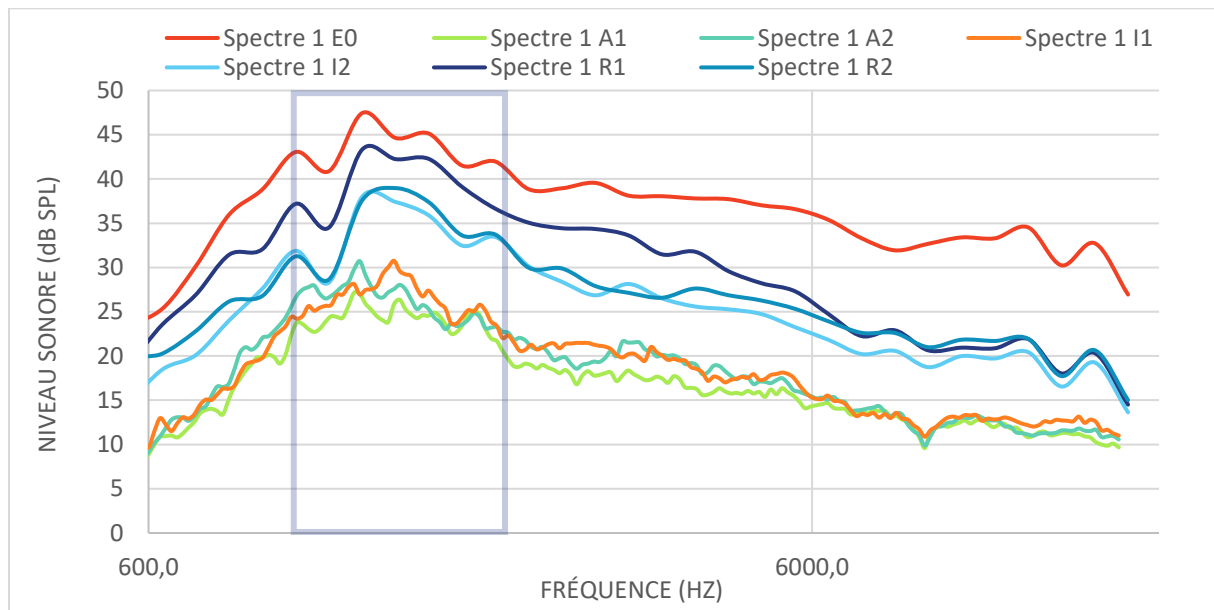


Figure 52 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 1 brut et traité

Afin de comparer les spectres objectivement, un coefficient de corrélation entre l'ensemble de ces spectres a été calculé. Les résultats sont présentés dans Tableau 35. On observe que les coefficients de corrélation sont tous proches de 1 ce qui confirme que les spectres sonores du bruit de frottement des tissus traités sont conditionnés par les propriétés du tissu lui-même.

Tableau 35 : Coefficient de corrélation entre les spectres du bruit de frottement du tissu 1 brut et traité

Variables	E0	A1	A2	I1	I2	R1	R2
E0	1	0,750	0,768	0,806	0,789	0,890	0,810
A1		1	0,969	0,948	0,958	0,859	0,972
A2			1	0,966	0,962	0,878	0,959
I1				1	0,967	0,916	0,972
I2					1	0,909	0,989
R1						1	0,915
R2							1

Ainsi, on observe des spectres sonores qui ont la même allure que celle du spectre sonore du bruit de frottement de l'étoffe brute. Les spectres sont aussi en dessous du spectre sonore de l'étoffe brute (Figure 52). Cela reflète une modification des propriétés acoustiques. Les spectres relatifs aux traitements R1 et R2 sont très proches de celui de l'étoffe brute puis viennent ceux relatifs aux traitements adoucissants. Les coefficients de corrélation entre le spectre du bruit de frottement de l'étoffe brute et suite aux traitements adoucissants sont les plus faibles. Les plus faibles coefficients sont de 0,768 entre E0 et A2 et de 0,750 entre E0 et A1. Ce qui montre que l'adoucissant modifie davantage les propriétés acoustiques du bruit de frottement que le réticulant.

A partir du spectre sonore, l'amplitude du maximum (Peak) a été extraite. Puis une analyse en 1/6 d'octave a été effectuée pour le calcul du niveau sonore (SPL). La Figure 53 présente les valeurs du niveau sonore et de l'amplitude du maximum du bruit de frottement suite aux traitements individuels.

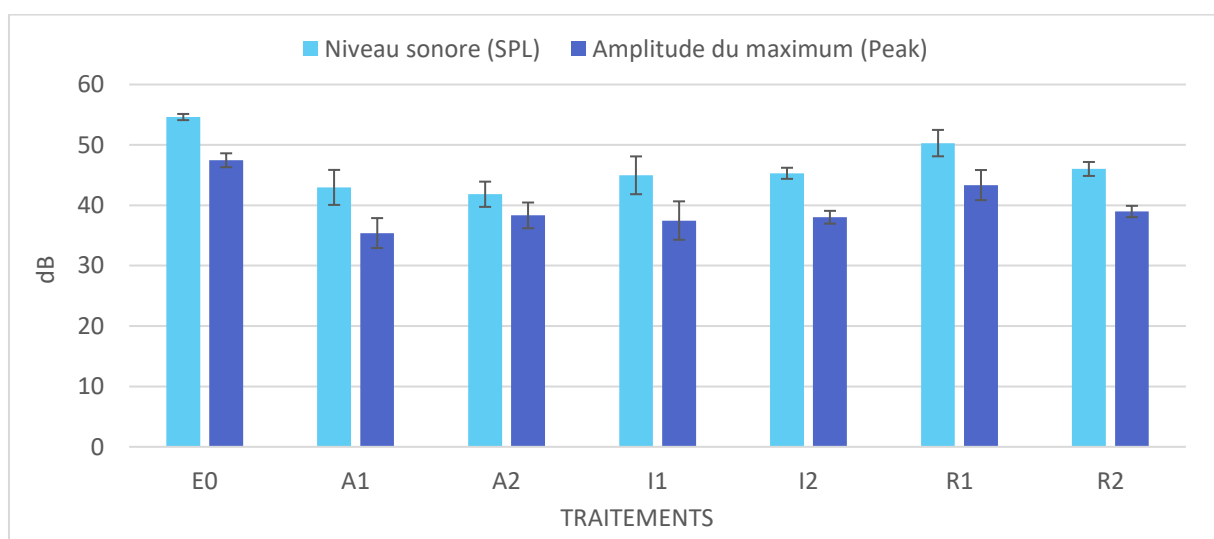


Figure 53 : Comparaison entre le niveau sonore et l'amplitude maximum du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et après traitements adoucissants et réticulant

On peut remarquer sur la Figure 53 que le traitement réticulant n'a pas beaucoup d'effet sur les propriétés acoustiques ; suite à ces traitements, les valeurs du SPL et du Peak sont les plus élevées comparées à celles relatives à l'effet du traitement adoucissant. On observe également que les valeurs du niveau sonore et de l'amplitude de maximum suite au traitement R1 (SPL = 50,30 dB ; Peak = 43,35 dB), sont très proches des valeurs de l'échantillon brut (SPL = 54,61 dB ; Peak = 47,46 dB). Suite au traitement R2, une diminution du niveau sonore est observée mais moins qu'avec les traitements adoucissants (A1, A2, I1, I2). Cette diminution par rapport au niveau de l'étoffe brute est de 7% dans le cas du traitement R1 et de 17% dans le cas du traitement R2 alors qu'elle est de 21% dans le cas du traitement A1, de 23% dans le cas du traitement A2 et de 17% dans le cas des traitements I1 et I2.

En ce qui concerne l'effet des adoucissants, on peut noter que les paramètres acoustiques sont plus faibles pour les traitements A1 et A2 avec l'adoucissant macro-silicone que pour les traitements I1 et I2 avec l'adoucissant micro-silicone. En outre, les échantillons A1 et A2 présentent les plus grandes différences de SPL et de Peak par rapport à l'étoffe brute. Par conséquent, les adoucissants type macro-silicone pourraient être considérés plus appropriés pour améliorer les propriétés acoustiques des tissus.

Le Tableau 36 présente les fréquences (f_{\max}) et les plages d'amplitude (ΔL) des bruits. Bien que toutes les valeurs de f_{\max} se trouvent dans la zone de perception maximale de l'oreille humaine (1 kHz à 3 kHz), ce paramètre ne sera pas très utile pour différencier l'effet des traitements sur le bruit de frottement car les valeurs sont très proches.

Tableau 36 : Fréquence du maximum et plage d'amplitude du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et après traitements adoucissants et réticulant

Traitements	f_{\max} (Hz)	ΔL (dB)
E0	1260	6,89
A1	1260	6,50
A2	1260	5,68
I1	1414	6,68
I2	1260	6,52
R1	1260	6,54
R2	1414	6,34

Le Tableau 36 montre aussi la plage d'amplitude ΔL (dB). Ce paramètre a été défini dans la partie Matériel et méthode comme le paramètre qui permet de montrer si un bruit est homogène ou non. D'après les résultats du calcul, on remarque que ce paramètre diminue par l'effet des traitements, donc que le bruit devient moins homogène.

1.1.2 Cas des traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

Dans cette partie, l'effet des traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant sur le bruit de frottement sera analysé. La Figure 54 illustre les spectres sonores résultant des traitements.

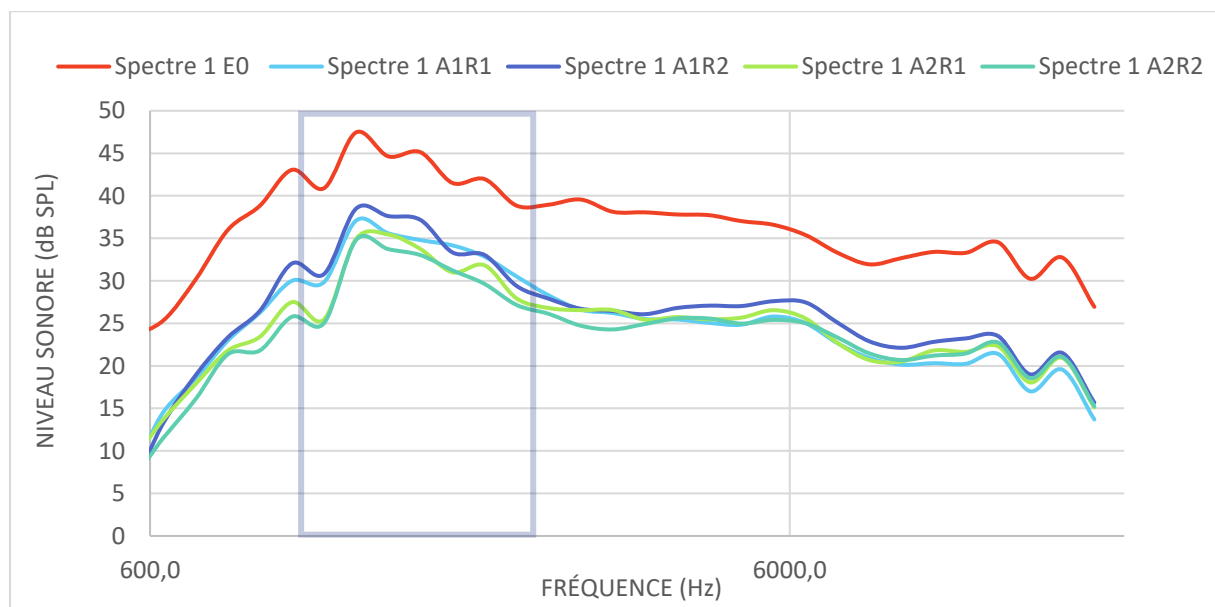


Figure 54 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité avec la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant

Le Tableau 37 présente les coefficients de corrélation entre les spectres.

Tableau 37 : Coefficient de corrélation entre les spectres du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité avec la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant

Variables	E0	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2
E0	1	0,906	0,770	0,807	0,784
A1R1		1	0,902	0,930	0,919
A1R2			1	0,981	0,973
A2R1				1	0,971
A2R2					1

A partir de la Figure 54, on peut remarquer que tous les spectres des traitements combinant un réticulant avec un adoucissant macro-silicone sont largement en dessous des spectres sonores de l'étoffe brute (E₀). De plus, d'après le Tableau 37, les coefficients de corrélation entre ces spectres et celui de l'étoffe brute sont compris entre 0,770 et 0,906. Ces observations mettent en évidence l'importance de combiner un adoucissant avec un réticulant. Nous constatons également que les spectres sonores apparaissent comme suit par ordre décroissant : A1R2, 1A1R1, 1A2R1 et enfin A2R2. L'atténuation de la position du spectre est due à l'effet des agents de traitement, c'est avec les traitements A2R1 et A2R2 qu'il y'a eu la plus grande atténuation de la position du spectre par rapport à celui de l'étoffe cela est dû à l'effet de l'adoucissant qui permet de diminuer le coefficient de frottement. L'analyse des coefficients de corrélation entre les spectres résultant des traitements de la combinaison montre que les coefficients de corrélations sont très proches de 1 ce qui signifie qu'il n'y a pas de différences très significatives entre ces spectres.

De la même manière que dans le cas des effets des traitements individuels, le niveau sonore et l'amplitude de maximum ont été calculés. Les valeurs calculées pour ces deux paramètres sont présentées Figure 55.

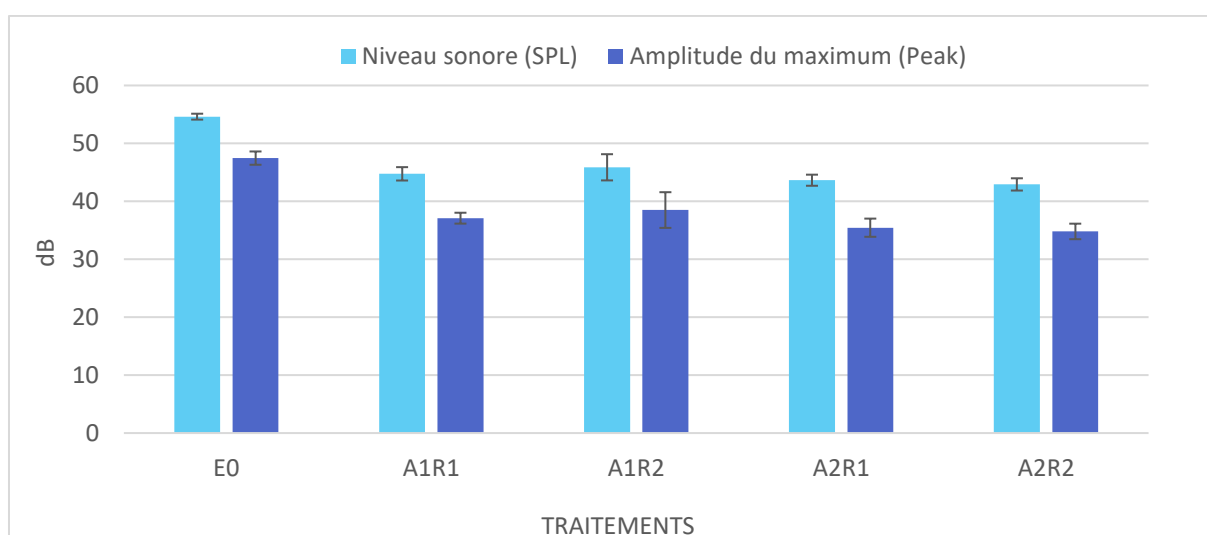


Figure 55 : Comparaison entre le niveau sonore et l'amplitude du maximum du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité par la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant

D'après la Figure 55, on peut observer que les propriétés du bruit de frottement suite aux traitements combinés sont variées. En effet, pour une même concentration de réticulant, l'augmentation de la

concentration de l'adoucissant macro-silicone entraîne une diminution du SPL et du Peak. Citons l'exemple du cas du bruit de frottement après le traitement A1R1, SPL = 44,75 dB et Peak = 37,09 dB. Par l'effet du traitement A2R1, le SPL diminue à 43,64 dB avec un Peak à 35,45 dB.

Les résultats du traitement A1R2 en termes de SPL et Peak sont les plus élevés. Ceci s'explique par la concentration élevée de réticulant qui masque l'effet de l'adoucissant présent en faible concentration (10 g/L). Avec le traitement A2R2, le SPL et le Peak sont les plus faibles, ce qui s'explique ici par la concentration élevée d'adoucissant et dont l'effet est plus marqué que celui du réticulant, malgré sa concentration élevée (100 g/L).

Le Tableau 36 présente les fréquences du maximum (f_{max}) et les plages d'amplitude (ΔL) des bruits de frottement du tissu 1 traité avec la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant.

Tableau 38 : Fréquence du maximum et plage d'amplitude du bruit de frottement du tissu 1 traité avec la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant

Traitements	f_{max} (Hz)	ΔL (dB)
1A1R1	1260	6,83
1A2R1	1414	7,24
1A1R2	1260	6,67
1A2R2	1260	7,08

D'après le Tableau 38, et comme précédemment, les valeurs de f_{max} sont très similaires et le paramètre ne permettra donc pas de différencier l'effet des différents traitements. La plage d'amplitude ΔL diminue légèrement par rapport à la plage d'amplitude de l'étoffe brute, donc le bruit devient moins homogène par l'effet des traitements.

1.1.3 Cas des traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

L'effet des traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant sur le bruit de frottement sera analysé. La Figure 56 (page suivante) illustre les spectres sonores du bruit de frottement. On peut constater que les spectres du bruit de frottement des tissus traités sont tous similaires à l'allure du spectre sonore du tissu brut (E0).

Le Tableau 39 présente les coefficients de corrélation entre les spectres.

Tableau 39 : Coefficient de corrélation entre les spectres du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité par la combinaison adoucissant micro-silicone/réticulant

Variables	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,879	0,829	0,932	0,755
I1R1		1	0,912	0,910	0,845
I1R2			1	0,825	0,884
I2R1				1	0,747
I2R2					1

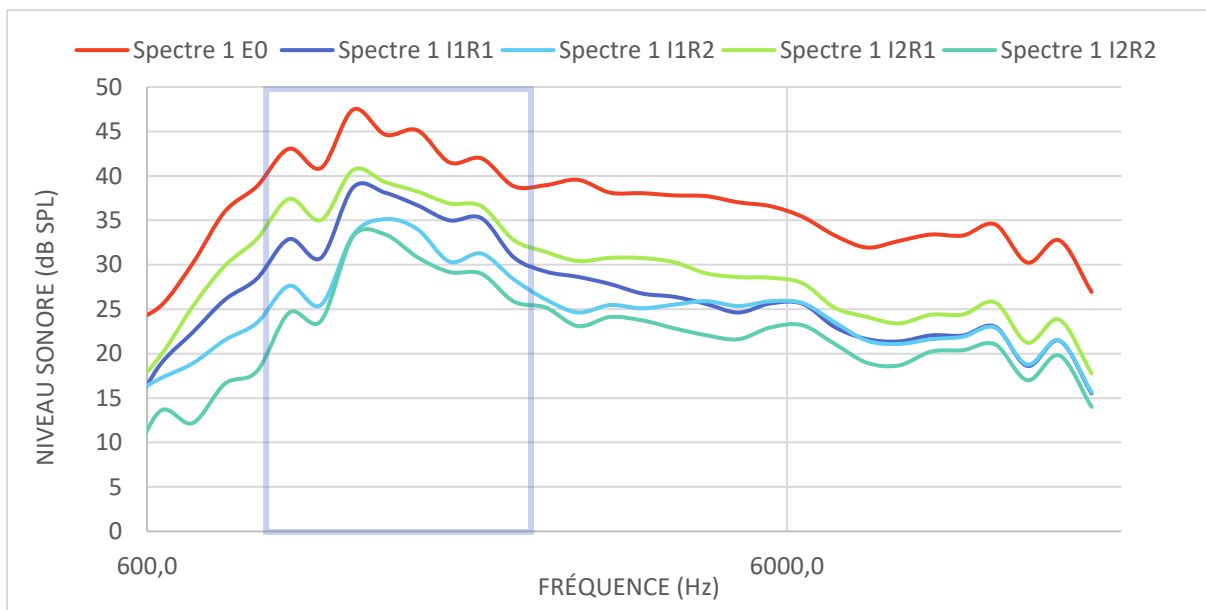


Figure 56 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité par la combinaison adoucissant micro-silicone/réticulant

Le spectre sonore I2R2 enregistre la plus grande atténuation des propriétés acoustiques car il présente la plus grande déviation avec un coefficient de corrélation de 0,755 par rapport au spectre sonore du de tissu brut (E0). Le spectre sonore résultant de l'effet du traitement I2R1 se trouve par dans la position la plus basse avec un coefficient de corrélation de 0,932, puis apparaissent les spectres du bruit de frottement de I1R1 et de I1R2. On peut donc en conclure que le traitement I2R2 apporte le plus d'effet d'atténuation du bruit de frottement à ce tissu.

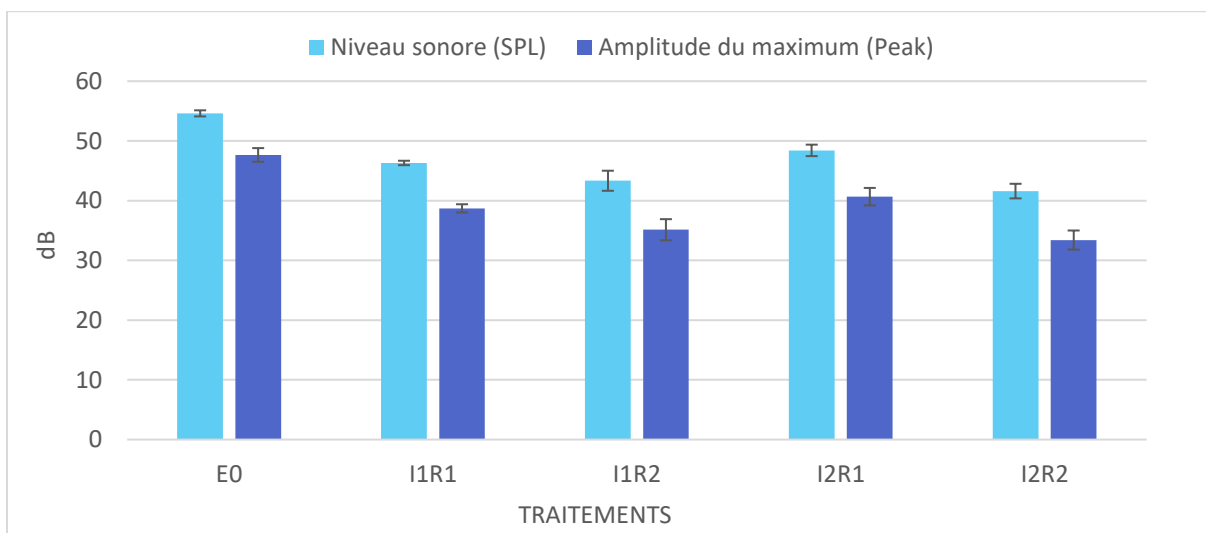


Figure 57 : Comparaison entre le niveau sonore et l'amplitude maximum du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité par la combinaison adoucissant micro-silicone/réticulant

La Figure 57 nous montre que pour une même concentration de réticulant, l'augmentation de la concentration de l'adoucissant micro-silicone entraîne une diminution du niveau sonore et de l'amplitude de maximum. Prenons l'exemple de l'effet des traitement I1R2 et I2R2. On remarque qu'entre le traitement I1R2 et I2R2, le SPL passe de 46,31 dB à 41,60 dB et le Peak de 38,71 dB à 33,41

dB. On remarque aussi que les valeurs du SPL et du Peak sont les plus élevées pour le traitement I2R1, tandis que les plus faibles sont observées pour le traitement I2R2 ; ceci s'explique par la grande quantité d'adoucissant qui a un effet supérieur à celui du réticulant, malgré sa concentration élevée.

Le Tableau 40 présente les fréquences du maximum (f_{\max}) et les plages d'amplitude (ΔL) des bruits de frottement suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant.

Tableau 40 : Fréquence du maximum et plage d'amplitude du bruit de frottement du tissu 1 traité avec la combinaison adoucissant micro-silicone/réticulant

Traitements	f_{\max} (Hz)	ΔL (dB)
I1R1	1260	6,92
I2R1	1260	7,21
I1R2	1414	7,19
I2R2	1414	7,00

L'analyse de la fréquence de l'amplitude maximum dans le cas des traitements combinant un adoucissant micro-silicone et un réticulant, ne montre pas de différence, comparé au cas des traitements individuels et des traitements combinant un adoucissant macro-silicone et un réticulant. De même, les valeurs de f_{\max} sont très similaires et le paramètre ne permettra donc pas de différencier l'effet des différents traitements.

On remarque que la plage d'amplitude ΔL diminue légèrement par rapport à la plage d'amplitude de l'étoffe brute, donc que le bruit devient moins homogène par l'effet des traitements.

1.1.4 Conclusions

Dans cette partie, l'analyse instrumentale de l'effet des traitements individuels et en combinaison a été effectuée. Il ressort des résultats que les traitements adoucissants sont plus efficaces pour atténuer les bruits générés par cette étoffe.

Dans le cas de la combinaison adoucissant micro-silicone et réticulant, la déviation des spectres par rapport à l'étoffe brute est plus importante que dans le cas de la combinaison adoucissant macro-silicone et réticulant.

Il a été observé que la plage d'amplitude diminue par rapport à la plage d'amplitude de l'étoffe brute dans tous les cas de traitements, ce qui montre que l'effet des traitements rend le bruit moins homogène en perception par l'oreille du consommateur. Dans ce cas l'énergie du bruit est concentrée autour de l'amplitude du maximum ce qui donne un bruit perçu comme agressif.

1.2 Caractérisation psycho-acoustique

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction, une caractérisation psycho-acoustique de l'effet des traitements sur le bruit de frottement de ce tissu sera effectuée. Ce type de caractérisation sera menée par le calcul des paramètres de Zwicker qui sont la sonie (sone), l'acuité (acum), la rugosité (asper) et l'intensité de fluctuation (vacil).

1.2.1 Cas des traitements individuels

La Figure 58 présente les paramètres de Zwicker calculés sur le tissu après traitements adoucissant et réticulant. En tenant compte des définitions des paramètres de Zwicker, leurs valeurs seront étudiées afin de comprendre la perception humaine de la qualité sonore.

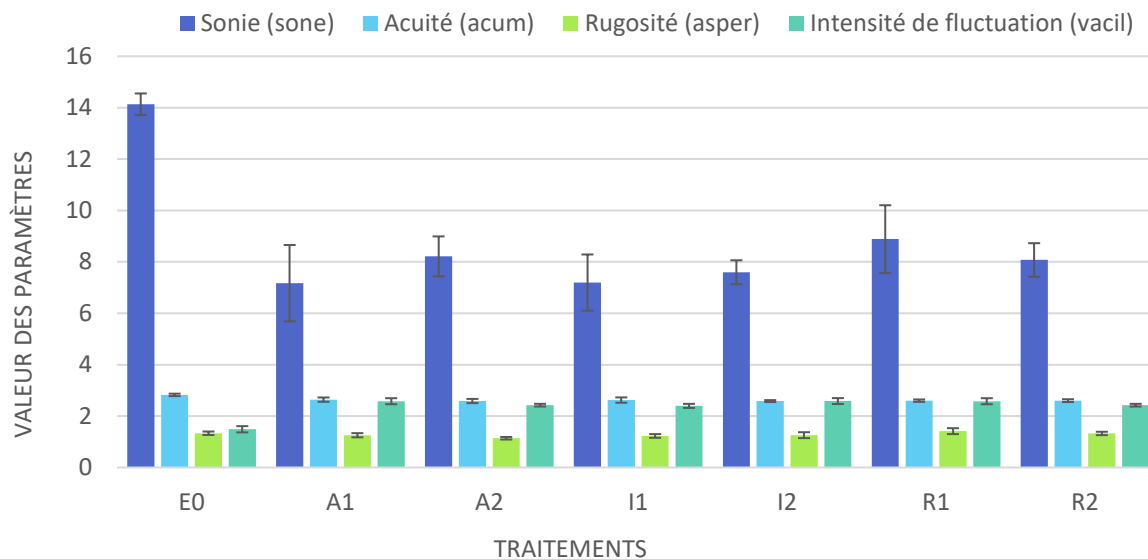


Figure 58 : Comparaison entre les paramètres de Zwicker du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et après traitements adoucissant et réticulant

La sonie est la composante de la perception auditive subjective qui permet de différencier un son fort d'un son faible. On peut remarquer que le son de frottement de tissu brut (E0) présente la valeur de sonie la plus élevée (14,13 sonnes).

Après l'application des différents traitements, la sonie a été réduite presque de moitié, et ce quel que soit le traitement (par exemple, I1 : 7,17 ; I2 : 7,60 ; A1 : 7,17 et R2 : 8,07). On peut également dire que l'augmentation de la quantité d'adoucissant n'a pas un effet important sur les valeurs de la sonie car les valeurs résultant de l'effet des traitements sont très proches (par exemple, I1 : 7,17 ; I2 : 7,60 ; A1 : 7,17 ; A2 : 8,21).

Les échantillons traités uniquement avec le réticulant (R1, R2) présentent des sons de frottement perçus plus forts que ceux traités avec l'adoucissant (valeurs de sonie plus élevées).

En ce qui concerne l'acuité (acum), qui est un indicateur de la perception d'un son comme étant aigu, on remarque d'après la Figure 58, que celle-ci diminue avec les traitements. On peut faire la même remarque avec l'augmentation de la quantité d'adoucissant : de 2,64 acum à 2,56 acum avec un adoucissant macro-silicone (A1, A2) et de 2,62 acum à 2,58 acum avec un adoucissant micro-silicone (I1, I2). En revanche, la variation de la quantité du réticulant (R1, R2) semble sans effet sur l'acuité car les valeurs sont très voisines.

Un indice de rugosité plus élevé, exprimé en asper, signale un bruit plus perturbant [13]. La Figure 58 montre que le bruit de frottement de l'échantillon brut est le plus perturbant puisqu'il présente la

valeur de rugosité la plus élevée (2,82 asper). On peut également remarquer que les traitements n'ont aucun effet sur la rugosité du frottement sonore.

On remarque aussi que tous les traitements ont des valeurs d'intensité de fluctuation très similaires, mais supérieures à celle de l'échantillon brut (E0 : 1,49 ; A1 : 1,56 ; I2 : 2,88 ; R2 : 2,66).

L'ensemble de ces observations sera vérifié statistiquement par la suite.

1.2.2 Cas des traitements combinés

Après avoir étudié l'effet des traitements individuels, la même étude a été réalisée sur l'effet des traitements combinés.

La Figure 59 présente l'évolution des paramètres de Zwicker des bruits de frottement après les traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant.

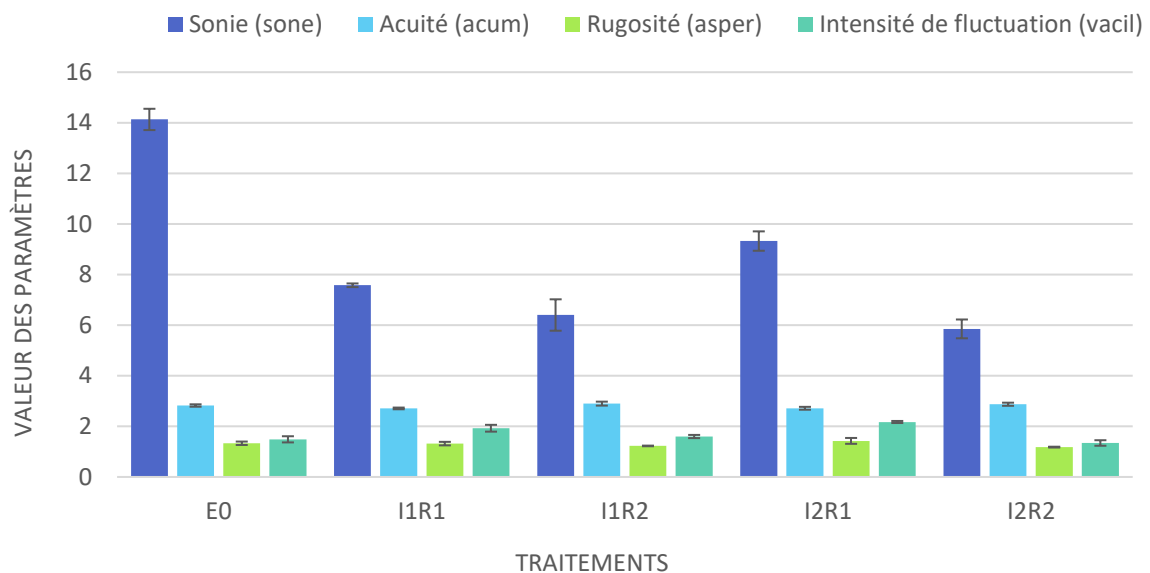


Figure 59 : Comparaison entre les paramètres de Zwicker du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité avec la combinaison adoucissant micro-silicone et réticulant

Il ressort des résultats présentés sur la Figure 59 que la sonie est toujours le paramètre qui subit l'atténuation la plus importante. C'est avec le traitement I2R2 que le bruit est perçu le plus faible. Cela est dû au fait de l'adoucissant qui est appliqué en grande concentration ainsi qu'à l'effet du réticulant. En ce qui concerne les paramètres acuité et intensité de fluctuation, les valeurs sont différentes de celles de l'étoffe brute mais très voisines entre elles. La rugosité demeure très voisine de celle de l'étoffe brute quel que soit le type de traitement dans ce cas.

La Figure 60 concerne les échantillons traités avec une combinaison adoucissant macro-silicone et réticulant.

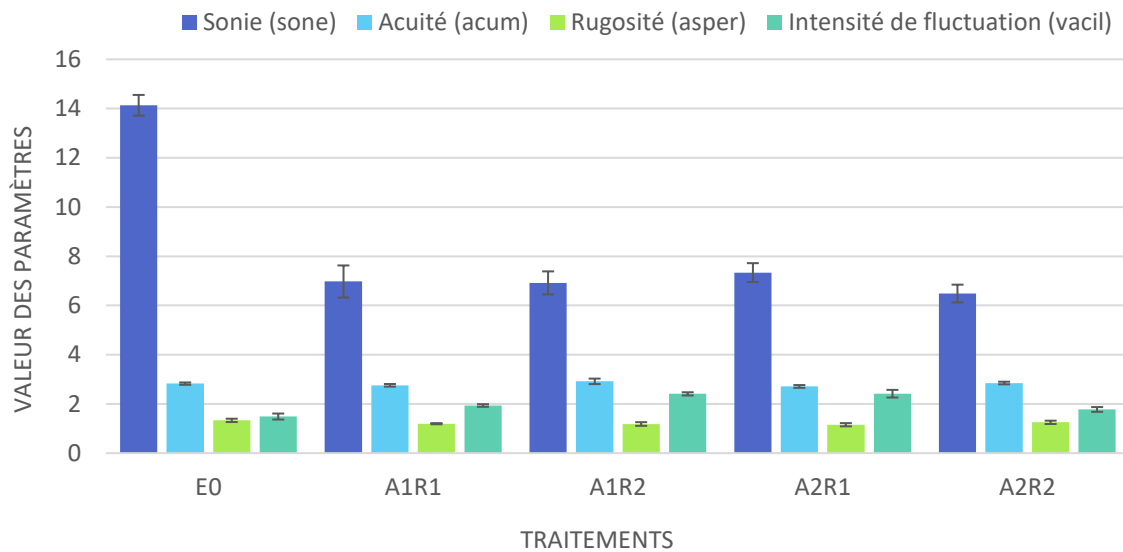


Figure 60 : Comparaison entre les paramètres de Zwicker du bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et traité avec la combinaison adoucissant macro-silicone et réticulant

Il ressort de l'effet des traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone et réticulant que la sonie est à nouveau le paramètre qui subit l'atténuation la plus importante. L'intensité de fluctuation semble également augmenter légèrement comparée à celle de l'étoffe brute, sauf dans le cas du traitement I2R2 (diminution de 9%). Les paramètres de la sonie et de l'intensité de fluctuation ont des valeurs différentes de celle de l'étoffe brute mais voisines entre elles. Cela pourrait s'expliquer par la méthode de dépôt de ce type d'adoucissant qui se fait en surface. La rugosité demeure très voisine de celle de l'étoffe brute quel que soit le type de traitement dans ce cas.

En se basant sur les interprétations tirées de ces deux cas de combinaison, on peut dire que les valeurs de la sonie sont nettement inférieures à celles du tissu brut pour les deux types de combinaisons. Les bruits sont alors perçus moins forts que celui du tissu brut. Les valeurs d'acuité dans le cas des traitements de la combinaison sont différentes de l'acuité de l'étoffe brute mais très voisines entre elles. L'intensité de la fluctuation augmente par le fait des traitements et ceux-ci n'ont pas d'effet sur la rugosité.

1.2.3 Conclusions

Dans cette partie, l'analyse psycho-acoustique de l'effet des traitements individuels et en combinaison a été effectuée sur le bruit de frottement du tissu 1. Il ressort des résultats que les traitements adoucissants sont plus avantageux que les traitements réticulant pour atténuer la sonie et l'acuité du bruit.

Quelle que soit la nature du traitement, la rugosité du bruit est toujours très voisine de celle de l'étoffe brute donc les traitements semblent avoir peu d'effet sur la rugosité. En revanche l'intensité de fluctuation augmente par l'effet des traitements.

La caractérisation du bruit de frottement d'un tissu traité par différents traitements adoucissants (macro-silicone seul ou en combinaison avec un réticulant) donne des valeurs de paramètres (surtout

la sonie) dans tous les cas très différents de ceux de l'étoffe brute. Ces mêmes valeurs en les comparant montrent un faible écart entre elles. Il semble donc judicieux d'étudier comment s'est fait le dépôt de chaque type d'adoucissant sur le support textile afin d'expliquer la nuance d'effet sur les propriétés du bruit de frottement d'une étoffe textile.

Comme précisé dans l'introduction de ce manuscrit, les bruits de frottement feront l'objet d'une caractérisation sensorielle. La partie suivante détaillera les résultats de cette analyse dans le cas du tissu 1.

1.3 Analyse sensorielle sonore

Au cours de cette étude, les bruits de frottement ont également été caractérisés par une approche sensorielle. Dans le but de tracer les profils sensoriels moyens des bruits de frottement des étoffes, il a été demandé aux panélistes d'écouter à deux reprises le bruit de friction et d'attribuer une note à chacun des descripteurs.

1.3.1 Cas des traitements individuels

L'ensemble des profils sensoriels sonore des traitements adoucissants et réticulant sont illustrés dans la Figure 61.

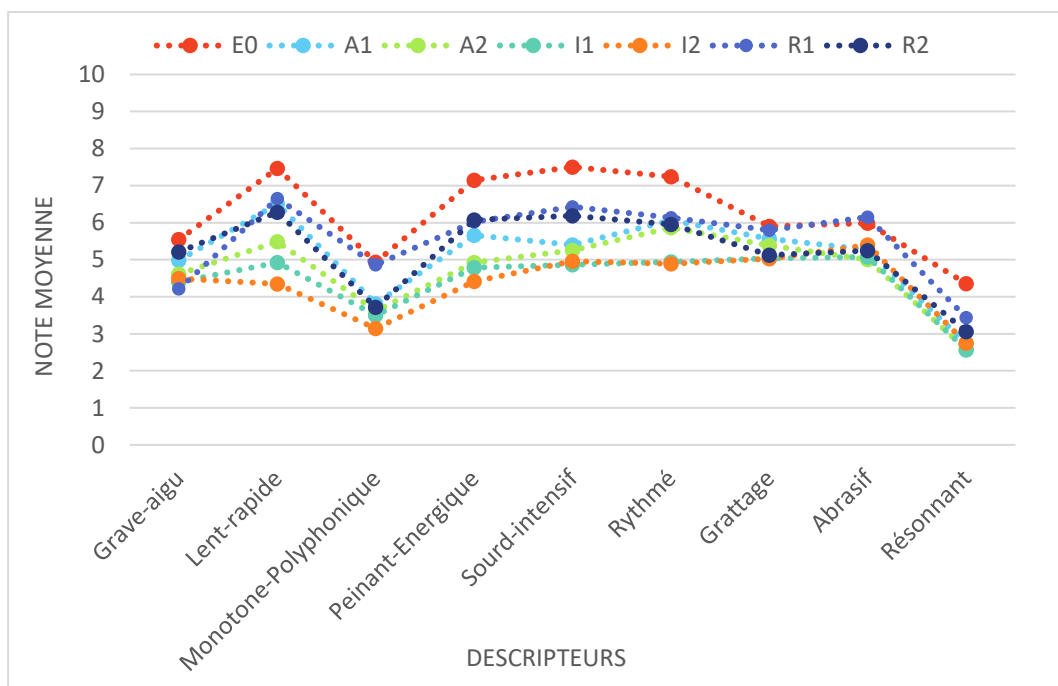


Figure 61 : Profil sensoriel sonore du tissu 1 brut et après traitements

On remarque que le profil sensoriel sonore de l'étoffe brute E0 présente une moyenne plus élevée pour l'ensemble des descripteurs par rapport aux autres profils des bruits de frottement. Les panélistes jugent que le bruit de frottement de l'étoffe brute est le plus *rapide* (note = 7,5), *énergique* (note = 7,14), *intensif* (note = 7,5), *rythmé* (note = 7,24) et *résonnant* (note = 4,35).

Juste en dessous du profil du bruit de frottement du tissu brute apparaissent les profils traitements réticulant (R1) et (R2). Ensuite apparaissent les profils sonores du bruit de frottement résultant de l'effet des traitements adoucissant (A1, A2, I1 et I2).

Tous les bruits de frottement ont un caractère *grave-aigu* moyen (note voisine de 5), de même pour le caractère *grattage*. Selon le panel, le bruit de frottement résultant de l'effet du traitement R1, est d'un caractère *abrasif* (note = 6). Il est moyennement monotone et polyphonique (note = 5). On remarque aussi pour ces deux descripteurs que les notes sont égales aux notes du bruit de frottement de l'étoffe brute. En revanche, pour ces même deux descripteurs le panel attribue au bruit de frottement résultant de l'effet du traitement R2 des notes voisines de celles attribuées au bruit de frottement résultant de l'effet des traitements adoucissants. On cite un bruit monotone (note = 3,5) et moyennement abrasif (note = 5).

On remarque aussi que plus la concentration de l'adoucissant augmente (de A1 vers A2) plus le bruit est perçu comme *lent*, *monotone* et *sourd*. Enfin, les traitements A2 et I2 présentent les profils sonores les plus faibles en termes de caractéristiques sensorielles sonores.

1.3.2 Cas des traitements combinés

Après avoir analysé les profils résultant de l'effet des traitements individuels, nous avons étudié l'effet des traitements combinés. La Figure 62 illustre les profils sensoriels sonores du bruit de frottement des étoffes suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant.

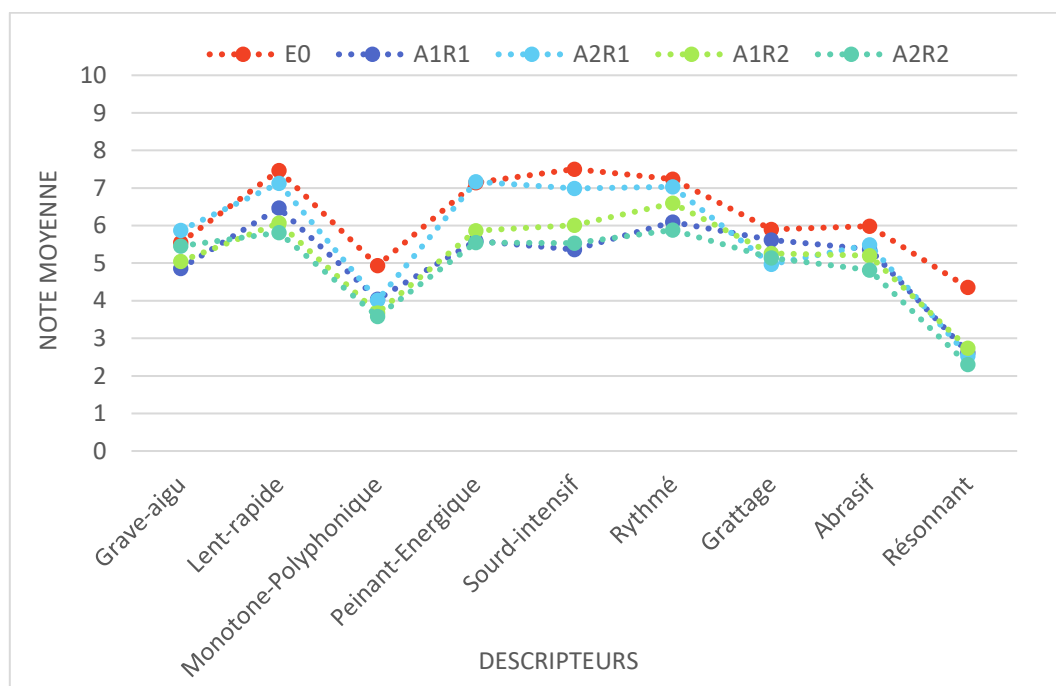


Figure 62 : Profil sensoriel sonore du tissu 1 suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

On remarque d'après la Figure 62 que le profil sonore suite au traitement A2R1 est perçu comme étant le plus *aigu* et *rapide*. Il présente aussi, pour les descripteurs *peinant-énergique* et *rythmé*, les mêmes notes que dans le cas du bruit de frottement de l'étoffe brute. En revanche, le profil sonore à l'issue du traitement A2R2 présente les notes les plus faibles pour tous les descripteurs surtout pour les descripteurs *abrasif* (note < 5) et *résonnant* (note =2).

La Figure 63 illustre les profils sensoriels sonores des bruits de frottement des échantillons suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant.

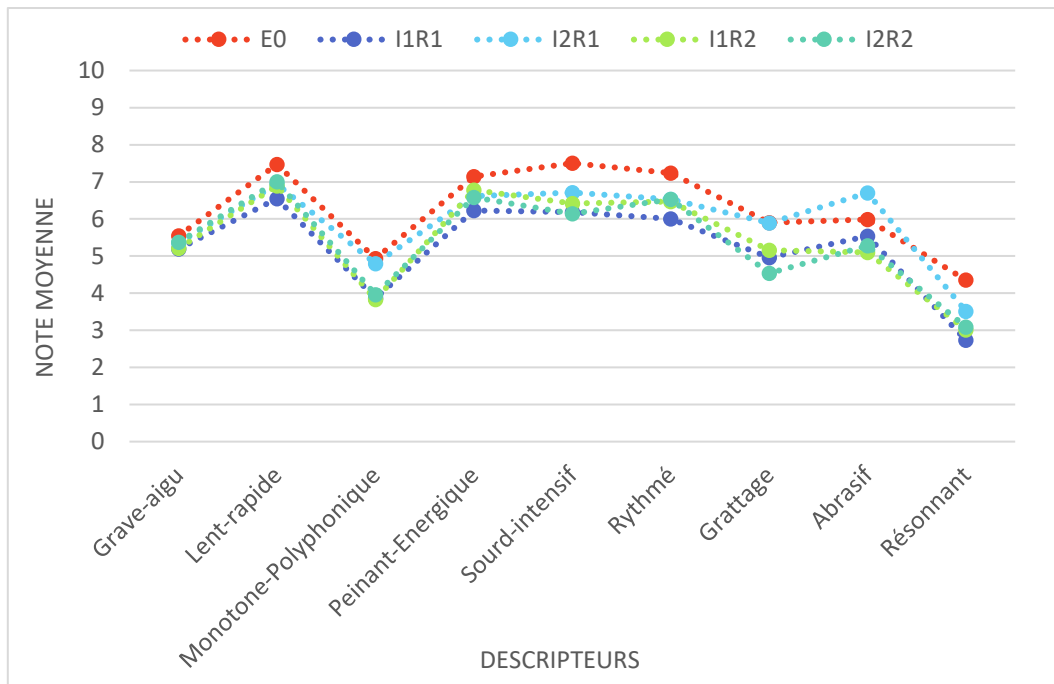


Figure 63 : Profil sensoriel sonore du tissu 1 suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

La première remarque que l'on peut faire est que, suite aux différents traitements, le descripteur *grave-aigu* obtient une note moyenne (proche de 5) et que le son est plutôt perçu comme étant *monotone* avec une note voisine de 4, sauf dans le cas du traitement I2R1 (pas de différence avec l'étoffe brute).

Selon les panélistes, le bruit après le traitement I2R1 est le plus *intensif* (note = 6,8) et présente les mêmes notes que celles du frottement de l'étoffe brute pour les descripteurs *peinant-énergique* et *grattage* (note = 6). De plus, il est perçu comme étant le plus *abrasif* (6,8) et d'une manière plus importante que l'étoffe brute.

1.3.3 Conclusions

Dans cette partie, l'analyse sensorielle sonore de l'effet des traitements individuels et en combinaison a été effectuée sur le bruit de frottement du tissu 1. Il ressort des résultats que les traitements adoucissants sont plus avantageux que les traitements réticulant pour diminuer la valeur des descripteurs par rapport aux notes qui qualifient le bruit de frottement de l'étoffe brute.

C'est le traitement I2 qui donne les profils les plus faibles en termes de note de descripteurs. En ce qui concerne des traitements combinés, c'est suite aux deux traitements A2R2 et I2R2 que l'atténuation des notes était la plus importante. Ces observations concernant ces trois traitements (I2, A2R2 et I2R2) devront être vérifiées par la suite par une étude sur les propriétés sensorielles sonores d'autres tissus de textures différentes, et validée par une analyse statistique.

1.4 Analyse sensorielle tactile

L'évaluation sensorielle se base sur l'analyse descriptive quantitative des produits textiles pour le sens du toucher. Nous cherchons à travers cette évaluation à caractériser le ressenti tactile des tissus après les différents traitements.

Dans le but de tracer les profils sensoriels tactiles moyens des tissus, les panélistes ont réalisé deux évaluations pour chacun des échantillons.

1.4.1 Cas des traitements individuels

L'ensemble des profils sensoriels tactiles des traitements adoucissants et réticulant sont illustrés à la Figure 64.

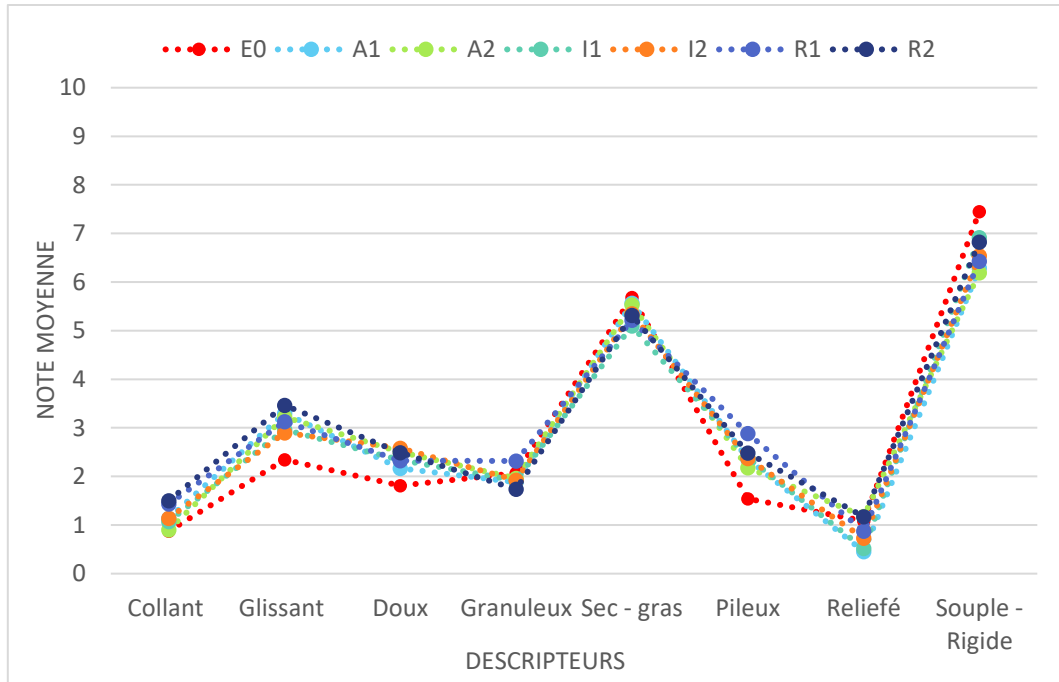


Figure 64 : Profil sensoriel tactile du tissu 1 après traitements adoucissant et réticulant

On remarque que le profil sensoriel tactile de l'étoffe brute (E0) est le plus *rigide* (note = 7,45), le moins *glissant* (note = 2,5), le moins *doux* (note = 2), le plus *gras* au toucher (note = 5) et le moins *pileux* (note=1,54).

En évaluant l'effet du traitement sur les propriétés tactiles du tissu 1, les panélistes expriment pour le descripteur *granuleux* et *reliéé*, des notes très voisines entre celles de l'étoffe brute et des étoffes après-traitements. Concernant les traitements adoucissants, les notes pour le descripteur *glissant* sont très proches. De la même manière les panélistes expriment des notes très voisines (note = 6-7) pour le descripteur *souple-rigide*.

Selon le panel, la sensation au toucher deviendra plus plieuse par l'effet des traitements, surtout avec les traitements réticulant. On a une note de 2,88 avec le traitement R1 et 2,48 avec le traitement R2. En ce qui concerne les traitements adoucissants, l'évaluation du panel montre qu'il n'y a pas de différence de perception au toucher de ce descripteur.

1.4.2 Cas des traitements combinés

Après avoir analysé les profils résultant de l'effet des traitements individuels, nous avons étudié l'effet des traitements combinés sur les propriétés tactiles du tissu 1. La Figure 55 illustre les profils sensoriels tactiles des étoffes suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant.

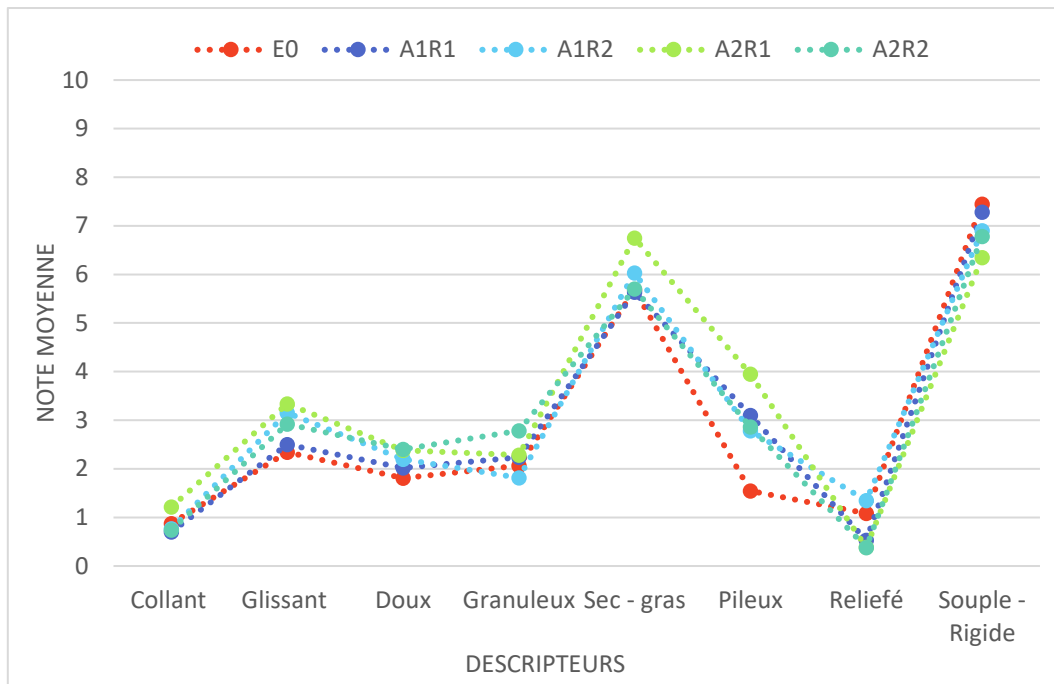


Figure 65 : Profil sensoriel tactile du tissu 1 après traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

D'après la Figure 65, le toucher deviendra plus *doux* que celui de l'étoffe brute, l'effet étant le plus marqué pour le traitement A2R2.

Selon le panel, le toucher devient aussi légèrement plus *glissant* par l'effet des traitements ou la concentration de l'adoucissant est élevée. C'est le cas des traitements A2R2 (note = 2,92) et A2R1 (note = 3,33). Cette grande valeur aussi s'explique par la concentration du réticulant qui est plus faible que celle d'ans le cas du traitement A2R2.

Le toucher devient aussi plus *pileux* que celui de l'étoffe brute. C'est par l'effet du traitement A2R1 (note = 3,95) que la perception pileuse est la plus élevée. La pilosité est l'un des facteurs montrés par Yosouf comme ayant un effet direct sur le bruit de frottement. Plus la pilosité augmente, plus le bruit de frottement est élevé. On a observé que pour ce traitement la sonie (voir Figure 60) du bruit de frottement est la plus grande par rapport aux autres traitements combinant un adoucissant macro-silicone avec un réticulant.

Enfin, concernant les sensations *collant*, *reliefé*, on remarque que le panel juge qu'il n'y a pas de grande différence par rapport à l'étoffe brute. L'évaluation donne des notes très voisines, 0,1 pour le descripteur *collant*, 6-7 pour le descripteur *souple-rigide* et 0,5 pour le descripteur *reliefé*.

La Figure 66 illustre les profils sensoriels tactiles des échantillons suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant.

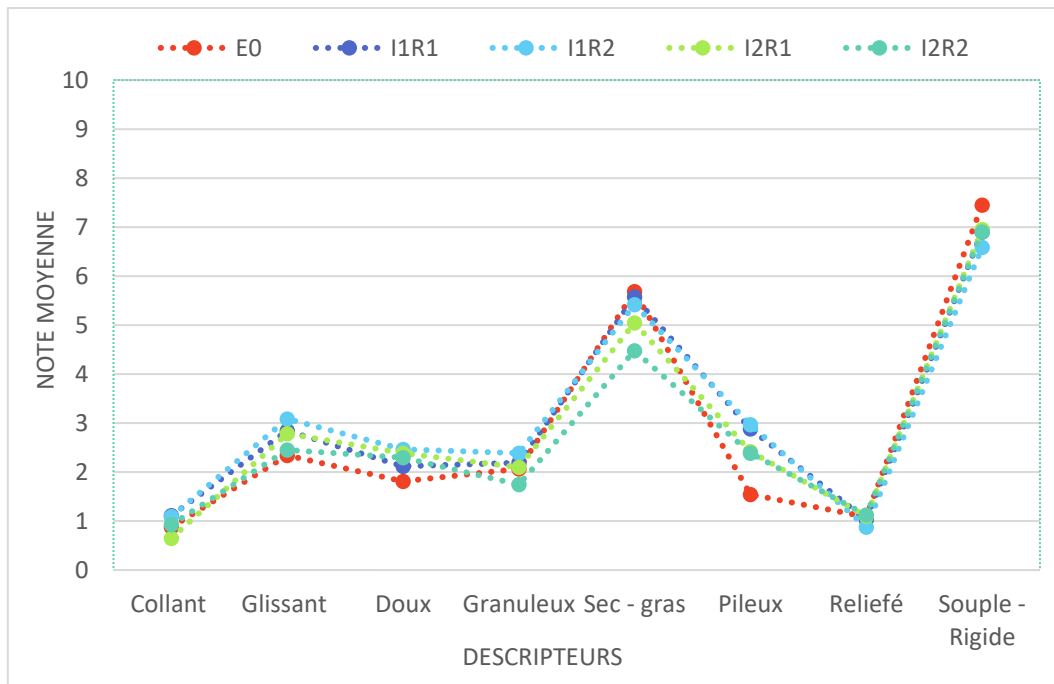


Figure 66 : Profil sensoriel tactile du tissu 1 après traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

D'après la Figure 66, le toucher devient nettement plus *pileux*. C'est par l'effet du traitement I1R2 que la sensation la moins *pileuse* (note = 3) a été exprimée par le panel. On note aussi que la note attribuée à l'effet du traitement I1R1 est voisine de celle de I1R2. Dans le cas des traitements de l'adoucissant macro-silicone en combinaison avec un réticulant, l'effet du traitement A2R1 (note = 3,95) que la perception *pileuse* est la moins élevée. Il faudra étudier le dépôt des adoucissant en surface du tissu, d'autant plus que ce résultat est à l'inverse de ce qui a été observé avec la combinaison adoucissant macro-silicone et réticulant.

Selon le panel, le toucher devient plus *doux* que celui de l'étoffe brute, l'effet du traitement I1R2 ayant été évalué le plus important. Le toucher devient aussi légèrement glissant.

En ce qui concerne l'effet des traitements sur la perception *sec-gras*, on remarque que les notes sont plus faibles que celle de l'étoffe brute (note = 5,68). Ce qui montre que la perception au toucher par l'effet des traitements est devenue plus *sec*. C'est par l'effet du traitement I2R2 (note = 4,48) que la perception la plus *sec* est exprimée. Cela pourrait être due au fait de l'effet du réticulant et aussi à la manière du dépôt de l'adoucissant.

Concernant les autres descripteurs, le panel ne juge pas de grande différence entre l'étoffe brute et les étoffes traitées.

1.4.3 Conclusions

Dans cette partie, l'analyse sensorielle tactile de l'effet des traitements individuels et combinés a été effectuée afin d'évaluer les nouvelles les propriétés tactiles que peuvent apporter les traitements sur le tissu 1. Il ressort des résultats que les traitements semblent ne pas avoir d'effet sur les descripteurs *reliefé* et *granuleux* (ils sont conditionnés par la contexture du tissu).

Pour le descripteur doux, dans le cas des traitements individuels les notes sont significativement plus grandes que celle de l'étoffe brute mais très voisines entre elles. En ce qui concerne le cas des traitements combinés c'est suite aux traitements 1A2R2 et 1I2R1 que le toucher doux était le plus important.

On observe également une nette modification de la perception au toucher de la sensation pileuse par rapport à celle de l'étoffe brute. Les plus grandes modifications ont été constatées dans le cas des traitements combinés, surtout avec les traitements adoucissants macro-silicone en combinaison avec un réticulant.

1.5 Caractérisation des propriétés physiques du tissu 1 après traitements

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude du dépôt de l'adoucissant sur la surface du tissu 1 et aussi à la compréhension de l'effet des traitements sur les propriétés physiques de ce tissu pour pouvoir comprendre les observations faites après la caractérisation de l'effet des traitements sur du bruit de frottement du tissu 1.

1.5.1 Etude de dépôt de l'adoucissant

A partir des images issues du MEB, des mesures ont été réalisées afin de connaître le diamètre des fibres et l'espace inter-fibres au sein des fils de chaîne et des fils de trame. Les valeurs de ces paramètres sont regroupées dans le Tableau 41.

Tableau 41 : Mesure des caractéristiques structurales du tissu 1

Caractéristique		Min	Max	Moyenne
Diamètre des fibres (μm)		11	22	16
Espace entre les fibres (μm)	Fil de chaîne	4	28	13
	Fils de trame	6	22	12

On rappelle que la taille des particules micro-silicone est comprise entre 10 et 40 μm et entre 50 et 155 μm pour les macro-silicone. En tenant compte des valeurs de la taille des particules des adoucissants, on peut dire que le dépôt de l'adoucissant micro-silicone se divise en surface des tissus et entre les fibres. En effet, les particules dont la taille est inférieure à l'espace entre les fibres dans les fils de chaîne et dans les fils de trame vont se déposer entre les fibres alors que les particules dont la taille est supérieure à l'espace entre les fibres vont se déposer à la surface du tissu. En ce qui concerne le dépôt de l'adoucissant macro-silicone, il se fait généralement en surface de tissu car la taille des particules est strictement supérieure à l'espace entre les fibres dans les fils de chaîne et les fils de trame.

1.5.2 Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS)

Afin d'estimer la teneur en adoucissant et en réticulant dans les échantillons après traitement, nous avons utilisé la spectroscopie à rayons X qui permet de mesurer le pourcentage en masse d'un élément atomique.

On rappelle qu'on suit la teneur en masse de silicium pour les adoucissants (à base de siloxane) et la teneur en azote pour le réticulant (à base d'urée). Nous avons montré que le tissu brut est exempt de

silicium et d'azote ce qui nous assure que les teneurs en azote et en silicium proviennent effectivement des traitements adoucissant et réticulant.

La Figure 67 montre les résultats des mesures de la teneur en masse de l'atome de silicium (Si) dans le cas du tissu 1 suite aux traitements adoucissant.

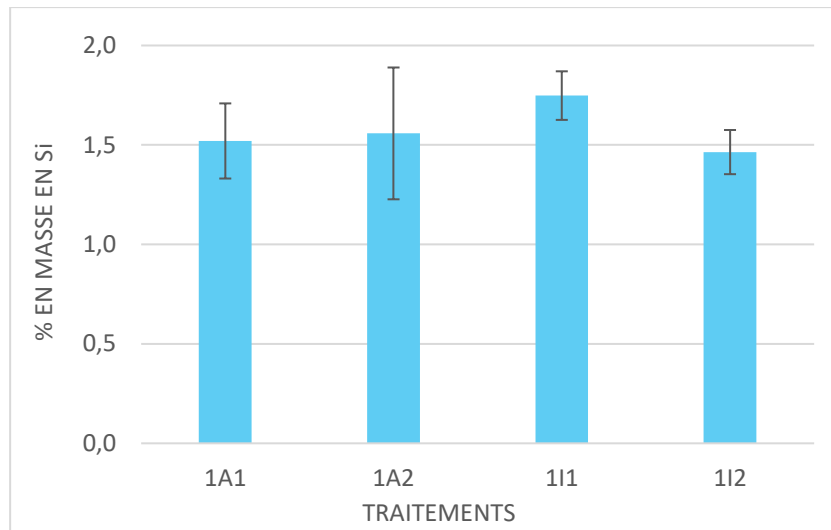


Figure 67 : Teneur en masse d'atomes de silicium après traitement adoucissant

D'après la Figure 67, on remarque que les pourcentages de silicium après les traitements A1 et A2 sont très voisines. Ce type d'adoucissant a tendance à se déposer en surface du tissu. De plus, l'adoucissant siliconé n'a pas d'affinité pour le support textile donc sa répartition à la surface du tissu est plus au moins homogène et il a tendance à se concentrer dans les porosités. Ceci explique l'écart type de la teneur en masse en atome de silicium soit plus important pour le traitement A2 que pour le traitement A1.

La Figure 68 présente la teneur en masse d'atome d'azote suite au traitement réticulant.

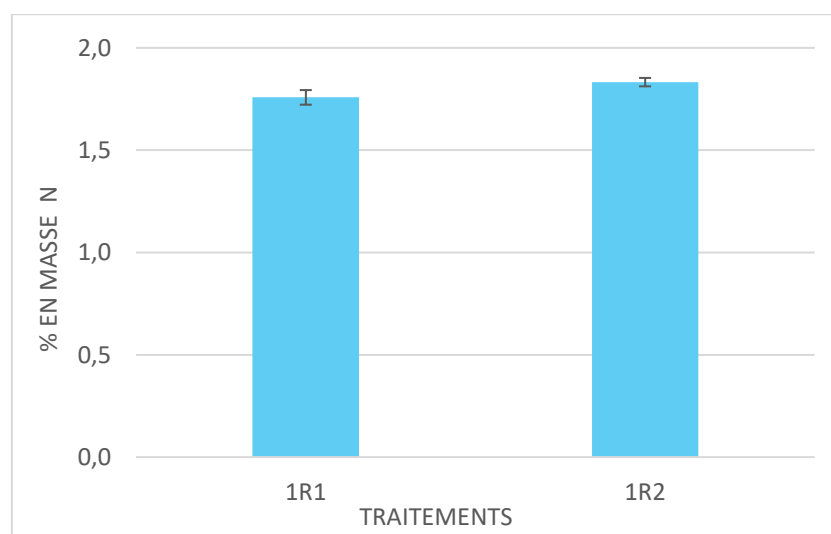


Figure 68 : Teneur en masse de atome d'azote suite au traitement réticulant

En ce qui concerne le traitement réticulant, on remarque que la teneur en masse de l'atome d'azote est plus grande suite au traitement R2 (entretien sans repassage) que suite au traitement R1 (entretien facile), comme on pouvait le supposer compte-tenu de la différence de concentration. De plus, les tissus ont une composition en matière cellulosique qui contient des groupements hydroxyles (-OH), et le réticulant va bloquer chimiquement une partie de ces groupes hydroxyles [13].

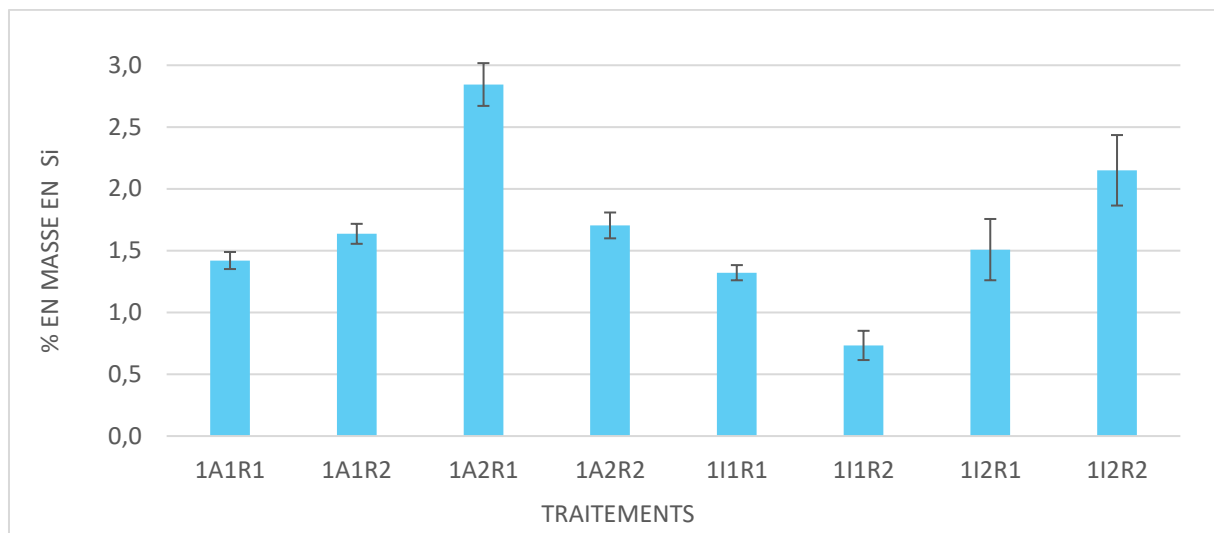


Figure 69 : Teneur en masse en silicium suite aux traitements combinés

D'après la Figure 69 qui illustre la teneur en masse en silicium suite aux traitements combinés, on remarque que par rapport au cas précédent (adoucissant seul), le pouvoir de rétention de l'adoucissant augmente. Il peut atteindre 3% en masse en atome de silicium, en particulier avec les traitements A2R1 et I2R2 car l'adoucissant est appliqué en grande concentration. Cela s'explique par le fait que la réticulation entraîne un retrait dans le tissu ce qui réduit les espaces entre les fibres en bloquant les particules d'adoucissant entre celles-ci.

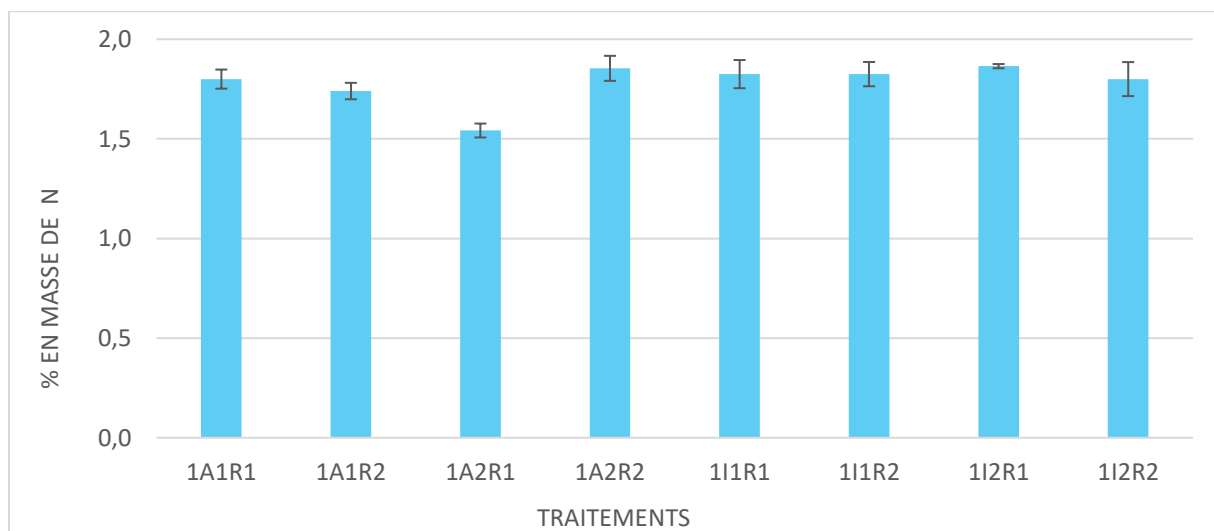


Figure 70 : Teneur en masse en azote suite aux traitements combinés

En ce qui concerne le suivi de la teneur en masse de l'azote suite aux traitements combinés, on remarque d'après la Figure 70 peu de différence par rapport au cas du traitement réticulant appliqué

seul (entre 1,5 et 2%). On suppose que ces valeurs montrent la moyenne à laquelle ce tissu est susceptible de retenir le réticulant.

En tenant compte de ces résultats, l'effet des différents traitements sur les propriétés de surface et de compression ainsi que sur la perméabilité à l'air sera évalué dans les trois parties suivantes.

1.5.3 Effet sur les propriétés de surface

Les propriétés de surface ont été mesurées par le module KES-FB4 de la chaîne d'évaluation Kawabata. Comme expliqué dans la partie Matériels et méthodes, une comparaison par paires sera effectuée grâce au test de Student afin d'étudier la significativité statistique de la différence des moyennes des propriétés de l'état de surface par l'effet des différents traitements (voir Annexe D). Les résultats de la mesure du coefficient de frottement MIU sont présentés par la Figure 71.

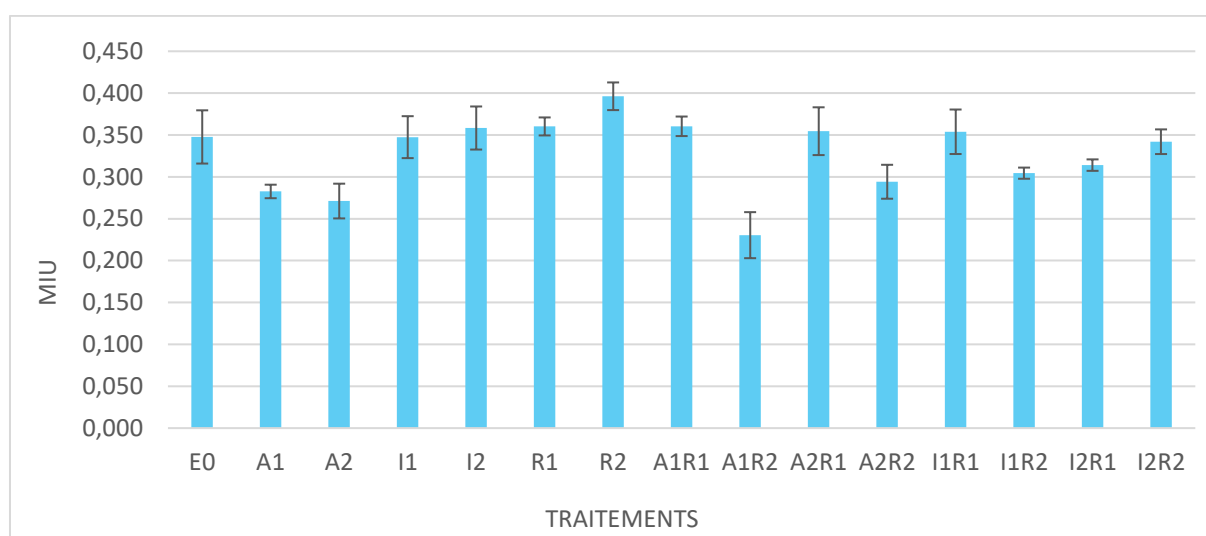


Figure 71 : Effet des traitements sur le coefficient de frottement du tissu 1

D'après l'Annexe D, les p-value de comparaison entre moyennes du coefficient de frottement des tissus traités et de l'étoffe brute sont tous inférieurs à 5 %, ce qui signifie que les traitements ont bien modifié le coefficient de frottement de ce tissu. On remarque d'après la Figure 71 que les valeurs de ces paramètres diminuent suite aux traitements adoucissants puisque les valeurs de MIU sont plus faibles que celui de l'étoffe brute, et d'autant plus suite au traitement adoucissant macro-silicone. On observe une diminution du coefficient de frottement de 18 % dans le cas du traitement A1 et de 22% dans le cas du traitement A2. Les particules de ce dernier ont tendance à se déposer en surface. Elles ont donc un effet lubrifiant ce qui réduit l'adhérence du tissu.

En revanche avec les traitements réticulant, on constate une augmentation des valeurs de MIU. A la suite du traitement R1, les valeurs ont augmenté de 3,6 % par rapport au coefficient de frottement de l'étoffe brute. L'effet du traitement R2 est plus important (augmentation de 13,9 %) puisque la quantité de réticulant apportée est plus élevée. Ces observations sont dues au fait que les agents réticulant réagissent avec les groupements hydroxyles de la cellulose ce qui va permettre la formation des liaisons covalentes, qui entraînent une rigidification plus importante du textile, d'où l'augmentation du coefficient de frottement.

Les résultats de mesure de la rugosité géométrique SMD (μm) sont présentés par la Figure 72.

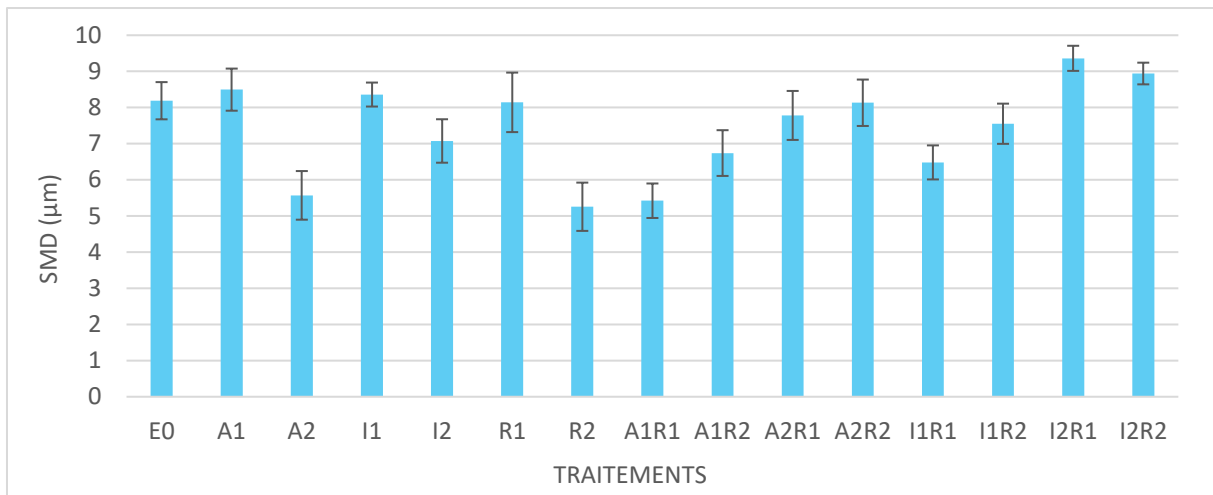


Figure 72 : Effet des traitements sur la rugosité géométrique du tissu 1

D'après Annexe D, les p-value de comparaison entre de moyennes de l'effet des traitements sur la rugosité de surface par rapport à l'étoffe brute ne sont pas toutes inférieures à 5 %. On n'a pas de différence significative avec l'effet des traitements qui ont une faible concentration d'agent de traitement (I1, A1 et A1). Ce qui signifie que plus la concentration de l'agent est importante, plus l'effet sur la rugosité de la surface du tissu sera efficace.

Ce résultat va de même avec les résultats de l'analyse sensorielle tactile du tissu 1 après les différents traitements. En effet, les panélistes ont exprimé des notes très voisines de celle de l'étoffe brute pour les descripteurs *granuleux* et *reliefé* la rugosité de surface.

1.5.4 Effet sur les propriétés de compression

Les propriétés de compression ont été mesurées par le module KES FB-3 du système Kawabata relatif à la compression. Les résultats de la mesure de l'épaisseur T_0 (mm) de l'étoffe après les traitements sont présentés en Figure 73.

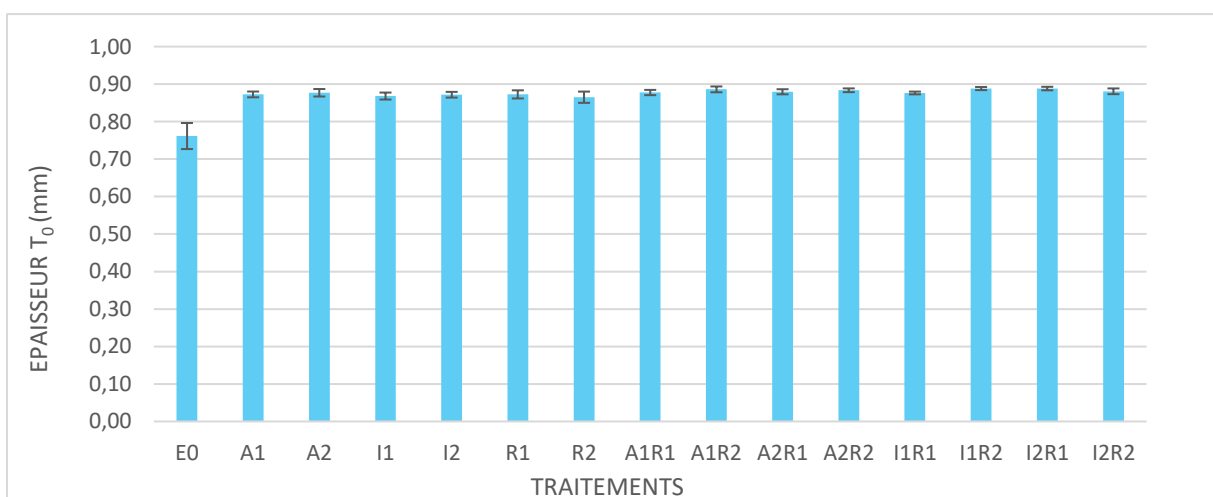


Figure 73 : Effet des traitements sur l'épaisseur T_0 du tissu 1

On remarque que l'épaisseur du tissu T_0 (mm) augmente significativement d'environ 13 % par le fait des traitements.

On note, d'après l'Annexe D, que les p-values de la comparaison entre moyennes de l'effet des traitements sur l'épaisseur T_0 sont toutes inférieures à 5 % ce qui signifie que les traitements ont bien modifié l'épaisseur T_0 de ce tissu.

Les résultats de mesure de l'épaisseur comprimée T_m (mm) de l'étoffe après les traitements sont présentés en Figure 74. Dans ce cas, l'épaisseur de l'étoffe est relevée à une charge de compression de 5 kPa. On remarque que l'épaisseur T_m semble varier davantage (0,42 mm pour le tissu brut ; entre 0,44 et 0,50 mm pour les tissus traités) que l'épaisseur T_0 .

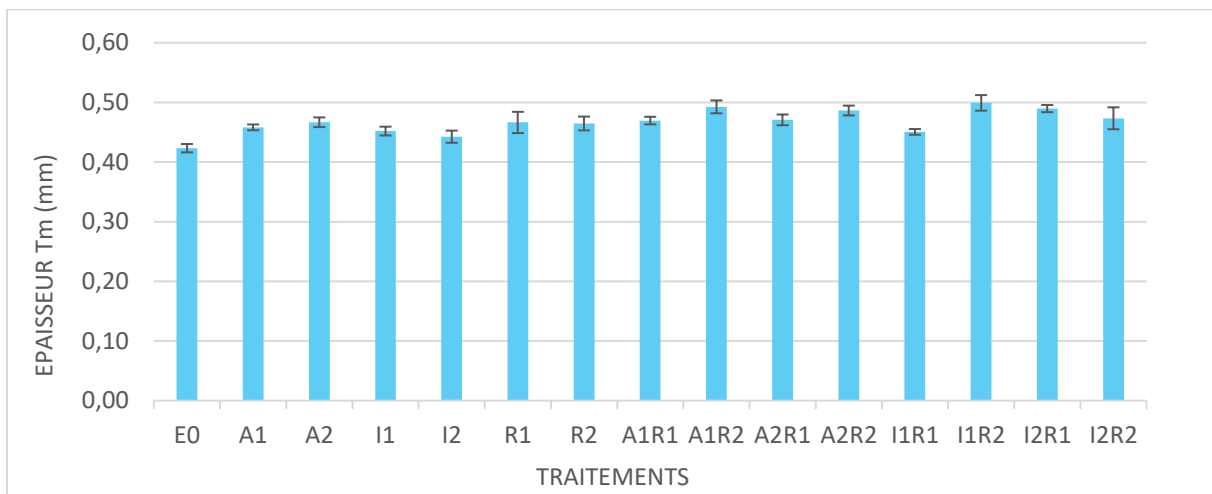


Figure 74 : Effet des traitements sur l'épaisseur T_m du tissu 1

Pour mieux voir la variation de la compression, on calcule le taux de compressibilité EMC %. Ce paramètre représente l'écart entre l'épaisseur initiale et l'épaisseur à 5 kPa, rapporté à l'épaisseur initiale. Les résultats du calcul d'EMC pour le tissu 1 sont présentés en Figure 75.

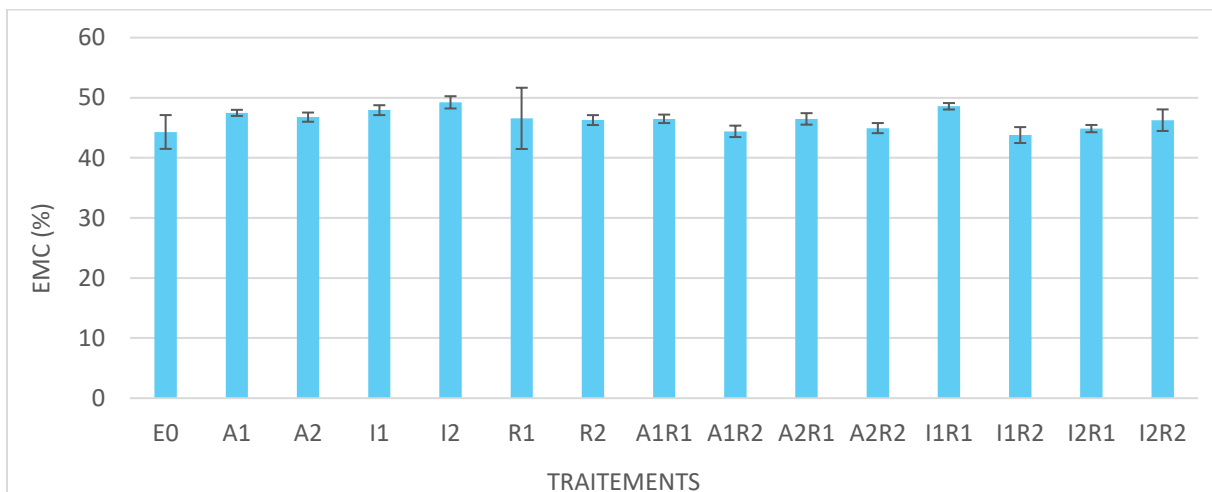


Figure 75 : Effet des traitements sur l'indice de compressibilité du tissu 1

On remarque d'après la Figure 75 que le tissu 1 devient plus compressible suite aux différents traitements surtout suite aux traitements combinés car les particules d'adoucissants augmentent la quantité d'air entre les fibres dans les tissus. On note d'après l'Annexe D, que les p-values de la comparaison entre moyennes de l'effet des traitements sur l'indice de compressibilité sont toutes

inférieures à 5 %, ce qui signifie que les traitements ont bien modifié l'indice de compressibilité de ce tissu.

Les résultats de la mesure de la linéarité de la compression (LC) sont présentés en Figure 76.

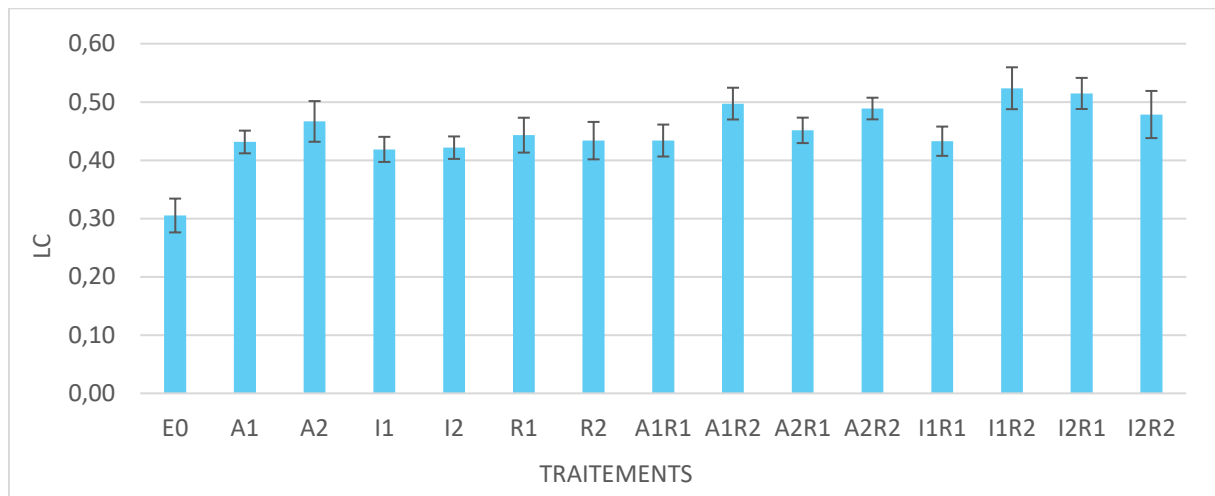


Figure 76 : Effet des traitements sur la linéarité de compression du tissu 1

On remarque que la linéarité de compression du tissu 1 augmente pour tous les traitements. Elle augmente davantage avec les traitements réticulant, surtout dans le cas des traitements combinés.

On note d'après l'Annexe D, que les p-values de la comparaison entre moyennes de l'effet des traitements sur la linéarité de compression sont toutes inférieures à 5 %, ce qui signifie que les traitements ont bien modifié la linéarité de compression de ce tissu.

Les résultats de mesure de la résilience de compression du tissu 1 sont présentés en Figure 77.

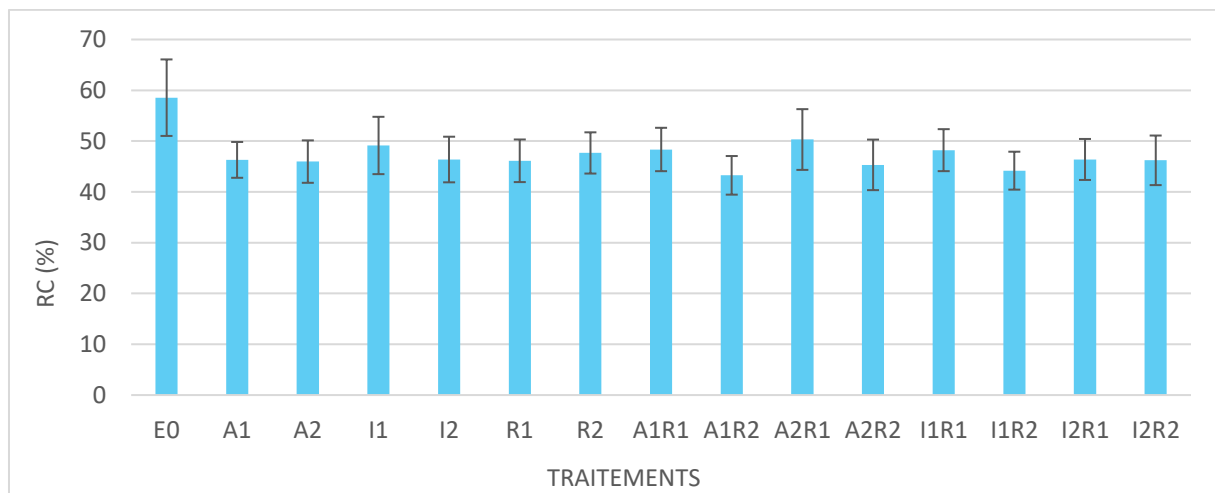


Figure 77 : Effet des traitements sur la résilience de compression du tissu 1

On remarque que la résilience de compression diminue par l'effet de tous les traitements mais que les valeurs mesurées semblent très voisines. La comparaison par paires (Annexe D) confirme bien qu'il existe une différence significative entre la résilience de l'étoffe brute et des tissus traités (quel que soit le traitement) mais pas entre les traitements eux-mêmes.

Cela peut s'expliquer par le fait de la contexture très rigide de ce tissu qui est destinée à un usage militaire. L'analyse de l'indice de compressibilité a montré que ce paramètre a augmenté par l'effet de tous les traitements ce qui confirme que le tissu est devenu moins résilient à la compression. Les résultats de mesure de l'énergie de compression du tissu 1 sont présentés en Figure 78.

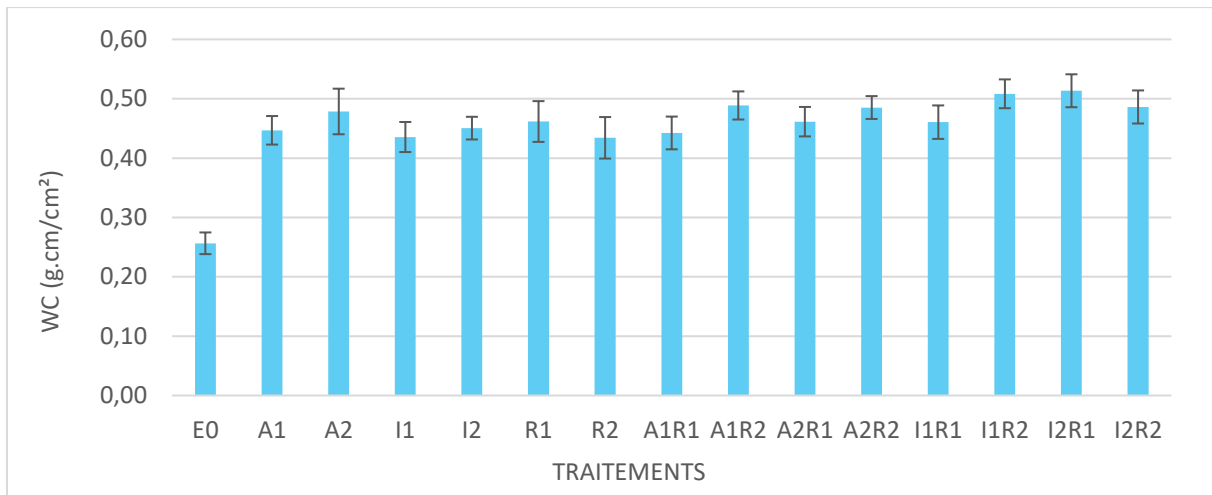


Figure 78 : Effet des traitements sur l'énergie de compression du tissu 1

D'après la Figure 78, on remarque que l'énergie de compression (WC) augmente surtout avec les traitements réticulant et les traitements combinés car le réticulant rigidifie le tissu. On note aussi d'après l'Annexe D, que les p-values de la comparaison entre de moyennes de l'effet des traitements sur l'énergie de compression sont toutes inférieures à 5 % ce qui signifie que les traitements ont bien modifié la linéarité de compression de ce tissu.

1.5.5 Effet sur la perméabilité à l'air

Les résultats de la mesure de la perméabilité à l'air ($L.m^{-2}.s^{-1}$) suite aux traitements adoucissant et réticulant sont présentés en Figure 79.

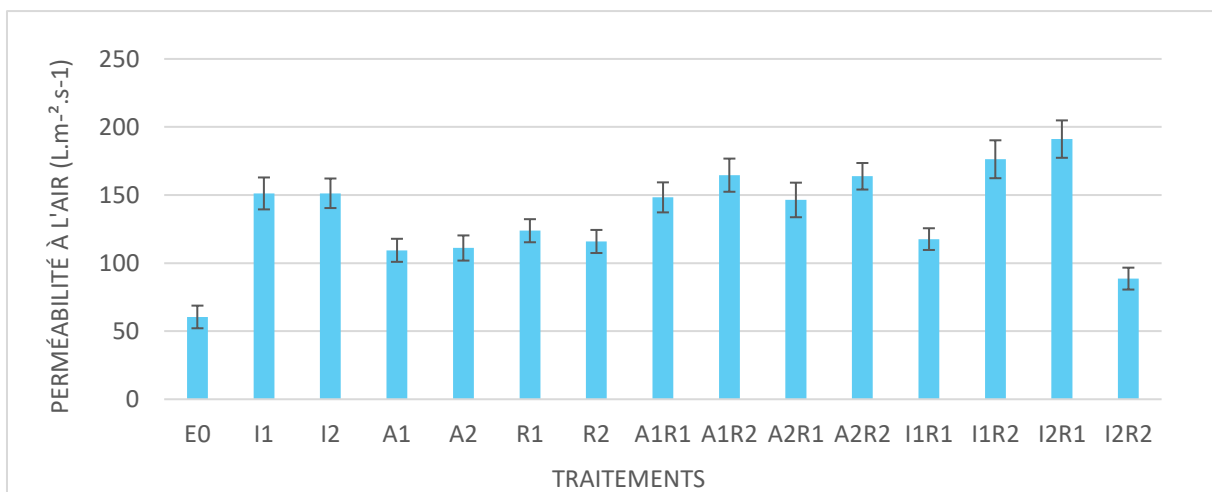


Figure 79 : Mesure de la perméabilité à l'air du tissu 1

En comparant l'effet des deux types d'adoucissant, on remarque que l'effet de l'adoucissant macro-silicone sur la perméabilité à l'air est plus faible que celui de l'adoucissant micro-silicone car

l'adoucissant macro-silicone à une tendance à se déposer sur la surface du tissu donc son effet minimisé par rapport à celui de l'adoucissant micro-silicone.

1.5.6 Conclusions

Dans cette partie, l'effet des traitements sur les propriétés physiques du tissu 1 a été étudié. Il ressort de la comparaison des espaces entre les fibres dans les fils de chaîne et les fils de trame que l'adoucissant macro-silicone a tendance à se déposer à la surface de ce tissu alors que les particules de l'adoucissant micro-silicone ont tendance à se déposer à la fois à la surface du tissu et entre les fibres.

La mesure des propriétés de l'état de surface a montré que le coefficient de frottement diminue avec les traitements adoucissants alors que dans le cas des traitements réticulant il augmente, car le réticulant rigidifie le tissu ce qui rend le frottement plus important.

Le tissu devient plus compressible par l'effet de tous les traitements ce qui explique la diminution de sa résilience à la compression. En ce qui concerne l'énergie de compression elle augmente surtout avec les traitements réticulant car ces derniers rigidifient le tissu.

En ce qui concerne la perméabilité à l'air de ce tissu elle augmente surtout avec les traitements adoucissant micro-silicone et les traitements combinés.

1.6 Synthèse sur la caractérisation de l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques du bruit de frottement du tissu 1

Dans cette première partie, l'analyse s'est focalisée sur la comparaison des effets des traitements sur les propriétés du bruit de frottement du tissu 1. Les résultats ont été modélisés par des graphes illustrant les spectres sonores, les paramètres instrumentaux et psycho-acoustiques, ainsi que les profils sensoriels sonores.

Le principe est toujours de comparer les résultats de chaque traitement à celui de l'étoffe brute, ainsi que les traitements de même nature mais en concentration différentes (A1, A2) ou (R1, R2) et les traitements homologues en concentration mais en nature différente d'agent de traitement (comme par exemple A2, I2).

D'après la comparaison des spectres sonores, il a été observé, que ce soit dans le cas des traitements indiqués ou bien en combinaison, que les spectres sont tous situés en dessous des spectres sonores de l'étoffe brute, ce qui montre une atténuation des propriétés acoustiques, et surtout du niveau sonore.

Le niveau sonore, la sonie et l'acuité ont été diminués pour tous les traitements adoucissants et tous les traitements combinés. Concernant, l'intensité de fluctuation, elle a diminué avec un effet identique pour tous les traitements. En revanche, il n'y a pas d'effet des traitements sur la rugosité.

L'effet des traitements réticulant, R1 et R2, sur tous les paramètres est minime comparé à celui des traitements adoucissants et des traitements issus des combinaisons.

L'analyse sensorielle sonore confirme bien toutes les observations tirées de l'analyse des paramètres instrumentaux et psycho-acoustiques. D'après les profils sensoriels, ceux des traitements sont différents de celui de l'étoffe brute avec globalement une atténuation des valeurs des descripteurs.

L'analyse sensorielle tactile a permis de montrer que les traitements modifient les propriétés tactiles du tissu. Ils ont un impact direct sur la douceur au toucher alors que pour certains descripteurs comme *reliefé* ou bien *granuleux*, les notes demeurent très voisines de celle de l'étoffe brute car ses propriétés sont conditionnées par la contexture du tissu.

Cette analyse a permis de mettre en évidence que les traitements ont un effet sur certains paramètres de caractérisation, en particulier le niveau sonore, la sonie et l'acuité ainsi que sur les profils sensoriels sonores et tactiles. Etant donné que les deux autres tissus (2 et 3) ont des contextures différentes par rapport au tissu 1, la partie suivante sera dédiée à la généralisation et à la comparaison des résultats dans les cas des trois tissus.

2. Comparaison des trois étoffes et généralisation des résultats

Dans cette partie, une étude sera menée en premier lieu afin de comprendre l'interaction entre l'étoffe et l'agent de traitement. On estime que cela sera très utile dans l'interprétation de l'effet des traitements sur les paramètres instrumentaux, psycho-acoustiques et la perception sensorielle du bruit de frottement.

La nomenclature sera conservée dans cette partie. Chaque traitement sera précédé des chiffres 1, 2 ou 3 correspondant respectivement aux tissu 1, tissu 2 et tissu 3. Les caractéristiques des tissus 2 et 3 sont rappelées dans le Tableau 42.

Tableau 42 : Caractéristiques des tissus 2 et 3

Etoffe n°	Composition	Armure	Compte / Duitage (fils/cm)	Titres chaîne / trame (tex)	Masse surfacique (g/m ²)
2	Aramide 60 % / viscose 40 %	sergé 3	32 / 20	44 / 44	250 ± 5%
3	Aramide 50 % / Viscose 50 %	croisé de 2	39 / 24	33 / 33	230 ± 5%

2.1 Caractérisation des propriétés physiques après traitements

La comparaison commence par l'étude du mode de dépôt des adoucissants dans le cas de chaque tissu puis on passe à la comparaison des propriétés de surface, de compression et de perméabilité à l'air en fonction des traitements.

Les résultats seront présentés sous forme de graphes qui permettront d'interpréter et de mettre en avant les effets des traitements sur les propriétés acoustiques des étoffes.

2.1.1 Etude du dépôt de l'adoucissant

A partir des images issues du MEB, des mesures ont été réalisées afin de connaître le diamètre des fibres et l'espace inter-fibres au sein des fils de chaîne et des fils de trame. Les valeurs de ces paramètres sont présentées en Figure 80.

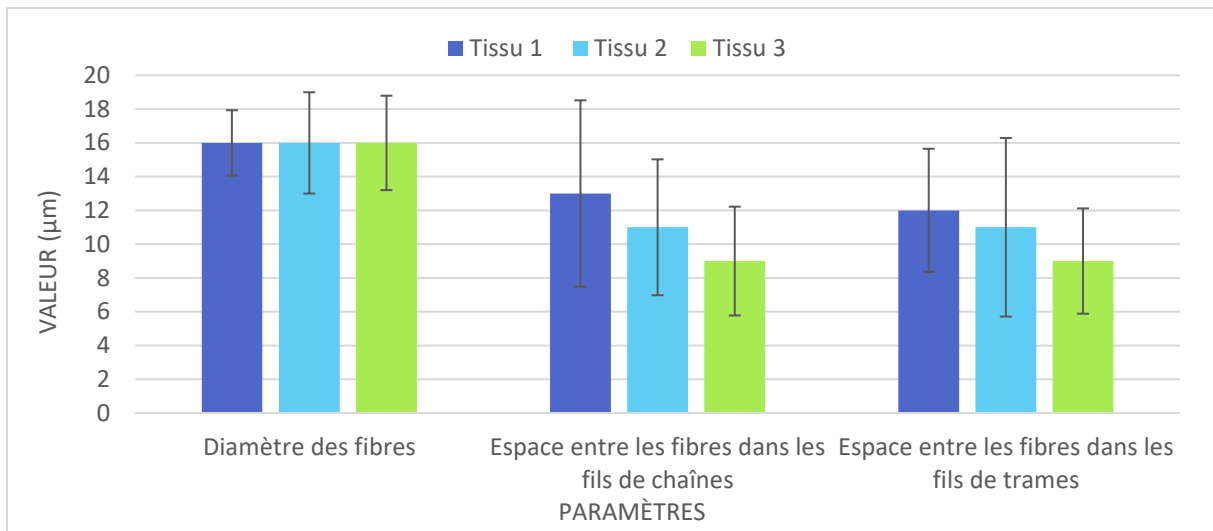


Figure 80 : Etude des espaces entre les fibres dans les trois tissus

Nous avons vu au 1.1.1 page 94 qu'étant donnée la taille des particules micro-silicone (10-40 µm) et la taille des particules macro-silicone (50-155 µm), l'adoucissant micro-silicone se dépose à la fois en surface des tissus et entre les fibres.

On peut constater ici que l'espace moyen entre les fibres (en chaîne et en trame) des tissus 2 et 3 semble plus faible que pour le tissu 1. On peut donc supposer que les traitements pourront moins facilement pénétrer dans les fils.

2.1.2 Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS)

Nous avons suivi le même protocole que précédemment.

La Figure 81 montre les résultats de mesure de la teneur en masse de l'atome de silicium (Si) dans le cas des trois tissus suite aux traitements adoucissants.

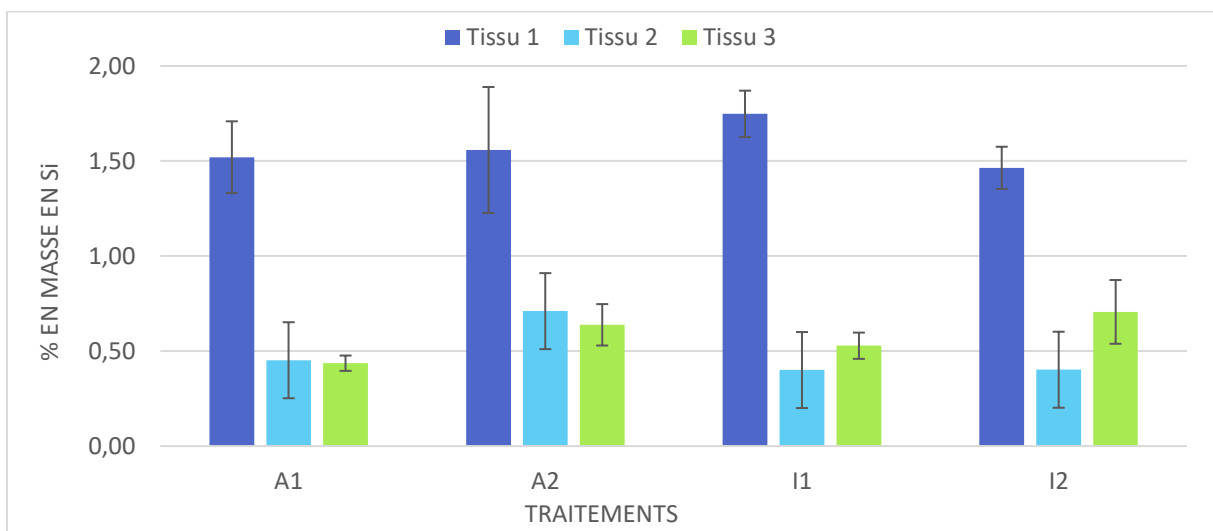


Figure 81 : Teneur en masse d'atomes de silicium suite au traitement adoucissant

L'analyse par EDS après les traitements adoucissant montre que le tissu 1 a les plus grandes capacités à fixer les traitements adoucissants par rapport aux autres tissus ; environ 1,54% en masse de silicium

a été retenu avec le traitement. Cela confirme bien l'hypothèse faite au paragraphe précédent concernant l'espace disponible entre les fibres. On peut donc supposer que dans le cas des tissus 2 et 3, le dépôt s'est principalement fait en surface.

On constate également un taux d'adoucissant qui augmente avec la concentration dans le cas des micro-silicones mais pas des macro-silicones pour les tissus 2 et 3. On peut à nouveau supposer que cela est lié à l'espace disponible entre les fibres.

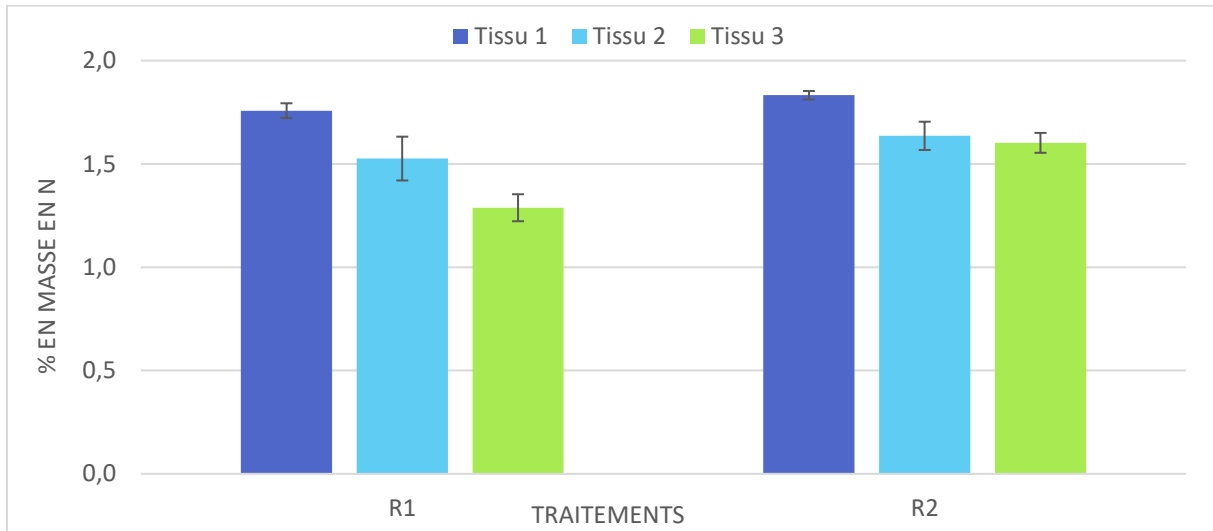


Figure 82 : Teneur en masse d'atome d'azote suite au traitement réticulant

En ce qui concerne le traitement réticulant, comme précédemment, on constate que le tissu 1 fixe davantage d'azote que les deux autres.

Cela peut s'expliquer par le fait que le tissu 1 a une grande affinité pour le réticulant car il est composé à 40 % de coton. On note une teneur en masse d'azote de 1,78 % suite au traitement R1 et de 2,17 % suite au traitement R2. En effet, les tissu 2 et 3 contiennent de la viscose qui est plus cristalline que le coton et qui présente donc moins d'affinité pour le réticulant que le coton. On remarque aussi que le tissu 3 a plus d'affinité pour le réticulant que le tissu 2 car il est composé à 50 % de viscose.

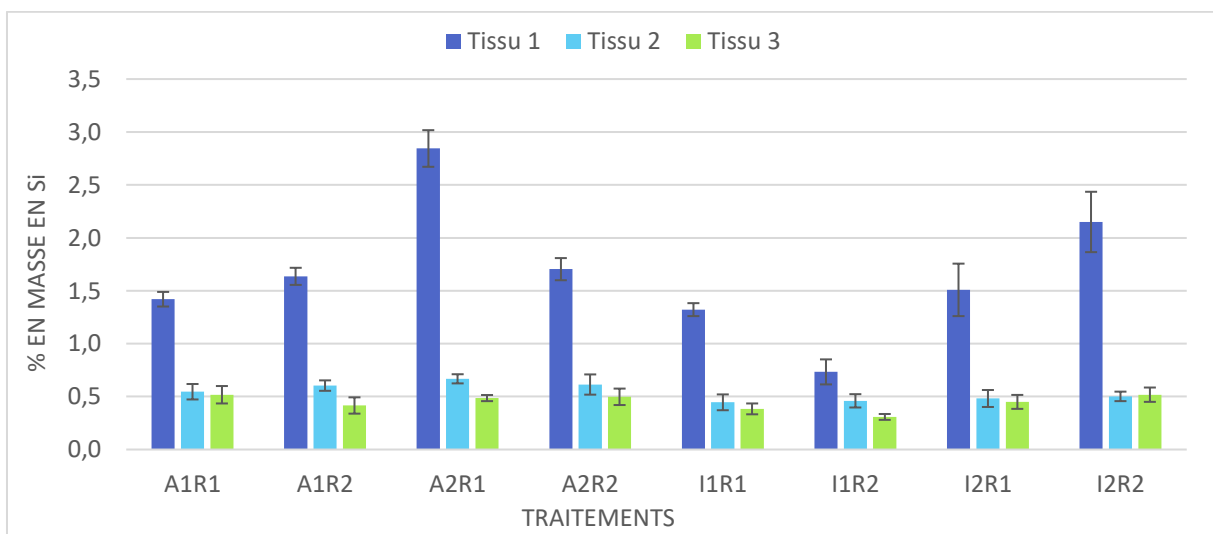


Figure 83 : Teneur en masse en silicium suite aux traitements combinés

D'après la Figure 83 qui illustre la teneur en masse en silicium après les traitements combinés, on remarque que le tissu 1 garde toujours le plus grand pouvoir de rétention de l'adoucissant. Par rapport au cas précédent (application d'adoucissant seul), on remarque que le pouvoir de rétention de l'adoucissant augmente car on peut atteindre les 3% en masse en atome de silicium. Cela s'explique par le fait que la réticulation entraîne un retrait dans le tissu ce qui réduit les espaces entre les fibres en bloquant les particules d'adoucissant à l'intérieur de celles-ci.

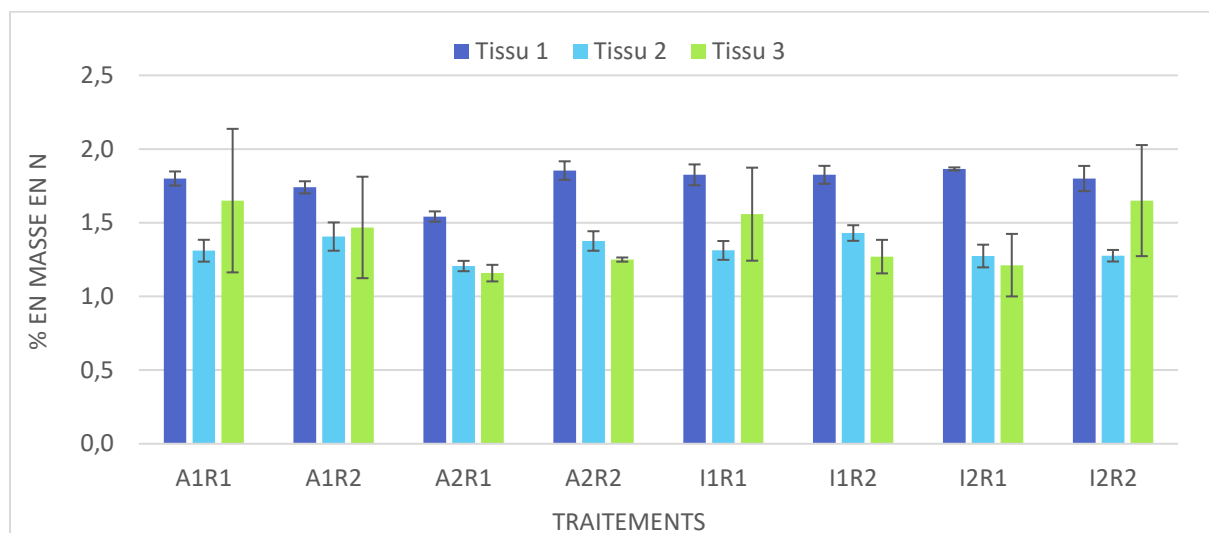


Figure 84 : Teneur en masse en azote suite aux traitements combinés

En ce qui concerne le suivi de la teneur en masse de l'azote suite aux traitements combinés, on remarque d'après la Figure 84 qu'il n'y a pas une grande différence par rapport au traitement réticulant appliqué seul. Cette similarité s'explique par la nature et le pourcentage de la composition en matière cellulosique des tissus 1 et 3 qui ont une grande affinité avec les réticulants comparé à l'affinité du tissu 2 puisque celui-ci présente une composition plus faible en fibres cellulosiques.

2.1.3 Propriétés de surface

Les propriétés de surface ont été mesurées par la chaîne d'évaluation Kawabata (KES). Les résultats sont regroupés dans l'Annexe D.

Les résultats de mesure du coefficient de frottement MIU sont présentés Figure 85. On remarque que les valeurs de ces paramètres diminuent suite aux traitements adoucissants puisque les valeurs de MIU sont plus faibles que celles de l'étoffe de chaque tissu. Les valeurs sont plus faibles suite au traitement adoucissant micro-silicone. Les particules de ce dernier ont tendance à se déposer en surface et entre les fibres. Elles ont donc un effet lubrifiant ce qui réduit l'adhérence du tissu.

En revanche avec les traitements réticulant, on constate une augmentation des valeurs de MIU. Suite au traitement R1, les valeurs ont légèrement augmenté par rapport au coefficient de frottement de l'étoffe brute. L'effet du traitement R2 est plus important puisque la quantité de réticulant apportée est plus élevée. Ces observations sont dues au fait que les agents réticulant réagissent avec les groupements hydroxyles de la cellulose ce qui va permettre la formation de liaisons covalentes entraînant une rigidification plus importante du textile, d'où l'augmentation du coefficient de frottement.

De plus, on remarque que le paramètre de la déviation moyenne du coefficient de frottement MMD (voir Figure D. 1 en Annexe D), est presque stable suite aux différents traitements. Il est de l'ordre de 0,02 à 0,04 avec le tissu 1, de l'ordre de 0,02 avec le tissu 2 et de l'ordre de 0,01 dans le cas du tissu 3.

En ce qui concerne la rugosité de surface, présentée Figure 86, on remarque que tous les écarts par rapport à la rugosité de surface de l'étoffe brute de chaque tissu sont positifs. Cela montre que l'ensemble des traitements réduisent la rugosité de surface des étoffes.

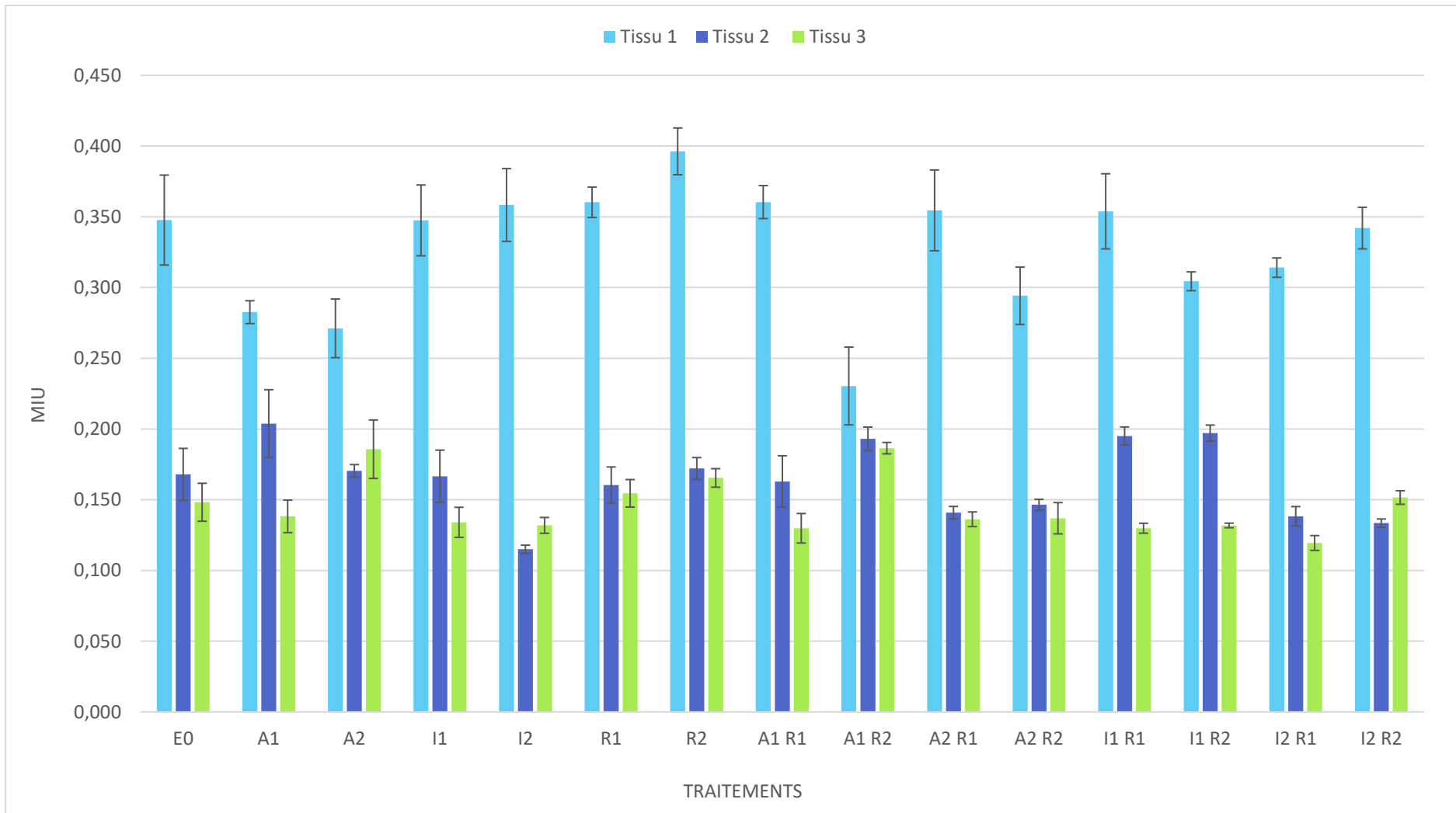


Figure 85 : Effet des traitements sur le coefficient de frottement pour les trois tissus

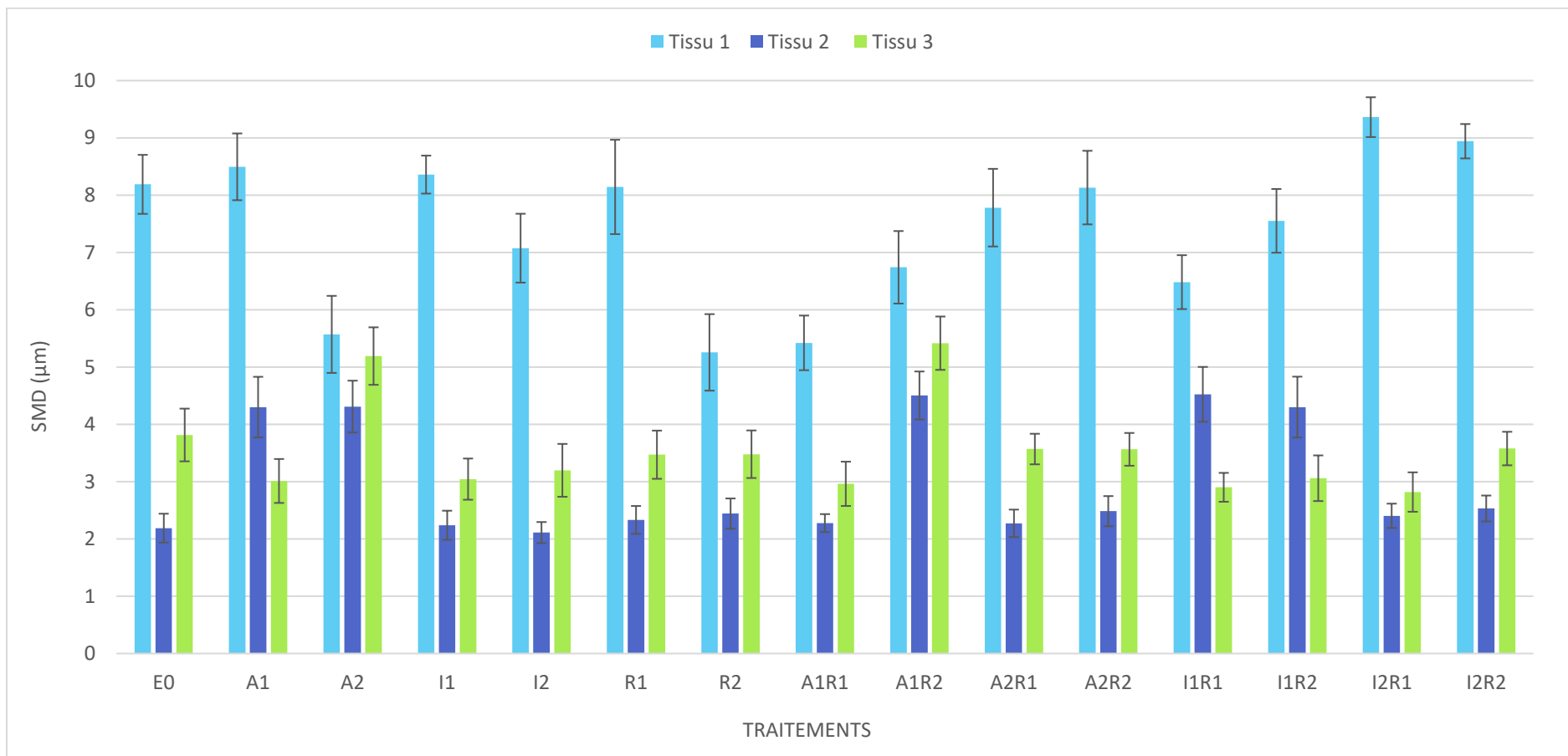


Figure 86 : Effet des traitements sur la rugosité géométrique des trois tissus

2.1.4 Propriétés de compression

Dans cette partie, l'effet des traitements sur les propriétés de compression des tissus sera étudié. On rappelle que ces propriétés ont été mesurées par le module KES FB3 du système Kawabata relatif à la compression.

L'épaisseur T_0 (mm) du tissu (voir Figure D. 2 : Effet des traitements sur l'épaisseur des étoffes en Annexe D), augmente après les traitements dans le cas du tissu 1 et 2, en particulier avec l'effet des traitements adoucissant et l'effet des traitements de la combinaison alors que dans le cas du tissu 3 l'épaisseur demeure voisine de celle de l'épaisseur de l'étoffe brute.

Pour les trois tissus, l'épaisseur T_m (voir Figure D. 3 en Annexe D), est quasiment constante quel que soit le traitement appliqué. Ce résultat est dû au fait qu'en dépit de l'effet de la nature du traitement, le tissu est fortement compressé par une charge de 5 kPa.

L'analyse de l'indice de compressibilité EMC % (Figure 90), permet de mieux voir l'effet des traitements puisqu'il représente l'écart entre l'épaisseur initiale et l'épaisseur à 5 kPa, rapportée à l'épaisseur initiale. Il avait été constaté que le tissu 1 devenait plus compressible suite aux différents traitements, surtout suite aux traitements combinés. En effet, les particules d'adoucissants augmentent l'espace entre les fibres dans les tissus, et donc la quantité d'air. En comparant la compressibilité des tissus 1 et 3, on remarque que le tissu 3 devient légèrement plus compressible. En revanche avec le tissu 2, on remarque que les traitements sont presque sans effet sur la compressibilité.

Linéarité de compression, est un nombre sans dimension caractéristique du comportement de l'éprouvette à la compression. Si ce nombre vaut 1 le comportement est linéaire. S'il est inférieur (respectivement supérieur) à 1, le comportement est non linéaire. Les résultats de mesure de la linéarité de compression (LC) sont présentés en Figure 87. On a des tissus à l'état brut dont la linéarité de compression vaut $1E_0 = 0,31$, $2E_0 = 0,34$, et $3E_0 = 0,35$. On remarque dans le cas des trois tissus que par l'effet des traitements adoucissants ou bien réticulants la linéarité de compression augmente, ce qui veut dire que par leurs effets les traitements contribuent à rendre le comportement plus linéaire à la compression.

En ce qui concerne la résilience de compression RC (Figure 88), suite au traitement adoucissant macro-silicone, elle est très proche de celle de l'étoffe brute (cas du tissu 2) voir dans certains cas légèrement plus grande (cas du tissu 1 et du tissu 3). Ce résultat s'explique par le fait que l'adoucissant macro-silicone se dépose en général à la surface du tissu donc il ne modifiera pas la résilience. Suite aux traitements réticulant, on remarque une diminution de la résilience des trois tissus. Dans le cas de la combinaison, on observe des valeurs hétérogènes puisque cela résulte de l'effet combiné des deux agents.

Les résultats de l'énergie de compression (WC) sont présentés en Figure 89. Celle-ci augmente surtout avec les traitements réticulant et les traitements combinés car le réticulant rigidifie le tissu.

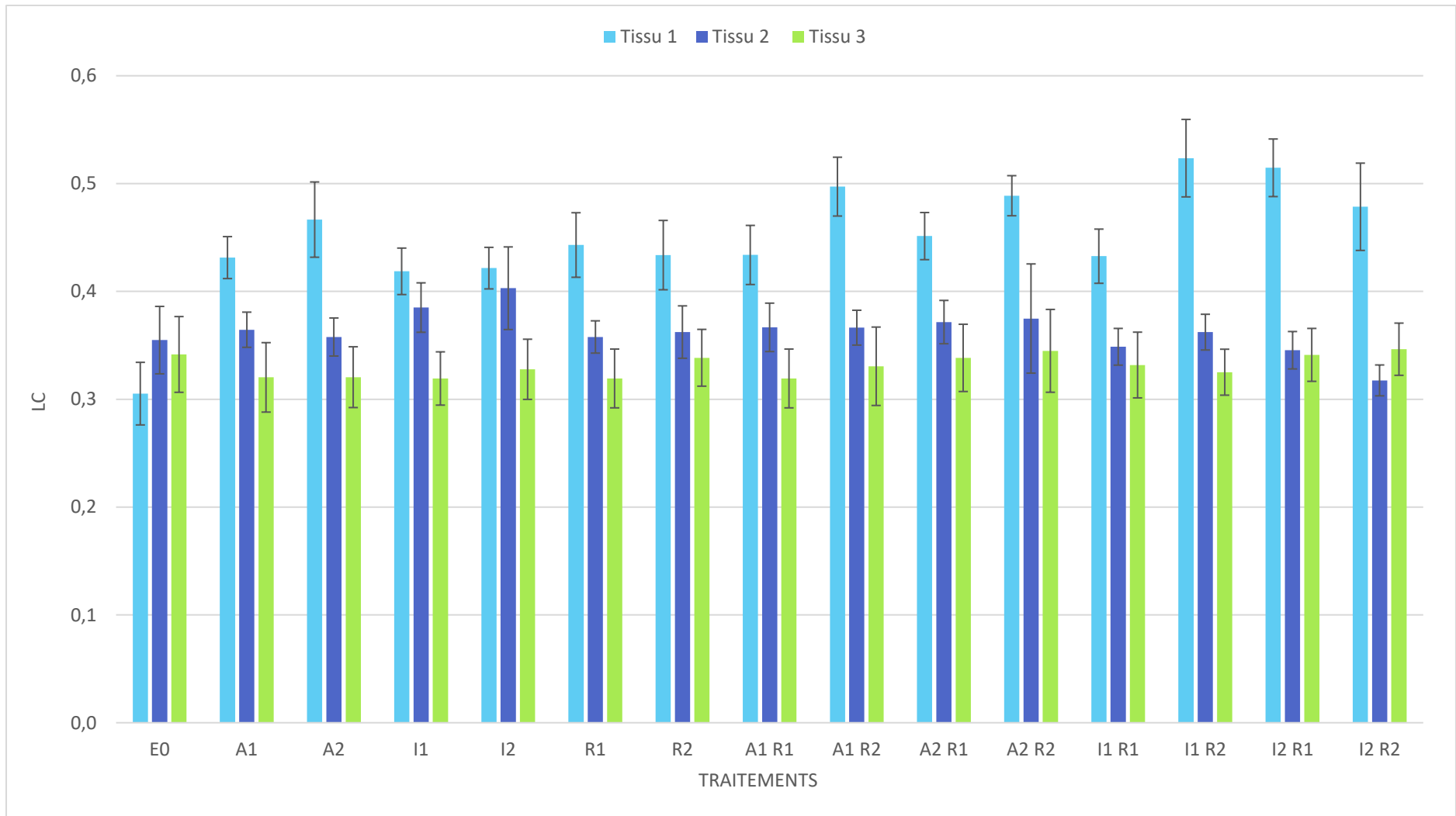


Figure 87 : Effet des traitements sur la linéarité de compression des trois tissus

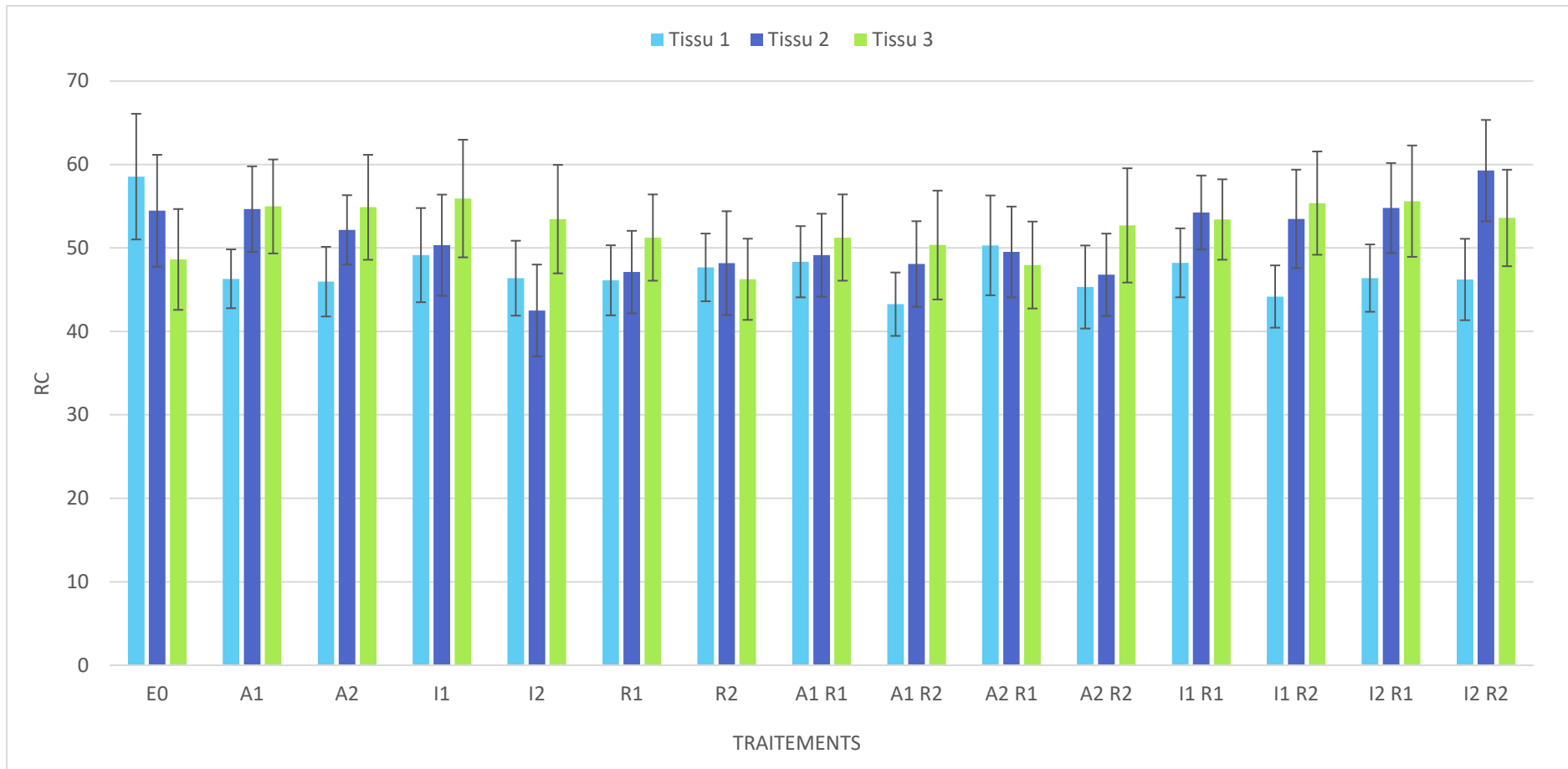


Figure 88 : Effet des traitements sur la résilience de compression des trois tissus

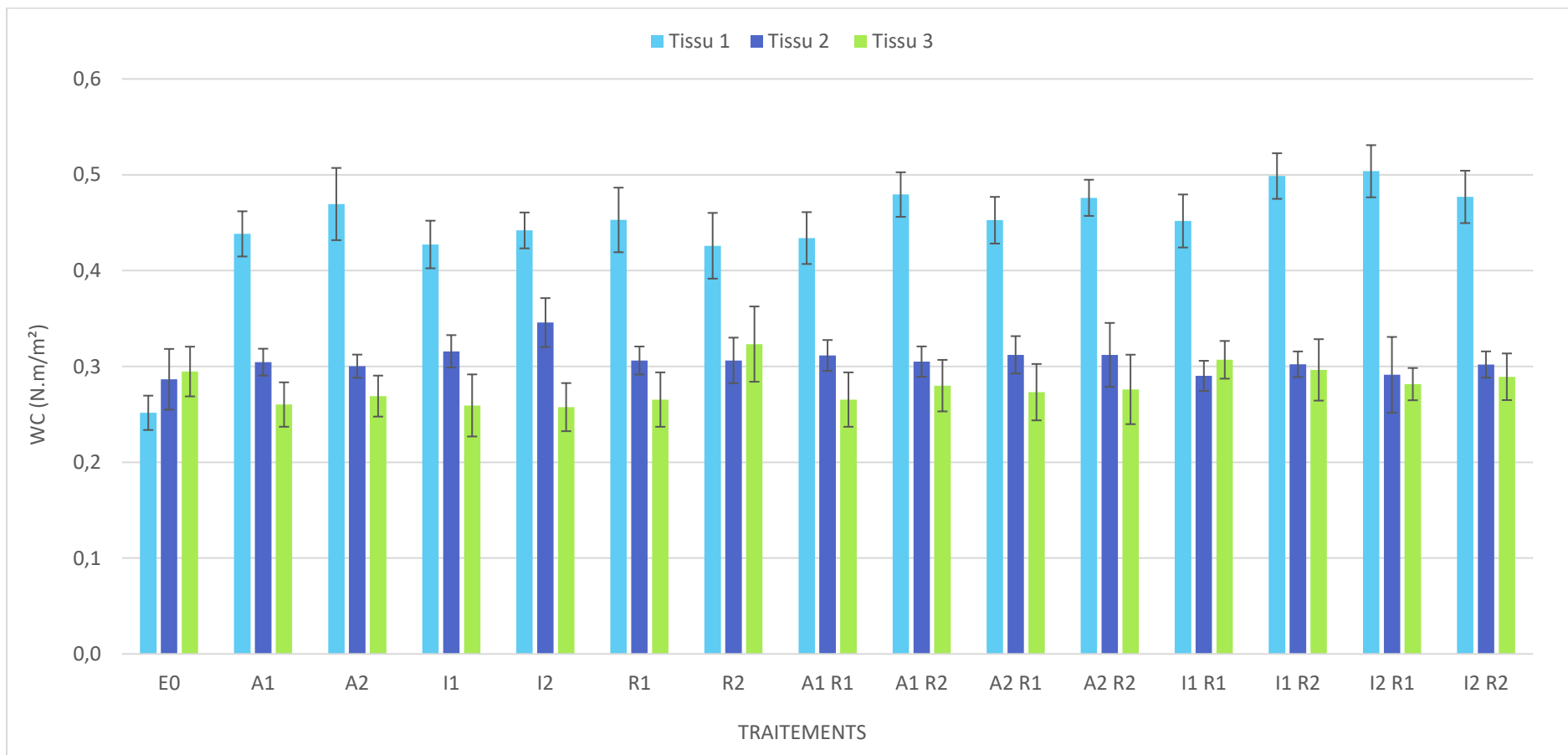


Figure 89 : Effet des traitements sur l'énergie de compression des trois tissus

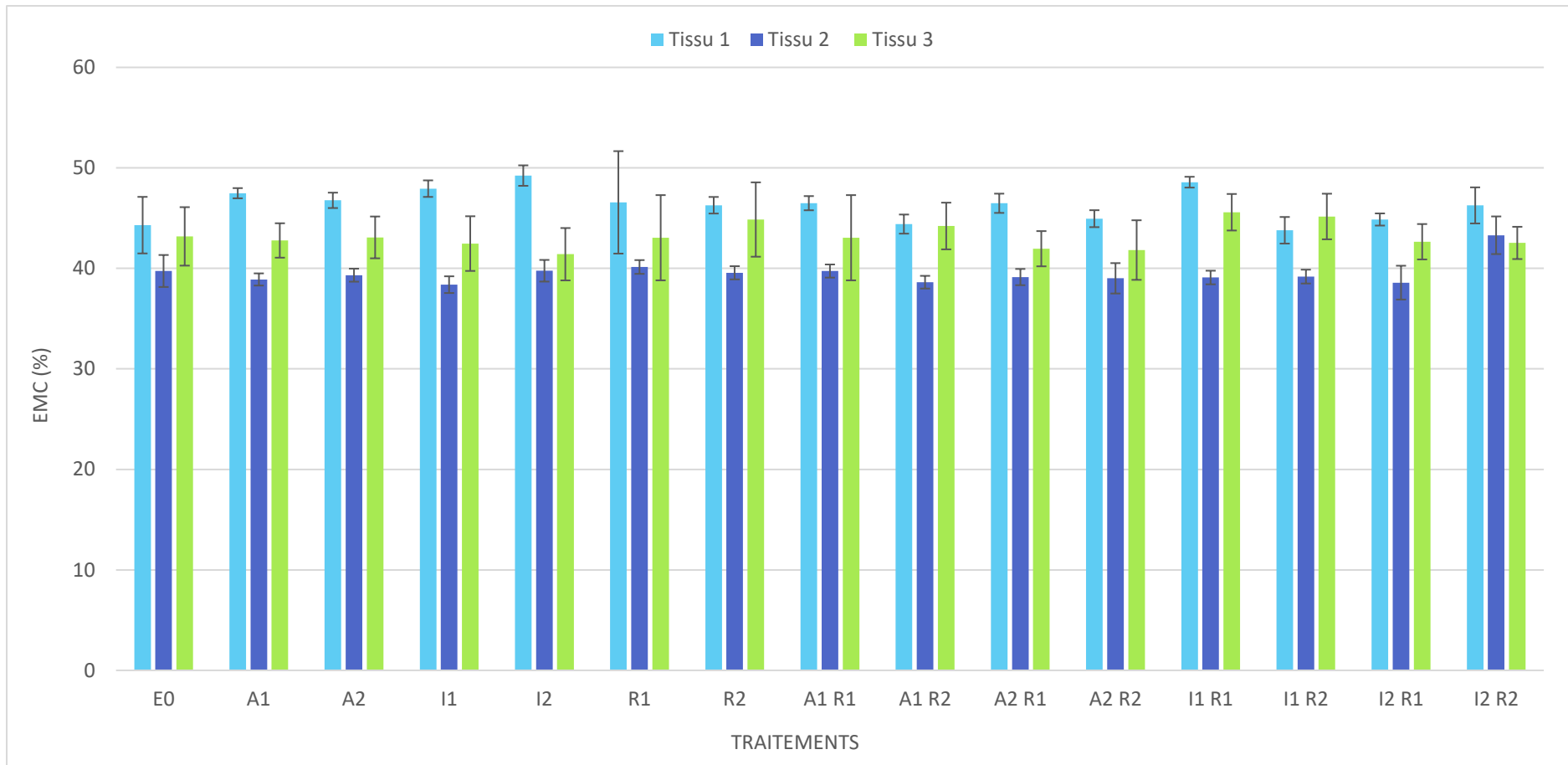


Figure 90 : Effet des traitements sur l'indice de compressibilité des trois tissus

2.1.5 Perméabilité à l'air

Dans cette partie, nous allons analyser la différence d'effet des traitements sur la perméabilité à l'air des trois étoffes. Les mesures ont été réalisées de la même manière qu'en page 93.

2.1.5.1 Cas des traitements individuels

Les résultats de la mesure de la perméabilité à l'air après les traitements adoucissants et réticulant sont présentés Figure 91.

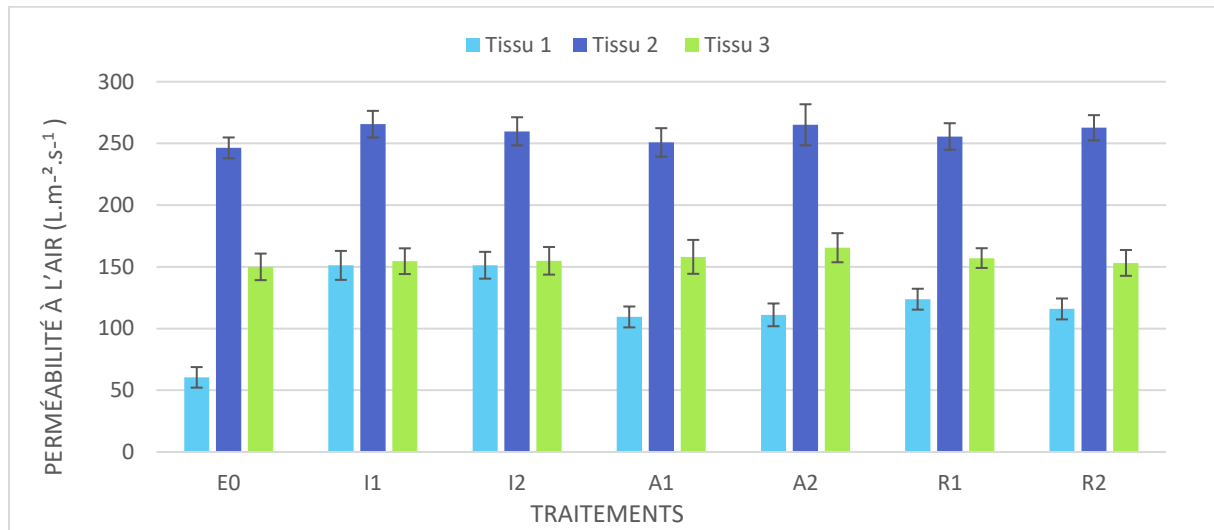


Figure 91 : Mesure de la perméabilité à l'air suite aux traitements adoucissants et réticulants

D'après ce graphe, on remarque que ce soit à l'état brut ou bien suite aux traitements, le tissu 2 présente la plus grande perméabilité à l'air. Les valeurs de la perméabilité à l'air par l'effet de chaque traitement augmentent légèrement dans le cas de chaque tissu.

Le tissu 1 se caractérise par une faible perméabilité à l'air. Suite aux traitements, la perméabilité à l'air de ce tissu augmente par rapport à celle de l'étoffe brute. C'est la même observation dans le cas du tissu 2. Concernant, le tissu 3 quel que soit le traitement, sa perméabilité à l'air est quasi constante donc les traitements n'ont pas d'effet sur la perméabilité à l'air de ce tissu. En effet, le tissu 1 est d'armure satin qui est moins opaque par rapport aux armures sergé ou croisé de 2 à cause du décochement c'est pour cela l'effet des traitements était très efficace sur la perméabilité à l'air de ce tissu.

2.1.5.2 Cas des traitements combinés

Après avoir étudié, l'effet des traitements individuels sur la perméabilité à l'air du tissu 1, on passe à l'étude de l'effet des combinaisons. Les résultats de mesure sont résumés par la Figure 92 qui illustre la mesure de la perméabilité à l'air suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant. La Figure 93 illustre la mesure de la perméabilité à l'air suite au traitement combinant adoucissant micro-silicone et réticulant.

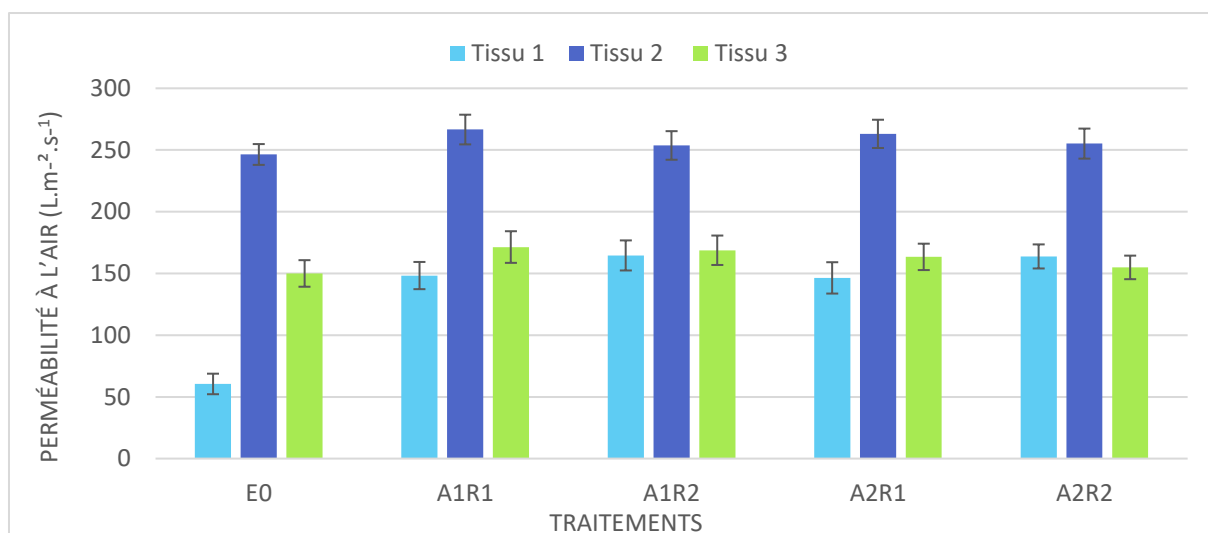


Figure 92 : Mesure de la perméabilité à l'air suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

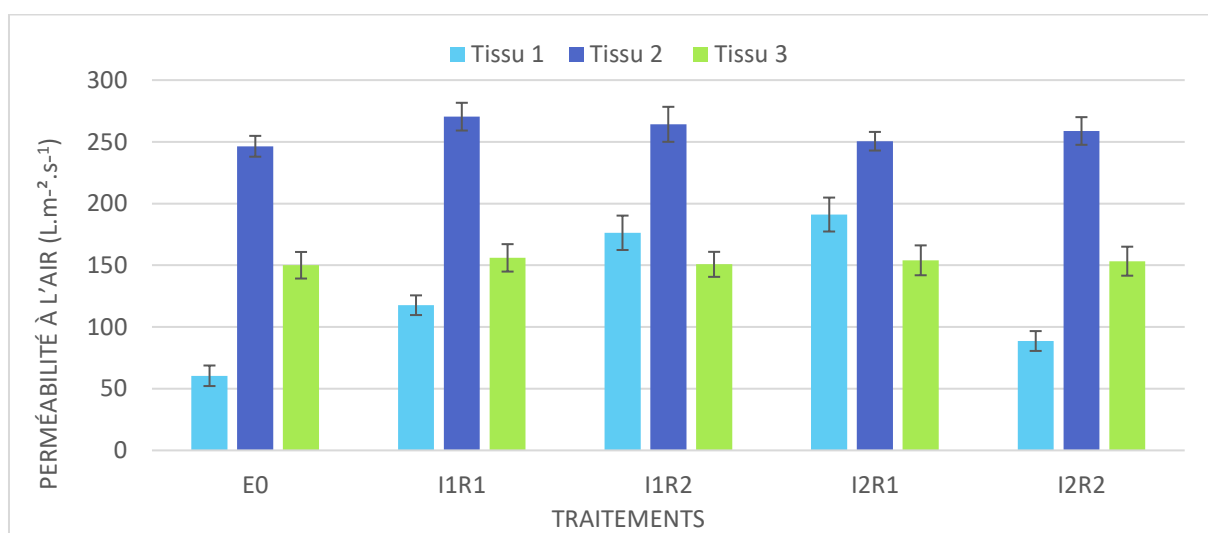


Figure 93 : Mesure de la perméabilité à l'air suite au traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

On observe à partir de ces deux graphes une même évolution que dans le cas des traitements individuels. Le tissu 2 se dote d'une perméabilité plus élevée par rapport aux autres tissus. La perméabilité du tissu 1 augmente suite aux traitements et les traitements n'ont pas d'effet sur la perméabilité à l'air du tissu 3.

Sur la base de ces observations, on peut dire que la contexture du tissu joue un rôle important en ce qui concerne l'évolution de la perméabilité l'air suite aux traitements. Plus le tissu est en tissage serré moins il sera perméable à l'air. A l'état brut les tissus 2 et 3 se caractérisent par des valeurs de perméabilité à l'air plus élevées (respectivement 246 et 150 L.m⁻².s⁻¹ contre 60 L.m⁻².s⁻¹ pour le tissu 1), et donc l'effet des traitements sur cette propriété est minime.

2.1.6 Conclusions

Il ressort de la comparaison de la taille des particules des adoucissants et de l'espace mesuré entre les fibres dans les fils de chaîne et les fils de trame que l'adoucissant micro-silicone a tendance à se déposer entre les fibres et sur la surface du tissu tandis que le dépôt de l'adoucissant macro-silicone se fait généralement en surface du tissu.

Avec la spectroscopie à rayon X à dispersion d'énergie, il a été possible de suivre la rétention en masse d'azote pour les cas des traitements réticulant et de silicium dans le cas des traitements adoucissants. Il ressort que dans le cas des traitements combinés la rétention des tissus en adoucissant augmente car la réticulation entraîne un retrait en sens longitudinal et transversal dans le tissu ce qui réduit les espaces entre les fibres en bloquant les particules d'adoucissant à l'intérieur de celles-ci.

En tenant compte de observations tirées du phénomène du dépôt des adoucissants et des résultats de mesure avec la spectroscopie à rayon X à dispersion d'énergie ainsi que des propriétés de la contexture des tissus, il a été possible d'interpréter l'effet des traitements sur les propriétés de surface et de compression. Il ressort que les traitements réticulant font augmenter le coefficient de frottement alors qu'il diminue par l'effet des adoucissants. L'indice de compressibilité augmente par l'effet des traitements ce qui explique aussi que les tissus deviennent moins résilients à la compression. L'effet de la réticulation fait aussi augmenter l'énergie de compression dans le cas des traitements réticulant et des traitements combinés.

En ce qui concerne l'effet des traitements sur la perméabilité à l'air, il ressort qu'il est conditionné par la contexture et la porosité du tissu. Si le tissu est déjà très perméable à l'air avant traitements, l'effet des traitements sera minime. Dans ce cadre des trois tissus étudiés, on a remarqué que la perméabilité à l'air a augmenté par l'effet de tous les traitements. L'effet sur la perméabilité à l'air du tissu 1 est le plus important (jusqu'à 216 % dans le cas du traitement I2R1) par rapport à l'effet sur la perméabilité à l'air des tissus 2 et 3. L'augmentation dans le cas du tissu 2 est de 3 à 10 % et dans le cas du tissu 3 de 3 à 14 %.

Ces observations et conclusions seront exploitées dans la suite pour l'interprétation de l'effet des traitements sur les propriétés du bruit généré par le frottement des étoffes entre elles.

2.2 Caractérisation instrumentale

Nous étudierons dans cette partie l'effet des traitements individuels sur le bruit de frottement généré, puis de la combinaison adoucissant macro-silicone/réticulant, et enfin de la combinaison adoucissant micro-silicone/réticulant.

Nous ferons, ensuite, la comparaison par paires des moyennes du niveau sonore après les différents traitements sur chaque tissu afin d'étudier la significativité statistique des différences observées.

2.2.1 Caractérisation du bruit de frottement suite aux traitements réticulant

La caractérisation se concentre sur l'analyse des effets des traitements réticulant sur les paramètres instrumentaux, notamment le niveau sonore (SPL) et l'amplitude du maximum (Peak). La Figure 94 illustre les valeurs de niveau sonore et la Figure 95 illustre les résultats de l'amplitude du maximum.

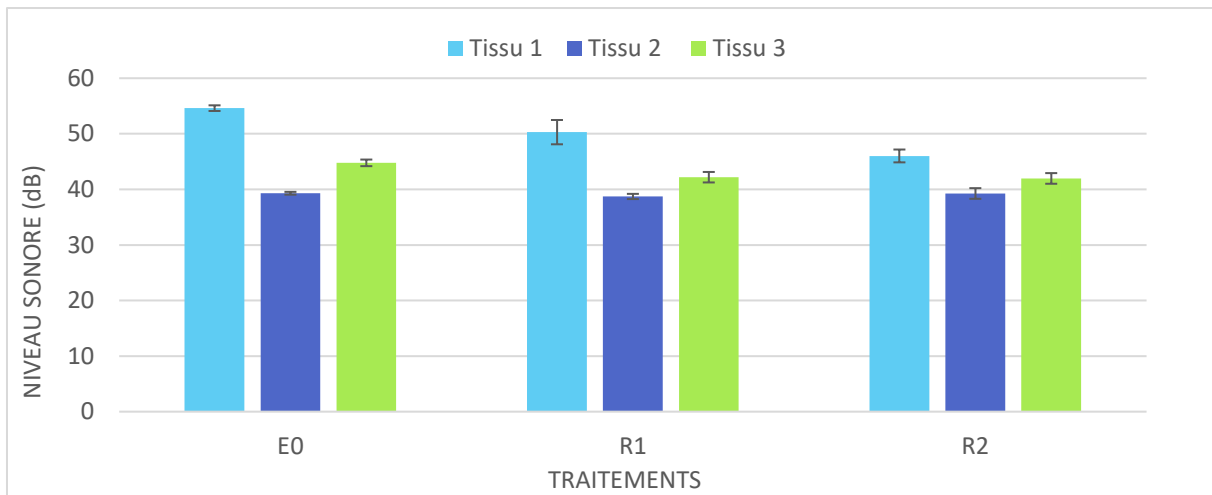


Figure 94 : Comparaison des valeurs du niveau sonore (dB) pour les traitements réticulants

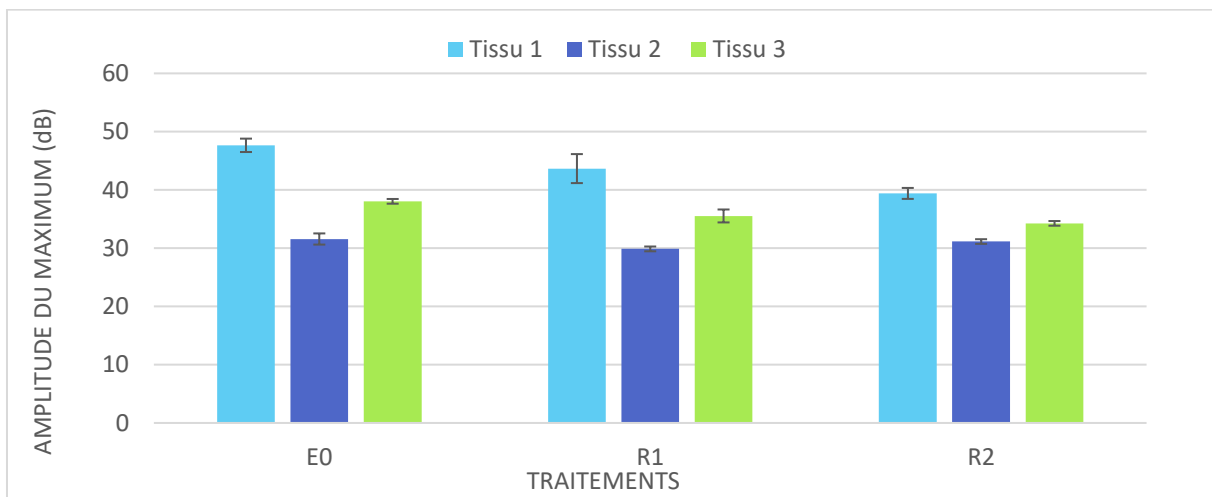


Figure 95 : Comparaison des valeurs de l'amplitude du maximum pour les traitements réticulant

On remarque que pour chaque traitement le tissu 1 possède la plus grande valeur de SPL (dB) et de Peak (dB), puis le tissu 3 et enfin le tissu 2. Ce comportement est conditionné par la texture du tissu qui en elle-même conditionne la rugosité de la surface. En effet, le tissu 1 possède une rugosité de surface très élevée par rapport aux autres tissus. La rugosité de surface à l'état brut est de $8,19 \mu$. Nous avons également observé qu'elle ne variait pas avec l'effet du traitement R1 et malgré cela, on observe une diminution de 4 dB du niveau sonore par rapport à celui de l'étoffe brute. Donc, les traitements réticulants font diminuer les valeurs du niveau sonore et de l'amplitude du maximum. La diminution est plus importante avec le traitement R2 dont la concentration est la plus élevée.

2.2.2 Caractérisation du bruit de frottement suite aux traitements adoucissants

De la même manière que dans le cas de l'effet des traitements réticulant, on présente les résultats de l'effet des traitements adoucissants. La Figure 96 illustre les valeurs du niveau sonore et la Figure 97 illustre les résultats de l'amplitude du maximum.

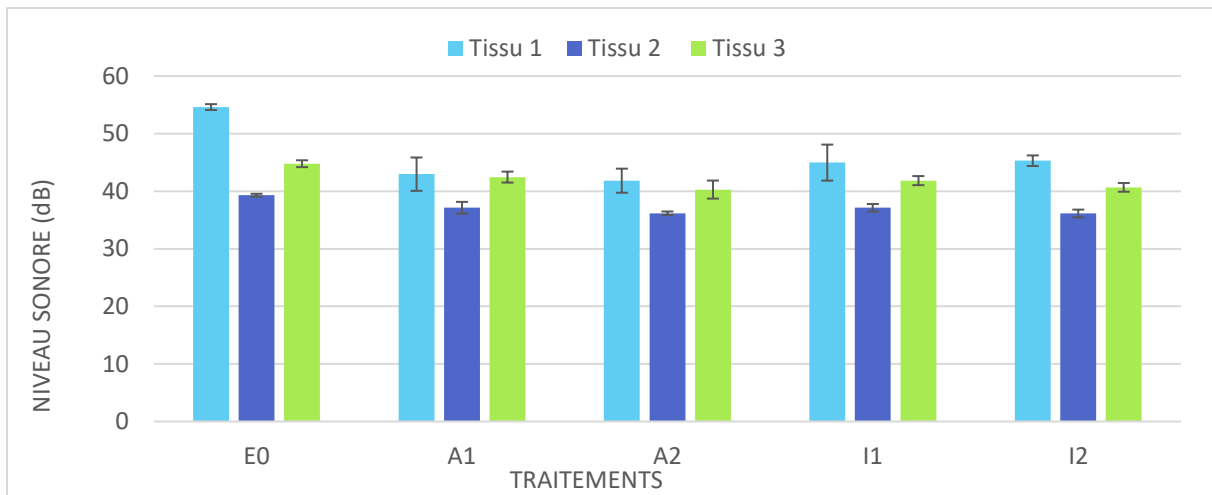


Figure 96 : Comparaison des valeurs du niveau sonore pour les traitements adoucissants

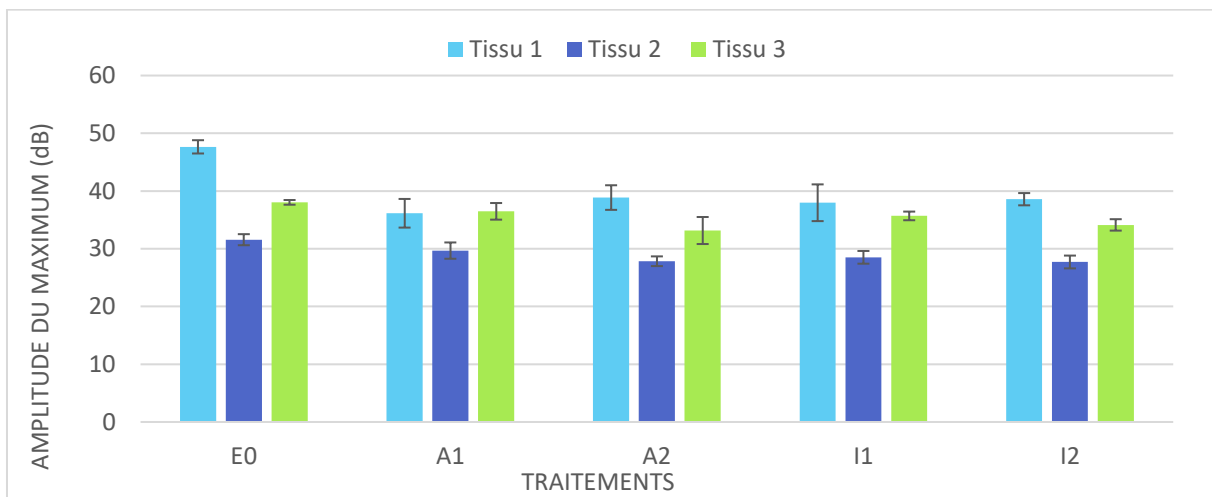


Figure 97 : Comparaison des valeurs de l'amplitude du maximum pour les traitements adoucissants

D'après la Figure 96 et la Figure 97, on remarque que le niveau sonore et l'amplitude de maximum diminuent pour chaque traitement. Néanmoins, on remarque que le tissu 1 garde toujours pour chaque traitement les plus grandes valeurs de niveau sonore SPL et d'amplitude du maximum puis le tissu 3 et enfin le tissu 2.

On remarque aussi qu'il n'y a pas un grand changement des valeurs de SPL et Peak pour chaque tissu et pour chaque traitement avec un adoucissant macro-silicone comparé à son homologue avec un adoucissant micro-silicone. Citant l'exemple pour les niveaux sonores (dB SPL) des traitements 1A1, 2A2, 3A2 (44,83 ; 36,17 et 40,28) comparés à ceux des traitements 1I2, 2I2, 3I2 (45,30 ; 36,13 ; 40,67).

2.2.3 Etudes de la significativité des différences observées

Le principe est de comparer la différence entre les valeurs moyennes de toutes les paires possibles à une valeur critique de signification ($\alpha = 0,05$). Si la p-value du test est supérieure à 0,05, la différence des moyennes n'est pas significative.

Dans le cas du tissu 3 (Annexe E), on remarque que les traitements modifient le niveau sonore du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison montre

aussi une différence significative entre les traitements adoucissant (I1, I2), (A1, A2) mais pas entre les traitements réticulant (R1, R2). On ne note pas non plus de différence significative entre l'effet des traitements adoucissants et réticulant, citons l'exemple des couples (I1, R1 ou R2) ou (A2, R1 ou R2).

Le Tableau 43, Tableau 44 et le Tableau 45 présentent la comparaison des moyennes du niveau sonore suite aux traitements individuels. Les valeurs en gras indiquent une différence significative de la moyenne du niveau sonore de la paire correspondante.

Dans le cas du tissu 1 (Tableau 43), on remarque que les traitements modifient le niveau sonore du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison ne montre par contre pas de différence significative entre les différents traitements.

Tableau 43 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite au traitements individuels dans le cas du tissu 1

Traitement	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,279	<0,0001	0,425	0,872	0,169	0,284
A2		1	<0,0001	0,925	0,156	0,673	0,830
E0			1	0,000	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1				1	0,387	0,684	0,968
I2					1	0,072	0,086
R1						1	0,478
R2						0,	1

Dans le cas du tissu 2 (Annexe E), on remarque que les traitements modifient le niveau sonore du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison montre aussi une différence significative entre mêmes traitements (I1, I2), (A1, A2) et (R1, R2). On note également une différence significative entre traitements adoucissant et réticulant, citons l'exemple des couples (A1, I2) ou (I2, R1).

Tableau 44 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite au traitements individuels dans le cas du tissu 2

Traitement	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,037	0,001	0,911	0,082	0,001	<0,0001
A2		1	<0,0001	0,009	0,752	<0,0001	<0,0001
E0			1	<0,0001	<0,0001	0,103	<0,0001
I1				1	0,043	<0,0001	<0,0001
I2					1	<0,0001	<0,0001
R1						1	0,000
R2							1

Dans le cas du tissu 3 (Annexe E), on remarque que les traitements modifient le niveau sonore du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison montre aussi une différence significative entre les traitements adoucissant (I1, I2), (A1, A2) mais pas entre les

traitements réticulant (R1, R2). On ne note pas non plus de différence significative entre traitements adoucissants et réticulant, citons l'exemple des couples (I1, R1 ou R2) ou (A2, R1 ou R2).

Tableau 45 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite au traitements individuels dans le cas du tissu 3

Traitement	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,044	0,001	0,399	0,008	0,564	0,822
A2		1	0,000	0,093	0,962	0,080	0,055
E0			1	<0,0001	<0,0001	0,000	0,000
I1				1	0,017	0,804	0,531
I2					1	0,018	0,011
R1						1	0,718
R2							1

2.2.4 Caractérisation du bruit de frottement après les traitements combinés

Dans cette partie, nous allons étudier les effets de la combinaison des traitements adoucissants et réticulant sur les propriétés acoustiques des trois tissus. La Figure 98 présente les valeurs du niveau sonore et la Figure 99 présente les valeurs de l'amplitude du maximum.

On remarque, d'après ces deux graphes, que le tissu 1 garde toujours pour chaque traitement les plus grandes valeurs de SPL et Peak, puis le tissu 3 et enfin le tissu 2. Contrairement au cas de l'adoucissant macro-silicone, le traitement I2R2 possède les plus faibles valeurs de SPL et Peak et le traitement I2R1 présente les plus grandes valeurs. Cela peut être relié à la différence en quantité de réticulant ajoutée et met en avant l'importance de la combinaison d'un réticulant avec un adoucissant micro-silicone. De la même manière que dans le cas des traitements individuels, la comparaison par paires des moyennes du niveau sonore suite aux traitements combinés a été effectuée. Nous allons nous intéresser à l'explication des p-value résultant de la comparaison des moyennes du niveau sonore du bruit de frottement de chaque deux paires de traitements.

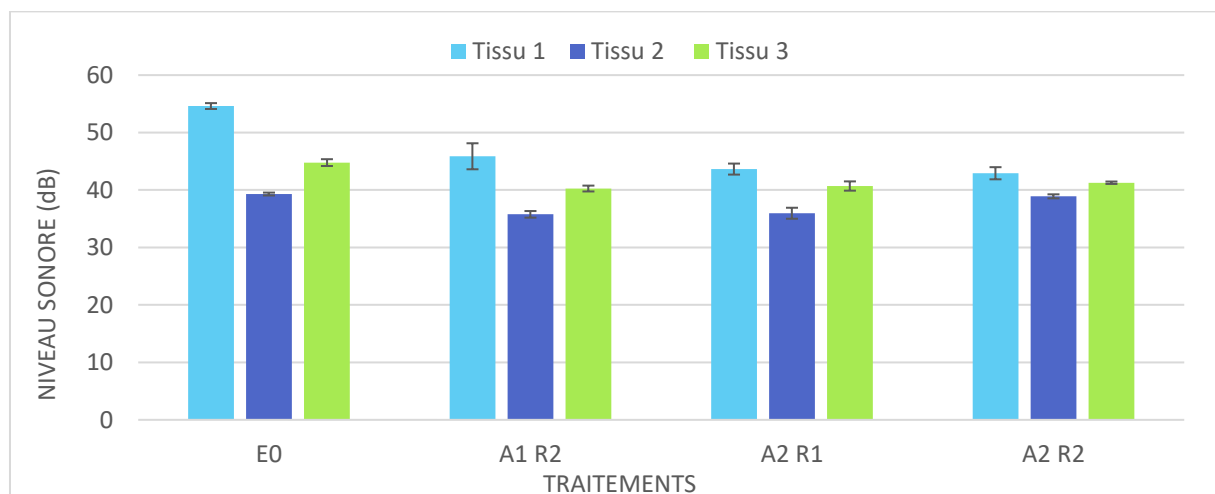


Figure 98 : Comparaison des valeurs du niveau sonore pour les traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

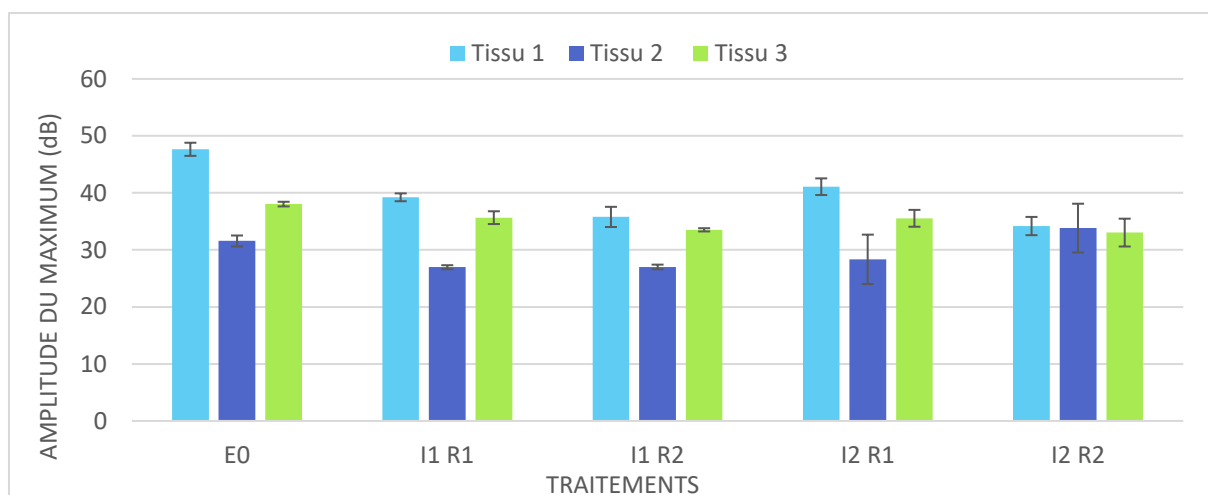


Figure 99 : Comparaison des valeurs de l'amplitude du maximum pour les traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

2.2.4.1 Etude de la significativité statistique des différences dans le cas des traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

Le Tableau 46, Tableau 47 et le Tableau 48 présentent les résultats du calcul de la comparaison des moyennes du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant.

Tableau 46 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 1

Traitement	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,786	0,759	0,234	<0,0001
A1R2		1	0,995	0,069	<0,0001
A2R1			1	0,014	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

Tableau 47 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 2

Traitement	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,075	0,046	0,042	0,859
A1R2		1	0,083	0,160	<0,0001
A2R1			1	0,719	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

Tableau 48 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 3

Traitement	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,135	0,431	0,355	<0,0001
A1R2		1	0,078	0,030	0,000
A2R1			1	0,895	0,000
A2R2				1	<0,0001
E0					1

On remarque que dans le cas des trois tissus, les traitements modifient le niveau sonore du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. Mais la comparaison ne montre pas de différence significative entre les moyennes du niveau sonore entre ces traitements.

2.2.4.2 Etude de la significativité statistique des différences dans le cas des traitements combinant adoucissant macro-silicone avec un réticulant

Le Tableau 49, Tableau 50 et le Tableau 51 présentent les résultats du calcul de la comparaison des moyennes du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant.

Tableau 49 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 1

Traitement	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,001	0,000	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	0,186
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

Tableau 50 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 2

Traitement	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	0,836	0,200
I1R1		1	0,026	0,101	0,491
I1R2			1	0,204	0,821
I2R1				1	0,432
I2R2					1

Tableau 51 : Etude de la significativité de la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 3

Traitement	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,000	0,023	0,346
I1R2			1	0,023	0,011
I2R1				1	0,055
I2R2					1

On remarque que les traitements de la combinaison modifient le niveau sonore du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison montre une différence significative entre les moyennes du niveau sonore suite à ces traitements dans le cas du tissu 1 et 3 mais pas dans le cas du tissu 2.

2.2.5 Conclusions

Sur la base des observations tirées des différents cas de comparaison par paires, surtout la comparaison du niveau sonore, on peut dire que le traitement, que ce soit seul ou bien en combinaison, modifiera d'une manière significative les propriétés du bruit de frottement de l'étoffe textile. Mais pour certains tissus, il n'y aura pas de différences très significatives entre l'effet des traitements. C'était le cas du tissu 1 avec les traitements adoucissants (A1, A2, I1 et I2) et réticulants (R1, R2). Ce tissu présente une rugosité de surface élevée, qui est l'un des facteurs limitant le frottement, d'où les faibles diminutions du niveau sonore par rapport à celui de l'étoffe brute malgré l'effet des traitements.

De la même manière, dans le cas des trois tissus, pour la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant (A1R1, A1R2, A2R1 et A2R2), la différence est significative par rapport au bruit de frottement de l'étoffe brute mais pas entre les traitements. Avec ce type de traitement, l'adoucissant macro-silicone est en général déposé à la surface du textile, et donc l'effet est le même.

En ce qui concerne l'effet de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant, on a obtenu une différence significative (cas du tissu 1 et 3). Cela s'explique par l'effet du réticulant et de l'adoucissant micro-silicone déposé à la fois à la surface du textile et entre les fibres, ce qui jouera sur la variation de coefficient de frottement ainsi d'avoir un niveau sonore différents.

2.3 Caractérisation psycho-acoustique

Dans cette partie nous allons étudier de la même manière que dans le cas de la caractérisation instrumentale, la comparaison par paires des moyennes des paramètres de Zwicker suite aux différents traitements qui ont été effectués. On commence par présenter l'écart entre chaque paramètre du bruit de frottement de l'étoffe traitée par rapport à celui du bruit de frottement de l'étoffe brute.

2.3.1 Etude de la significativité de la différence de sonie

Le Tableau 52 présente les écarts (%) de sonie du bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à la sonie du bruit de frottement de l'étoffe brute.

Tableau 52 : Ecart (%) de sonie du bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à la sonie de l'étoffe brute

Traitement	Tissu 1	Tissu 2	Tissu 3
A1	49%	15%	14%
A2	42%	20%	23%
I1	49%	15%	18%
I2	46%	19%	24%
R1	37%	-3%	13%
R2	43%	3%	14%
A1 R1	51%	18%	22%
A1 R2	51%	18%	14%
A2 R1	48%	21%	23%
A2 R2	54%	21%	20%
I1 R1	46%	20%	22%
I1 R2	55%	15%	16%
I2 R1	38%	24%	18%
I2 R2	59%	21%	26%

On remarque que l'effet de l'adoucissant est directement remarquable sur le tissu 1 qui permet de réduire la sonie de moitié (cas des traitement A1 et I1, le % de réduction est de 49 %) et de 15 à 20 % pour les tissus 2 et 3.

Les traitements avec réticulant donnent de faibles écarts. Les plus faibles diminutions ont été engendrées par le traitement R1. La sonie a été réduite de 37 % dans le cas du tissu 1 et de 13 % dans le cas du tissu 3 alors qu'elle est augmentée de 3 % dans le cas du tissu 2.

Enfin, en ce qui concerne l'effet de la combinaison, on remarque que les écarts sont aussi importants surtout avec le traitement I2R2 qui était le meilleur pour réduire la sonie du bruit de frottement des trois tissus. La réduction de la sonie était de 59 % dans le cas du tissu 1, de 21 % dans le cas du tissu 2 et de 26 % dans le cas du tissu 3.

La comparaison par paires des moyennes de la sonie suite aux différents traitements (que ce soit individuels ou bien en combinaison) a montré la même tendance que celle du niveau sonore (voir Annexe E) dans le cas des trois tissus. Ces observations sont liées au fait que la sonie est positivement corrélée au niveau sonore.

Pour certains tissus, il n'y aura pas de différences très significatives entre l'effet des traitements. C'était le cas du tissu 1 avec les traitements adoucissant (A1, A2, I1 et I2) et réticulant (R1, R2).

Dans le cas des trois tissus, pour la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant (A1R1, A1R2, A2R1 et A2R2) la différence est significative par rapport au bruit de frottement de l'étoffe brute mais pas entre les traitements. Avec ce type de traitement, l'adoucissant macro-silicone est en général déposé à la surface du textile, donc l'effet est le même.

En ce qui concerne l'effet de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant, on a obtenu une différence significative (cas du tissu 1 et 3). Cela s'explique par l'effet du réticulant et aussi de l'adoucissant micro-silicone qui se dépose à la fois en surface et entre les fibres.

2.3.2 Etude de la significativité de la différence d'acuité

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étude de l'effet des traitements sur l'acuité du bruit de frottement des trois tissus. Comme dans le cas de l'étude de la sonie, on illustre les écarts de l'acuité (Tableau 53).

On remarque que dans le cas du tissu 1 l'acuité a diminué, avec tous les traitements adoucissant et réticulant. On a observé qu'il y a eu aussi une diminution de la sonie avec ces traitements ce qui veut dire, à la perception humaine, le bruit de frottement du tissu 1 est devenu moins fort et moins aigu que celui de l'étoffe brute.

Tableau 53 : Ecart (%) de l'acuité de bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à l'acuité du bruit de frottement de l'étoffe brute

Traitement	Tissu 1	Tissu 2	Tissu 2
A1	7%	-1%	-2%
A2	9%	-1%	-6%
I1	8%	0%	-5%
I2	9%	-2%	-3%
R1	9%	2%	-5%
R2	9%	-1%	-3%
A1 R1	3%	-4%	-5%
A1 R2	-3%	-3%	-5%
A2 R1	4%	-5%	-6%
A2 R2	-1%	-5%	-6%
I1 R1	4%	-5%	-5%
I1 R2	-3%	-2%	-3%
I2 R1	4%	-3%	-5%
I2 R2	-2%	-3%	-6%

En revanche dans le cas de certains traitements combinés, l'acuité a augmenté (A1R2 : 3 % ; A2R2 : 1 % ; I2R2 : 2 %). Dans le cas des tissus 2 et 3, l'acuité a également augmenté malgré la diminution de la sonie. Ce qui veut dire que le bruit de frottement est devenu à la fois moins fort et plus aigu en perception par l'oreille humaine. C'est avec la comparaison par paires que nous allons identifier les traitements qui ont engendré une différence significative par rapport à celui de l'étoffe brute.

2.3.2.1 Cas des traitements individuels

D'après le Tableau 54, la comparaison par paires des moyennes de l'acuité suite aux différents traitements individuels montre que ces traitements modifient l'acuité du bruit de frottement du tissu 1 d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison ne montre pas une différence significative suite aux traitements, que ce soit adoucissant ou bien réticulant.

Tableau 54 : Etude de la significativité statistique des différences de l'acuité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 1

Traitement	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,332	0,003	0,920	0,228	0,366	0,476
A2		1	0,001	0,411	0,976	0,739	0,629
E0			1	0,004	<0,0001	<0,0001	0,000
I1				1	0,322	0,476	0,588
I2					1	0,601	0,471
R1						1	0,803
R2							1

Dans le cas du tissu 3, les moyennes d'acuité sont significativement différentes pour les traitements A2, I1, I2 et (Annexe E).

Dans le cas du tissu 2 (Annexe E), la comparaison des moyennes montre qu'il y a une différence significative dans le cas des traitements R1, R2, A1 et A2.

2.3.2.2 Cas des traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant

On remarque que dans le cas du tissu 2 (Tableau 55) et du tissu 3 (Annexe E) les traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant modifient l'acuité du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison dans le cas du tissu 1 ne montre pas une différence significative entre l'acuité de l'étoffe brute et l'acuité suite aux traitements (Annexe E).

Tableau 55 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite aux traitements combinés adoucissant macro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 2

Traitement	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,387	0,270	0,366	0,001
A1R2		1	0,060	0,103	0,001
A2R1			1	0,887	0,000
A2R2				1	0,001
E0					1

2.3.2.3 Cas des traitements combinant adoucissant macro-silicone et un réticulant

On remarque dans le cas du tissu 2 (Tableau 56) et du tissu 1 (voir Annexe E) que les traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant modifient l'acuité du bruit de frottement de manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. La comparaison dans le cas du tissu 3 montre aussi une différence significative entre l'acuité de l'étoffe brute et l'acuité suite à tous les traitements (voir Annexe E).

Tableau 56 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite aux traitements combinant adoucissant macro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 2

Traitement	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	0,020	0,002	0,008
I1R1		1	0,003	0,000	0,009
I1R2			1	0,484	0,517
I2R1				1	0,850
I2R2					1

2.3.3 Etude de la significativité statistique des différences de rugosité

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étude de l'effet des traitements sur la rugosité du bruit de frottement des trois tissus. On illustre avec le Tableau 57 les écarts de la rugosité du bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à la rugosité du bruit de frottement de l'étoffe brute.

Tableau 57 : Ecart (%) de rugosité du bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à la rugosité du bruit de frottement de l'étoffe brute

Traitement	Tissu 1	Tissu 2	Tissu 3
A1	6%	-9%	8%
A2	15%	4%	0%
I1	8%	-5%	3%
I2	6%	-1%	13%
R1	-6%	0%	-3%
R2	1%	-5%	7%
A1 R1	10%	-2%	1%
A1 R2	11%	-6%	7%
A2 R1	13%	-7%	1%
A2 R2	6%	3%	4%
I1 R1	1%	-5%	-6%
I1 R2	8%	1%	-4%
I2 R1	-7%	-2%	0%
I2 R2	11%	-3%	11%

On remarque que dans le cas du tissu 1 et du tissu 3 la rugosité du bruit de frottement a diminué, avec tous les traitements adoucissants. Mais la rugosité du bruit de frottement du tissu 1 a augmenté de 6 % avec le traitement R1 et de 7 % avec I2R2. Dans le cas du tissu 3, on observe une augmentation uniquement pour les traitements R1, I1R1 et I1R2. En revanche dans le cas du tissu 2, la rugosité a augmenté pour tous les traitements.

En revanche, la comparaison par paires des moyennes de la rugosité suite aux différents traitements individuels ou bien en combinaison montre que ces traitements ne modifient pas la rugosité du bruit de frottement d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute de chaque tissu. Les résultats du calcul sont présentés en Annexe E.

Sur la base de l'analyse des écarts et des résultats de la comparaison par paires, on ne peut pas conclure sur le fait que le bruit est devenu plus perturbant ou moins perturbant selon que la rugosité augmente ou diminue car il n'y a pas de différence significative entre la rugosité engendrée par les effets des traitements et celle du bruit de frottement de l'étoffe brute.

2.3.4 Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étude de l'effet des traitements sur l'intensité de fluctuation du bruit de frottement des trois tissus. Le Tableau 58 illustre les écarts de l'intensité de fluctuation du bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à l'étoffe brute.

On remarque d'après le Tableau 58, que l'effet de tous les traitements a engendré une augmentation de l'intensité de fluctuation du bruit de frottement du tissu 1. Alors qu'elle a subi une diminution dans le cas du tissu 2 pour tous les traitements sauf R1 (augmentation de 8%). Dans le cas du tissu 3, l'effet est divisé. On note que les traitements A1, I1, I2, R1, R2, I1R1 et I1R2 ont tous engendré une augmentation de l'intensité de fluctuation alors qu'avec les autres traitements ce paramètre a subi une diminution.

Tableau 58 : Ecart (%) de l'intensité de fluctuation du bruit de frottement des étoffes traitées par rapport à l'intensité de fluctuation du bruit de frottement de l'étoffe brute

Traitement	Tissu 1	Tissu 2	Tissu 3
A1	-33%	7%	-8%
A2	-72%	18%	4%
I1	-61%	9%	-2%
I2	-74%	15%	-2%
R1	-73%	-8%	-7%
R2	-63%	1%	-7%
A1 R1	-30%	17%	0%
A1 R2	-62%	17%	3%
A2 R1	-62%	18%	3%
A2 R2	-19%	20%	1%
I1 R1	-30%	15%	-6%
I1 R2	-7%	12%	-10%
I2 R1	-46%	19%	0%
I2 R2	10%	25%	5%

La comparaison par paires des moyennes de l'intensité de fluctuation montre que les moyennes de l'intensité de fluctuation du bruit de frottement sont significativement différentes seulement dans le cas du tissu 2 (Tableau 59). On peut dire que l'effet des traitements individuels est crucial par rapport aux traitements combinés pour réduire ce paramètre du bruit de frottement. On note aussi que l'atténuation est plus importante avec les traitements A2 et I2 qu'avec les traitements A1 et I1 puisque les écarts sont élevés.

Sur la base de ces observations, on peut dire le bruit de frottement du tissu 2 est perçu moins fluctuant que celui du tissu brut par l'effet de l'adoucissant que ce soit macro-silicone ou micro-silicone. Cette fluctuation est davantage atténuée lorsque la concentration de traitement est élevée.

Tableau 59 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite aux traitements individuels dans le cas du tissu 2

Traitement	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,020	0,023	0,498	0,023	0,000	0,020
A2		1	0,001	0,034	0,439	<0,0001	0,001
E0			1	0,004	0,000	0,002	0,708
I1				1	0,042	<0,0001	0,002
I2					1	<0,0001	0,000
R1						1	0,000
R2							1

La comparaison dans le cas des tissus 1 et 3 ne montre pas une différence significative entre les moyennes de l'intensité de fluctuation que ce soit suite aux traitements adoucissant, réticulant ou combinés (voir Annexe E). On ne peut donc pas conclure que le bruit est devenu plus fluctuant ou non.

2.3.5 Conclusions

Dans le cas des trois tissus, la comparaison par paires des moyennes de la rugosité suite aux différents traitements, individuels combinés, montre qu'ils ne modifient pas la rugosité du bruit de frottement de manière significative par rapport à celle de l'étoffe brute de chaque tissu.

Pour les autres paramètres (sonie, acuité et intensité de fluctuation) la différence est significative dans certains cas soit entre les traitements de même nature ou bien de nature différente. On note bien que les résultats de la comparaison par paire de l'effet des traitements sur la sonie suivent la même tendance que celle du niveau sonore.

On résume, à travers les Tableau 60, Tableau 61 et Tableau 62, l'effet des traitements significatifs sur les propriétés de chaque tissu. Les tableaux présentent les écarts de chaque propriété par rapport à celui de l'étoffe brute de chaque tissu. L'écart est calculé selon l'Équation 25.

$$\text{Ecart (\%)} = \frac{\text{Propriété}_{\text{brute}} - \text{Propriété}_{\text{Traitement}}}{\text{Propriété}_{\text{brute}}} \times 100 \quad \text{Équation 25}$$

Les cases de ces tableaux sont codifiées par un code couleur (vert, rouge ou blanc) selon le signe de l'écart calculé. Elles sont interprétables comme ceci :

- Ecart positif : la case est verte indique que l'effet du traitement est une diminution
- Ecart négatif : la case est rouge indiquant que l'effet du traitement est une augmentation
- Ecart égal à zéro : la case est blanche indiquant qu'il n'y a pas d'effet du traitement

Tableau 60 : Résumé de l'effet des traitements sur les propriétés du bruit de frottement du tissu 1

Traitement	SPL (dB)	Sonie (sone)	Acuité (acum)	Rugosité (asper)	Intensité de fluctuation (vacil)
I1 R1	15%	46%	4%	1%	-30%
I1 R2	21%	55%	-3%	8%	-7%
I2 R1	11%	34%	4%	-7%	-46%
I2 R2	24%	59%	-2%	11%	10%

Tableau 61 : Résumé de l'effet des traitements sur les propriétés du bruit de frottement du tissu 2

Traitement	SPL (dB)	Sonie (sone)	Acuité (acum)	Rugosité (asper)	Intensité de fluctuation (vacil)
A1	6%	15%	-1%	-9%	7%
A2	8%	20%	-1%	4%	18%
I1	6%	15%	0%	-5%	9%
I2	8%	19%	-2%	-1%	15%
R1	1%	-3%	2%	0%	-8%
R2	0%	3%	-1%	-5%	1%

Tableau 62 : Résumé de l'effet des traitements sur les propriétés du bruit de frottement du tissu 3

Traitement	SPL (dB)	Sonie (sone)	Acuité (acum)	Rugosité (asper)	Intensité de fluctuation (vacil)
A1	5%	14%	-2%	8%	-8%
A2	10%	23%	-6%	0%	4%
I1	7%	18%	-5%	3%	-2%
I2	9%	24%	-3%	13%	-2%
I1 R1	6%	22%	-5%	-6%	-6%
I1 R2	9%	16%	-3%	-4%	-10%
I2 R1	6%	18%	-5%	0%	0%
I2 R2	10%	26%	-6%	11%	5%

2.3.6 Synthèse des traitements optimaux

Sur la base de ces observations, on peut dire que l'effet de l'agent du traitement réticulant ou adoucissant est, dans tous les cas, conditionné par les propriétés physiques du tissu. Ces propriétés sont elles-mêmes conditionnées par sa contexture (nature de matière, armure, compte et duitage). L'ensemble des cas où la différence de l'effet des traitements sur les propriétés du bruit de frottement est significative a été résumé dans la Figure 100.

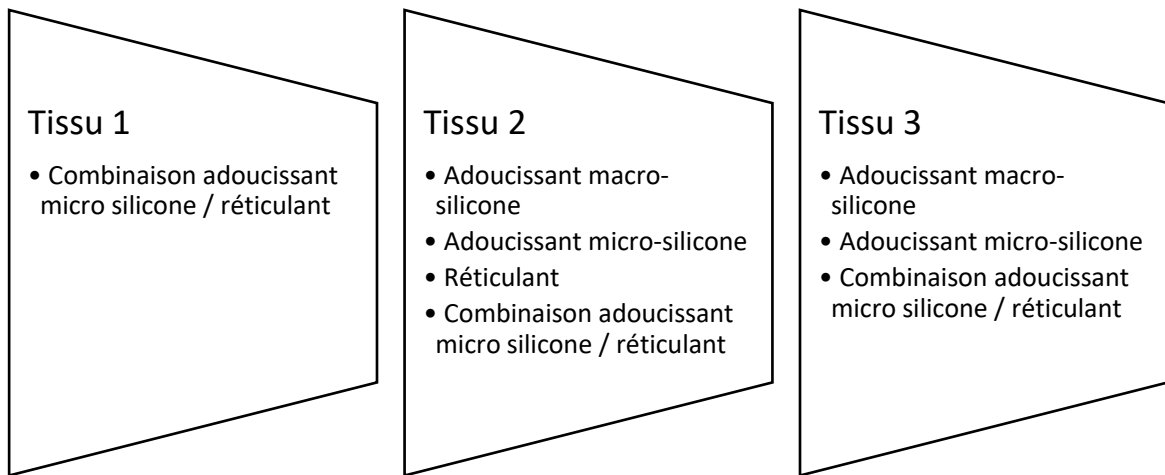


Figure 100: Synthèse des traitements optimaux

La suite des caractérisations relatives aux analyses sensorielles sonores et tactiles ainsi que l'étude des corrélations seront abordées dans la suite de ce manuscrit. Pour plus de lisibilité, il a été choisi de se limiter à l'interprétation des cas cités dans cette synthèse.

2.4 Caractérisation sensorielle sonore

Les bruits de frottement ont été caractérisés par l'approche de l'analyse sensorielle sonore. Dans le but de tracer les profils sensoriels moyens des étoffes, il a été demandé aux panélistes d'écouter à deux reprises le bruit de friction et d'attribuer une note au niveau des descripteurs.

2.4.1 Caractérisation du bruit de frottement suite aux traitements individuels

La Figure 101 et la Figure 102 illustrent les profils sensoriels sonores du tissu 2 après les traitements adoucissants et réticulants dans le cas des tissus 2 et 3.

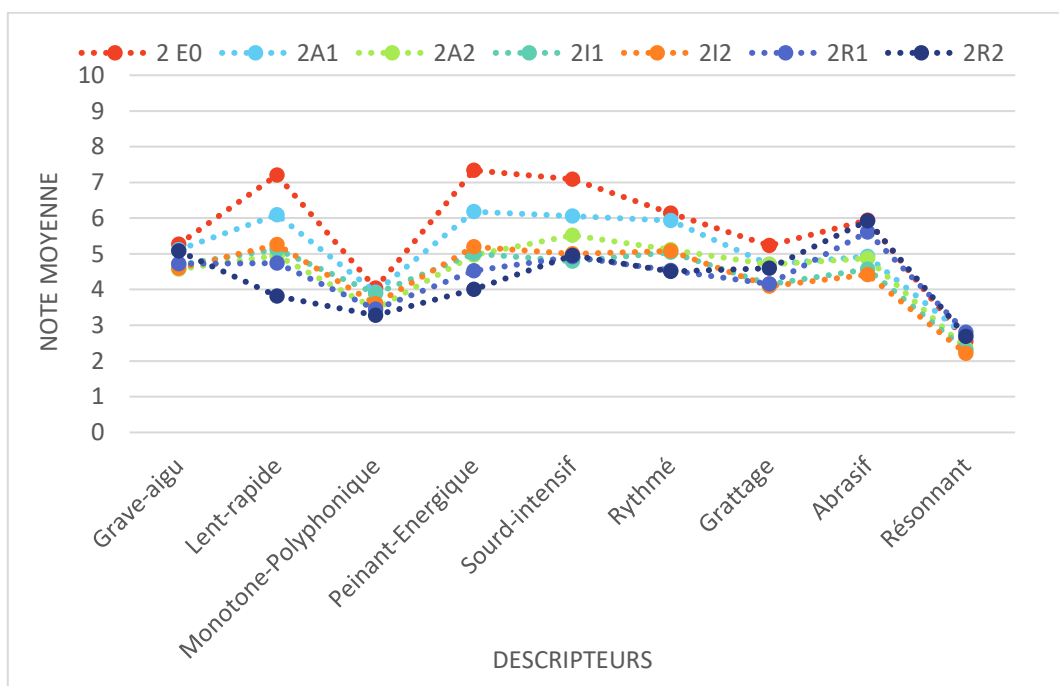


Figure 101 : Profils sensoriels sonores du tissu 2 suite aux traitements adoucissants et réticulants

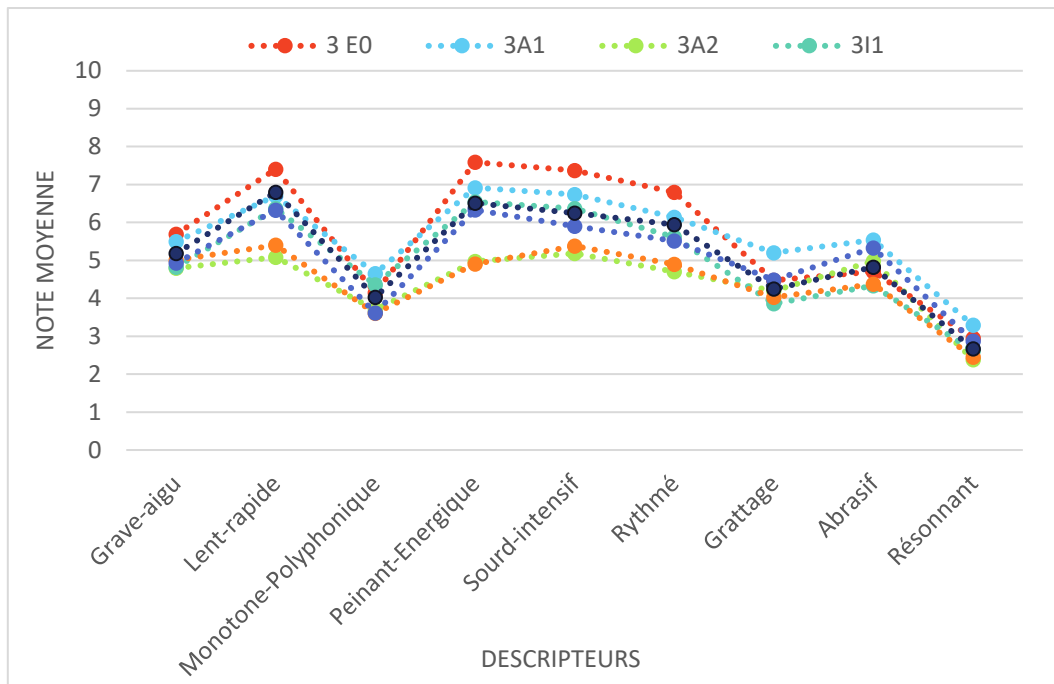


Figure 102 : Profil sensoriel sonore du tissu 3 suite aux traitements adoucissants et réticulants

L'évaluation sensorielle sonore des bruits de frottement dans le cas du tissu 2 (Figure 101) et du tissu 3 (Figure 102) montre qu'il y'a une nette différenciation du panel du bruit de frottement de l'étoffe brute. En effet, il est toujours plus *aigu* (note = 5,08), *rapide* (note = 7,21), *énergique* (note = 7,34), *intensif* (note = 7,09), *grattant* (note = 5,23). En ce qui concerne les descripteurs *monotone-polyphonique* (note = 3-4) et *résonnant* (note = 2), le panel estime qu'il n'y a pas de différence pour ces descripteurs entre le bruit de frottement de l'étoffe brute (les notes attribuées sont très voisines).

Dans le cas tissu 2 (Figure 101), le panel juge que le bruit de frottement suite au traitement R2 est le plus *lent* (3,8) et le plus *peinant* (4). Alors que dans le cas du tissu 3 (Figure 102) ce sont les bruits suite aux traitements adoucissants A2 et I2 qui, selon l'évaluation du panel, ont les notes les plus faibles.

2.4.2 Combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant

La Figure 103 illustre les profils sensoriels sonores du tissu 3 suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant. La caractérisation de l'effet de ce type de traitements a été présentée dans la partie 1.3.2 du chapitre 3.

L'évaluation sensorielle sonore des bruits de frottement dans le cas du tissu 1 (Figure 66) et du tissu 3 (Figure 103) montre une nette différenciation du panel du bruit de frottement de l'étoffe brute. Les profils suite aux traitements dans le cas du tissu 1 sont très proches alors que dans le cas du tissu 3, les profils exprimés par le panel sont de formes différentes. Certaines notes sont très proches notamment pour les descripteurs *grave-aigu*, *abrasif* et *résonnant*.

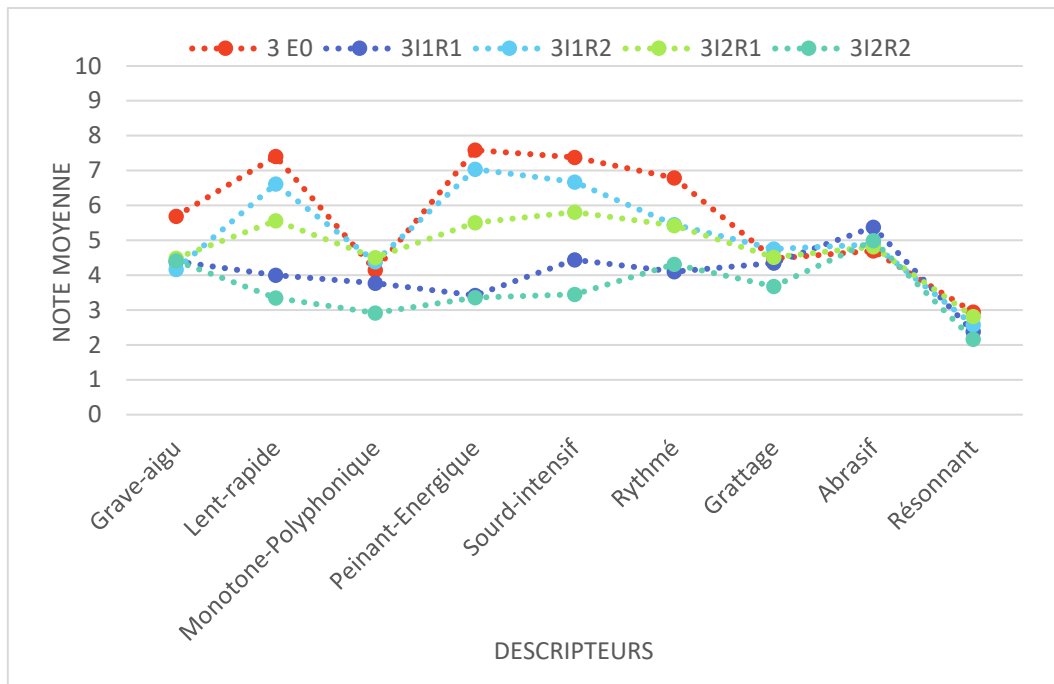


Figure 103 : Profils sensoriels sonores du tissu 3 suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

On remarque aussi que l'effet du traitement I2R2 sur le bruit de frottement des deux tissus est le plus efficace pour atténuer les valeurs des descripteurs et donc la perception des bruits par les panélistes. Selon le panel, ce bruit de frottement est le plus *grave, lent, monotone, peinant, sourd et rythmé*. Cet effet est dû à l'adoucissant qui est appliqué en grande concentration et qui surmonte l'effet du réticulant.

2.4.3 Conclusions

Pour conclure sur les résultats de l'analyse sensorielle, les traitements ont permis de changer et de réduire les éléments d'inconfort sensoriel sonore du bruit de frottement de chaque tissu par rapport à celui de l'étoffe brute. Il ressort des résultats que les traitements adoucissants sont plus avantageux que les traitements réticulants pour diminuer la valeur des descripteurs par rapport aux notes qui qualifient le bruit de frottement de l'étoffe brute.

On résume, à travers le Tableau 63, Tableau 64 et le Tableau 65, l'effet des traitements significatifs sur les propriétés sensorielles sonores du bruit de frottement de chaque tissu. L'écart est calculé selon l'Équation 26. Les cases sont codifiées selon le même code couleur qu'au 2.3.5 page 146.

$$\text{Ecart (\%)} = \frac{\text{Note descripteur}_{\text{étoffe brute}} - \text{Note descripteur}_{\text{Traitement}}}{\text{Note descripteur}_{\text{étoffe brute}}} \times 100 \quad \text{Équation 26}$$

Tableau 63 : Résumé de l'effet des traitements sur les propriétés sensorielles sonores du bruit de frottement du tissu 1

Traitement	Grave-aigu	Lent-rapide	Monotone-Polyphonique	Peinant-Energique	Sourd-intensif	Rythmé	Grattage	Abrasif	Résonnant
1I1R1	6%	12%	22%	13%	18%	17%	16%	8%	37%
1I1R2	6%	8%	22%	5%	15%	11%	13%	15%	31%
1I2R1	3%	7%	3%	7%	11%	10%	0%	-12%	19%
1I2R2	3%	6%	20%	8%	18%	10%	23%	12%	29%

Tableau 64 : Résumé de l'effet des traitements sur les propriétés sensorielles sonores du bruit de frottement du tissu 2

Traitement	Grave-aigu	Lent-rapide	Monotone-Polyphonique	Peinant-Energique	Sourd-intensif	Rythmé	Grattage	Abrasif	Résonnant
2A1	3%	15%	3%	16%	15%	3%	10%	17%	-6%
2A2	13%	31%	14%	32%	22%	17%	10%	18%	8%
2I1	11%	29%	4%	32%	32%	18%	21%	23%	10%
2I2	13%	27%	11%	29%	30%	17%	22%	26%	13%
2R1	10%	34%	15%	38%	31%	26%	21%	6%	-10%
2R2	4%	47%	19%	45%	30%	27%	12%	0%	-5%

Tableau 65 : Résumé de l'effet des traitements sur les propriétés sensorielles sonores du bruit de frottement du tissu 3

Traitement	Grave-aigu	Lent-rapide	Monotone-Polyphonique	Peinant-Energique	Sourd-intensif	Rythmé	Grattage	Abrasif	Résonnant
3A1	3%	9%	-12%	9%	9%	10%	-16%	-18%	-12%
3A2	16%	31%	11%	34%	30%	31%	6%	-6%	19%
3I1	15%	14%	-5%	14%	14%	17%	14%	8%	11%
3I2	12%	27%	13%	35%	27%	28%	10%	7%	17%
3I1R1	23%	46%	9%	55%	40%	40%	3%	-14%	19%
3I1R2	27%	11%	-6%	7%	9%	20%	-6%	-4%	13%
3I2R1	21%	25%	-9%	27%	21%	20%	-1%	-3%	4%
3I2R2	22%	55%	30%	56%	53%	36%	18%	-6%	26%

2.5 Caractérisation sensorielle tactile

L'évaluation sensorielle tactile se base sur l'analyse descriptive quantitative des produits textiles pour le sens du toucher. Nous cherchons à travers cette évaluation à contrôler l'aspect tactile des tissus après les différents traitements pour pouvoir, par la suite, identifier les possibles corrélations qui peuvent exister entre les paramètres de l'analyse instrumentale, psycho-acoustique et sensorielle sonore.

2.5.1 Caractérisation du bruit de frottement suite aux traitements individuels

Les profils sensoriels tactiles de l'effet des traitements adoucissants et réticulants dans le cas du tissu 2 sont illustrés dans la Figure 104.

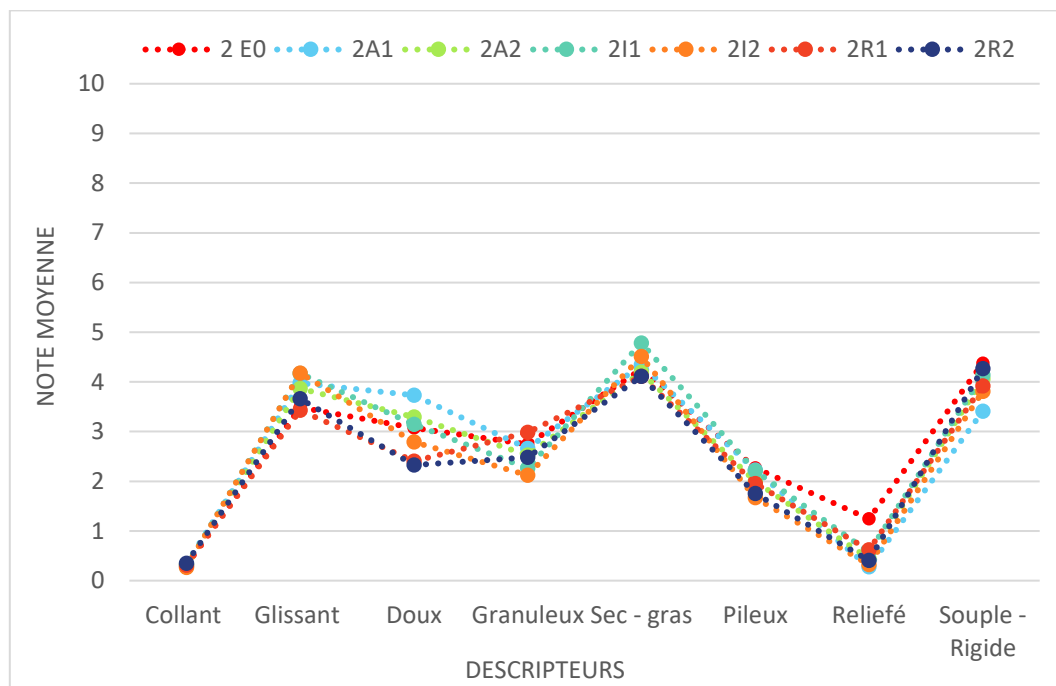


Figure 104 : Profils sensoriels tactile du tissu 2 suite aux traitements individuels

D'après les profils, on remarque que le panel arrive à différencier les effets qu'ont engendré les traitements sur le descripteur *doux*. En effet, les traitements réticulant se voient les moins *doux* (notes les plus faibles) car ils rigidifient le support textile en les rendant aussi l'étoffe moins *glissante*, ce qui est mis en évidence par les notes les plus faibles pour le descripteur *glissant* relatif à l'effet des traitements R1 et R2.

On remarque aussi que le panel juge que l'étoffe brute n'est pas *collante* (0,2) et que le traitement ne modifie pas cet aspect des étoffes car la note pour ce descripteur reste voisine de 0,2.

Avec les traitements adoucissants, la sensation tactile devient moins *granuleuse* par rapport à l'étoffe brute. C'est l'effet du traitement I2 qui se dote par la plus faible note du descripteur *granuleux* (2,1). En revanche, l'effet du traitement réticulant rend la sensation tactile plus *granuleuse*.

On remarque aussi que le descripteur *sec-gras* se rapproche de la moyenne (note = 5) sous l'effet des traitements adoucissants, particulièrement I1 et I2.

Le panel juge aussi que la pilosité de l'étoffe diminue suite aux traitements par rapport à celle de l'étoffe brute. C'est suite à l'effet des traitements I1 et I2 que la note pour le descripteur *pileux* est la plus faible (note = 1,7).

On remarque aussi que la sensation pour le descripteur *reliefé* diminue avec tous les traitements par rapport à celles de l'étoffe brute mais une note similaire est attribuée pour tous les traitements.

Enfin, pour le descripteur *souple-rigide* on remarque que le panel donne une évaluation voisine pour l'effet des traitements réticulants de celle attribuée à l'étoffe brute (note = 4,5). Selon le panel, les

traitements adoucissant contribuent à donner une sensation plus *souple*. C'est suite à l'effet du traitement A2 que l'évaluation la plus *souple* (note = 3,2) a été exprimée.

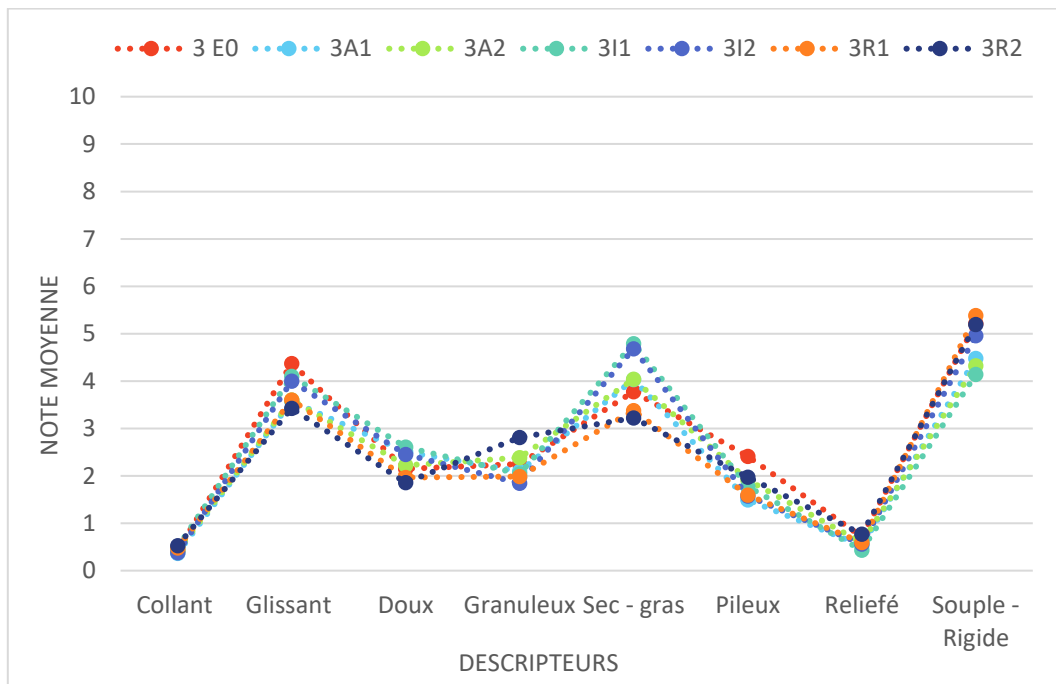


Figure 105 : Profils sensoriels tactile du tissu 3 suite aux traitements individuels

En ce qui concerne la caractérisation du tissu 3 (Figure 105), on peut dégager les mêmes observations de l'effet des traitements adoucissants. Ils ont en effet tendance à rendre le toucher plus *doux*, plus *glissant*, moins *pileux*, moins *granuleux*, moins *reliefé*, plus *gras* et plus *souple* que celui de l'étoffe brute.

Après avoir analysé l'effets des traitements individuels, dans la partie suivante nous nous intéresserons à l'analyse de l'effet des traitements combinés sur les propriétés tactiles des étoffes.

2.5.2 Combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant

Les profils sensoriels tactiles de l'effet des traitements de la combinaison adoucissant avec un réticulant dans le cas du tissu 3 sont illustrés à la Figure 106.

On remarque que selon l'évaluation du panel, les traitements combinés ont modifié certaines propriétés tactiles du tissu 3.

En effet, le toucher deviendra plus *doux* que celui de l'étoffes brute. C'est l'effet du traitement I2R2 qui a été évalué le plus *doux*. Selon le panel, le toucher devient aussi légèrement *glissant*, moins *granuleux* et plus *gras*.

Concernant les sensations *collant*, *pileux* et *reliefé*, on remarque que le panel juge qu'il n'y a pas de grande différence pour ces descripteurs par rapport à l'étoffe brute. Le panel donne des notes très voisines, une note de 0,1 pour le descripteur *collant*, 2,5 pour le descripteur *pileux* et 0,5 pour le descripteur *reliefé*.

Enfin, pour le descripteur *souple-rigide*, selon le panel, les traitements contribuent à donner une sensation plus *souple*. C'est suite à l'effet du traitement I1R1 que l'évaluation la plus *souple* (note =3,4) a été exprimée.

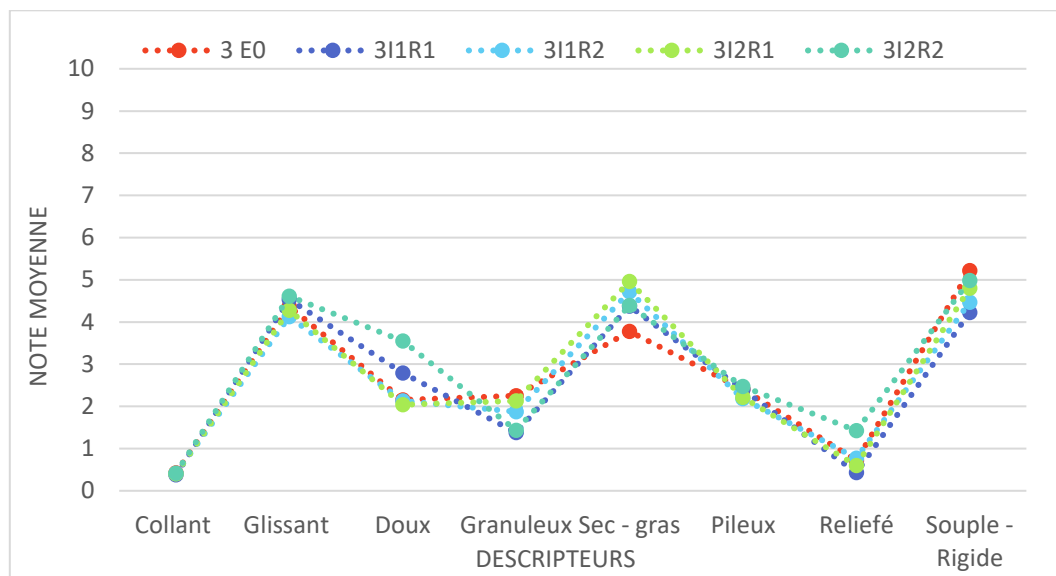


Figure 106 : Profils sensoriels sonores du tissu 3 suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

2.5.3 Conclusions

Pour conclure cette partie, on peut dire que l'analyse sensorielle tactile a permis de montrer que les traitements permettent de modifier les propriétés tactiles des tissus. Il ressort des résultats que les traitements n'ont pas d'effet sur la sensation reliefé et collant car elles sont conditionnées par la contexture du tissu. Le plus grand changement se voit avec les descripteurs *doux* et *pileux* ; dans le cas des traitements individuels les notes sont plus élevées que celles de l'étoffe brute mais très voisines entre elles. En ce qui concerne le cas des traitements combinés, c'est suite aux traitements 3I2R2 et 1I2R2 que le toucher doux était le plus important. En ce qui concerne le descripteur *pileux*, le toucher est devenu le plus pileux par l'effet des traitements 1I1R2 et 3I2R2.

On résume à travers les Tableau 66, Tableau 67 et Tableau 68, l'effet des traitements significatifs sur les propriétés sensorielles sonores du bruit de frottement de chaque tissu. Les case de ces tableaux sont codifiées par le signe de l'écart code. Elles sont interprétables comme ceci.

- Si le signe de l'écart est négatif cela signifie que les propriétés ont évolué dans le sens de l'augmentation par rapport à la propriété de l'étoffe brute.
- Si le signe de l'écart est positif cela signifie que les propriétés ont évolué dans le sens de la diminution par rapport à la propriété de l'étoffe brute.

On n'adoptera pas un code couleur pour le cas de l'effet sur les propriétés tactiles des étoffes pour ne pas créer une confusion. Pour certains descripteurs l'augmentation ou la diminution de la note est exploitable selon l'effet du traitement. Citant l'exemple du descripteur *doux*, un écart négatif montre que la propriété a évolué dans le sens de l'augmentation de la propriété de la douceur par rapport à la propriété de l'étoffe brute, etc.

Tableau 66 : Résumé de l'effet des traitements significatifs sur les propriétés tactiles du tissu 1

Traitement	Collant	Glissant	Doux	Granuleux	Sec - gras	Pileux	Reliefé	Souple - Rigide
1I1R1	-27%	-21%	-17%	-6%	2%	-87%	5%	7%
1I1R2	-25%	-32%	-36%	-15%	5%	-92%	19%	12%
1I2R1	26%	-19%	-32%	-2%	11%	-57%	-2%	7%
1I2R2	-6%	-5%	-27%	16%	21%	-55%	-4%	7%

Tableau 67 : Résumé de l'effet des traitements significatifs sur les propriétés tactiles du tissu 2

Traitement	Collant	Glissant	Doux	Granuleux	Sec - gras	Pileux	Reliefé	Souple - Rigide
2A1	-8%	-14%	-21%	3%	-2%	2%	78%	22%
2A2	-3%	-11%	-7%	8%	1%	12%	64%	7%
2I1	11%	-20%	-2%	18%	-13%	3%	54%	6%
2I2	14%	-20%	9%	23%	-6%	26%	74%	13%
2R1	0%	2%	22%	-9%	3%	14%	50%	10%
2R2	-14%	-5%	24%	9%	3%	23%	67%	2%

Tableau 68 : Résumé de l'effet des traitements significatifs sur les propriétés tactiles du tissu 2

Traitement	Collant	Glissant	Doux	Granuleux	Sec - gras	Pileux	Reliefé	Souple - Rigide
3A1	14%	18%	-17%	7%	-7%	38%	27%	14%
3A2	2%	18%	-3%	-6%	-7%	21%	17%	17%
3I1	-16%	6%	-21%	9%	-27%	27%	40%	21%
3I2	12%	8%	-14%	18%	-24%	35%	22%	5%
3I1R1	12%	-4%	-30%	39%	-16%	0%	40%	19%
3I1R2	4%	6%	1%	17%	-25%	9%	-8%	14%
3I2R1	6%	2%	5%	5%	-31%	8%	16%	8%
3I2R2	2%	-6%	-65%	36%	-16%	-3%	-99%	4%

3. Conclusions du chapitre III

La caractérisation a commencé par l'interprétation de l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques du tissu 1 et dans une deuxième étape par la comparaison des résultats dans le cas des trois tissus étudiés.

Grâce à la caractérisation instrumentale, les paramètres physiques ont été mesurés, tels que le niveau sonore (SPL). L'analyse des données montre que les traitements adoucissants et réticulant réduisent

significativement le bruit de frottement des tissus. Il est à noter que l'adoucissant a un effet plus efficace que le réticulant car l'adoucissant participe davantage à réduire le coefficient de frottement.

Grâce à la caractérisation psycho-acoustique, l'analyse des données a confirmé l'avantage des traitements dans la réduction de la gêne et l'obtention d'un son perçu comme moins fort et moins aigu.

La comparaison par paires des moyennes de la rugosité a montré que les traitements ne modifient pas ce paramètre d'une manière significative par rapport à celui de l'étoffe brute. Pour les autres paramètres (sonie, acuité et intensité de fluctuation) la différence était significative dans certains cas soit entre les traitements de même nature ou bien de natures différentes.

Il ressort donc que l'effet des traitements réticulant ou adoucissants est, dans tous les cas, conditionné par les propriétés physiques du tissu. Ces propriétés sont elle-même conditionnées par sa contexture (matière, armure, compte et duitage).

L'analyse sensorielle sonore confirme bien les observations tirées de l'analyse des paramètres instrumentaux et psycho-acoustiques. Les profils sensoriels sonores obtenus sont différents de ceux de l'étoffe brute avec une atténuation des valeurs des descripteurs.

L'analyse sensorielle tactile a permis de montrer que les traitements modifient les propriétés tactiles des tissus. Le plus grand changement se voit avec le descripteur *doux* alors que pour certains descripteurs (*rigide*, *reliefé* ou bien *granuleux*) les notes demeurent très voisines à celle de l'étoffe brute car ses propriétés sont conditionnées par la contexture du tissu.

Après avoir analysé l'effet des traitements sur les propriétés physiques et acoustiques des étoffes textiles, il est important d'investiguer les liens d'évolution entre les attributs physiques sensoriels sonores, tactiles, et les paramètres instrumentaux et psycho-acoustiques. L'outil statistique convenable pour ce genre d'étude est l'analyse en composante principale. On rappelle que cet outil statistique a été expliqué dans la partie Matériel et méthodes. Les liens de corrélation seront interprétés grâce à cet outil.

Chapitre IV : Etude de corrélation et étude du point de vue consommateur

Après avoir analysé l'effet des traitements sur les propriétés physique et acoustiques des trois tissus, il est important d'investiguer les liens de corrélation entre les paramètres instrumentaux et les attributs physiques sensoriels sonores, tactiles, et psycho-acoustiques.

C'est dans cette perspective que l'analyse en composantes principales (ACP) sera exploitée dans cette partie. Le but est de mettre en évidence les paramètres les plus importants et surtout les liens et corrélations significatives entre l'ensemble des paramètres considérés lors de cette étude.

La dernière partie de ce chapitre est dédiée à l'étude de point de vue consommateur. C'est une méthode de caractérisation qui permettra de comprendre la perception hédonique des consommateurs du bruit de frottement des étoffes textiles. Dans le cadre de ce travail, l'étude consommateur permettra de caractériser subjectivement le bruit de frottement après traitements adoucissants et réticulants et de l'analyser au regard des mesures objectives effectuées.

1. Etude des corrélations

Dans cette partie, on étudie uniquement les corrélations des traitements ayant montré une différence significative, à savoir :

- Pour le tissu 1 : les traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant
- Pour le tissu 2 : les traitements adoucissants macro-silicone et micro-silicone, les traitements réticulants, les traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant
- Pour le tissu 3 : les traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

Six catégories de paramètres ont été mesurés sur l'ensemble des étoffes après les traitements :

- Les paramètres physiques de compression et de surface
- Les paramètres sonores instrumentaux
- Les paramètres psycho-acoustiques
- Les paramètres sensoriels sonores et tactiles
- La perméabilité à l'air noté PA
- Le pourcentage en masse de l'atome de silicium noté Si
- Le pourcentage en masse de l'atome d'azote noté N

Nous allons nous intéresser en premier lieu à la compréhension du principe théorique de l'analyse en composantes principales afin de mieux exploiter les résultats par la suite.

1.1 Analyse en composantes principales (ACP)

Comment pouvons-nous facilement résumer l'information portée par plusieurs variables quantitatives ? L'analyse en composantes principales est l'une des méthodes les plus utilisées pour répondre à ce type de question [142] [143].

Parmi les utilisations de l'ACP, on retrouve :

- L'exploitation des relations entre variables
- La visualisation de comment les individus sont décrits par les variables
- L'évaluation de la proximité des individus les uns par rapport aux autres

Un jeu de données est décrit par plusieurs variables quantitatives. L'ACP construira un jeu de données comprenant le même nombre de colonnes que le jeu initial. Les colonnes créées par l'ACP sont les dimensions de l'ACP ou facteurs ou axes. L'information est appelée inertie ou variabilité. L'ACP trouvera la ligne ou dimension qui capturera le maximum de variabilités possibles dans les données. La deuxième dimension capturera un maximum de variabilité restante à condition d'être orthogonale ou perpendiculaire à la première dimension.

En somme, chaque dimension de l'ACP capturera un maximum de variabilité dans la variabilité qui n'a pas été capturée par les autres dimensions. Elle sera aussi orthogonale à toutes les autres dimensions.

En ACP normée, les variables sont projetées sur le plan vectoriel défini à l'intérieur d'un cercle de rayon unité. Ce cercle est appelé cercle de corrélation. Dans celui-ci, les tailles de vecteurs reflètent la qualité de représentation des variables sur les dimensions de l'ACP exploitée. Si une variable est associée sur un vecteur court sur les dimensions F1 et F2 alors l'information est probablement mieux représentée sur d'autres dimensions de l'ACP.

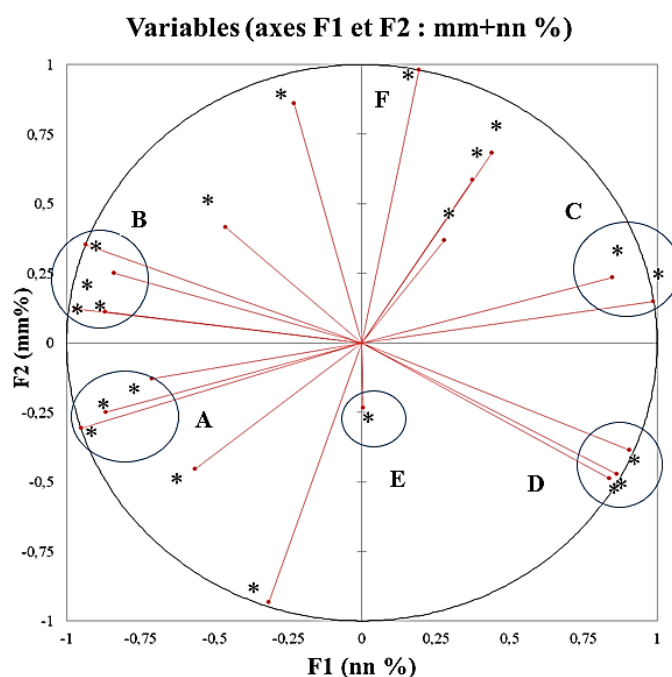


Figure 107 : Exemple de représentation graphique des variables en ACP

La Figure 107 examine les liens entre les variables. L'axe horizontal (F1) est la première dimension de l'ACP. L'axe vertical est la deuxième dimension (F2) de l'ACP. Les vecteurs rouges sont les variables étudiées. La nature de corrélation négative ou positive est interprétée en terme d'angle séparant soit les variables entre elles, soit les variables et les dimensions (axes) de l'ACP [144].

- Les angles aigus reflètent des corrélations positives entre deux ou un regroupement de variables (regroupement A et B).
- Les angles droits séparent des variables non liées (D et F).

- Les angles obtus représentent des corrélations négatives (regroupement C et B).
- Les variables proches du centre du cercle ne sont pas considérées comme significatives (regroupement E).

Le principe de l'établissement des corrélations est d'examiner les corrélations entre les paramètres pour la même famille de traitements, à savoir le cas des traitements adoucissants macro-silicone et micro-silicone, les traitements réticulants, et les traitements combinant adoucissant macro-silicone ou micro-silicone et réticulant.

1.2 Cas des traitements adoucissants macro-silicone

La Figure 108, montre un espace vectoriel (F1, F2) présentant 100 % de l'information. Elle représente le cercle de corrélation suite aux traitements adoucissants macro-silicone dans le cas du tissu 2.

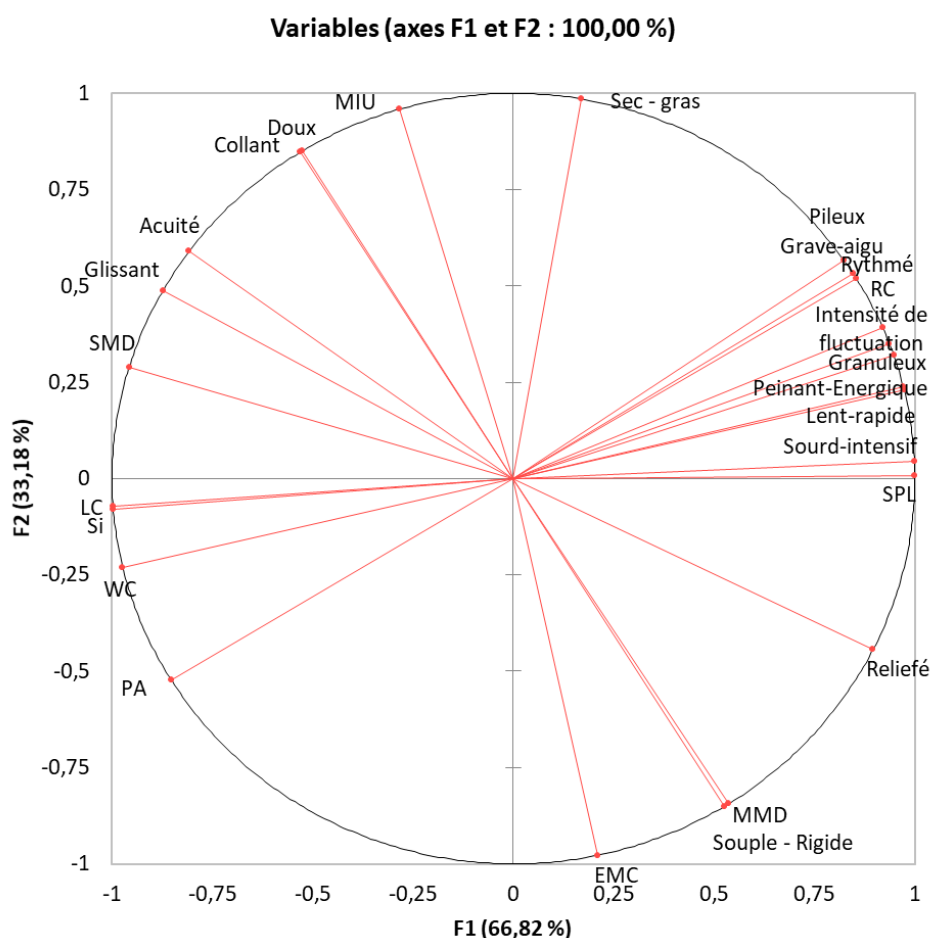


Figure 108 : Cercle de corrélation suite aux traitements adoucissants macro-silicone dans le cas du tissu 2

Le cercle de corrélation montre dans ce cas que le niveau sonore SPL est négativement corrélé avec la linéarité de compression LC ($n = -0,997$) et l'énergie de compression WC ($n = -0,974$). Il présente une corrélation positive avec la résilience de compression RC ($n = 0,923$). SPL est aussi corrélé négativement avec la rugosité de surface ($n = -0,955$)

Le niveau sonore se voit positivement corrélé aux descripteurs sensoriels sonores, ce qui veut dire que plus le niveau sonore est élevé, plus le bruit de frottement sera perçu *énergique* ($n = 0,973$), *intensif* ($n = 0,999$), *rythmé* ($n = 0,85$) et *rapide* ($n = 0,975$).

Le niveau sonore est également corrélé positivement avec certains descripteurs sensoriels tactiles. Plus la sensation du toucher est perçue *granuleuse* ($n = 0,939$), *pileuse* ($n = 0,827$) et *reliefé* ($n = 0,983$), plus le niveau sonore du bruit de frottement sera fort. Plus la sensation du toucher est *douce*, *grasse* et *collante*, plus le niveau sonore du bruit de frottement sera faible.

L'intensité de fluctuation figure corrélée positivement avec le niveau sonore ($n = 0,950$). La sonie ne figure pas sur le cercle par souci de simplification car il a déjà été montré qu'elle était positivement corrélée avec le niveau sonore. Donc, la sonie et l'intensité de fluctuation auront la même tendance de corrélation que celle du niveau sonore.

En ce qui concerne l'acuité, elle apparaît sur le cercle, corrélée négativement avec le niveau sonore ($n = -0,803$). En revanche elle est corrélée positivement avec la teneur en silicium ($n = 0,762$) et avec la perméabilité à l'air. Donc plus le tissu a tendance à retenir de l'adoucissant, plus sa perméabilité à l'air augmente.

La Figure 109 présente l'étude de corrélation suite aux traitements adoucissants macro-silicone dans le cas du tissu 3.

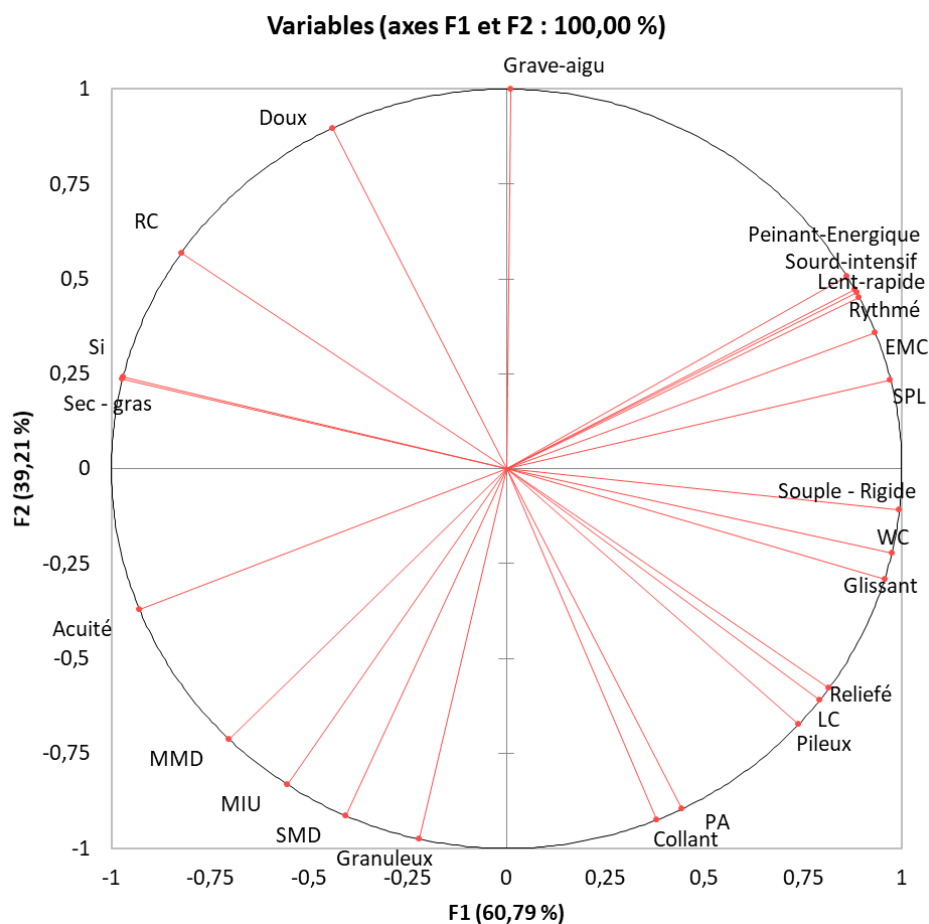


Figure 109 : Cercle de corrélation suite aux traitements adoucissants macro-silicone dans le cas du tissu 3

On remarque une évolution similaire à l'évolution des corrélations dans le cas du tissu 2. A savoir, le niveau sonore est négativement corrélé aux propriétés de l'état de surface et à la teneur en silicium ($n = -0,886$). Il existe une corrélation positive avec l'ensemble des descripteurs sensoriels sonores. En ce qui concerne les descripteurs sensoriels tactiles, le niveau sonore apparaît positivement corrélé aux descripteurs *pileux*,

souple-rigide (n = 0,941), *reliefé* (n = 0,70) et *collant*, et négativement corrélé aux descripteurs *doux*, *granuleux* et *sec-gras* (n = - 0,889).

En ce qui concerne l'acuité, elle est corrélée positivement avec la teneur en silicium (n = 0,811) et, comme précédemment, négativement avec le niveau sonore (n = - 0,990).

Contrairement au tissu 2, on observe que le niveau sonore est corrélé positivement avec la perméabilité à l'air. Il a été observé que pour le tissu 3 que quel que soit le traitement la perméabilité à l'air du tissu 3 est quasi constante. L'angle entre le couple (SPL ; PA) est presque un angle droit, donc on peut dire qu'il n'y a de corrélation significative dans ce cas entre le niveau sonore et la perméabilité à l'air.

Sur la base de ces deux études, on peut dire que l'application de l'adoucissant macro-silicone sur une étoffe textile diminue le coefficient de frottement. Le niveau sonore sera plus faible que celui de l'étoffe brute. En ce qui concerne la perméabilité à l'air, elle peut augmenter comme elle peut rester constante car il a été démontré que l'adoucissant macro-silicone se dépose généralement en surface du tissu.

1.3 Cas des traitements adoucissant micro-silicone

Dans cette partie, l'étude de corrélation dans le cas des traitements adoucissant micro-silicone sera étudié. La Figure 110 montre le cercle de corrélation dans le cas du tissu 2 et la Figure 111 dans le cas du tissu 3. Dans les deux cas, l'espace vectoriel (F1, F2) présente 100% de l'information.

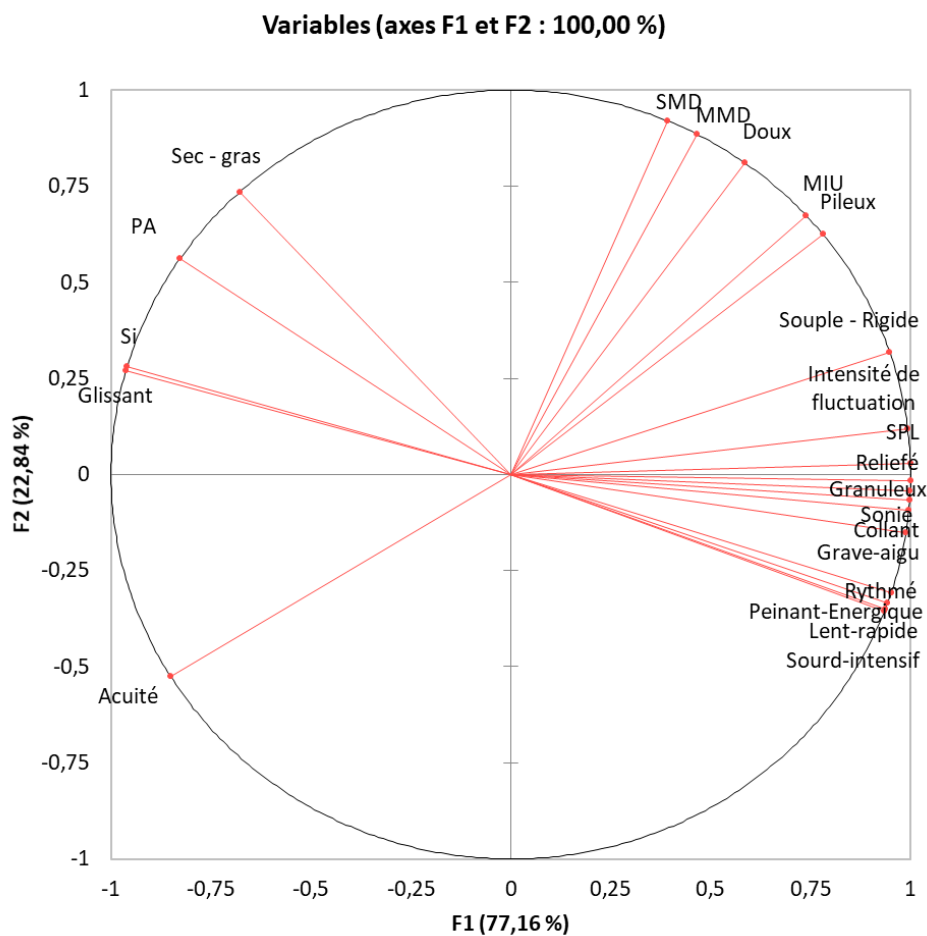


Figure 110 : Cercle de corrélation suite aux traitements adoucissants micro-silicone dans le cas du tissu 2

Dans le cas du tissu 2 (Figure 110), on remarque deux groupes de paramètres sur le cercle. Le groupe 1 renferme les paramètres acuité, SI, et PA, le descripteur sec-gras et le descripteur glissant. Le groupe 2

regroupe les autres paramètres étudiés. Les paramètres de chaque groupe sont corrélés positivement. Ils sont corrélés négativement avec les paramètres de l'autre groupe. L'acuité, les descripteurs sec-gras, glissant, la teneur en silicium et la perméabilité à l'air sont corrélés positivement entre eux. Ils sont corrélés négativement avec le reste des autres paramètres.

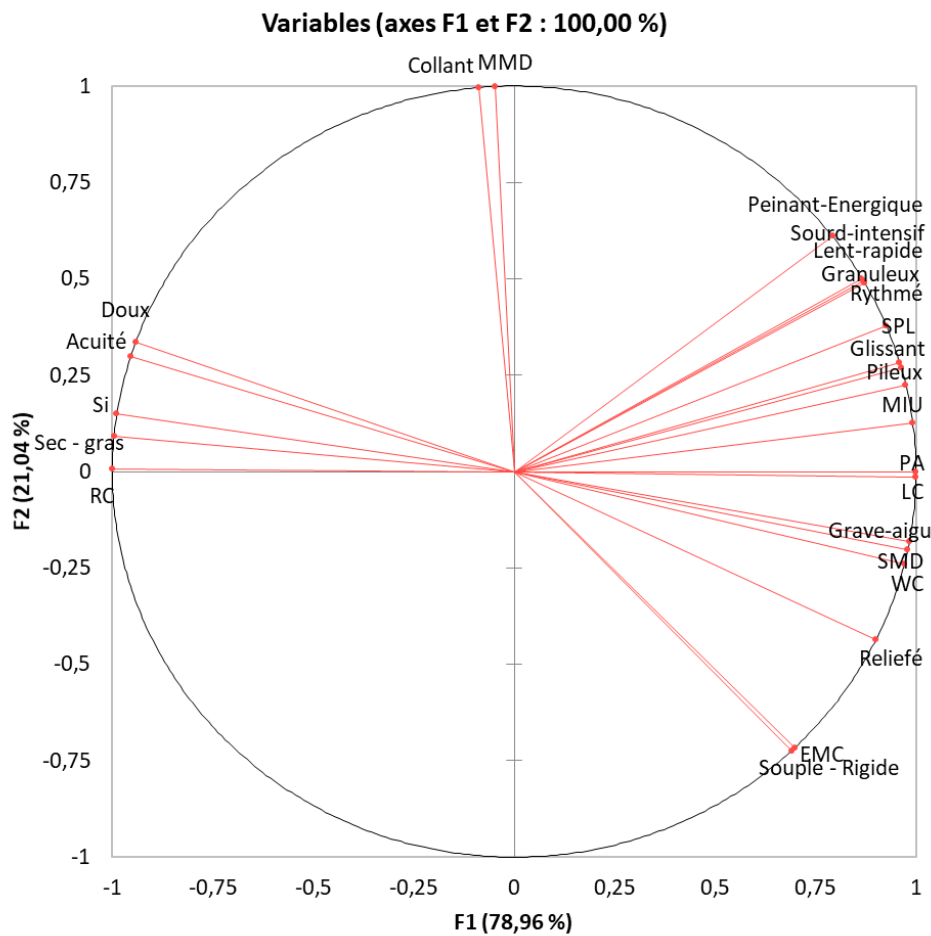


Figure 111 : Cercle de corrélation suite aux traitements adoucissants micro-silicone dans le cas du tissu 3

Dans le cas du tissu 3 (Figure 111), on remarque une évolution plus au moins identique à l'évolution des corrélations dans le cas du tissu 2 mis à part pour l'acuité qui est corrélée positivement avec la résilience de compression ($n = 0,957$), les descripteurs *sec-gras* ($n = 0,978$) et *doux* ($n = 0,999$). Ce groupe de paramètres est corrélé négativement avec le reste des paramètres sauf le descripteur *collant* et le paramètre MMD.

En interprétation de ces résultats, on peut dire que plus la rétention du tissu en adoucissant est importante, plus le coefficient de frottement diminue. La sensation au toucher sera douce. Le tissu serait perçu au toucher moins *rigide*, moins *rugueux* et *reliefé*. Le bruit de frottement se caractérise par un niveau sonore et une sonie plus faible. Il sera perçu comme un bruit plus aigu et moins *intensif*, *énergique* et *rythmé*.

1.4 Cas des traitements réticulants

Dans cette partie, l'étude de corrélation dans le cas des traitements réticulants sera étudiée. La comparaison par paires a montré que seul dans le cas du tissu 2 le traitement réticulant introduit une différence du niveau sonore significative. La Figure 112, montre le cercle de corrélation dans le cas du tissu 2 avec un seul espace vectoriel (F1, F2) qui présente 100% de l'information.

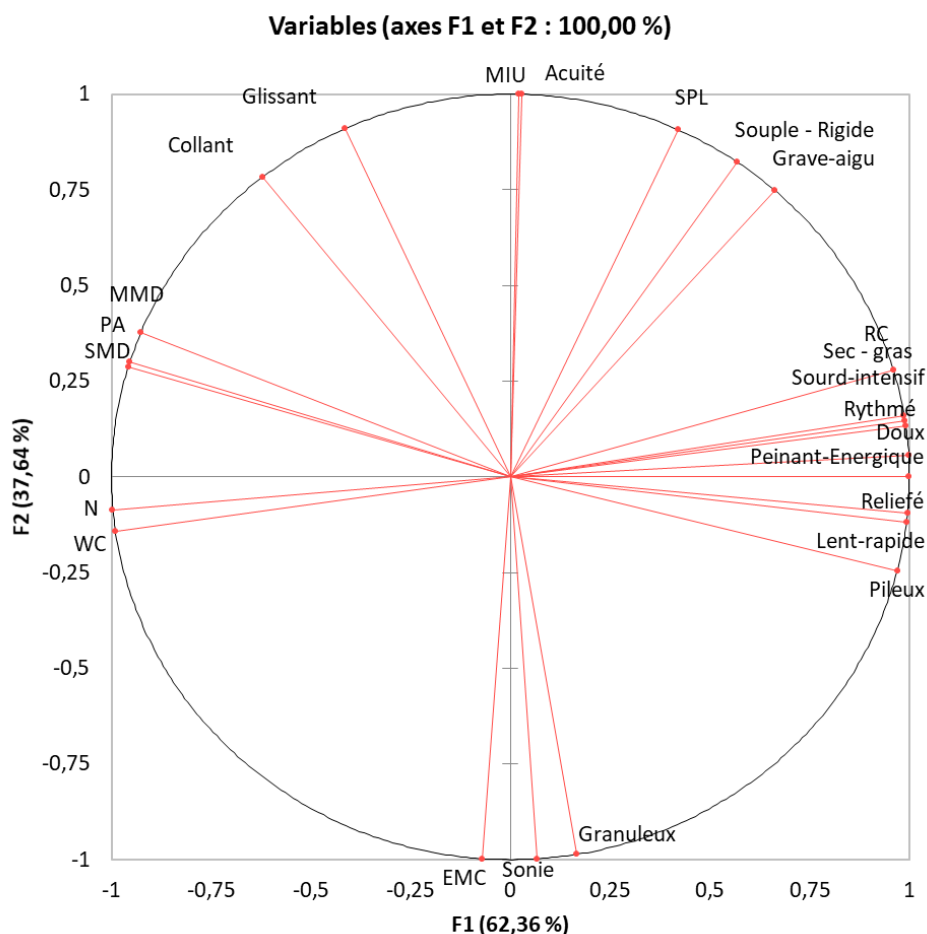


Figure 112 : Cercle de corrélation suite aux traitements réticulants dans le cas du tissu 2

L'analyse de corrélations dans ce cas, montre que le niveau sonore SPL présente une corrélation positive avec la résilience de compression RC. Le niveau sonore est aussi corrélé positivement avec le coefficient de frottement MIU car le traitement réticulant rigidifie le tissu ce qui augmente le coefficient de frottement. Le niveau sonore présente une corrélation négative avec l'énergie de compression WC le paramètre de la rugosité de surface SMD et le paramètre MMD.

Le niveau sonore se voit fortement corrélé avec le descripteur sensoriel tactile *souple-rigide* ($n = 0,986$) ce qui met en exergue l'effet de l'influence du réticulant sur la rigidité du tissu. Il est aussi positivement corrélé avec les descripteurs *glissant* et *collant*. En se référant aux notes du panel, on trouve que le panel les considère pas *collant* et faiblement *glissant* au toucher.

On observe sur le cercle une très forte corrélation positive entre les descripteurs sensoriels sonores, *rythmé*, *peinant-énergique*, *sourd-intensif* et *lent-rapide* et les descripteurs sensoriels tactiles *sec-gras*, *doux*, *relié* et *pileux*. Ce groupe de paramètres est aussi corrélé positivement avec le niveau sonore.

On a observé dans le cas des traitements adoucissants que plus la sensation du toucher est perçue *pileuse* et *relié*, plus le niveau sonore du bruit de frottement sera fort. Cette observation se retrouve dans ce cas mais les degrés de corrélations reflètent des pourcentages très faibles car avec un traitement réticulant l'effet sur la pilosité et le reliefé est minime. On remarque aussi que le niveau sonore est négativement corrélé avec le descripteur *granuleux* ($n = -0,825$), cette observation rejoint la corrélation négative avec le paramètre de la rugosité géométrique SMD.

On observe aussi sur le cercle que la teneur en azote (N) et la perméabilité à l'air (PA) sont positivement corrélées ($n = 0,93$), et corrélées négativement avec le niveau sonore. On comprend que dans ce cas, malgré l'augmentation du coefficient du frottement du fait du réticulant, le niveau sonore du bruit résultant de ce frottement diminue.

1.5 Cas des traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant

La comparaison par paires a montré que seul dans le cas des tissus 1 et 3, la différence du niveau sonore suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant était significative. Les Figure 113 et Figure 114 montrent les cercles de corrélation dans le cas du tissu 1 et les Figure 115 et Figure 116 montrent les cercles de corrélation dans le cas du tissu 3. Dans chaque cas, on a deux espaces vectoriels (F1, F2) et (F1, F3) qui présentent plus de 70% de l'information.

L'analyse de corrélation dans le cas du tissu 1 (Figure 113), montre que le niveau sonore SPL est négativement corrélé avec un groupe de paramètres : l'énergie de compression WC ($n = -0,80$), la linéarité de compression ($n = -0,765$), le taux de compressibilité, le paramètre MMD, les descripteurs sensoriels tactiles *glissant*, *doux* ($n = -0,764$), *pileux* ($n = -0,783$), *granuleux* et l'acuité. Ces deux derniers paramètres sont mieux représentés dans l'espace (F1, F3) présenté par la Figure 114 .

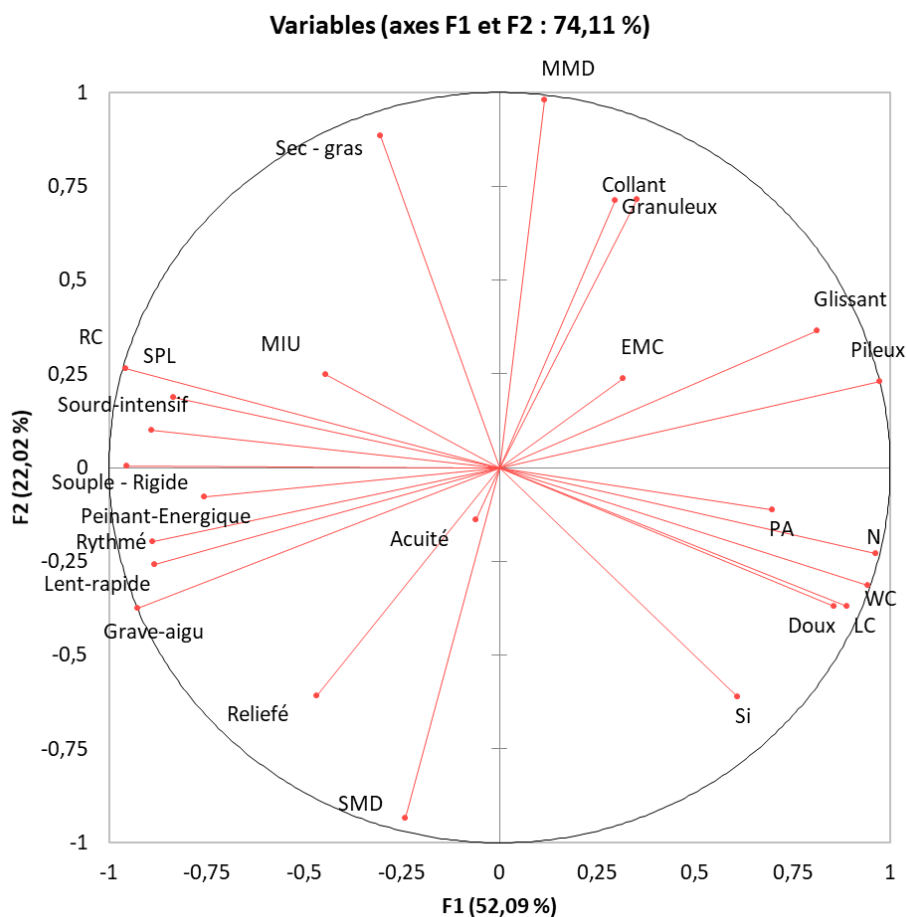


Figure 113 : Cercle de corrélation (F1, F2) suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 1

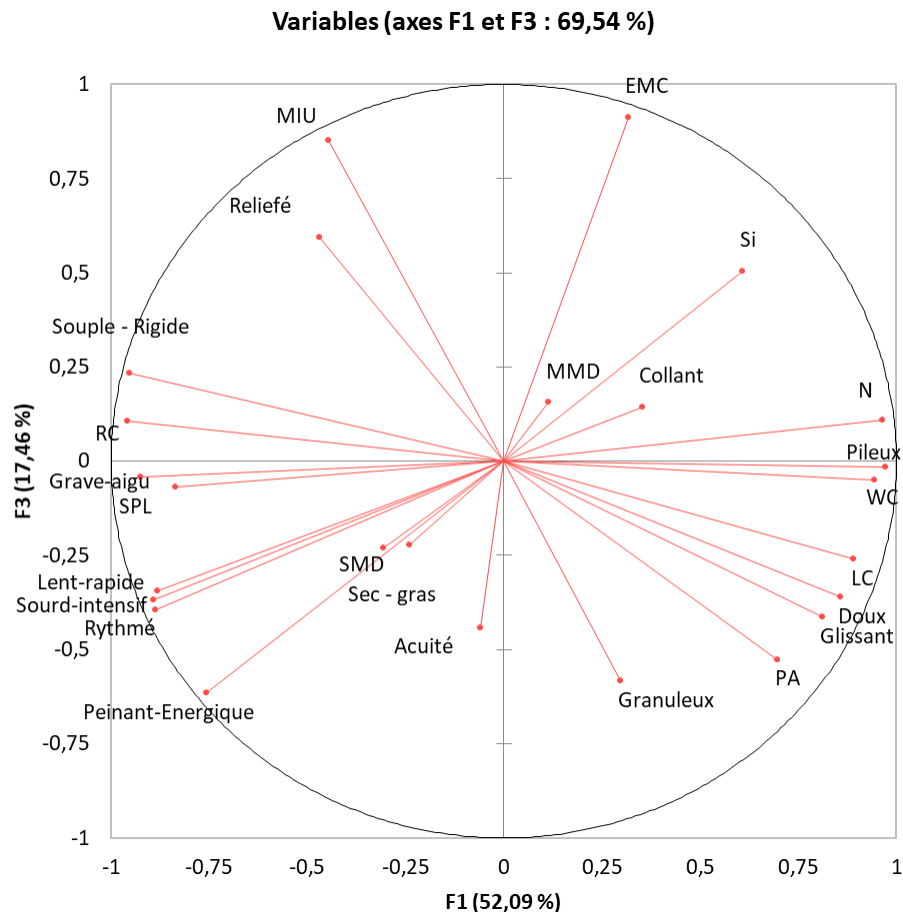


Figure 114 : Cercle de corrélation (F1, F3) suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 1

Le niveau sonore présente aussi une corrélation négative avec la teneur en silicium (Si), la teneur en azote (N) et la perméabilité à l'air (PA). On observe logiquement une corrélation positive avec la résilience de compression RC et le coefficient de frottement MIU car ces types de traitement rigidifient le tissu ce qui augmente le coefficient de frottement. Ceci explique aussi la corrélation positive entre le niveau sonore et les descripteurs sensoriels tactiles *souple-rigide*, *sec-gras* et *reliefé* ainsi qu'avec tous les descripteurs sensoriels sonores.

Dans le cas du tissu 3, on remarque une évolution identique des corrélations que dans le cas du tissu 1, surtout concernant la relation entre le niveau sonore et les descripteurs sensoriels sonores (Figure 115). Donc, plus le niveau sonore est fort, plus le bruit de frottement sera perçu *énergique*, *intensif*, *rythmé* et *grave*. D'après la Figure 116, on remarque que certains paramètres (paramètres de compression en particulier) sont mieux représentés dans l'espace (F1, F3).

En ce qui concerne l'acuité, elle apparaît sur le cercle corrélié négativement avec le niveau sonore ($n = -0,800$). Elle est corréliée positivement avec les descripteurs sensoriels tactiles *doux*, *glissant* et *reliefé*. Elle est aussi corréliée positivement à la teneur en silicium ($n = 0,982$) et en azote ($n = 0,945$).

L'interprétation de l'ensemble de ces résultats permet de dire que moins le tissu est *glissant*, *doux*, et *pileux*, plus son coefficient de frottement et sa résilience seront faibles, et moins il sera *sec* et *souple*. Le bruit de frottement sera perçu plus *aigu*, moins *fort*, plus *grave* et plus *sourd*.

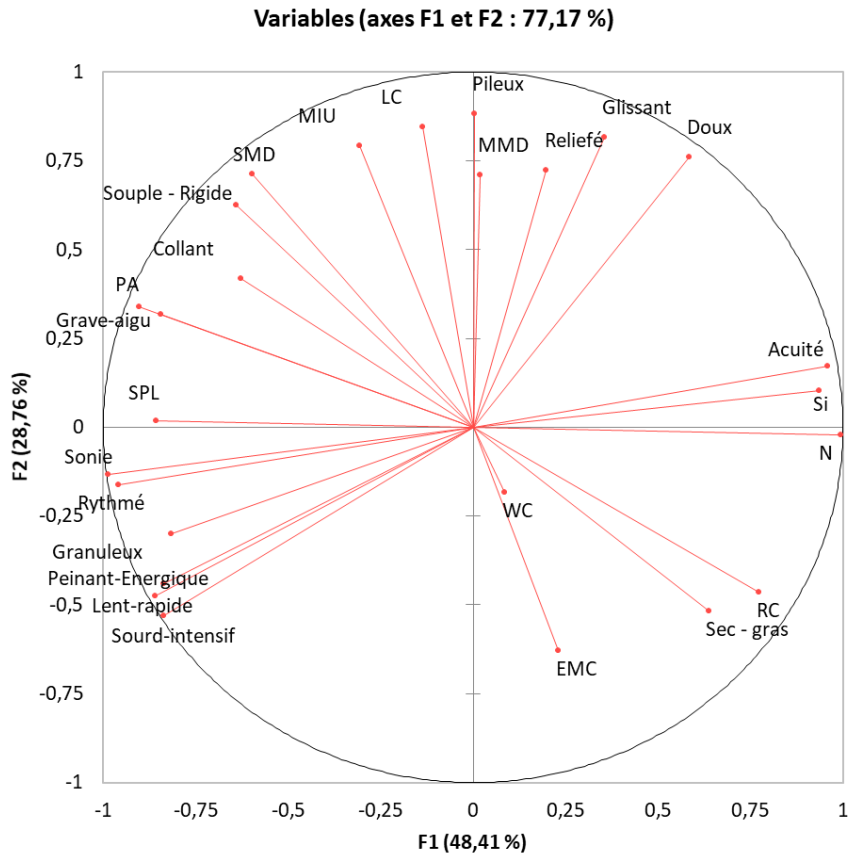


Figure 115 : Cercle de corrélation (F1, F2) suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 3

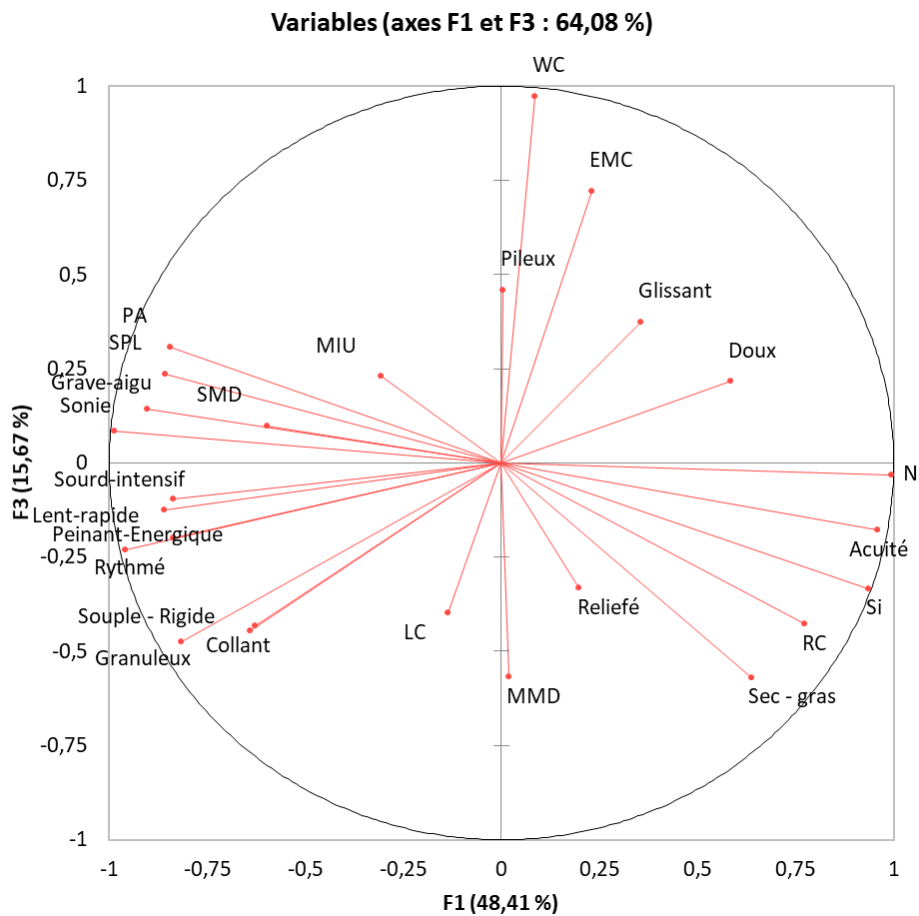


Figure 116 : Cercle de corrélation (F1, F3) suite aux traitements combinant adoucissant micro-silicone et réticulant dans le cas du tissu 3

1.6 Résumé des corrélations

Les différents cas d'analyse en composantes principales ont permis de voir le lien entre les différents paramètres. Nous pouvons conclure que l'influence des traitements adoucissants est plus significative que l'influence des traitements réticulants dans l'amélioration des propriétés acoustiques des étoffes textiles. La combinaison offre aussi l'avantage d'avoir des propriétés améliorées.

Le niveau sonore est corrélé négativement avec les propriétés de l'état de surface MIU et SMD. Moins la surface du tissu est rugueuse, plus le frottement est facile ce qui générera un bruit de frottement ayant un niveau sonore plus faible.

Le niveau sonore est positivement corrélé aux descripteurs sensoriels sonores, ce qui veut dire plus le niveau sonore est élevé, plus le bruit de frottement sera perçu comme *énergique, intensif, rythmé* et *rapide*.

Le niveau sonore est corrélé positivement avec certains descripteurs sensoriels tactiles. Plus la sensation du toucher est perçue comme *granuleuse, pileuse, reliefé* et *rigide*, plus le niveau sonore du bruit de frottement sera fort. Plus la sensation du toucher est *douce, grasse* et *collante*, plus le niveau sonore du bruit de frottement sera faible.

En ce qui concerne l'acuité, elle est corrélée négativement avec le niveau sonore. En revanche, elle est corrélée positivement avec la teneur en silicium et avec la perméabilité à l'air. Donc plus le tissu a tendance à retenir de l'adoucissant, plus sa perméabilité augmente. L'effet de l'adoucissant sur la perméabilité à l'air et sur le coefficient de frottement permettra d'obtenir un bruit plus faible que celui de l'étoffe brute de ce dernier. Cette interprétation est bien confirmée par l'effet des traitements réticulants. En effet, le niveau sonore est corrélé négativement à la teneur en azote. Il est corrélé positivement au coefficient de frottement. Etant donné que le réticulant entraîne une rigidification du tissu, le coefficient de frottement sera élevé, ce qui donnera un bruit plus au moins fort que celui de l'étoffe brute.

Dans la partie suivante, nous allons nous intéresser à l'étude du point de vue consommateurs. C'est un type d'analyse sensorielle qui ne nécessite pas de sujets entraînés comme la méthode descriptive.

2. Etude de point de vue consommateurs

Dans un premier temps, il a été nécessaire d'établir une liste de descripteurs. Pour ce faire, un premier sondage a été réalisé.

Il a été demandé aux participants de s'imaginer en train de courir ou de marcher, puis de qualifier le bruit de frottement généré par le mouvement du bras ou bien des jambes. Il a été demandé aux participants de respecter les consignes suivantes : se mettre dans un endroit calme, utiliser des écouteurs ou un casque audio, ajuster le volume sonore à niveau confortable. Une fois la piste audio lancée, il leur a été demandé de se concentrer tout en s'imaginant en déplacement.

La liste retenue est présentée par la Figure 117.

Bruit de frottement d'une étoffe textile

- Bruyant – Silencieux
- Gênant – Confortable
- Désagréable – Agréable
- Fort – Faible

Figure 117 : Liste des descripteurs validée pour l'étude consommateur

Les bruits de frottement utilisés ensuite pour l'évaluation sont ceux relatifs au bruit de frottement du tissu 1 à l'état brut et après les traitements A2, I2, R2, A2R2 et I2R2. Les notes attribuées seront selon les descripteurs validés précédemment. Après la collecte des réponses, nous avons fait le calcul de la moyenne des notes attribuées pour chaque descripteur.

Nous avons eu 189 participants à cette étude, dont 48,1% de femmes et 51,9 % d'hommes. On se propose en premier lieu de faire l'étude de la réponse de tous les consommateurs puis par genre.

2.1 Profils exprimés par tous les consommateurs

La Figure 118 montre les profils sensoriels subjectifs exprimés par tous les consommateurs. Les profils ont été obtenus par le calcul de la moyenne des notes attribuées pour chaque descripteur.

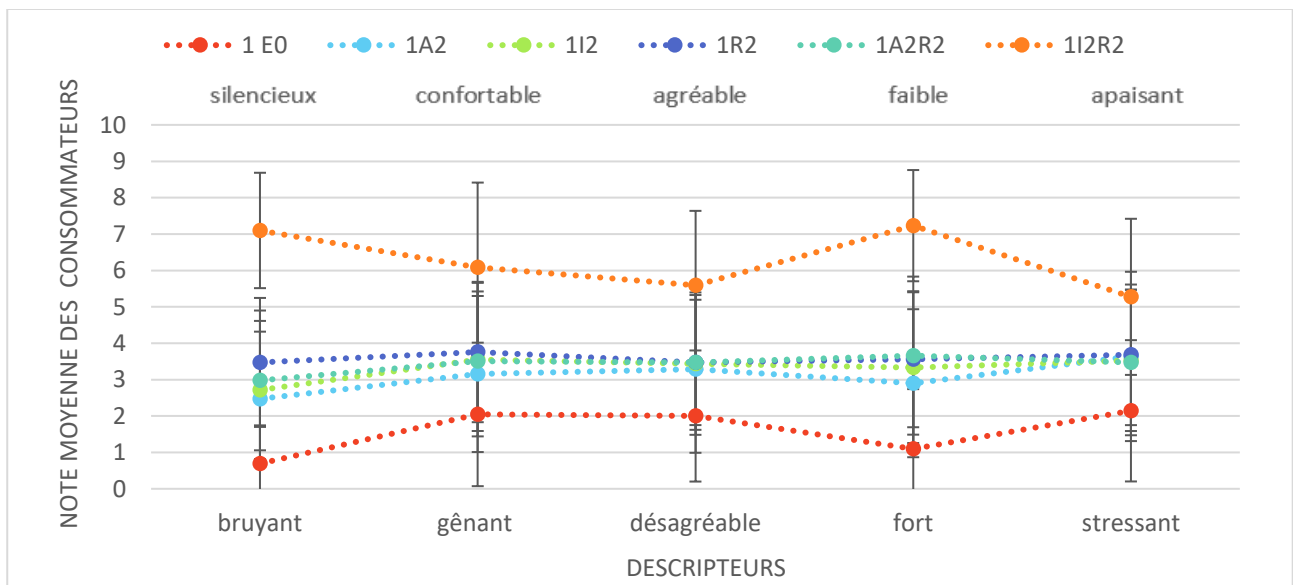


Figure 118 : Profils sensoriels subjectifs exprimés par tous les consommateurs

La première constatation à partir de ce graphe est que les traitements ont amélioré d'une manière significative les propriétés sonores du bruit de frottement par rapport à celui de l'étoffe brute. Ce dernier se

trouve en bas de l'échelle, et est donc selon les consommateurs le plus *bruyant* (note = 0,82), le plus *gênant* (note = 2,10), le plus *désagréable* (note = 1,98), le plus *fort* (note = 1,01) et le plus *stressant* (note = 2,17).

Selon les consommateurs, le bruit, suite au traitement combinant adoucissant micro-silicone et réticulant (I2R2), diffère le plus des autres bruits, que ce soit celui de l'étoffe brute ou des étoffes traitées. Il est qualifié comme étant le plus *silencieux* (note = 7,14), le plus *confortable* (note = 6,29), le plus *agréable* (note = 5,78), le plus *faible* (note = 7,08) et le plus *apaisant* (note = 5,47).

En ce qui concerne les bruits 1A2, 1A2R2, 1I2 et 1R2, on constate une différence par rapport à celui de l'étoffe brute mais pas entre eux. En effet on remarque sur le graphe de la Figure 118 que tous les profils pour ces quatre traitements sont très voisins d'une valeur moyenne aux alentours de 3 pour chaque descripteur. Les panélistes entraînés avaient obtenu des résultats similaires.

2.2 Profils exprimés selon le genre

Dans cette partie, nous allons étudier la perception des consommateurs du bruit de frottement selon leur genre afin de voir si celui-ci a une influence ou non dans la perception subjective du bruit de frottement. Nous avons présenté les profils sensoriels avec deux graphes. La Figure 119 présente les profils exprimés par les femmes et la Figure 120 par les hommes.

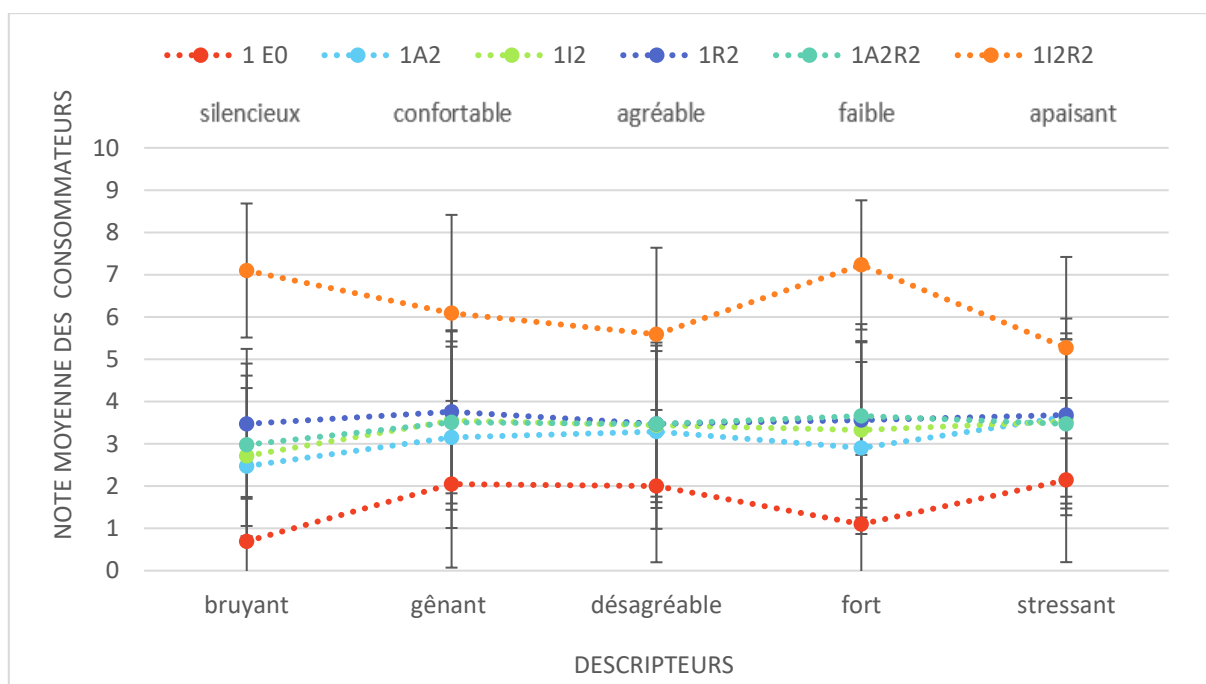


Figure 119 : Profils sensoriels subjectifs exprimés par les consommatrices femmes

On remarque que les profils exprimés dans ces deux graphes sont très similaires. En effet, tous les traitements ont permis d'améliorer les propriétés hédoniques du bruit de frottement par rapport à celui de l'étoffe brute. Le traitement I2R2 donne le bruit le plus *silencieux*, le plus *confortable*, le plus *agréable*, le plus *faible* et le plus *apaisant*.

Donc, on peut dire que le sexe ne joue pas un rôle important dans la différenciation du bruit de frottement puisqu'on vient de trouver des appréciations similaires que ce soit par les femmes ou bien les hommes.

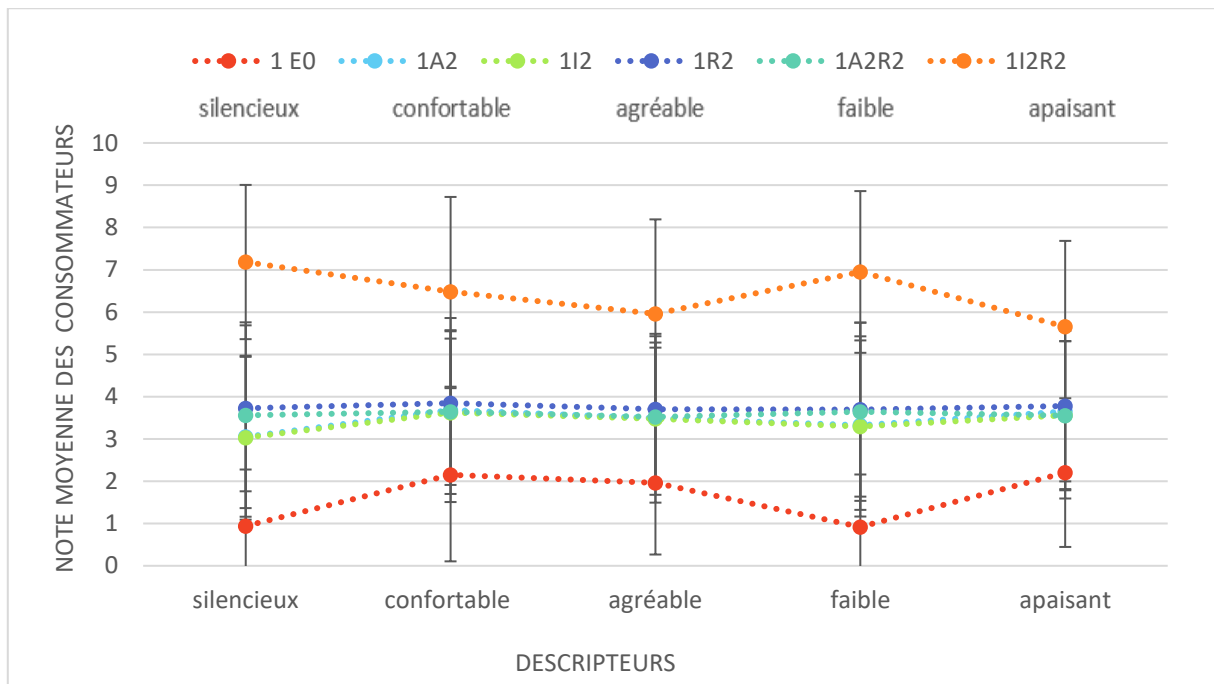


Figure 120 : Profils sensoriels subjectifs exprimés par les consommateurs hommes

2.3 Conclusions

Dans cette partie nous avons étudié la perception subjective du bruit de frottement suite à un certain nombre de traitements adoucissants et réticulants.

Il ressort de la caractérisation que les consommateurs ont bien distingué le bruit de frottement après les traitements de celui de l'étoffe brute ce qui montre que les traitements ont bien modifié les propriétés acoustiques de l'étoffe étudiée.

On remarque aussi que pour chaque descripteur, les écarts type sont élevés car cela revient d'une réponse subjective qui n'est pas encadrée par une phase d'entraînement.

Le bruit de frottement résultant des traitements 1A2, 1I2 et 1A2R2, ne sont pas nettement différenciés entre eux par les consommateurs, alors qu'ils expriment une grande différence de bruit résultant de l'effet du traitement 1I2R2 par rapport à ces bruits de frottement. Il est selon les consommateurs le plus *silencieux*, le plus *confortable*, le plus *agréable*, le plus *faible* et le plus *apaisant*.

En ce qui concerne la comparaison de l'effet des traitements sur le bruit de frottement selon le genre, il ressort qu'il n'a pas d'influence sur la perception du bruit par le consommateur.

Conclusions générales et Perspectives

Ce travail avait pour objectif d'étudier l'influence des traitements de surface sur les propriétés acoustiques du bruit de frottement des étoffes, et plus précisément l'influence des traitements adoucissants de type micro-silicone et macro-silicone, l'influence des traitements réticulant type résine easy-care, ainsi que l'effet de leur combinaison.

L'étude bibliographique a permis de montrer que les chercheurs ont mis l'accent sur l'analyse des propriétés acoustiques du frottement des étoffes en général sans mettre l'accent sur l'effet des apprêts, qu'ils soient mécaniques ou bien chimiques. Les chercheurs ont ouvert des perspectives sur l'importance de combiner les résultats précédents avec l'analyse des réponses subjectives du bruit de frottement. Les travaux précédents menés au laboratoire ont permis de caractériser les bruits de frottement par la caractérisation instrumentale et la caractérisation sensorielle sonore.

Le présent travail apporte une nouvelle méthode de traitement du signal sonore, la caractérisation psycho-acoustique, afin d'étudier le ressenti humain du son. Des modèles permettent de prédire la sensation perçue à partir du signal acoustique. Parmi celles-ci, il a été décidé d'utiliser les paramètres de Zwicker qui sont la sonie, l'acuité, la rugosité et l'intensité de fluctuation. Il a été aussi décidé de mener une analyse sensorielle tactile afin de caractériser l'effet des traitements sur le toucher. Enfin une étude orientée sur le point de vue consommateur dont l'objectif est de connaître la perception hédonique du bruit de frottement après traitements de surfaces, a finalisé ce travail.

Le dispositif conçu au laboratoire a été utilisé pour la génération et l'enregistrement du bruit de frottement des étoffes après les traitements de surface. Il reproduit le mouvement du balancier du bras d'une personne permettant la simulation du frottement du bras contre le tronc quand une personne se déplace. Le signal sonore est obtenu via une chaîne d'acquisition adéquate composée d'un microphone, d'un amplificateur et d'un enregistreur.

En ce qui concerne les analyses sensorielles sonore et tactile, il a été décidé de mettre en œuvre l'analyse descriptive quantitative. Chacune nécessite une phase d'entraînement qui repose sur la vérification de trois points de performance du panel. Ces performances sont la répétabilité de chaque panéliste, la discrimination de chaque panéliste et l'accord entre les panélistes. La phase d'entraînement a permis de former au sein du laboratoire deux panels. Le premier est capable d'évaluer le bruit de frottement des étoffes textile et le deuxième capable d'évaluer le toucher des étoffes textiles.

Le principe de caractérisation a suivi un processus en quatre étapes.

En premier lieu, l'influence des traitements de surface sur les paramètres instrumentaux, surtout le niveau sonore et les paramètres psycho-acoustiques, ainsi que sur la perception humaine objective du bruit de frottement à travers l'analyse sensorielle sonore, a été étudiée.

Dans un deuxième temps, une évaluation de l'effet des traitements sur les propriétés physiques des étoffes a été menée par différentes approches. La spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS) a permis de connaître le pourcentage de la rétention du support textile en adoucissant et en réticulant. Les propriétés de compression et de surface ont été mesurées par la chaîne de mesure Kawabata. L'effet des traitements sur la perméabilité à l'air des tissus a également été évalué. Enfin, l'effet des traitements sur le toucher a été

évalué par l'approche de l'analyse sensorielle tactile. Tous les résultats de ces techniques ont été pris comme support pour l'interprétation, avec les outils statistiques adéquats, de l'effet des traitements sur les propriétés acoustiques des étoffes étudiées.

La troisième phase de caractérisation a consisté à étudier les corrélations au moyen de l'analyse en composantes principales entre les attributs physiques des étoffes et les attributs sensoriels sonores, tactiles, psycho-acoustiques et instrumentaux du bruit de frottement.

Enfin, une étude, du point de vue consommateur afin d'étudier la perception subjective du bruit de frottement des étoffes textiles a été menée. Ce type d'analyse sensorielles est ouvert à tous genres d'évaluateur et ne nécessite pas une phase d'entraînement. Le but de cette étude consiste à connaître la perception hédonique du consommateur du bruit de frottement.

Grâce à la caractérisation instrumentale, les paramètres physiques ont été mesurés, tels que le niveau sonore (SPL) et le maximum d'amplitude. L'analyse des données a montré que les traitements adoucissants et réticulants réduisent significativement les propriétés acoustiques du bruit frottement des tissus. Il est à noter que l'adoucissant a un effet plus efficace que le réticulant.

Grâce à la caractérisation psycho-acoustique, l'analyse des données a confirmé l'avantage des traitements dans la réduction de la gêne et l'obtention d'un son perçu moins fort, moins perturbant et moins aigu. De même, l'utilisation d'adoucissants micro-silicones seuls ou avec un agent réticulant donne de meilleurs résultats en termes de qualité subjective du bruit de friction.

Les autres paramètres (niveau sonore, sonie, acuité et intensité de fluctuation) n'ont pas montré une différence significative dans certains cas, soit entre les traitements de même nature ou bien de natures différentes. La rugosité du bruit de frottement n'est pas affectée, de manière significative, par rapport à celle des trois tissus bruts. Ce qui confirme bien que l'effet de l'agent du traitement réticulant ou adoucissant est, dans tous les cas, conditionné par les propriétés physiques du tissu. Ces propriétés sont elle-même conditionnées par la contexture (nature de matière, armure, compte et duitage).

La comparaison de la taille des particules d'adoucissant et l'espace entre les fibres dans les tissus a montré que le dépôt de l'adoucissant micro-silicone se divise en dépôt en surface des tissus et entre les fibres alors que le dépôt de l'adoucissant macro-silicone ne se fait généralement qu'en surface.

L'analyse sensorielle sonore a bien confirmé toutes les observations tirées de l'analyse des paramètres instrumentaux et psycho-acoustiques. Les profils sensoriels avant (brut) et après traitement, ont mis en évidence une nette atténuation des valeurs des descripteurs.

Une analyse de corrélation utilisant l'analyse en composantes principales (ACP) a montré que le niveau sonore est corrélé négativement avec les propriétés de l'état de surface MIU et SMD. Moins la surface du tissu est rugueuse, plus le frottement est facile et moins le bruit de frottement est important.

Le niveau sonore s'est vu corrélé positivement avec certains descripteurs sensoriels tactiles. Plus la sensation du toucher est perçue *granuleuse*, *pileuse*, *reliefé* et *rigide*, plus le niveau sonore du bruit de frottement est fort. Plus la sensation du toucher est *douce*, *grasse* et *collante*, plus le niveau sonore du bruit de frottement est faible.

L'effet du réticulant a fait augmenter le coefficient de frottement mais le niveau sonore apparaît toujours corrélé négativement à la teneur en azote (reliée à la quantité de réticulant déposée sur l'étoffe) ce qui prouve que ce traitement participe aussi à la réduction du bruit de frottement.

Dans le cas des traitements adoucissants ou bien de la combinaison des traitements, l'acuité était corrélée négativement avec le niveau sonore. Elle était aussi corrélée positivement avec la teneur en silicium (reliée à la quantité d'adoucissant déposée sur l'étoffe) et avec la teneur en azote (dans le cas de combinaison de traitement) ainsi qu'avec la perméabilité à l'air de l'étoffe. L'effet de l'adoucissant sur la perméabilité à l'air et sur le coefficient de frottement permet d'obtenir un bruit plus faible que celui de l'étoffe brute.

L'analyse consommateur montre bien que les traitements ont modifié le bruit de frottement de l'étoffe par rapport à celui de l'étoffe brute. Ils permettent d'avoir un bruit plus *silencieux*, plus *confortable*, et plus *agréable*.

D'après l'étude consommateur, encore, le pantalon vient en tête de la liste des vêtements pour lesquels le bruit de frottement est dérangeant, vient ensuite la veste, le manteau et la tenue de running. Il est aussi très important pour les consommateurs de toucher le tissu pour évaluer le bruit de frottement. L'analyse des réponses a montré également que le genre et la catégorie d'âge n'ont pas d'influence dans l'évaluation du bruit de frottement.

En termes de perspectives pour cette étude, il serait intéressant de regarder l'effet des traitements réticulants et des adoucissants siliconés en sélectionnant de tissus d'une même armure avec la variation d'un seul paramètre. C'est-à-dire de regarder l'effet des traitements sur le bruit de frottement de l'étoffe avec un compte en chaîne et en trame différents ou bien avec des matières différentes.

Il serait aussi important de regarder l'effet des traitements adoucissants de nature anionique et cationiques. Ces types d'adoucissant sont compatibles avec plusieurs contextures de tissu. Vu leur caractère de charge, il serait plus facile de suivre la cinétique de réaction avec le support textile et de mieux connaître le pouvoir de rétention en agent adoucissant.

Il serait judicieux aussi d'étudier les cas des autres types de traitements chimiques surtout l'influence des traitements hydrofuges et des traitements hydrophobes. En effet, le traitement hydrofuge trouve beaucoup d'applications pour les articles de sport. Les athlètes et les joueurs pendant la course ou les matchs font beaucoup d'efforts physiques. Une tenue hydrofuge semble primordiale pour leurs activités. Or le fait d'enduire la surface du textile, rend le frottement étoffe contre étoffe plus bruyant. Ce bruit élevé peut produire des perturbations.

Le traitement réticulant trouve son homologue en apprêts mécaniques. Le sanforisage où l'action mécanique combinée à de la chaleur confère une stabilité dimensionnelle forcée aux étoffes accompagnées d'un rétrécissement. Ces effets modifient certainement les propriétés physiques de l'étoffe donc pourrait avoir un effet sur les propriétés acoustiques du frottement de ces dernières.

Parmi les autres apprêts mécaniques, il serait aussi important de regarder l'effet de l'émerisage. Cet apprêt confère à l'étoffe un toucher « peau de pêche ». Le fait d'avoir un tissu au toucher doux, comme nous l'avons montré lors de cette étude peut entraîner une diminution du bruit de frottement.

Concernant l'évaluation de bruit de frottement, il serait aussi important d'interpréter les signaux sonores avec une tête humaine artificielle qui utilise l'intelligence artificielle. Cela permettrait de croiser les résultats avec les différentes approches instrumentales et sensorielles.

En ce qui concerne l'analyse sensorielle, il serait très utile de concevoir une application adéquate pour ce genre d'étude. Cette application proposera différentes échelles (structurée, non structurée...) et permettrait une configuration selon l'échelle choisie des descripteurs de l'étude avec une possibilité de collecter les notes

de tous les panélistes. De cette manière, la durée de la collecte des notes attribuées par les panélistes serait réduite, ce qui permettrait d'accélérer la phase d'entraînement.

La prise en compte de toutes ces perceptives permettra d'enrichir les connaissances sur l'effet des traitements de surface sur les propriétés acoustiques du frottement des étoffes textiles.

Références bibliographiques

- [1] 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. », p. 217.
- [2] K. Yosouf, « Contribution à la caractérisation du bruit de frottement des étoffes: application au prêt-à-porter (cas du vêtement furtif) », p. 345.
- [3] F. Leclinche, « Contribution à l'étude de l'influence de l'usure sur le bruit de frottement des étoffes : Approches instrumentales et sensorielles », L'UNIVERSITÉ DE HAUTE-ALSACE, 2019.
- [4] D. P. Bishop, « Fabrics: sensory and mechanical properties », *Textile Progress*, vol. 26, n° 3, p. 1-62, 1996.
- [5] W. J. Thorsen et P. Veneklasen, « The Spectral Distribution of Sound Produced by Fibers and Fabrics in Friction: Part I: Improved Instrumentation », *Textile Research Journal*, vol. 31, n° 9, p. 804-809, 1961.
- [6] W. J. Thorsen, « 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 », *Textile research journal*, vol. 32, n° 8, p. 670-676, 1962.
- [7] M. Fujimoto, « Measurement of rustling sounds of silk and polyester fabrics », *Sen-I Kikai Gakkaishi*, vol. 39, n° 10, p. 371, 1986.
- [8] E. Yi et G. Cho, « Fabric sound parameters and their relationship with mechanical properties », *Textile Research Journal*, vol. 70, n° 9, p. 828-836, 2000.
- [9] G. Cho, N. Lim, et Y. Yang, « Integrated graphical presentation of fabric sound and mechanical properties », *Fibers and Polymers*, vol. 11, n° 3, p. 516, 2010.
- [10] C. J. Cooper, « Acoustics and friction of apparel and model fabrics, and consumer perceptions of fabric sounds », PhD Thesis, University of Birmingham, 2014.
- [11] NF ISO, « NF EN ISO 12947-1: Textiles - Détermination de la résistance à l'abrasion des étoffes par la méthode Martindale - Partie 1 : appareillage d'essai d'abrasion de Martindale », vol. 26, juin 2006.
- [12] A. K. Roy Choudhury, « 2 - Surface finishing », in *Principles of Textile Finishing*, A. K. Roy Choudhury, Éd., Woodhead Publishing, 2017, p. 21-39. doi: 10.1016/B978-0-08-100646-7.00002-3.
- [13] « Les apprêts mécaniques », *Textile Addict*, 2 novembre 2016. <https://textileaddict.me/les-apprets-mecaniques/> (consulté le 7 décembre 2019).
- [14] « Technology of Raising », *Danti Paolo & C. SRL*. <https://www.danti.it/technology/technology-raising/> (consulté le 20 avril 2023).
- [15] M. TOUHIDUZZAMAN, K. RASHID, et M. SYDUZZAMAN, « Effects of Raising and Sueding on the Physical and Mechanical Properties of Dyed Knitted Fabric. Loss weight on Figure 4 p. 3 », *Journal of Textile Sciences & Engineering*, vol. 6, n° 1, 2015.
- [16] R. S. Kumar et S. Sundaresan, « Mechanical finishing techniques for technical textiles », *Advances in the dyeing and finishing of technical textiles*, p. 135-153, 2013.
- [17] M.-A. Bueno et L. Bigué, « Profilo-pilosimètre pour matériaux fibreux souples », in *CFM 2007-18ème Congrès Français de Mécanique*, AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400 Courbevoie, 2007.
- [18] S. H. Ravandi et M. Valizadeh, « Properties of fibers and fabrics that contribute to human comfort », in *Improving comfort in clothing*, Elsevier, 2011, p. 61-78.
- [19] A. Fisher, « Finishing synthetic fibre fabrics », *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, vol. 109, n° 12, p. 385-387, 1993.
- [20] A. Fisher, « Finishing synthetic fibre fabrics », *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, vol. 109, n° 12, p. 385-387, 1993.

- [21] M. E. Hall, « Finishing of technical textiles », *Handbook of technical textiles*, vol. 12, p. 152, 2000.
- [22] « Technology of Shearing », *Danti Paolo & C. SRL*. <https://www.danti.it/technology/technology-of-shearing/> (consulté le 23 avril 2023).
- [23] A. K. Roy Choudhury, « 3 - Antishrink finishing », in *Principles of Textile Finishing*, A. K. Roy Choudhury, Éd., Woodhead Publishing, 2017, p. 41-59. doi: 10.1016/B978-0-08-100646-7.00003-5.
- [24] « Colas Normand - Lexique | Sanforisage ». <https://www.colasnormand.fr/lexique/sanforise> (consulté le 20 avril 2023).
- [25] T. Hussain, S. Ahmed, et A. Qayum, « Effect of different softeners and sanforising treatment on pilling performance of polyester/viscose blended fabrics », *Coloration Technology*, vol. 124, n° 6, p. 375-378, 2008.
- [26] V. Bajzik et H. E. S. Lubos, « The effect of finishing treatment on thermal insulation and thermal contact properties of wet fabrics », *Textile and Apparel*, vol. 22, n° 1, p. 26-31, 2012.
- [27] K. Priya, « The Modern Era of Technical Textiles - Page 5 of 7 », *Textile School*, 31 janvier 2022. <https://www.textileschool.com/8091/the-modern-era-of-technical-textiles/> (consulté le 20 avril 2023).
- [28] S. Devi, « Role of Special Finishes in Textile and Garment ».
- [29] E. Mert, « EFFECTS OF CALENDERING AND MILLING PROCESSES ON CLOTHING COMFORT PROPERTIES OF SUIT FABRICS », *TEKSTİL ve KONFEKSİYON*, 2014.
- [30] E. Laurent, « Les apprêts mécaniques », *Textile Addict*, 2 novembre 2016. <https://textileaddict.me/les-apprets-mecaniques/> (consulté le 20 avril 2023).
- [31] R. M. Reinhardt et T. W. Fenner, « Pad-Bake Carboxymethylation of Cotton Textile Materials », *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, vol. 4, n° 2, p. 82-86, 1965.
- [32] « Un nouveau procédé d'enduction double la capacité des producteurs de textiles ». <https://www.spray.com/fr-be/blog/un-nouveau-procedé-d'enduction-double-la-capacité-des-producteurs-de-textiles> (consulté le 12 mars 2023).
- [33] F. Philippe, L. Schacher, D. C. Adolphe, et C. Dacremont, « The sensory panel applied to textile goods—a new marketing tool », *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 2003.
- [34] F. Roland, « Les technologies de fonctionnalisation des textiles », *L'actualité chimique*, n° 360-361, p. 22, 2012.
- [35] « FINISHING + COATING | Spraytex Partners ». <http://spraytexpartners.com/en/textile-finishing> (consulté le 14 mars 2023).
- [36] Z. O. Basyigit, « Application Technologies for Functional Finishing of Textile Materials », *Textiles for Functional Applications*, p. 101, 2021.
- [37] A. M. Elbadawi et J. S. Pearson, « Foam technology in textile finishing », *Textile Progress*, vol. 33, n° 4, p. 1-31, 2003.
- [38] « Foam technology of finishing ». <https://www.slideshare.net/Vijaymax2/foam-technology-of-finishing> (consulté le 21 avril 2023).
- [39] M. S. Song, J. B. Hou, Y. H. Lu, J. Lin, et D. H. Cheng, « Performance of foam and application in foam finishing of textile », in *Advanced materials research*, Trans Tech Publ, 2013, p. 661-664.
- [40] E. Hoque, S. Acharya, J. Shamshina, et N. Abidi, « Review of foam applications on cotton textiles », *Textile Research Journal*, vol. 93, n° 1-2, p. 486-501, 2023.
- [41] A. Sayed, « What is Foam Finishing Technology | Advantages and Disadvantages ». <https://textileapex.blogspot.com/2015/05/what-is-foam-finishing-technology-advantages-disadvantages.html> (consulté le 21 avril 2023).
- [42] C. G. Namboodri et M. W. Duke, « Foam finishing of cotton-containing textiles », *Textile Research Journal*, vol. 49, n° 3, p. 156-162, 1979.
- [43] A. R. Horrocks, « Flame-retardant finishing of textiles », *Rev. Prog. Coloration*, vol. 16, n° 3, p. 62-66, 1986.
- [44] J. T. Williams, *Waterproof and water repellent textiles and clothing*. Woodhead Publishing, 2017.

- [45] M. Türk, A. Ehrmann, et B. Mahltig, « Water-, oil-, and soil-repellent treatment of textiles, artificial leather, and leather », *The Journal of The Textile Institute*, vol. 106, n° 6, p. 611-620, 2015.
- [46] T. F. Cooke, J. H. Dusenbury, R. H. Kienle, et E. E. Lineken, « Mechanism of imparting wrinkle recovery to cellulosic fabrics », *Textile Research Journal*, vol. 24, n° 12, p. 1015-1036, 1954.
- [47] C. Yu, « Natural textile fibres: vegetable fibres », in *Textiles and Fashion*, Elsevier, 2015, p. 29-56.
- [48] A. K. Roy Choudhury, « 9 - Easy-care finishing », in *Principles of Textile Finishing*, A. K. Roy Choudhury, Éd., Woodhead Publishing, 2017, p. 245-284. doi: 10.1016/B978-0-08-100646-7.00009-6.
- [49] F Talebpour, « Effects of silicone-based softener on the easy-care finished cotton fabric », Department of Textile Industry, Leeds University, Leeds, UK, p. 444-449, septembre 2006.
- [50] « Formaldéhyde. Formaldéhyde : de quoi parle-t-on ? - Risques - INRS ». <https://www.inrs.fr/risques/formaldehyde/formaldehyde-de-quoi-parle-t-on.html> (consulté le 25 avril 2023).
- [51] « DMDHEU, Concentration of the cross linking agent, Pad-Dry-Cure technique, DP rating, Crease recovery angle », *International Journal of Textile Science*, p. 8, 2016.
- [52] K. P. Tang, J. T. Fan, J. F. Zhang, M. K. Sarkar, et C. W. Kan, « Effect of softeners and crosslinking conditions on the performance of easy-care cotton fabrics with different weave constructions », *Fibers Polym*, vol. 14, n° 5, p. 822-831, mai 2013, doi: 10.1007/s12221-013-0822-z.
- [53] A. K. Roy Choudhury, « 6 - Softening », in *Principles of Textile Finishing*, A. K. Roy Choudhury, Éd., Woodhead Publishing, 2017, p. 109-148. doi: 10.1016/B978-0-08-100646-7.00006-0.
- [54] P. Mallinson, « Textile softeners—properties, chemistry, application and testing », *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, vol. 90, n° 2, p. 67-72, 1974.
- [55] Y. Li *et al.*, « Water hardness effect on the association and adsorption of cationic cellulose derivative/anionic surfactant mixtures for fabric softener application », *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 626, p. 127031, 2021.
- [56] R. R. Egan, « Cationic surface active agents as fabric softeners », *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 55, n° 1, p. 118-121, 1978.
- [57] T. Tzanov, R. Betcheva, et I. Hardalov, « Thermophysiological comfort of silicone softeners-treated woven textile materials », *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 11, n° 4, p. 189-197, 1999.
- [58] « Polysiloxanes ». <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Polysiloxanes.html> (consulté le 25 avril 2023).
- [59] H. G. Howell, K. W. Mieszkis, et D. Tabor, « Friction in textiles », 1959.
- [60] M. J. Rosen et J. T. Kunjappu, *Surfactants and interfacial phenomena*. John Wiley & Sons, 2012.
- [61] A. W. Jatoi, Z. Khatri, F. Ahmed, et M. H. Memon, « Effect of Silicone Nano, Nano/Micro and Nano/Macro-Emulsion Softeners on Color Yield and Physical Characteristics of Dyed Cotton Fabric », *J Surfact Deterg*, vol. 18, n° 2, p. 205-211, mars 2015, doi: 10.1007/s11743-014-1647-5.
- [62] D. Mercier, *Le livre des techniques du son*. Eyrolle, 1994.
- [63] B. Staubli, *Nuisances sonores aux postes de travail*. Suva, Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Protection de ..., 2007.
- [64] « Santé et sécurité au travail - INRS ». <https://www.inrs.fr/> (consulté le 9 mars 2023).
- [65] « son ». https://controverses.sciences-po.fr/archive/implantscochleaires/son.html?fbclid=IwAR3qcx_9Gmg3IP34x8m-qYqTT2ujHeZP-c9jugPsLjiv87Zv0clg7kTnLE (consulté le 9 mars 2023).
- [66] J.-D. Bagot, *Information, sensation et perception*, vol. 1. Armand Colin Paris, 1999.
- [67] « NF EN ISO 1683 :Acoustique - Valeurs de référence recommandées pour les niveaux acoustiques et vibratoires », *AFNOR*, 2008.
- [68] J. R. Hassall et K. Zaveri, « Acoustic noise measurements », 1979.
- [69] NF ISO S30-101, *Vocabulaire de l'acoustique - Définitions générales*, 1973.
- [70] G. Pelé, « Etudes sur la perception auditive », *Etudes sur la perception auditive*, p. 1-198, 2012.

- [71] M. Castellengo, « La perception auditive des sons musicaux », *Psychologie de la musique*, p. 55-86, 1994.
- [72] A. Leobon, « Analyse psycho-acoustique du paysage sonore urbain », PhD Thesis, Université Louis Pasteur (Strasbourg)(1971-2008), 1986.
- [73] K. ADJOUT, « Psycho-acoustique du presbyacoustique et applications prothétiques », *l'Audition*, p. 42, 2012.
- [74] H. Fastl et E. Zwicker, *Psychoacoustics: facts and models*, vol. 22. Springer Science & Business Media, 2006.
- [75] H. Fastl, « Psychoacoustic basis of sound quality evaluation and sound engineering », in *The Thirteenth International Congress on Sound and Vibration*, Citeseer, 2006.
- [76] J. Cho et G. Cho, « Determining the Psychoacoustic Parameters That Affect Subjective Sensation of Fabric Sounds at Given Sound Pressures », *Textile Research Journal*, vol. 77, n° 1, p. 29-37, janv. 2007, doi: 10.1177/0040517507074023.
- [77] I. Hauswirth, « Psychoacoustic Analyses I ».
- [78] M. Maurin, « Quelques propos sur le logarithme et le décibel », *Canadian acoustics*, vol. 27, n° 4, p. 9-18, 1999.
- [79] H. Piéron, « Les échelles subjectives peuvent-elles fournir la base d'une nouvelle loi psychophysique? », *L'Année psychologique*, vol. 59, n° 1, p. 1-34, 1959.
- [80] A. Goyé, « La perception auditive », *Polycopié d'enseignement pour Télécom Paris*, 2002.
- [81] « Modulation analogique ». https://public.iutenligne.net/electronique/launay/modulation_analogique/chap3/index.html (consulté le 13 mars 2023).
- [82] « Modulation de fréquence ».
- [83] Beat Staubli, « Nuisances sonores aux postes de travail ». Suva Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents Protection de la santé Case postale, 6002 Lucerne, août 1994. [En ligne]. Disponible sur: <https://re.srb-group.com/web1/images/pdf/infomaterialien/suva-f/66058-f.pdf>
- [84] E.-J. Jin et G.-S. Cho, « Sound Characteristics and Mechanical Properties of Taekwondo Uniform Fabrics », *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, vol. 14, n° 3, p. 486-491, juin 2012, doi: 10.5805/KSCI.2012.14.3.486.
- [85] J. Lee et G. Cho, « Prediction models for audible distance using mechanical and psychoacoustic parameters of combat uniform fabrics », *Fibers Polym*, vol. 15, n° 3, p. 653-658, mars 2014, doi: 10.1007/s12221-014-0653-6.
- [86] E. Lee, S. Han, K. Lee, et G. Cho, « Comparison between fabric frictional sound parameters and wearers' subjective auditory sensibility of PCM-treated combat uniforms », *Fibers Polym*, vol. 16, n° 6, p. 1410-1416, juin 2015, doi: 10.1007/s12221-015-1410-1.
- [87] J. W. Park *et al.*, « Fiber. Polym ». *Fiber. Polym*, 2013.
- [88] S. J. Chai, « Master Dissertation », Yonsei Univ, Seoul, 2004.
- [89] S. Cho et G. Cho, « Minimizing frictional sound of PU-Nanoweb and PTFE film laminated vapor permeable water repellent fabrics », *Fibers and Polymers*, vol. 13, p. 123-129, 2012.
- [90] « Principe du passage de l'analogique au numérique — CultureSciences-Physique - Ressources scientifiques pour l'enseignement des sciences physiques ». <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/principe-numerisation.xml> (consulté le 24 février 2022).
- [91] F. Cottet, *Traitement du signal*. Dunod, 2005.
- [92] « Index of /downloads/fr/Application_Notes/ArtemiS ». https://global.head-acoustics.com/downloads/fr/Application_Notes/ArtemiS/ (consulté le 23 février 2022).
- [93] W. J. Thorsen, « The Spectral Distribution of Sound Produced by Fibers and Fabrics in Friction », *Textile Research Journal*, p. 670-676, 32(9).
- [94] Y. Yang, C. Kim, J. Park, H. You, et G. Cho, « Application of the real fabric frictional speeds to the fabric sound analysis using water repellent fabrics », *Fibers Polym*, vol. 10, n° 4, p. 557-561, août 2009, doi: 10.1007/s12221-009-0557-z.

- [95] Y. Y. J, P. M. R., et C. G. S, « Relationship between frictional sounds and mechanical properties of vapor permeable water repellent fabrics for active wear », *Fashion & Textile Research Journal*, p. 566-571, 10(4).
- [96] I. Kim, K. Lee, et G. Cho, « Response surface methodology for optimizing treatment condition of military combat uniform fabrics with phase change microcapsules to minimize fabric frictional sound and maximize the heat property », *Fibers Polym*, vol. 17, n° 8, p. 1305-1310, août 2016, doi: 10.1007/s12221-016-6383-1.
- [97] A.-M. PENSÉ-LHÉRITIER, « Évaluation sensorielle et formulation », *Formulation*, août 2015, doi: 10.51257/a-v1-j2243.
- [98] « [technorest.org] : Technologie appliquée ». http://technorest.org/tp/ta_as/ (consulté le 28 février 2022).
- [99] C. Genest et C.-É. M'lan, « Deriving priorities from the Bradley-Terry model », *Mathematical and computer modelling*, vol. 29, n° 4, p. 87-102, 1999.
- [100] A.-M. Pense-Lheritier, « Analyse sensorielle et univers cosmetique », *Actu Chim*, p. 323-324, 2008.
- [101] V. AFNOR, « V 09-021 (NF ISO 11035) », *Analyse Sensorielle-Recherche et Selection de Descripteurs pour l'elaboration d'un Profil Sensoriel, par Approche Multidimensionnelle*, p. 351-380.
- [102] M. Carron, « Méthodes et outils pour définir et véhiculer une identité sonore: application au design sonore identitaire de la marque SNCF », PhD Thesis, Paris 6, 2016.
- [103] « Quel outil d'analyse de données sensorielles choisir ? | XLSTAT Support Center ». <https://help.xlstat.com/s/article/quel-outil-analyse-de-donn%C3%A9es-sensorielles-choisir?language=fr> (consulté le 28 février 2022).
- [104] « Les échelles d'intensité en analyse sensorielle », *Délices d'Inities*, 22 octobre 2017. <http://www.delicesdinities.fr/analyse-sensorielle/echelles-intensite-analyse-sensorielle/> (consulté le 21 avril 2023).
- [105] N. ISO, « 5492 (1995). Analyse sensorielle-Vocabulaire », *Contrôle de la qualité des produits alimentaires-Analyse sensorielle*, p. 27-51.
- [106] F. Philippe, L. Schacher, D. C. Adolphe, et C. Dacremont, « Tactile feeling: Sensory analysis applied to textile goods », *Textile research journal*, vol. 74, n° 12, p. 1066-1072, 2004.
- [107] S. Ben Said, « Contribution à l'évaluation par analyse sensorielle du toucher des étoffes: Influence des paramètres de structure, Interaction vue/toucher », PhD Thesis, Mulhouse, 2007.
- [108] W. Abbas, « Contribution à l'étude et l'évaluation de la qualité et du confort au porter de produits confectionnés: Cas de la chemise homme », PhD Thesis, Université de Haute Alsace-Mulhouse, 2014.
- [109] C. Dacremont, « Spectral composition of eating sounds generated by crispy, crunchy and crackly foods », *Journal of texture studies*, vol. 26, n° 1, p. 27-43, 1995.
- [110] M. ALAYRAC, « Indicateurs de gêne sonore pour l'étude d'impact du bruit d'un site industriel: caractérisation physique et perceptives », *Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat*, 2009.
- [111] J. Cho, E. Yi, et G. Cho, « Physiological responses evoked by fabric sounds and related mechanical and acoustical properties », *Textile Research Journal*, vol. 71, n° 12, p. 1068-1073, 2001.
- [112] Y.-J. Yang, C.-J. Kim, et G.-S. Jo, « Subjective evaluation of frictional sounds from sportswear according to speeds of movements », in *Proceedings of the Korean Society for Emotion and Sensibility Conference*, Korean Society for Emotion and Sensibility, 2008, p. 25-29.
- [113] G. Cho, J. G. Casali, et E. Yi, « Effect of fabric sound and touch on human subjective sensation », *Fibers Polym*, vol. 2, n° 4, p. 196-202, déc. 2001, doi: 10.1007/BF02875345.
- [114] Y. Na et G. Cho, « Variations in sensibility to fabric frictional sound by fiber type and subject », *Textile research journal*, vol. 73, n° 9, p. 837-842, 2003.
- [115] K. Yosouf, L. Schacher, et D. C. Adolphe, « New method to characterize the sound generated fabric friction », in *the spring 2014 conference of Fiber Society*, 2014, p. 97-98.

- [116] K. Yosouf, H. Latroch, L. Schacher, D. C. Adolphe, E. Drean, et V. Zimpfer, « Frictional sound analysis by simulating the human arm movement », *AUTEX Research Journal*, vol. 17, n° 1, p. 12-19, 2017.
- [117] F. Leclinche, D. Adolphe, E. Drean, L. Schacher, et V. Zimpfer, « Washing and Wearing Processes Effects on Soldiers Uniforms Friction Sound Characterization », in *Fiber Society 2018 Spring Conference: Fibers and Textiles for Value Creation in Connected Industries*, The Fiber Society, 2018.
- [118] F. T. Peirce, « 26—The “handle” of cloth as a measurable quantity », *Journal of the Textile Institute Transactions*, vol. 21, n° 9, p. T377-T416, 1930.
- [119] H. Binns, « The discrimination of wool fabrics by the sense of touch », *British Journal of Psychology*, vol. 16, n° 3, p. 237, 1926.
- [120] H. Bogaty, N. R. Hollies, et M. Harris, « The judgment of harshness of fabrics », *Textile Research Journal*, vol. 26, n° 5, p. 355-360, 1956.
- [121] W. S. Howorth, « 23—THE HANDLE OF SUITING, LINGERIE, AND DRESS FABRICS », *Journal of the Textile Institute Transactions*, vol. 55, n° 4, p. T251-T260, 1964.
- [122] R. H. Brand, « Measurement of fabric aesthetics: Analysis of aesthetic components », *Textile Research Journal*, vol. 34, n° 9, p. 791-804, 1964.
- [123] V. H. Dawes et J. D. Owen, « Assessment of fabric handle. 1. stiffness and liveliness », *Journal of the Textile Institute*, vol. 62, n° 5, p. 233, 1971.
- [124] G. Winakor, C. J. Kim, et L. Wolins, « Fabric hand: Tactile sensory assessment », *Textile Research Journal*, vol. 50, n° 10, p. 601-610, 1980.
- [125] T. Harada, M. Saito, A. Tsutsumi, et T. Matsuo, « Measurement of fabric hand by sensory method and inspection on its effectiveness for worsted woven fabrics », *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, vol. 43, n° 2, p. 47-54, 1997.
- [126] 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 », PhD Thesis, Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 2005.
- [127] F. Thongsoume, « Contribution à l’évaluation tactile des produits textiles par analyse sensorielle », PhD Thesis, Mulhouse, 2002.
- [128] R. Chollakup, « Etude des mélanges soie-coton en filature fibres courtes: caractéristiques des fils et analyse sensorielle des tricots PhD Thesis Université de Haute Alsace ». Mulhouse, 2004.
- [129] AFNOR, *Textiles - Atmosphères normales de conditionnement et d’essai*. 2005.
- [130] « NF EN 1049-2 », *Afnor EDITIONS*. <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-en-10492/textiles-woven-fabrics-construction-methods-of-analysis-part-2-determinatio/fa028032/223> (consulté le 27 octobre 2022).
- [131] « NF G07-150 », *Afnor EDITIONS*. <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-g07150/textiles-tests-for-fabrics-method-for-the-determination-of-the-surface-dens/fa031489/53863> (consulté le 27 octobre 2022).
- [132] « Home - GOTS ». <https://global-standard.org/> (consulté le 17 mars 2023).
- [133] M. Kamruzzaman, M. Eman Talukder, N. Manikandan, M. Forhad Hossain, Asaduzzaman, et Muhammad, « DMDHEU, Concentration of the cross linking agent, Pad-Dry-Cure technique, DP rating, Crease recovery angle », *International Journal of Textile Science*, p. 8, 2016.
- [134] J. Bergström, « 2 - Experimental Characterization Techniques », in *Mechanics of Solid Polymers*, J. Bergström, Éd., William Andrew Publishing, 2015, p. 19-114. doi: 10.1016/B978-0-323-31150-2.00002-9.
- [135] D. Félix, *EVALUATION SENSORIELLE: manuel méthodologique (collection sciences & techniques agroalimentaires)*. Lavoisier, 2009.
- [136] J. Barthelemy et J. F. Clement, *Evaluation sensorielle: Manuel méthodologique*. TEC-DOC Lavoisier, 1998.
- [137] AFNOR, *NF EN ISO 9237 :Textiles - Détermination de la perméabilité à l’air des étoffes*. 1995.
- [138] « Brüel & Kjær | B&K | Mesures de bruit et vibrations ». <https://www.bksv.com/fr?gclid=Cj0KCQjwn9CgBhDjARIsAD15h0B-0HQMyY3VrSglkH->

- pDiO29fTWIUCg_4JRmU1spu3LOy60us2b5b8aAmALEALw_wcB&utm_campaign=mc_fr_brand&utm_medium=cpc&utm_source=google (consulté le 17 mars 2023).
- [139] E. Zwicker, H. Fastl, U. Widmann, K. Kurakata, S. Kuwano, et S. Namba, « Program for calculating loudness according to DIN 45631 (ISO 532B) », *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, vol. 12, n° 1, p. 39-42, 1991.
- [140] L. Støhle et S. Wold, « Analysis of variance (ANOVA) », *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 6, n° 4, p. 259-272, nov. 1989, doi: 10.1016/0169-7439(89)80095-4.
- [141] L. S. Kao et C. E. Green, « Analysis of variance: is there a difference in means and what does it mean? », *Journal of Surgical Research*, vol. 144, n° 1, p. 158-170, 2008.
- [142] A. XLSTAT, « Principal Component Analysis (PCA) », *XLSTAT, Your data analysis solution*. <https://www.xlstat.com/en/solutions/features/principal-component-analysis-pca> (consulté le 11 septembre 2021).
- [143] M. Ringnér, « What is principal component analysis? », *Nature biotechnology*, vol. 26, n° 3, p. 303-304, 2008.
- [144] R. Bro et A. K. Smilde, « Principal component analysis », *Analytical methods*, vol. 6, n° 9, p. 2812-2831, 2014.

Annexes

Annexe A. Analyse sensorielle sonore

1-Grave-Aigu



2-Lent-Rapide



3-Monotone-Polyphonique



4-Homogène-Disharmonique



5-Peinant-Energique



6-Sourd-Intensif



7-Rythmé



8-Grattage



9-Sciage : le bruit provoqué au sciage du bois



10-Abrasif : le bruit de frottement de papier de verre



11-Résonnant



Figure A 1 : Formulaire d'évaluation sensorielle sonore

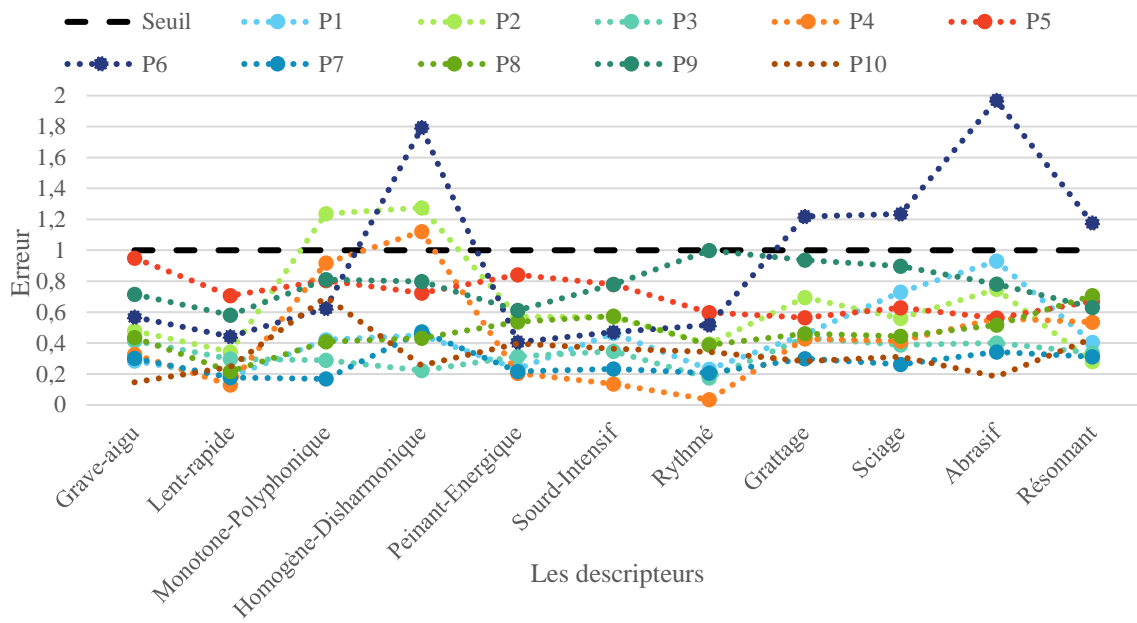


Figure A 2 : L'erreur résiduel des panélistes pour les descripteurs sensoriels sonores pendant la répétition n° 2

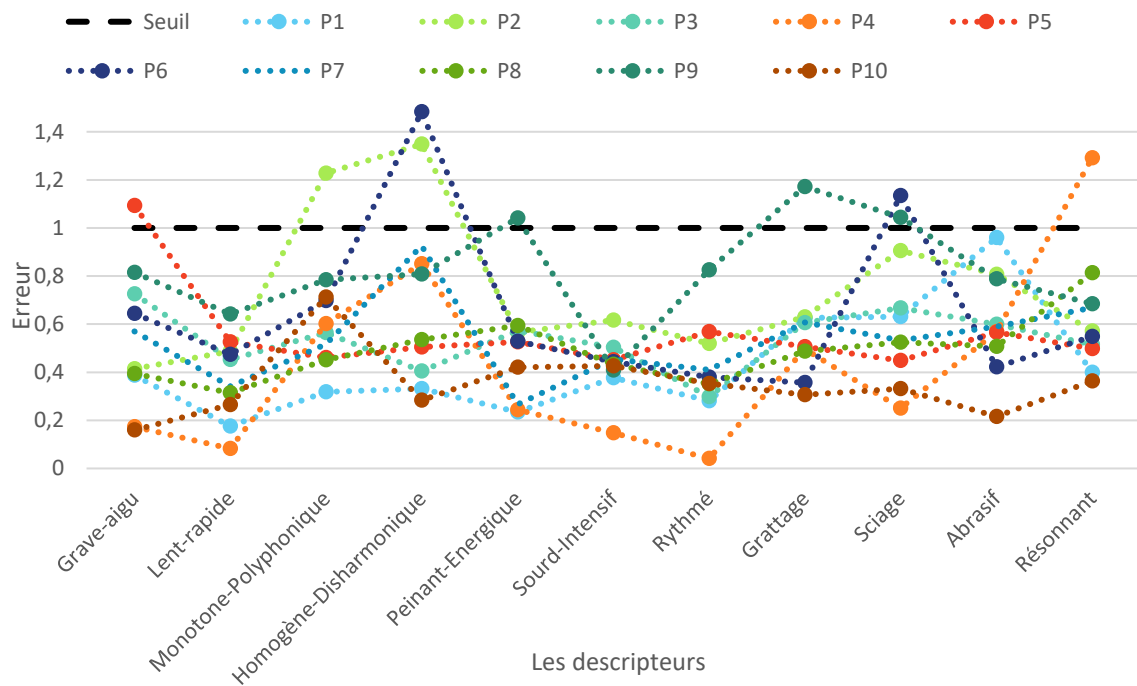


Figure A 3: Erreur résiduel des panélistes pour les descripteurs sensoriels sonores pendant la répétition n° 3

Tableau A 1 : Pouvoir de discrimination lors de la deuxième répétition




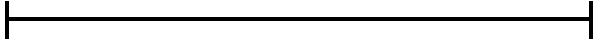







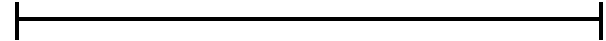
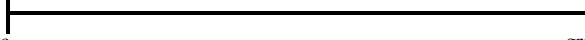

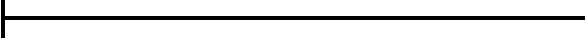
Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Grave-aigu	0,057	0,502	0,013	0,041	0,006	0,040	0,077	0,008	0,009	0,040
Lent-rapide	0,076	0,003	0,006	0,432	0,005	0,209	<0,0001	0,000	0,002	0,007
Monotone-Polyphonique	0,005	0,448	0,000	0,000	0,064	0,138	0,082	0,411	0,741	0,631
Homogène-Disharmonique	0,006	0,519	<0,0001	0,362	0,006	0,686	0,170	0,590	0,145	0,869
Peinant-Energique	0,029	0,218	0,013	0,006	0,000	0,006	<0,0001	0,300	0,335	0,039
Sourd-intensif	0,199	0,198	0,009	0,004	0,003	0,365	<0,0001	0,145	0,494	0,123
Rythmé	0,067	0,009	0,012	0,036	0,000	0,670	<0,0001	0,640	0,457	0,052
Grattage	0,086	0,009	0,031	0,238	0,086	0,571	0,001	0,175	0,080	0,232
Sciage	0,018	0,123	0,009	0,329	0,234	0,446	0,009	0,394	0,068	0,059
Abrasif	0,097	0,997	0,355	0,247	0,106	0,122	0,002	0,041	0,169	0,316
Résonnant	0,001	0,347	0,000	0,903	0,103	0,466	<0,0001	0,388	0,066	0,772

Tableau A 2 : Pouvoir de discrimination lors de la troisième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Grave-aigu	0,614	0,084	0,508	0,010	0,265	0,104	0,842	0,001	0,033	0,138
Lent-rapide	0,003	0,196	0,123	0,058	0,000	0,069	0,004	0,002	0,088	0,016
Monotone-Polyphonique	0,001	0,655	0,014	0,000	<0,0001	0,216	0,974	0,527	0,802	0,668
Homogène-Disharmonique	0,001	0,284	0,000	0,698	0,000	0,452	0,502	0,085	0,373	0,721
Peinant-Energique	0,016	0,053	0,443	0,023	<0,0001	0,037	<0,0001	0,285	0,416	0,158
Sourd-intensif	0,059	0,236	0,244	0,731	<0,0001	0,208	0,005	0,011	0,093	0,501
Rythmé	0,047	0,132	0,267	0,129	0,001	0,376	<0,0001	0,232	0,027	0,369
Grattage	0,884	0,423	0,304	0,294	0,028	0,994	0,743	0,115	0,749	0,074
Sciage	0,046	0,552	0,373	0,864	0,002	0,720	0,672	0,179	0,215	0,058
Abrasif	0,884	0,714	0,761	0,701	0,231	0,047	0,324	0,046	0,161	0,373
Résonnant	0,009	0,500	0,082	0,519	0,008	0,407	0,080	0,799	0,171	0,288

Annexe B. Analyse sensorielle tactile

Tableau B. 1 : Formulaire de l'analyse sensorielle tactile

Caractérisation du toucher	Produit :
<p>1- Froid-Chaud : Sensation chaud-froid</p> <p>Chaud Froid</p> 	<p>9- Relief : Evaluation des différents reliefs à la surface de l'échantillon : creux ou bosse ou moins importantes. Modes opération : avec les ongles, juger s'il y a des reliefs, et quantifier par rapport à la densité.</p> <p>Pas du tout relief Extrêmement relief</p> 
<p>2- Fin- Epais</p> <p>Fin Epais</p> 	<p>10- Leger-Lourd</p> <p>Léger Lourd</p> 
<p>3- Collant : Mode opération : avec le doigt, appliquer une pression sur le tissu et juger si le doigt reste collé.</p> <p>Pas du tout collant Extrêmement collant</p> 	<p>11- Souple-Rigide</p> <p>Souple Rigide</p> 
<p>4- Glissant : Mode opération : le tissu à plat, faire glisser les paumes des mains</p> <p>Pas du tout glissant Extrêmement glissant</p> 	<p>12- Elastique : Mode opération : Pour juger si le tissu est élastique, tirer les deux côtés du tissu uniquement dans le sens de la longueur.</p> <p>Pas du tout élastique Extrêmement élastique</p> 
<p>5- Doux : effecteur avec le bout des doigts</p> <p>Pas du tout doux Extrêmement doux</p> 	<p>13- Tombant : Mode opération : Tenir le tissu par le milieu avec 2 doigts, et avec l'autre main juger s'il tombe bien.</p> <p>Pas du tout tombant Extrêmement tombant</p> 
<p>6- Granuleux : Mode opération : Toucher avec le bout des doigts et/ou les ongles, s'il y a des grains en surface, il est granuleux. Quantification par rapport à la densité des grains.</p> <p>Pas du tout granuleux Extrêmement granuleux</p> 	<p>14- Nerveux : Mode d'opération : On met le tissu en boule, s'il reprend sa forme originelle tout seul rapidement sans être déformé, il est nerveux.</p> <p>Pas du tout nerveux Extrêmement nerveux</p> 
<p>7- Sec-gras</p> <p>Sec gras</p> 	<p>15- Froissable : Mode opération : on met en boule le tissu, on le déplie, s'il a des plis : il est froissable.</p> <p>Pas du tout froissable Extrêmement froissable</p> 
<p>8- Pileux : densité des fibres qui dépassent</p> <p>Pas du tout pileux Extrêmement pileux</p> 	

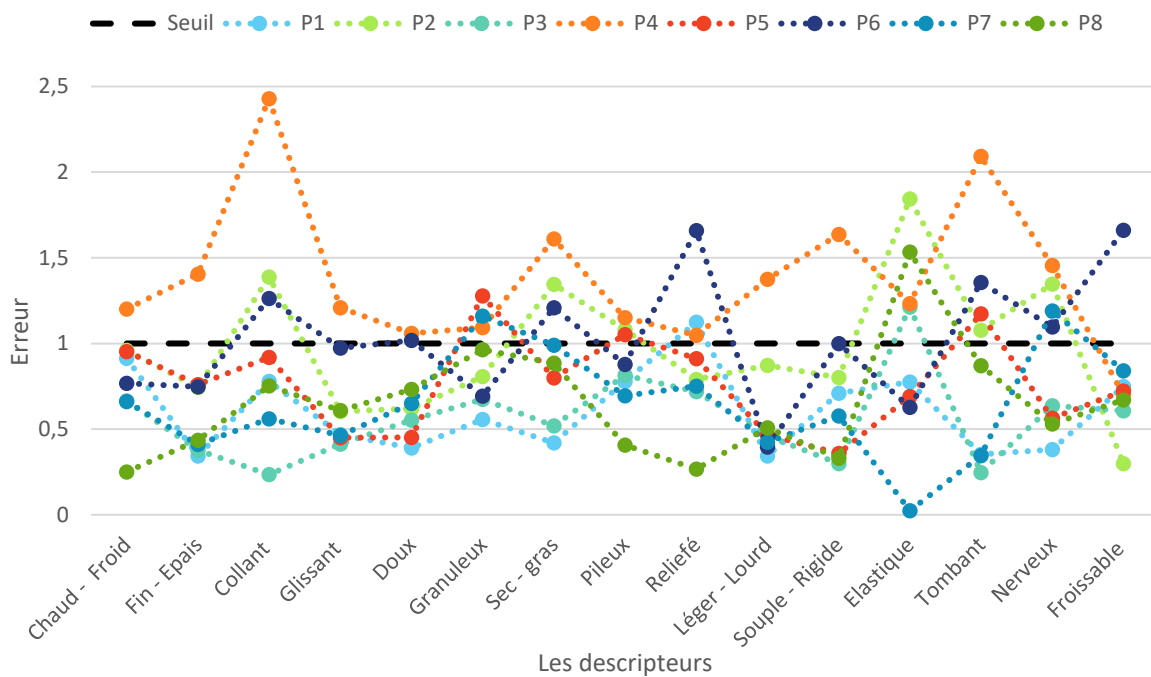


Figure B. 1 : Erreur résiduelle des panélistes pour les descripteurs sensoriels tactiles pendant la répétition n° 2

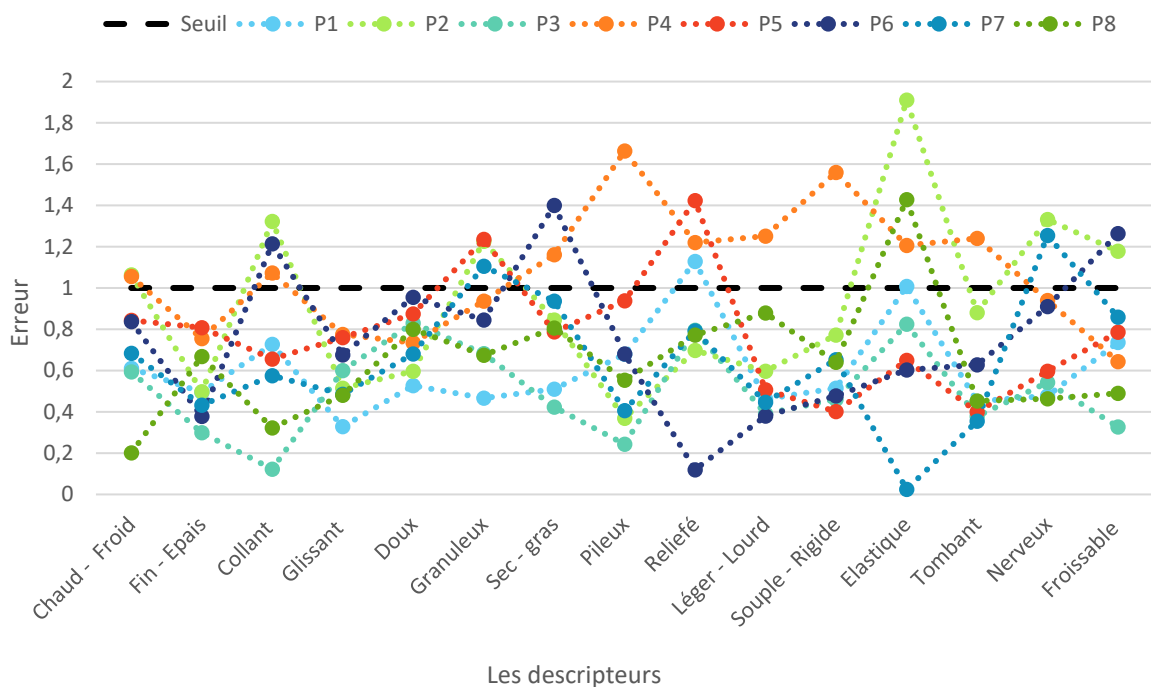


Figure B. 2 : Erreur résiduelle des panélistes pour les descripteurs sensoriels tactiles pendant la répétition n° 3

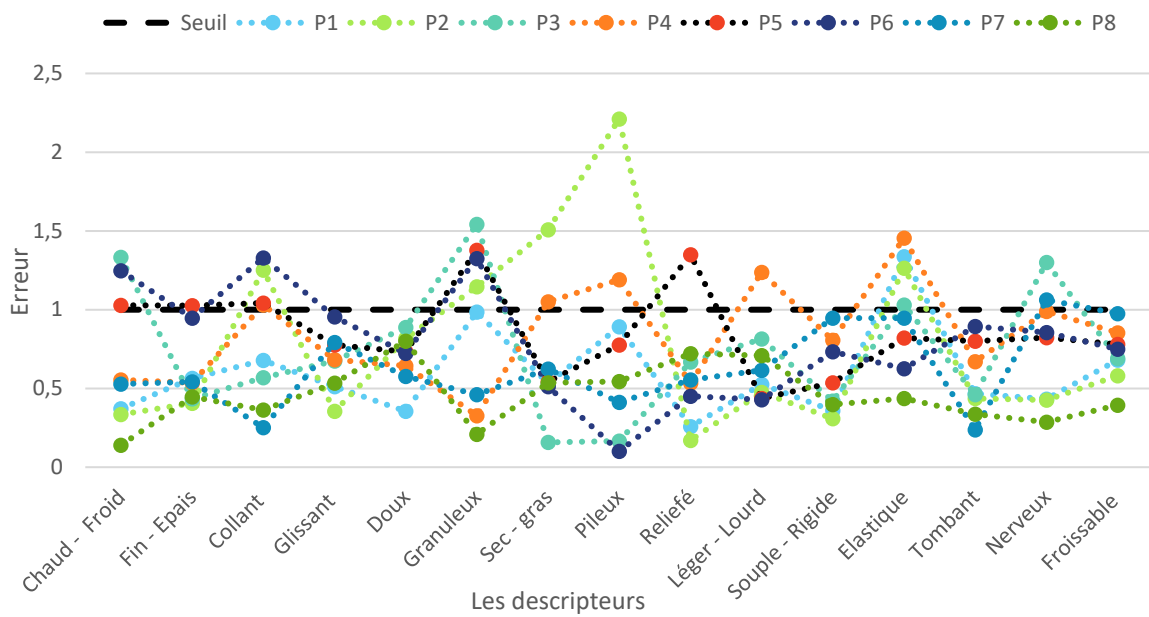


Figure B. 3 : Erreur résiduelle des panélistes pour les descripteurs sensoriels tactiles pendant la répétition n° 4

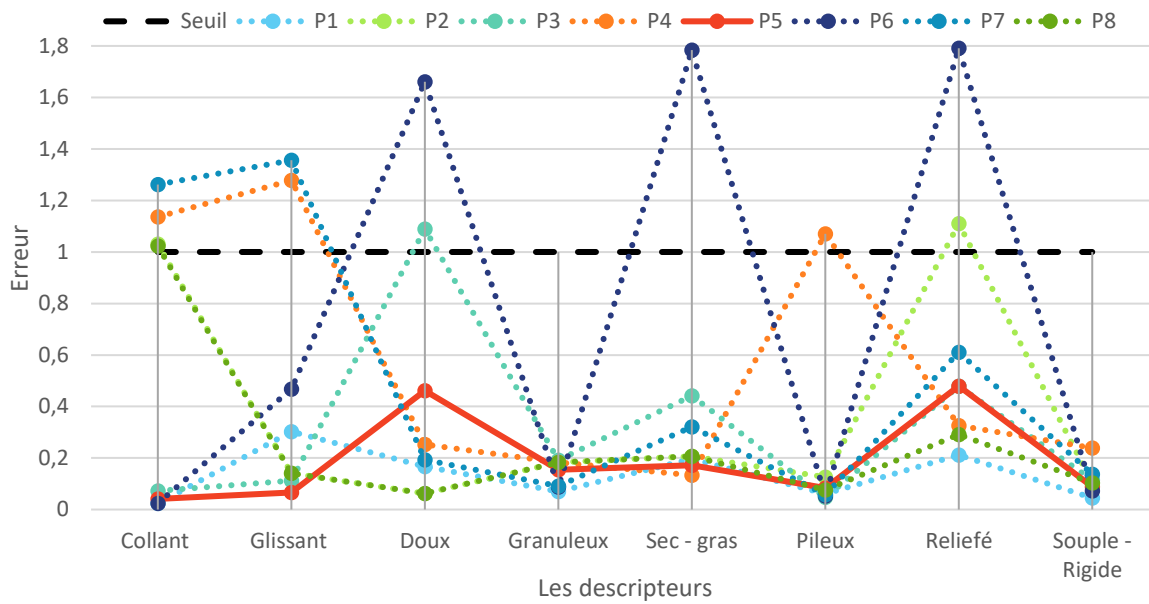


Figure B. 4 : Erreur résiduelle des panélistes pour les descripteurs sensoriels tactiles pendant la répétition n° 6

Tableau B. 2 : Pouvoir de discrimination lors de la deuxième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Chaud - Froid	0,970	0,187	0,309	1,000	0,706	0,028	0,257	0,664
Fin - Epais	0,001	0,007	<0,0001	0,004	0,002	0,013	0,000	0,001
Collant	0,920	0,170	0,082	0,990	0,822	0,266	0,476	0,455
Glissant	0,034	0,017	0,041	0,189	0,001	0,178	0,090	0,233
Doux	0,007	0,019	0,374	0,032	0,001	0,375	0,887	0,053
Granuleux	0,010	0,626	0,103	0,006	0,405	0,008	0,025	0,272
Sec - gras	0,096	0,543	0,009	0,004	0,158	0,634	0,006	0,120
Pileux	0,127	0,336	0,616	0,242	0,050	0,143	0,399	0,023
Reliefé	0,057	0,045	0,003	0,135	0,008	0,036	0,000	<0,0001
Léger - Lourd	<0,0001	0,069	0,000	0,661	0,002	<0,0001	0,000	0,001
Souple - Rigide	0,176	0,013	<0,0001	0,440	0,001	0,022	0,032	<0,0001
Elastique	0,002	0,557	0,134	0,034	0,002	0,000	<0,0001	0,751
Tombant	0,000	0,188	0,000	0,548	0,351	0,486	0,046	0,074
Nerveux	0,000	0,627	0,048	0,366	0,082	0,216	0,247	0,004
Froissable	0,144	<0,0001	0,407	0,322	0,018	0,871	0,009	0,044

Tableau B. 3 : Pouvoir de discrimination lors de la troisième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Chaud - Froid	0,040	0,045	0,019	0,002	0,590	0,129	0,171	0,816
Fin - Epais	0,003	0,001	0,001	<0,0001	0,002	0,000	0,000	0,004
Collant	0,007	0,407	0,388	0,009	0,324	0,025	0,500	0,410
Glissant	0,041	0,003	0,125	0,001	0,010	0,188	0,377	0,001
Doux	0,001	0,021	0,019	0,014	0,047	0,002	0,004	0,041
Granuleux	0,033	0,210	0,040	<0,0001	0,052	0,004	0,006	0,001
Sec - gras	0,114	0,500	0,301	0,047	0,092	0,697	0,049	0,511
Pileux	0,246	0,532	0,063	0,128	0,015	0,073	0,384	0,008
Reliefé	<0,0001	0,087	0,001	<0,0001	0,002	0,029	0,017	0,001
Léger - Lourd	0,027	<0,0001	0,000	<0,0001	0,006	<0,0001	0,027	0,000
Souple - Rigide	0,013	0,012	0,000	0,000	0,004	0,001	0,002	0,001
Elastique	0,000	0,588	0,011	0,000	0,597	0,000	<0,0001	<0,0001
Tombant	0,001	0,010	0,012	0,000	0,032	0,003	0,001	<0,0001
Nerveux	0,000	0,191	0,086	0,004	0,050	0,015	0,008	0,000
Froissable	0,002	0,006	0,474	0,307	0,003	0,000	<0,0001	0,000

Tableau B. 4 : Pouvoir de discrimination lors de la quatrième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Chaud - Froid	0,040	0,045	0,019	0,002	0,590	0,129	0,171	0,816
Fin - Epais	0,003	0,001	0,001	<0,0001	0,002	0,000	0,000	0,004
Collant	0,007	0,407	0,388	0,009	0,324	0,025	0,500	0,410
Glissant	0,041	0,003	0,125	0,001	0,010	0,188	0,377	0,001
Doux	0,001	0,021	0,019	0,014	0,047	0,002	0,004	0,041
Granuleux	0,033	0,210	0,040	<0,0001	0,052	0,004	0,006	0,001
Sec - gras	0,114	0,500	0,301	0,047	0,092	0,697	0,049	0,511
Pileux	0,246	0,532	0,063	0,128	0,015	0,073	0,384	0,008
Reliefé	<0,0001	0,087	0,001	<0,0001	0,002	0,029	0,017	0,001
Léger - Lourd	0,027	<0,0001	0,000	<0,0001	0,006	<0,0001	0,027	0,000
Souple - Rigide	0,013	0,012	0,000	0,000	0,004	0,001	0,002	0,001
Elastique	0,000	0,588	0,011	0,000	0,597	0,000	<0,0001	<0,0001
Tombant	0,001	0,010	0,012	0,000	0,032	0,003	0,001	<0,0001
Nerveux	0,000	0,191	0,086	0,004	0,050	0,015	0,008	0,000
Froissable	0,002	0,006	0,474	0,307	0,003	0,000	<0,0001	0,000

Tableau B. 5 : Pouvoir de discrimination lors de la septième répétition

Descripteurs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Collant	0,000	<0,0001	0,011	0,002	0,000	<0,0001	0,008	<0,0001
Glissant	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,000	<0,0001	<0,0001
Doux	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	0,010	0,094	<0,0001	<0,0001
Granuleux	<0,0001	<0,0001	0,000	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sec - gras	<0,0001	0,000	0,003	<0,0001	<0,0001	0,395	0,001	0,000
Pileux	0,001	0,027	0,000	<0,0001	0,007	0,001	0,003	0,001
Reliefé	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,251	0,000	<0,0001
Souple - Rigide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Annexe C. Spectres du bruit de frottement

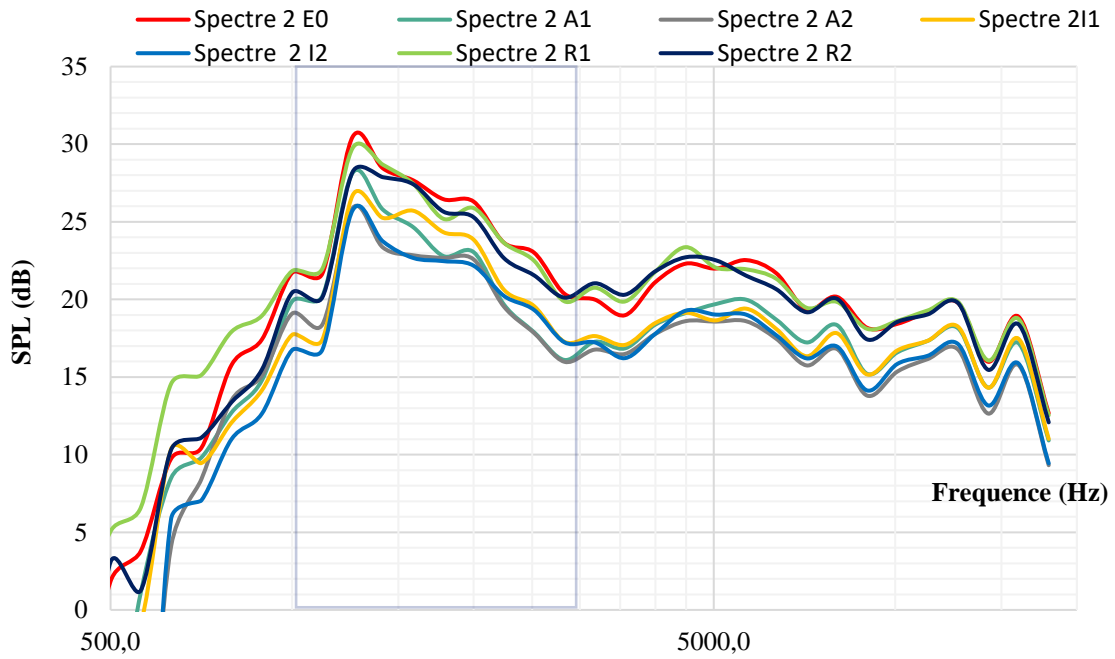


Figure C. 1 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 2 à l'état brut et suite au traitements adoucissants et réticulant

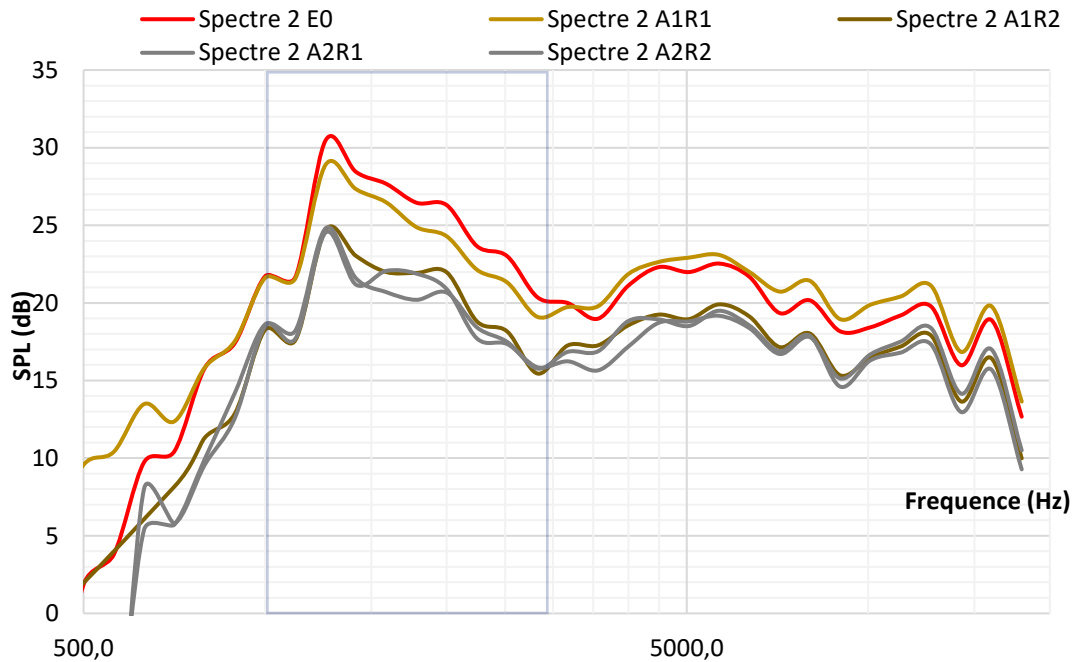


Figure C. 2: Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 2 à l'état brut et suite à des traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant

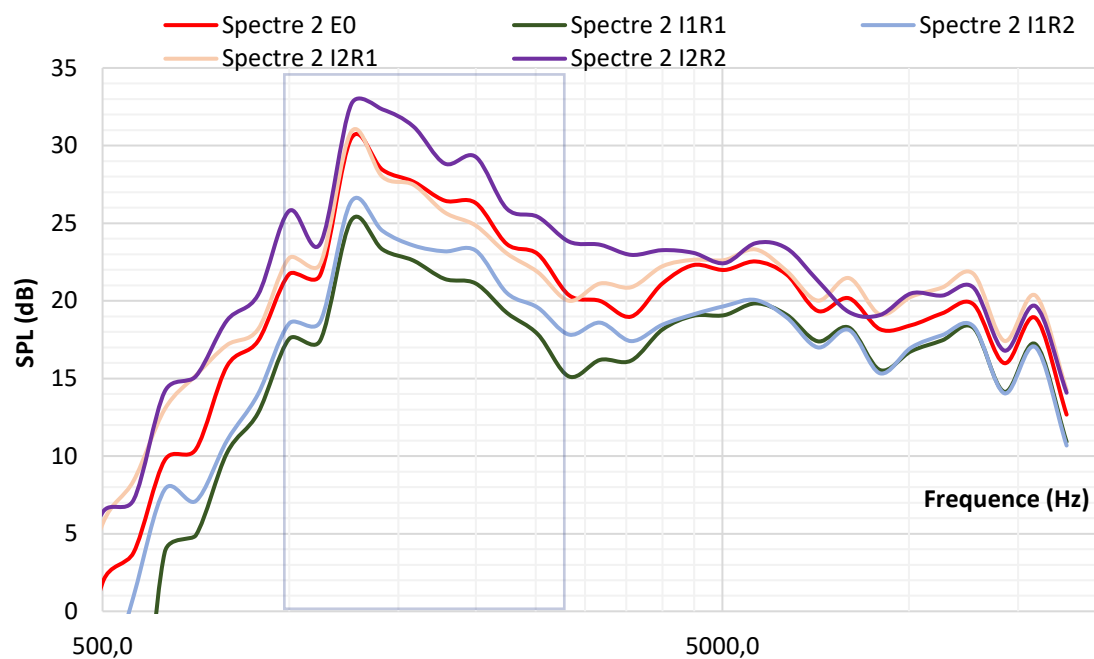


Figure C. 3 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 2 à l'état brut et suite à des traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant

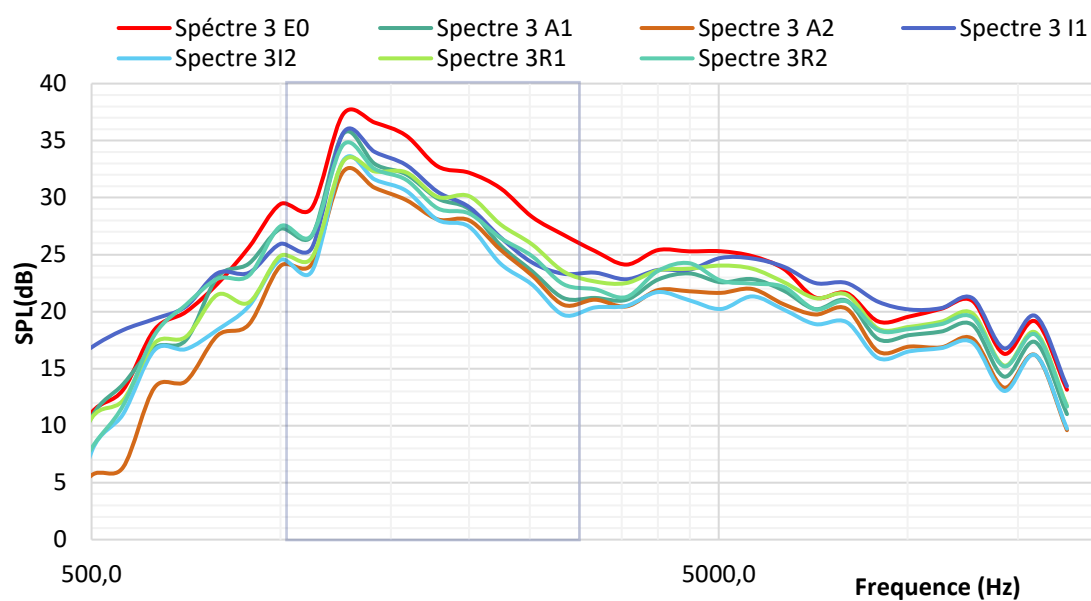


Figure C. 4 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 3 à l'état brut et suite à au traitements adoucissants

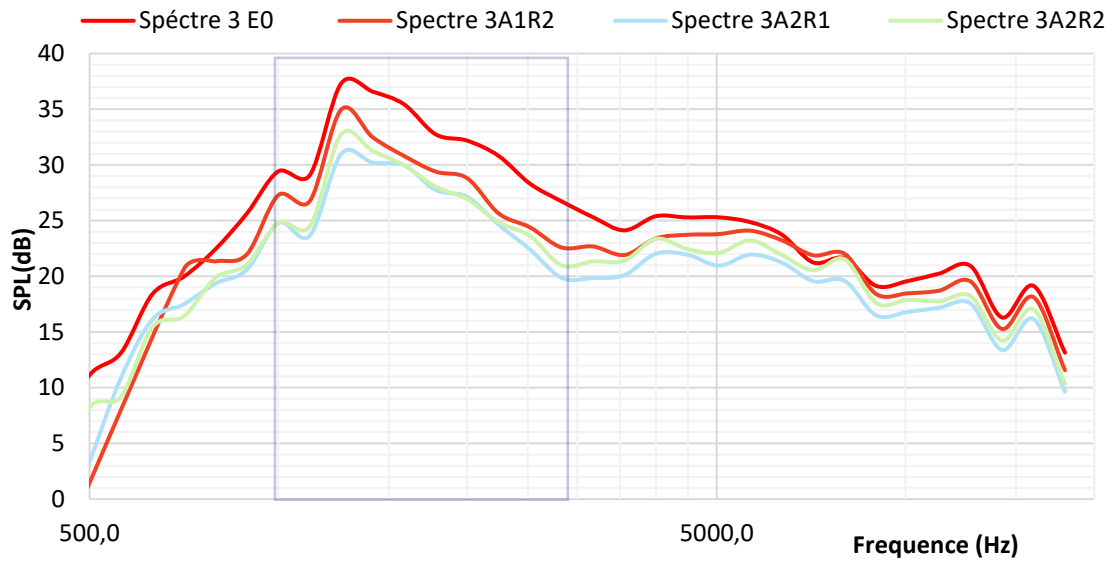


Figure C. 5 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 3 à l'état brut et suite à des traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant

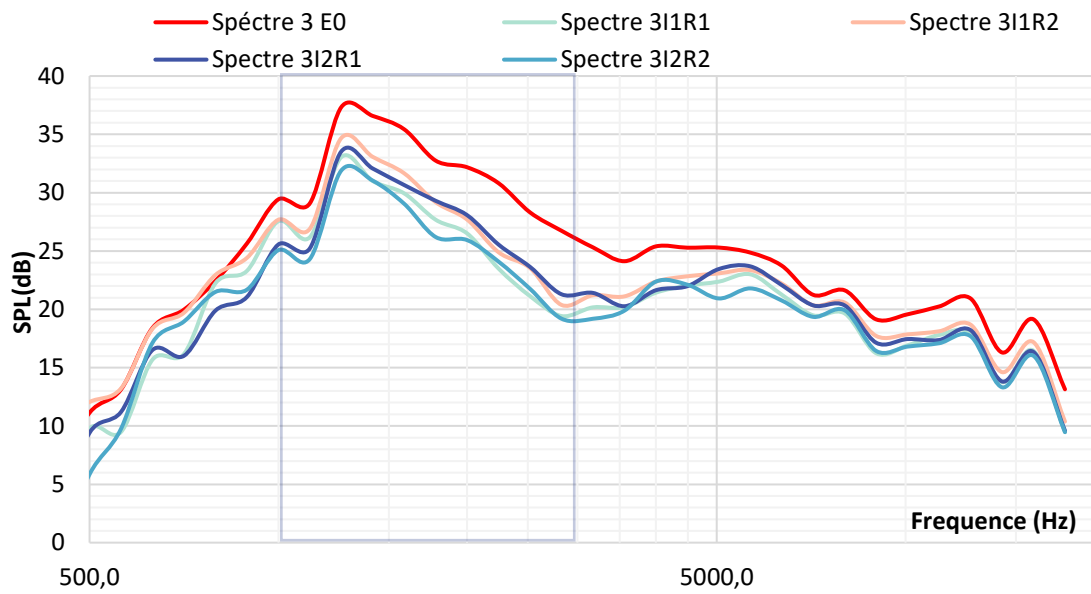


Figure C. 6 : Comparaison entre les spectres du bruit de frottement du tissu 3 à l'état brut et suite à des traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant

Annexe D. Propriétés de surface et de compression

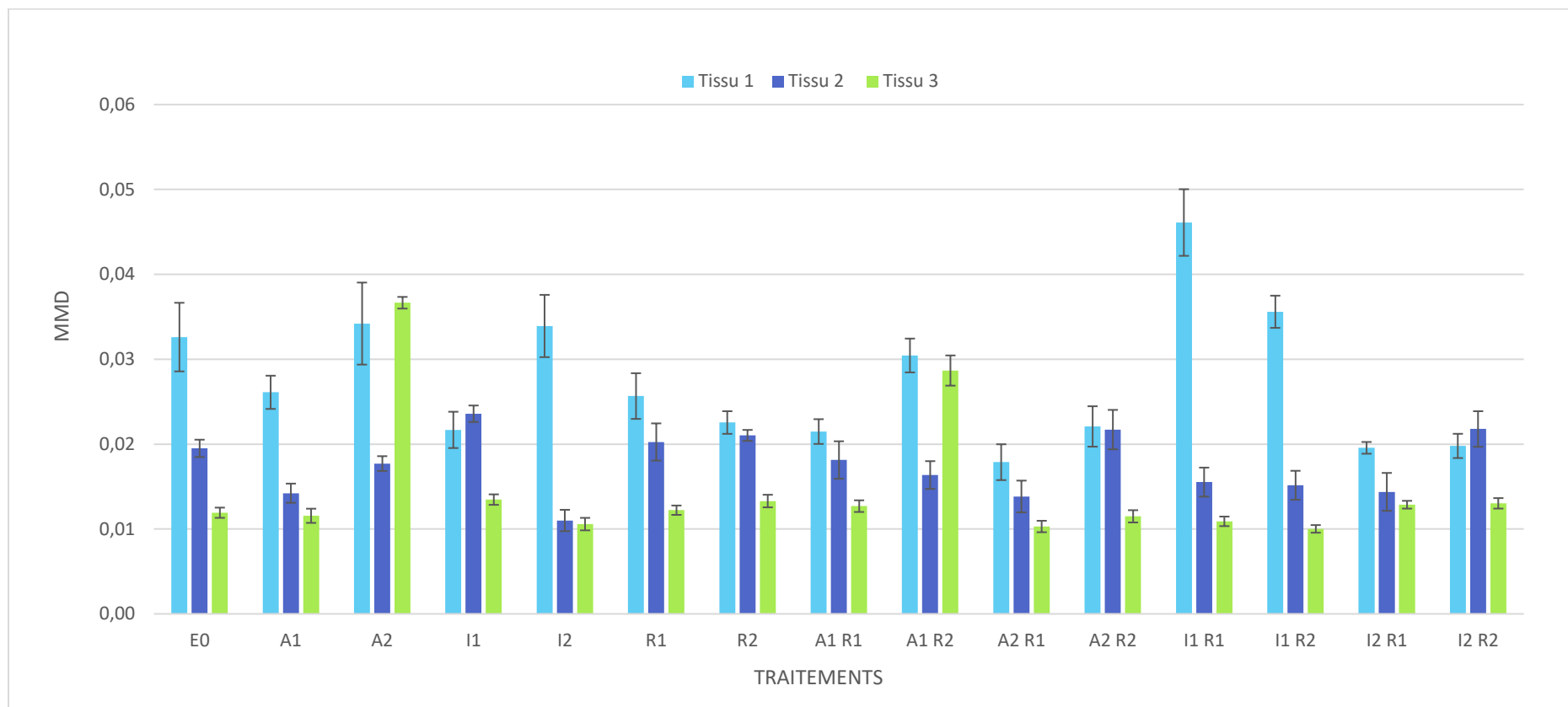


Figure D. 1 : Effet des traitements sur MMD

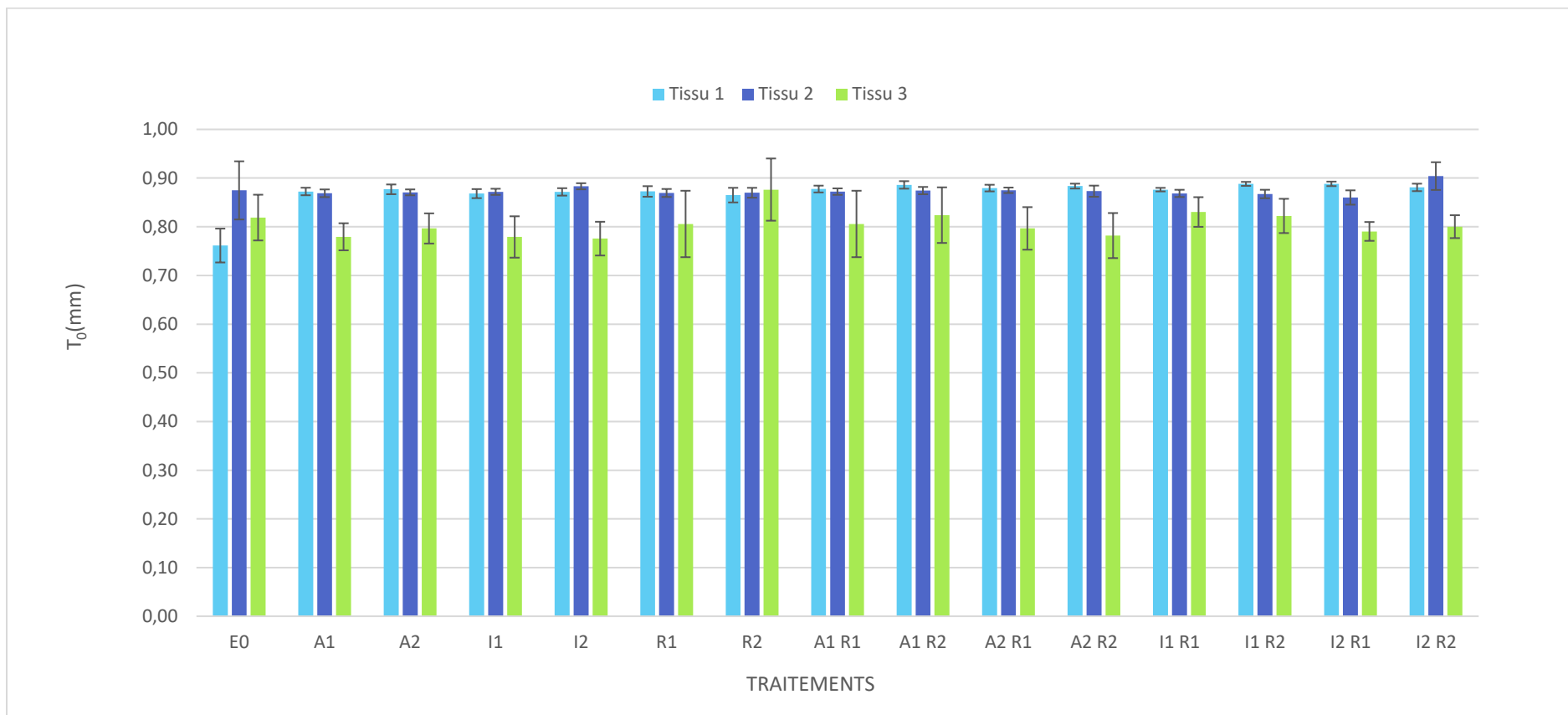


Figure D. 2 : Effet des traitements sur l'épaisseur des étoffes

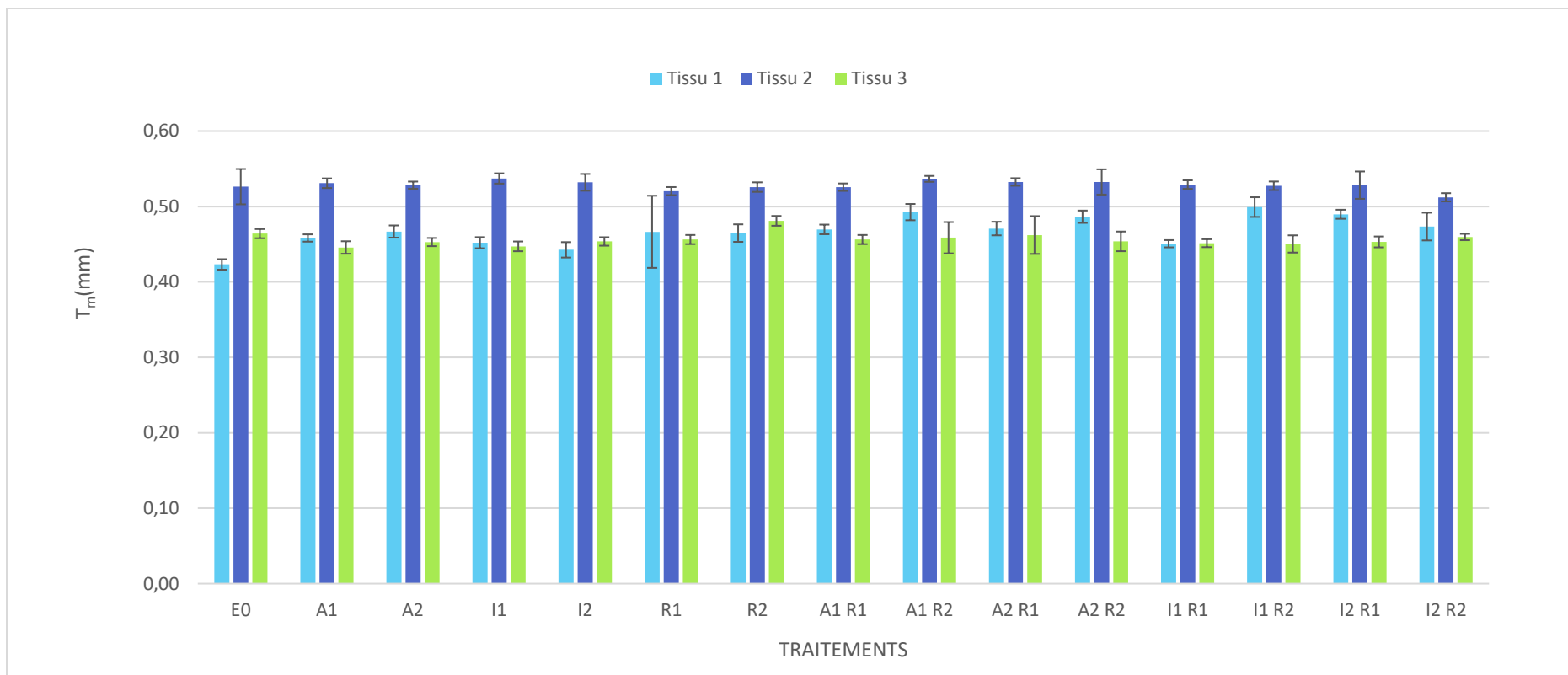


Figure D. 3 : Effet des traitements sur l'épaisseur des étoffes à 5 kPa

Tableau D. 1 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements individuels sur les propriétés de l'état de surface du tissu 1

MIU

p-values : Tissu n°1

	A1	A2	E0
A1	1	0,024	<0,0001
A2		1	<0,0001
E0			1

p-values :

	E0	R1	R2
E0	1	0,053	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

P-values:

	E0	I1	I2
E0	0	0,000	-0,011
I1		0	-0,011
I2			0

MMD

p-values : Tissu n° 1

	A1	A2	E0
A1	1	<0,0001	<0,0001
A2		1	0,198
E0			1

p-values :

	E0	R1	R2
E0	1	<0,0001	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

p-values :

	E0	I1	I2
E0	1	<0,0001	0,260
I1		1	<0,0001
I2			1

SMD

p-values : Tissu n° 1

	A1	A2	E0
A1	1	<0,0001	0,063
A2		1	<0,0001
E0			1

p-values :

	E0	R1	R2
E0	1	0,810	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

p-values :

	E0	I1	I2
E0	1	0,203	<0,0001
I1		1	<0,0001
I2			1

Tableau D. 2 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinés sur les propriétés de l'état de surface du tissu 1

MIU

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,456	<0,0001	0,145
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	<0,0001	0,418
A2R2				1	<0,0001
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,528	<0,0001	0,000	0,517
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	0,141
I1R2			1	0,001	<0,0001
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

MMD

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	<0,0001	0,392	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	0,019
A2R1			1	<0,0001	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	0,013	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	<0,0001
I2R1				1	0,584
I2R2					0,584

SMD

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	0,081	0,018
A2R2				1	0,737
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	<0,0001
I2R1				1	0,001
I2R2					1

Tableau D. 3 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements individuels sur les propriétés de l'état de surface du tissu 2

MIU

p-values : Tissu n°1

	A1	A2	E0
A1	1	0,024	<0,0001
A2		1	<0,0001
E0			1

p-values :

	E0	R1	R2
E0	1	0,053	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

P-values:

	E0	I1	I2
E0	0	0,000	-0,011
I1		0	-0,011
I2			0

MMD

p-values : Tissu n° 1

	A1	A2	E0
A1	1	<0,0001	<0,0001
A2		1	0,198
E0			1

p-values :

	E0	R1	R2
E0	1	<0,0001	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

p-values :

	E0	I1	I2
E0	1	<0,0001	0,260
I1		1	<0,0001
I2			1

SMD

p-values : Tissu n° 1

	A1	A2	E0
A1	1	<0,0001	0,063
A2		1	<0,0001
E0			1

p-values :

	E0	R1	R2
E0	1	0,810	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

p-values :

	E0	I1	I2
E0	1	0,203	<0,0001
I1		1	<0,0001
I2			1

Tableau D. 4 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinés sur les propriétés de l'état de surface du tissu 2

MIU

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	<0,0001	0,000	0,334
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	<0,0001	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,246	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	<0,0001
I2R1				1	0,001
I2R2					1

MMD

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,005	<0,0001	<0,0001	0,007
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	<0,0001	<0,0001
A2R2				1	0,000
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,453	0,044	<0,0001
I1R2			1	0,138	<0,0001
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

SMD

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,937	0,002	0,144
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	0,005	0,214
A2R2				1	0,000
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	0,001	<0,0001
I1R1		1	0,133	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	<0,0001
I2R1				1	0,022
I2R2					1

Tableau D. 5 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements individuels sur les propriétés de l'état de surface du tissu 3

MIU

	A1	A2	E0
A1	1	<0,0001	0,007
A2		1	<0,0001
E0			1

	E0	I1	I2
E0	1	0,000	<0,0001
I1		1	0,373
I2			1

	E0	R1	R2
E0	1	0,085	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

MMD

	A1	A2	E0
A1	1	0,031	0,087
A2		1	0,033
E0			1

	E0	I1	I2
E0	1	0,690	<0,0001
I1		1	0,458
I2			1

	E0	R1	R2
E0	1	0,093	<0,0001
R1		1	<0,0001
R2			1

SMD

	A1	A2	E0
A1	1	<0,0001	<0,0001
A2		1	<0,0001
E0			1

	E0	I1	I2
E0	1	<0,0001	<0,0001
I1		1	0,197
I2			1

	E0	R1	R2
E0	1	0,013	0,009
R1		1	0,947
R2			1

Tableau D. 6 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinés sur les propriétés de l'état de surface du tissu 2

MIU

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,040	0,060	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	0,831	0,003
A2R2				1	0,013
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,377
I1R1		1	0,021	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	<0,0001
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

MMD

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	0,000	<0,0001
A2R2				1	0,063
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	<0,0001
I2R1				1	0,358
I2R2					1

SMD

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
A2R1			1	0,962	0,076
A2R2				1	0,082
E0					1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,091
I1R1		1	0,187	0,439	<0,0001
I1R2			1	0,026	0,000
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

Tableau D. 7 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements individuels sur les propriétés de compression du tissu 1

LC				RC				Tm			
A1	A2	E0		A1	A2	E0		A1	A2	E0	
A1	1	0,650	<0,0001	A1	1	0,097	<0,0001	A1	1	0,001	<0,0001
A2		1	<0,0001	A2		1	<0,0001	A2		1	<0,0001
E0			1	E0			1	E0			1

WC				T0				EMC			
A1	A2	E0		A1	A2	E0		A1	A2	E0	
A1	1	0,044	<0,0001	A1	1	0,201	<0,0001	A1	1	<0,0001	<0,0001
A2		1	<0,0001	A2		1	<0,0001	A2		1	<0,0001
E0			1	E0			1	E0			1

E0	I1	I2		E0	I1	I2		E0	I1	I2	
E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	<0,0001
I1		1	0,001	I1		1	0,806	I1		1	0,001
I2			1	I2			1	I2			1

E0	I1	I2		E0	I1	I2		E0	I1	I2	
E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	0,001
I1		1	0,009	I1		1	0,171	I1		1	0,004
I2			1	I2			1	I2			1

E0	R1	R2		E0	R1	R2		E0	R1	R2	
E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	<0,0001
R1		1	0,392	R1		1	0,292	R1		1	0,889
R2			1	R2			1	R2			1

E0	R1	R2		E0	R1	R2		E0	R1	R2	
E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	<0,0001	<0,0001	E0	1	0,058	0,009
R1		1	0,030	R1		1	0,107	R1		1	0,826
R2			1	R2			1	R2			1

Tableau D. 8 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinant adoucissant macro-silicone et un réticulant sur les propriétés de compression du tissu 1

LC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,029	<0,0001	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	0,270	<0,0001
A2R1			1	<0,0001	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

WC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,028	<0,0001	<0,0001
A1R2		1	0,001	0,626	<0,0001
A2R1			1	0,001	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

RC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,002	0,262	0,058	<0,0001
A1R2		1	0,000	0,184	<0,0001
A2R1			1	0,003	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

T_m

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,657	<0,0001	<0,0001
A1R2		1	<0,0001	0,058	<0,0001
A2R1			1	<0,0001	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

T₀

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,003	0,374	0,004	<0,0001
A1R2		1	0,009	0,252	<0,0001
A2R1			1	0,028	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

EMC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,971	<0,0001	0,004
A1R2		1	<0,0001	0,079	0,888
A2R1			1	<0,0001	0,001
A2R2				1	0,305
E0					1

Tableau D. 9 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinant adoucissant macro-silicone et un réticulant sur les propriétés de compression du tissu 1

LC

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	0,001
I1R2			1	0,446	0,002
I2R1				1	0,005
I2R2					1

TO

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	0,042
I1R2			1	0,967	0,002
I2R1				1	0,002
I2R2					1

WC

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	0,011
I1R2			1	0,594	0,019
I2R1				1	0,007
I2R2					1

T_m

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	0,016	<0,0001
I2R1				1	0,002
I2R2					1

RC

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,009	0,230	0,210
I1R2			1	0,131	0,187
I2R1				1	0,914
I2R2					1

EMC

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	0,511	0,449	0,008
I1R1		1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	0,008	<0,0001
I2R1				1	0,007
I2R2					1

Tableau D. 10 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements individuels sur les propriétés de compression du tissu 2

LC				RC				Tm				EMC																																																			
WC				TO																																																											
<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,045</td><td>0,000</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				A1	A2	E0	1	0,045	0,000		1	<0,0001			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1<0,0001</td><td>0,025</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				A1	A2	E0	1<0,0001	0,025		1	<0,0001			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,048</td><td>0,030</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,237</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				A1	A2	E0	1	0,048	0,030		1	0,237			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td><0,0001</td><td>0,000</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				A1	A2	E0	1	<0,0001	0,000		1	<0,0001			1	
A1	A2	E0																																																													
1	0,045	0,000																																																													
	1	<0,0001																																																													
		1																																																													
A1	A2	E0																																																													
1<0,0001	0,025																																																														
	1	<0,0001																																																													
		1																																																													
A1	A2	E0																																																													
1	0,048	0,030																																																													
	1	0,237																																																													
		1																																																													
A1	A2	E0																																																													
1	<0,0001	0,000																																																													
	1	<0,0001																																																													
		1																																																													
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,250</td><td>0,745</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,271</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	I1	I2	1	0,250	0,745		1	0,271			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,922</td><td>0,237</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,145</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	I1	I2	1	0,922	0,237		1	0,145			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,440</td><td>0,747</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,214</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	I1	I2	1	0,440	0,747		1	0,214			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,034</td><td>0,118</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,367</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	I1	I2	1	0,034	0,118		1	0,367			1
E0	I1	I2																																																													
1	0,250	0,745																																																													
	1	0,271																																																													
		1																																																													
E0	I1	I2																																																													
1	0,922	0,237																																																													
	1	0,145																																																													
		1																																																													
E0	I1	I2																																																													
1	0,440	0,747																																																													
	1	0,214																																																													
		1																																																													
E0	I1	I2																																																													
1	0,034	0,118																																																													
	1	0,367																																																													
		1																																																													
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-0,003</td><td>-0,007</td></tr> <tr><td></td><td>0</td><td>-0,005</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	0	-0,003	-0,007		0	-0,005			0	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,000</td><td>0,001</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,515</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	1	0,000	0,001		1	0,515			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,266</td><td>0,898</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,003</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	1	0,266	0,898		1	0,003			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,012</td><td>0,011</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,991</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	1	0,012	0,011		1	0,991			1
E0	R1	R2																																																													
0	-0,003	-0,007																																																													
	0	-0,005																																																													
		0																																																													
E0	R1	R2																																																													
1	0,000	0,001																																																													
	1	0,515																																																													
		1																																																													
E0	R1	R2																																																													
1	0,266	0,898																																																													
	1	0,003																																																													
		1																																																													
E0	R1	R2																																																													
1	0,012	0,011																																																													
	1	0,991																																																													
		1																																																													
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,012</td><td>0,011</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,991</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	1	0,012	0,011		1	0,991			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,689</td><td>0,668</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>0,869</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	1	0,689	0,668		1	0,869			1	<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,289</td><td>0,580</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				E0	R1	R2	1	0,289	0,580		1				1																
E0	R1	R2																																																													
1	0,012	0,011																																																													
	1	0,991																																																													
		1																																																													
E0	R1	R2																																																													
1	0,689	0,668																																																													
	1	0,869																																																													
		1																																																													
E0	R1	R2																																																													
1	0,289	0,580																																																													
	1																																																														
		1																																																													

Tableau D. 11 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinant adoucissant macro-silicone et un réticulant sur les propriétés de compression du tissu 2

LC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,961	0,472	0,521	0,167
A1R2		1	0,362	0,469	0,133
A2R1			1	0,784	0,039
A2R2				1	0,103
E0					1

T₀

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,349	0,163	0,756	0,855
A1R2		1	0,763	0,692	0,975
A2R1			1	0,519	0,987
A2R2				1	0,905
E0					1

WC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,212	0,909	0,948	0,003
A1R2		1	0,205	0,393	0,019
A2R1			1	0,991	0,002
A2R2				1	0,010
E0					1

T_m

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	<0,0001	0,091	0,900
A1R2		1	0,005	0,289	0,053
A2R1			1	0,990	0,240
A2R2				1	0,310
E0					1

RC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,514	0,816	0,143	0,005
A1R2		1	0,383	0,411	0,001
A2R1			1	0,096	0,009
A2R2				1	<0,0001
E0					1

EMC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	<0,0001	0,014	0,062	0,991
A1R2		1	0,028	0,283	0,004
A2R1			1	0,745	0,121
A2R2				1	0,118
E0					1

Tableau D. 12 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinant adoucissant micro-silicone et un réticulant sur les propriétés de compression du tissu 2

LC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,485	0,334	0,216	<0,0001
I1R1		1	0,022	0,581	<0,0001
I1R2			1	0,002	<0,0001
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

T₀

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,695	0,577	0,270	0,054
I1R1		1	0,656	0,048	<0,0001
I1R2			1	0,059	<0,0001
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

WC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,686	0,040	0,652	0,053
I1R1		1	0,018	0,920	0,025
I1R2			1	0,232	0,955
I2R1				1	0,265
I2R2					1

T_m

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,661	0,826	0,745	0,014
I1R1		1	0,418	0,882	<0,0001
I1R2			1	0,839	<0,0001
I2R1				1	0,001
I2R2					1

RC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,912	0,601	0,857	0,017
I1R1		1	0,674	0,752	0,011
I1R2			1	0,453	0,004
I2R1				1	0,016
I2R2					1

EMC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,142	0,143	0,018	<0,0001
I1R1		1	0,692	0,275	<0,0001
I1R2			1	0,136	<0,0001
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

Tableau D. 13 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements individuels sur les propriétés de compression du tissu 3

LC			RC			T _m			EMC																																																		
<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>0,245</td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>E0</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			A1	A2	E0	A1	1	0,245	A2		1	E0			<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>0,192</td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>E0</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			A1	A2	E0	A1	1	0,192	A2		1	E0			<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>E0</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			A1	A2	E0	A1	1	0,000	A2		1	E0			<table border="1"> <thead> <tr><th>A1</th><th>A2</th><th>E0</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>0,155</td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>E0</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			A1	A2	E0	A1	1	0,155	A2		1	E0		
A1	A2	E0																																																									
A1	1	0,245																																																									
A2		1																																																									
E0																																																											
A1	A2	E0																																																									
A1	1	0,192																																																									
A2		1																																																									
E0																																																											
A1	A2	E0																																																									
A1	1	0,000																																																									
A2		1																																																									
E0																																																											
A1	A2	E0																																																									
A1	1	0,155																																																									
A2		1																																																									
E0																																																											
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,039</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	0,039	I1		1	I2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,001</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	0,001	I1		1	I2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	<0,0001	I1		1	I2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,581</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	0,581	I1		1	I2		
E0	I1	I2																																																									
E0	1	0,039																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
E0	I1	I2																																																									
E0	1	0,001																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
E0	I1	I2																																																									
E0	1	<0,0001																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
E0	I1	I2																																																									
E0	1	0,581																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,021</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	0,021	R1		1	R2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,120</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	0,120	R1		1	R2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	<0,0001	R1		1	R2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,898</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	0,898	R1		1	R2		
E0	R1	R2																																																									
E0	1	0,021																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
E0	R1	R2																																																									
E0	1	0,120																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
E0	R1	R2																																																									
E0	1	<0,0001																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
E0	R1	R2																																																									
E0	1	0,898																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	<0,0001	I1		1	I2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,002</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	0,002	I1		1	I2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	<0,0001	I1		1	I2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>I1</th><th>I2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,057</td></tr> <tr><td>I1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>I2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	I1	I2	E0	1	0,057	I1		1	I2		
E0	I1	I2																																																									
E0	1	<0,0001																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
E0	I1	I2																																																									
E0	1	0,002																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
E0	I1	I2																																																									
E0	1	<0,0001																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
E0	I1	I2																																																									
E0	1	0,057																																																									
I1		1																																																									
I2																																																											
<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,001</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	0,001	R1		1	R2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,003</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	0,003	R1		1	R2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td><0,0001</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	<0,0001	R1		1	R2			<table border="1"> <thead> <tr><th>E0</th><th>R1</th><th>R2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>E0</td><td>1</td><td>0,434</td></tr> <tr><td>R1</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>R2</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			E0	R1	R2	E0	1	0,434	R1		1	R2		
E0	R1	R2																																																									
E0	1	0,001																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
E0	R1	R2																																																									
E0	1	0,003																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
E0	R1	R2																																																									
E0	1	<0,0001																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											
E0	R1	R2																																																									
E0	1	0,434																																																									
R1		1																																																									
R2																																																											

Tableau D. 14 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinant adoucissant macro-silicone et un réticulant sur les propriétés de compression du tissu 3

LC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,804	0,589	0,266	0,401
A1R2		1	0,423	0,147	0,253
A2R1			1	0,518	0,741
A2R2				1	0,736
E0					1

T₀

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,600	0,105	0,006	0,837
A1R2		1	0,067	0,003	0,722
A2R1			1	0,256	0,095
A2R2				1	0,005
E0					1

WC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,039	0,013	0,038	0,738
A1R2		1	0,390	0,636	0,041
A2R1			1	0,763	0,009
A2R2				1	0,032
E0					1

T_m

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,155	0,078	0,490	<0,0001
A1R2		1	0,577	0,290	0,199
A2R1			1	0,127	0,716
A2R2				1	0,000
E0					1

RC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,603	0,365	0,081	0,637
A1R2		1	0,162	0,182	0,306
A2R1			1	0,009	0,684
A2R2				1	0,022
E0					1

EMC

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,515	<0,0001	0,001	0,061
A1R2		1	0,000	0,001	0,142
A2R1			1	0,851	0,089
A2R2				1	0,089
E0					1

Figure D. 4 : Etude de la significativité statistique de la différence de l'effet des traitements combinant adoucissant micro-silicone et un réticulant sur les propriétés de compression du tissu 3

LC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,359	0,060	0,963	0,585
I1R1		1	0,432	0,283	0,107
I1R2			1	0,022	0,003
I2R1				1	0,465
I2R2					1

T₀

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,389	0,781	0,007	0,096
I1R1		1	0,465	<0,0001	0,001
I1R2			1	0,000	0,019
I2R1				1	0,125
I2R2					1

WC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,112	0,839	0,036	0,453
I1R1		1	0,253	<0,0001	0,022
I1R2			1	0,049	0,408
I2R1				1	0,211
I2R2					1

T_m

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,005
I1R1		1	0,738	0,425	<0,0001
I1R2			1	0,328	0,001
I2R1				1	0,001
I2R2					1

RC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,010	0,000	0,000	0,005
I1R1		1	0,298	0,261	0,916
I1R2			1	0,901	0,331
I2R1				1	0,278
I2R2					1

EMC

	EO	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
EO	1	0,005	0,012	0,434	0,353
I1R1		1	0,540	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	0,000	<0,0001
I2R1				1	0,811
I2R2					1

Annexe E. Comparaison par paires des paramètres de Zwicker

- Comparaison par paires de la sonie

Tableau E. 1 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements individuels dans le cas du tissu 1

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,202	<0,0001	0,850	0,625	0,075	0,272
A2		1	<0,0001	0,207	0,121	0,310	0,655
E0			1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1				1	0,535	0,087	0,268
I2					1	0,038	0,171
R1						1	0,167
R2							1

Tableau E. 2 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,785	0,310	0,360	<0,0001
A1R2		1	0,225	0,057	<0,0001
A2R1			1	0,006	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

Tableau E. 3 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,003	<0,0001	<0,0001
I1R2			1	<0,0001	0,067
I2R1				1	<0,0001
I2R2					1

Tableau E. 4 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements individuels dans le cas du tissu 2

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,022	<0,0001	0,903	0,105	<0,0001	0,000
A2		1	<0,0001	0,018	0,720	<0,0001	<0,0001
E0			1	<0,0001	<0,0001	0,022	0,011
I1				1	0,110	<0,0001	0,000
I2					1	<0,0001	<0,0001
R1						1	0,001
R2							1

Tableau E. 5 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,969	0,104	0,285	<0,0001
A1R2		1	0,054	0,252	<0,0001
A2R1			1	0,906	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

Tableau E. 6 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	E0	I1R1	I1R2	2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,050	0,079	0,501
I1R2			1	<0,0001	0,009
I2R1				1	0,237
I2R2					1

Tableau E. 7 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements individuels dans le cas du tissu 2

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,022	<0,0001	0,903	0,105	<0,0001	0,000
A2		1	<0,0001	0,018	0,720	<0,0001	<0,0001
E0			1	<0,0001	<0,0001	0,022	0,011
I1				1	0,110	<0,0001	0,000
I2					1	<0,0001	<0,0001
R1						1	0,001
R2							1

Tableau E. 8 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,969	0,104	0,285	<0,0001
A1R2		1	0,054	0,252	<0,0001
A2R1			1	0,906	<0,0001
A2R2				1	<0,0001
E0					1

Tableau E. 9 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,050	0,079	0,501
I1R2			1	<0,0001	0,009
I2R1				1	0,237
I2R2				0,237	1

Tableau E. 10 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements individuels dans le cas du tissu 3

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,062	<0,0001	0,283	0,003	0,487	0,682
A2		1	<0,0001	0,131	0,634	0,024	0,034
E0			1	<0,0001	<0,0001	0,000	<0,0001
I1				1	0,001	0,060	0,109
I2					1	0,001	0,001
R1						1	0,755
R2							1

Tableau E. 11 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 3

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,039	0,968	0,507	<0,0001
A1R2		1	0,098	0,073	0,001
A2R1			1	0,671	0,000
A2R2				1	<0,0001
E0					1

Tableau E. 12 : Etude de la significativité de la différence de la sonie suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 3

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
I1R1		1	0,001	0,064	0,023
I1R2			1	0,164	<0,0001
I2R1				1	0,003
I2R2				0,003	1

- Comparaison par paires de l'intensité de fluctuation

Tableau E. 13 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements individuels dans le cas du tissu 1

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,467	0,410	0,595	0,488	0,427	0,467
A2		1	0,106	0,724	0,863	0,979	0,829
E0			1	0,092	0,067	0,079	0,041
I1				1	0,813	0,676	0,809
I2					1	0,826	0,970
R1						1	0,783
R2							1

Tableau E. 14 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,451	0,046	0,925	0,524
A1R2		1	0,225	0,469	0,159
A2R1			1	0,030	0,004
A2R2				1	0,422
E0					1

Tableau E. 15 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,217	0,638	0,175	0,948
I1R1		1	0,535	0,686	0,108
I1R2			1	0,393	0,548
I2R1				1	0,108
I2R2					1

Tableau E. 16 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements individuels dans le cas du tissu 2

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,020	0,023	0,498	0,023	0,000	0,020
A2		1	0,001	0,034	0,439	<0,0001	0,001
E0			1	0,004	0,000	0,002	0,708
I1				1	0,042	<0,0001	0,002
I2					1	<0,0001	0,000
R1						1	0,000
R2							1

Tableau E. 17 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,894	0,938	0,523	0,001
A1R2		1	0,797	0,400	0,001
A2R1			1	0,450	<0,0001
A2R2				1	0,000
E0					1

Tableau E. 18 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,000	0,000	<0,0001	0,002
I1R1		1	0,328	0,100	0,078
I1R2			1	0,007	0,038
I2R1				1	0,187
I2R2					1

Tableau E. 19 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements individuels dans le cas du tissu 3

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,027	0,028	0,117	0,029	0,986	0,805
A2		1	0,563	0,211	0,315	0,024	0,039
E0			1	0,358	0,589	0,023	0,045
I1				1	0,558	0,104	0,182
I2					1	0,022	0,052
R1						1	0,786
R2							1

Tableau E. 20 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,569	0,696	0,630	0,904
A1R2		1	0,725	0,862	0,598
A2R1			1	0,843	0,756
A2R2				1	0,671
E0					1

Tableau E. 21 : Etude de la significativité de la différence de l'intensité de fluctuation suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,058	0,023	0,712	0,139
I1R1		1	0,332	0,470	0,005
I1R2			1	0,224	0,003
I2R1				1	0,240
I2R2					1

- Comparaison par paires de l'acuité

Tableau E. 22 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 1

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,332	0,003	0,920	0,228	0,366	0,476
A2		1	0,001	0,411	0,976	0,739	0,629
E0			1	0,004	<0,0001	<0,0001	0,000
I1				1	0,322	0,476	0,588
I2					1	0,601	0,471
R1						1	0,803
R2							1

Tableau E. 23 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,063	0,391	0,076	0,282
A1R2		1	0,019	0,466	0,152
A2R1			1	0,016	0,057
A2R2				1	0,212
E0					1

Tableau E. 24 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,002	0,106	0,009	0,108
I1R1		1	0,001	0,686	0,000
I1R2			1	0,002	0,747
I2R1				1	0,001
I2R2					1

Tableau E. 25 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 2

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,700	0,182	0,660	0,446	0,009	0,911
A2		1	0,276	0,860	0,257	0,011	0,673
E0			1	0,547	0,062	0,081	0,096
I1				1	0,317	0,073	0,663
I2					1	0,004	0,297
R1						1	0,002
R2							1

Tableau E. 26 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,387	0,270	0,366	0,001
A1R2		1	0,060	0,103	0,001
A2R1			1	0,887	0,000
A2R2				1	0,001
E0					1

Tableau E. 27 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	<0,0001	0,020	0,002	0,008
I1R1		1	0,003	0,000	0,009
I1R2			1	0,484	0,517
I2R1				1	0,850
I2R2					1

Tableau E. 28 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 3

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,078	0,181	0,310	0,498	0,136	0,679
A2		1	0,003	0,661	0,181	0,303	0,160
E0			1	0,041	0,039	0,002	0,084
I1				1	0,589	0,960	0,492
I2					1	0,366	0,812
R1						1	0,303
R2							1

Tableau E. 29 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 3

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,851	0,838	0,268	0,005
A1R2		1	0,962	0,509	0,014
A2R1			1	0,312	0,003
A2R2				1	0,001
E0					1

Tableau E. 30 : Etude de la significativité de la différence de l'acuité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 3

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,023	0,104	0,012	0,004
I1R1		1	0,248	0,814	0,523
I1R2			1	0,236	0,062
I2R1				1	0,302
I2R2					1

- Comparaison par paires de la rugosité

Tableau E. 31 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 1

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,242	0,535	0,669	0,880	0,080	0,400
A2		1	0,081	0,462	0,263	0,008	0,082
E0			1	0,306	0,407	0,192	0,713
I1				1	0,753	0,042	0,245
I2					1	0,042	0,314
R1						1	0,520
R2							1

Tableau E. 32 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,985	0,809	0,334	0,163
A1R2		1	0,698	0,175	0,094
A2R1			1	0,039	0,041
A2R2				1	0,359
E0				0,359	1

Tableau E. 33 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 1

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,899	0,540	0,170	0,049
I1R1		1	0,427	0,091	0,001
I1R2			1	0,099	0,415
I2R1				1	0,001
I2R2					1

Tableau E. 34 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 2

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,016	0,127	0,805	0,185	0,102	0,393
A2		1	0,235	0,067	0,135	0,457	0,108
E0			1	0,285	0,770	0,772	0,523
I1				1	0,379	0,225	0,612
I2					1	0,581	0,691
R1						1	0,402
R2							1

Tableau E. 35 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,512	0,781	0,409	0,715
A1R2		1	0,838	0,124	0,245
A2R1			1	0,379	0,578
A2R2				1	0,523
E0					1

Tableau E. 36 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements de la combinaison adoucissant micro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 2

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,267	0,772	0,754	0,698
I1R1		1	0,120	0,239	0,693
I1R2			1	0,389	0,550
I2R1				1	0,804
I2R2					1

Tableau E. 37 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements individuels dans le cas du tissu 3

	A1	A2	E0	I1	I2	R1	R2
A1	1	0,667	0,075	0,011	0,511	0,615	0,893
A2		1	0,268	0,061	0,400	0,816	0,888
E0			1	0,318	0,095	0,613	0,332
I1				1	0,027	0,272	0,114
I2					1	0,408	0,569
R1						1	0,757
R2							1

Tableau E. 38 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 3

	A1R1	A1R2	A2R1	A2R2	E0
A1R1	1	0,238	0,517	0,079	0,983
A1R2		1	0,191	0,222	0,074
A2R1			1	0,057	0,252
A2R2				1	0,029
E0				0,029	1

Tableau E. 39 : Etude de la significativité de la différence de la rugosité suite au traitements de la combinaison adoucissant macro-silicone avec un réticulant dans le cas du tissu 3

	E0	I1R1	I1R2	I2R1	I2R2
E0	1	0,100	0,211	0,483	0,258
I1R1		1	0,482	0,044	0,516
I1R2			1	0,076	0,991
I2R1				1	0,110
I2R2					1

Annexe F. Fiches techniques des agents de traitement

Propriétés

Le TUBINGAL® FMH est un adoucissant textile pour l'application sur foulard avec les propriétés suivantes:

- toucher doux spécifique avec un bon effet lisse à la surface du textile
- excellent effet hydrophile
- stabilité de marche excellente (pas de formation de sédiments sur les rouleaux)
- amélioration du comportement à la couture
- amélioration de la solidité à la déchirure et à l'abrasion lors de l'application de l'apprêt d'entretien facile
- augmentation des effets d'entretien facile en ennoblement (auto-lubrification, défroissement)
- soutient le pouvoir résilient et l'élasticité des tricots
- excellente permanence au lavage
- approprié pour les matières en blanc

Le TUBINGAL® FMH est un nouveau produit à base d'un amino-amido-polysiloxane modifié. Cette combinaison permet de mettre en évidence les avantages des amino-siloxanes et des amido-siloxanes conventionnels. Outre un excellent toucher doux et une très bonne permanence, la compatibilité sur du blanc est nettement augmentée ainsi que l'hydrophilie en comparaison avec les amino-siloxanes conventionnels. En plus la sensibilité aux alcalis des amino-siloxanes est réduite (stabilité aux alcalis testée jusqu'à pH 9,0).

La chimie et l'application textile du TUBINGAL® FMH sont protégées par un brevet.

Application

Prescription de dilution

Le TUBINGAL® FMH est dilué avec de l'eau froide en toute proportion.

Domaines d'application

Le TUBINGAL® FMH est très approprié pour l'apprêt des tissus et tricots de fibres de cellulose, de laine et des fibres synthétiques et leurs mélanges. Le produit est appliqué en règle générale à température ambiante sur foulard.

Proposition de recette

Les quantités d'application dépendent de la matière et des effets demandés.

Foulard

10 – 40 g/l de TUBINGAL® FMH

pH :	5,0 env.
Absorption de bain :	80% env.
Séchage :	comme d'habitude

Figure F. 1 : Fiche technique de l'adoucissant micro-silicone

Caractère	Adoucissant pour des articles blancs et multicolores
Structure chimique	Formule à base d'un polysiloxane fonctionnel
Aspect	Incolore à jaunâtre
Caractère ionique	Non ionique
Valeur pH d'une solution à 10%	4,0 – 6,0
Poids spécifique à 20 °C	1,0 env.
Stabilités	<p>L'ARRISTAN 71 est stable en présence des substances durcissantes de l'eau, des acides et du chlorure de magnésium.</p> <p>Le produit est très sensible au gel; aux températures autour du point de congélation des modifications persistantes se produisent.</p> <p>L'ARRISTAN 71 est sensible aux températures à partir de 40 °C.</p>
Stockage	Le produit se conserve pendant 12 mois au moins en cas de stockage conforme aux instructions.

Les valeurs données ci-dessus ne sont que des données descriptives du produit. Consulter la fiche de spécifications de livraison pour les spécifications du produit valables. La fiche de sécurité du produit donne encore d'autres informations sur les propriétés de produit ainsi que des données toxicologiques, écologiques et importantes concernant la sécurité

Propriétés

L'ARRISTAN 71 est un adoucissant de haute qualité donnant d'excellents caractéristiques de toucher. Les propriétés sont les suivantes:

- toucher souple, typique pour le silicone, très lisse à la surface
- suite à l'excellente stabilité du blanc, bien approprié sur des articles en grand blanc
- augmente la résilience des tricots
- amélioration du comportement à la couture
- amélioration du comportement à la couture et de la transformation ultérieure des textiles,
- amélioration des effets d'entretien facile en ennoblissement,
- approprié pour articles imprimés avec des colorants et des pigments (aussi approprié pour le procédé « pigment topping »)
- facile à combiner avec des liants, des pigments et des azurants optiques choisis
- excellente stabilité de marche sur le foulard

Figure F. 2 : Fiche technique de l'adoucissant macro-silicone

Technique d'application

Prescription de dilution

Le REAKNITT ZF peut être dilué avec de l'eau froide en toute proportion.

Application recommandée

Le REAKNITT ZF est appliqué normalement sur foulard à température ambiante. Pour réaliser les effets d'apprêtage les meilleurs possibles, nous recommandons d'ajuster le pH du bain à 4,0 env. En cas de l'application du REAKNITT CAT ABT il ne faut pas ajuster séparément le pH du bain d'apprêt.

Quantités d'application

CO:	60 - 120 g/l de REAKNITT ZF*
CV:	80 - 180 g/l de REAKNITT ZF*
PES/CO:	50 - 100 g/l de REAKNITT ZF*
PES/CV:	70 - 150 g/l de REAKNITT ZF

*approprié pour GOTS jusqu'aux quantités d'application < 80 g/l de REAKNITT ZF en cas d'une absorption de bain de 100 %. S'il faut des quantités d'application plus élevées, il faut faire un lavage ultérieur.

Comme catalyseur pour la réaction de condensation du REAKNITT ZF, le REAKNITT CAT ABT est recommandé particulièrement. En cas d'application du chlorure de magnésium crist. une odeur d'ail peut se produire parfois après l'apprêtage, surtout en cas de présence des résidus d'alcali sur la matière et des restes pas éliminés par rinçage des auxiliaires d'impression et des préparations.

REAKNITT CAT ABT

Une concentration de 10% de REAKNITT CAT ABT par rapport à la quantité d'application de REAKNITT ZF est utilisée.

Concentration minimum qui ne devrait pas être inférieure:	6 g/l de REAKNITT CAT ABT
Quantité maximale qui ne devrait pas être dépassée:	25 g/l de REAKNITT CAT ABT

A cause d'une perte de solidité augmentée le REAKNITT CAT ABT n'est pas recommandé pour la catalyse des réticulants séparant du formaldéhyde.

En cas de quantités d'application de résine élevées en combinaison avec REAKNITT CAT ABT nous recommandons de faire un lavage ultérieur pour éliminer le surplus d'acide sur la matière. Un lavage ultérieur peut être nécessaire aussi sur des textiles ayant le certificat Öko-Text.

Figure F. 3 : Fiche technique du réticulant

Application

Prescription de dilution

Le REAKNITT CAT ABT peut être dilué avec de l'eau froide en toute proportion.

Domaines d'application

Le REAKNITT CAT ABT est un catalyseur très efficace pour l'apprêt d'entretien facile sans formaldéhyde pour l'application en combinaison avec REAKNITT ZF.

Quantité d'application

Le REAKNITT CAT ABT est appliqué en concentration de 10% par rapport à la quantité d'application du REAKNITT ZF.

La concentration minimum que ne devrait pas être inférieure : 6 g/l de REAKNITT CAT ABT
La quantité maximum qu'il ne faudrait pas dépasser : 25 g/l de REAKNITT CAT ABT

A cause des pertes de solidités élevées nous ne recommandons pas le REAKNITT CAT ABT pour la catalyse des réticulants qui séparent du formaldéhyde.

En cas de quantités d'application de résine élevées en combinaison avec le REAKNITT CAT ABT, nous recommandons un lavage ultérieur pour éliminer le surplus d'acide de la matière. Un lavage ultérieur peut être nécessaire aussi pour des textiles avec le certificat Öko-Tex.

Consulter la notice technique du produit REAKNITT ZF concernant les recommandations de recette.

Figure F. 4 : Fiche technique du catalyseur

Résumés

Étude de l'influence des traitements de surface sur les propriétés acoustiques d'une étoffe

Cette thèse porte sur l'étude de l'influence des traitements adoucissant type micro-silicone et macro-silicone et des traitements réticulant sur les propriétés acoustiques des étoffes textiles. Une des originalités de ce travail est l'utilisation de la caractérisation psycho-acoustique dans l'évaluation des bruits générés par le frottement des étoffes permettant de lier les caractérisations instrumentales et sensorielles des utilisateurs. A travers une étude systématique de l'influence des traitements sur le bruit de frottement, nous avons pu mettre en évidence l'importance des traitements adoucissants sur la diminution de celui-ci. L'étude de corrélation entre les résultats des différentes méthodes de caractérisation a permis de préconiser les paramètres physiques et sensoriels les plus pertinents dans l'étude de ces influences. De plus l'approche sensorielle tactile a permis de faire le lien entre les traitements, le ressenti tactile et le bruit de frottement. Cela permettra une nouvelle approche de caractérisation qui pourra être développée dans le futur. Enfin, une étude consommateur effectuée afin d'étudier la perception subjective du bruit de frottement nous a permis de confirmer les résultats des différentes approches de caractérisations utilisées dans cette étude. Nos outils sont en parfaite adéquation avec le ressenti de l'utilisateur final. Des préconisations pour des recherches futures ont été faites, telles que l'analyse de l'influence des adoucissants cationiques et l'influence des traitements mécaniques sur la génération des bruits de frottement.

Study of the effects of surface treatments on fabric acoustic properties

This thesis studies the influence of micro and macro-silicone softener treatments and cross-linker treatments on the acoustic properties of textile fabrics. One of this work original features is the use of psycho-acoustic characterization in the assessment of noise generated by fabric friction, making it possible to link instrumental and sensory characterization of users. Through a systematic study of the influence of treatments on the friction noise, we were able to highlight the importance of softening treatments in reducing this noise. The correlation study between the results of the different characterization methods enabled us to recommend the most relevant physical and sensory parameters for studying these influences. In addition, the tactile sensory approach made it possible to establish the link between treatments, tactile sensation and friction noise. This will enable a new characterization approach to be developed in the future. Finally, a consumer study carried out to investigate the subjective perception of friction noise enabled us to confirm the results of the different characterization approaches used in this study. Our tools are perfectly in line with the end user's perception. Recommendations for future research were made, such as analyzing the influence of cationic softeners and the influence of mechanical treatments on the generation of friction noise.