



HAL
open science

Sensations et perceptions visuelles et tactiles de matériaux texturés

Jessica Mengaptche Lowe

► **To cite this version:**

Jessica Mengaptche Lowe. Sensations et perceptions visuelles et tactiles de matériaux texturés. Autre. Université de Lyon, 2017. Français. NNT : 2017LYSEM031 . tel-01848729

HAL Id: tel-01848729

<https://theses.hal.science/tel-01848729>

Submitted on 25 Jul 2018

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

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



N°d'ordre NNT : 2017LYSEM031

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
l'Ecole des Mines de Saint-Etienne

Ecole Doctorale N° 488
Sciences, Ingénierie, Santé

Spécialité de doctorat : Sciences des matériaux

Soutenue publiquement/ le 24/10/2017, par :

Jessica DACLEU NDENGUE

**SENSATIONS ET PERCEPTIONS
VISUELLES ET TACTILES DES
MATERIAUX TEXTURES**

Devant le jury composé de :

MONTEIL, Guy Professeur Ecole nationale supérieure de Mécanique et des
Microtechniques- FEMTO-ST

Président

SCHACHER, Laurence Professeur Ecole nationale Supérieure d'ingénieur Sud Alsace

Rapporteure

LHERITIER, Anne-Marie HDR Ecole de Biologie Industrielle

Rapporteure

DELAFOSSÉ, David Professeur Mines Saint-Etienne

Examineur

JUGANARU-MATHIEU, Mihaela. Docteur Mines Saint-Etienne

Examinatrice

FAUCHEU, Jenny. HDR. Mines Saint-Etienne

Directrice de thèse

MASSI, Francesco. Professeur. Université de Rome La Sapienza

Co-directeur de thèse

Spécialités doctorales

SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
MECANIQUE ET INGENIERIE
GENIE DES PROCÉDES
SCIENCES DE LA TERRE
SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Responsables :

K. Wolski Directeur de recherche
S. Drapier, professeur
F. Gruy, Maître de recherche
B. Guy, Directeur de recherche
D. Graillet, Directeur de recherche

Spécialités doctorales

MATHEMATIQUES APPLIQUEES
INFORMATIQUE
SCIENCES DES IMAGES ET DES FORMES
GENIE INDUSTRIEL
MICROELECTRONIQUE

Responsables

O. Roustant, Maître-assistant
O. Boussier, Professeur
J.C. Pinoli, Professeur
X. Delorme, Maître assistant
Ph. Lalevée, Professeur

EMSE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

ABSI	Nabil	CR	Génie industriel	CMP
AUGUSTO	Vincent	CR	Image, Vision, Signal	CIS
AVRIL	Stéphane	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
BADEL	Pierre	MA(MDC)	Mécanique et ingénierie	CIS
BALBO	Flavien	PR2	Informatique	FAYOL
BASSEREAU	Jean-François	PR	Sciences et génie des matériaux	SMS
BATTON-HUBERT	Mireille	PR2	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BEIGBEDER	Michel	MA(MDC)	Informatique	FAYOL
BLAYAC	Sylvain	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
BOISSIER	Olivier	PR1	Informatique	FAYOL
BONNEFOY	Olivier	MA(MDC)	Génie des Procédés	SPIN
BORBELY	Andras	MR(DR2)	Sciences et génie des matériaux	SMS
BOUCHER	Xavier	PR2	Génie Industriel	FAYOL
BRODHAG	Christian	DR	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BRUCHON	Julien	MA(MDC)	Mécanique et ingénierie	SMS
CAMEIRAO	Ana	MA(MDC)	Génie des Procédés	SPIN
CHRISTIE	Frédéric	PR	Science et génie des matériaux	SMS
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR1	Génie Industriel	CMP
DEBAYLE	Johan	MR	Sciences des Images et des Formes	SPIN
DEGEORGE	Jean-Michel	MA(MDC)	Génie industriel	Fayol
DELAFOSSÉ	David	PR0	Sciences et génie des matériaux	SMS
DELORME	Xavier	MA(MDC)	Génie industriel	FAYOL
DESRAYAUD	Christophe	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
DJENZIAN	Thierry	PR	Science et génie des matériaux	CMP
DOUCE	Sandrine	PR2	Sciences de gestion	FAYOL
DRAPIER	Sylvain	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
FAUCHEU	Jenny	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	SMS
FAVERGEON	Loïc	CR	Génie des Procédés	SPIN
FEILLET	Dominique	PR1	Génie Industriel	CMP
FOREST	Valérie	MA(MDC)	Génie des Procédés	CIS
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR(DR2)	Sciences de la Terre	SPIN
GAVET	Yann	MA(MDC)	Sciences des Images et des Formes	SPIN
GERINGER	Jean	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	CIS
GOEURIOT	Dominique	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GONDRAN	Natacha	MA(MDC)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
GONZALEZ FELIU	Jesus	MA(MDC)	Sciences économiques	FAYOL
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences et génie de l'environnement	SPIN
GROSSEAU	Philippe	DR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	PR1	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	DR	Sciences de la Terre	SPIN
HAN	Woo-Suck	MR	Mécanique et ingénierie	SMS
HERRI	Jean Michel	PR1	Génie des Procédés	SPIN
KERMOUCHE	Guillaume	PR2	Mécanique et Ingénierie	SMS
KLOCKER	Helmut	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
LERICHE	Rodolphe	CR	Mécanique et ingénierie	FAYOL
MALLIARAS	Georges	PR1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
MOUTTE	Jacques	CR	Génie des Procédés	SPIN
NEUBERT	Gilles			FAYOL
NIKOLOVSKI	Jean-Pierre	Ingénieur de recherche	Mécanique et ingénierie	CMP
NORTIER	Patrice	PR1	Génie des Procédés	SPIN
O'CONNOR	Rodney Philip	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
OWENS	Rosin	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
PERES	Véronique	MR	Génie des Procédés	SPIN
PICARD	Gauthier	MA(MDC)	Informatique	FAYOL
PIJOLAT	Christophe	PR0	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean Charles	PR0	Sciences des Images et des Formes	SPIN
POURCHEZ	Jérémy	MR	Génie des Procédés	CIS
ROUSSY	Agnès	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
ROUSTANT	Olivier	MA(MDC)	Mathématiques appliquées	FAYOL
SANAUR	Sébastien	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences et génie des matériaux	SMS
TRIA	Assia	Ingénieur de recherche	Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	PR2	Sciences et génie des matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean Paul	DR	Génie des Procédés	SPIN
WOLSKI	Krzysztof	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
XIE	Xinlan	PR1	Génie industriel	CIS
YUGMA	Gallian	CR	Génie industriel	CMP

Liste des productions scientifiques

Ce travail de thèse a fait l'objet des différentes productions scientifiques suivantes :

Article dans un journal international avec comité de lecture

- J.DACLEU NDENGUE, I. CESINI, J. FAUCHEU, E. CHATELET, H. ZAHOUANI, D. DELAFOSSE, F. MASSI, « Tactile perception and Friction-induced Vibrations: Discrimination of similarly patterned wood-like surfaces ». IEEE transactions on haptics, 2016.
- I. CESINI, J.DACLEU NDENGUE, J. FAUCHEU, E. CHATELET, F. MASSI, « Correlation between friction-induced vibrations and tactile perception during exploration tasks of isotropic and periodic textures », Tribology international, *soumis*
- J.DACLEU NDENGUE, H. ZAHOUANI, D. DELAFOSSE, F. MASSI, J. FAUCHEU, « Perception of textured material: Does familiarity affect tactile, visual and visuo-tactile discrimination? », Journal of Engineering Design, *en cours de soumission*.

Actes de conférences internationales avec comité de lecture

- J. DACLEU, J.FAUCHEU, M. JUGANARU-MATHIEU, « Computing Ideal Number of Test Subjects-Sensorial Map Parametrization », In: *8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. 2016. p. 437-442.
- DACLEU NDENGUE, Jessica, JUGANARU-MATHIEU, Mihaela, et FAUCHEU, Jenny, « Material perception and material identification in product design », In : DS 87-8 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vol 8: Human Behaviour in Design, Vancouver, Canada, 21-25.08. 2017.

Présentations orales

- J. DACLEU, I.CESINI, J.FAUCHEU, E. CHATELET, H. ZAHOUANI, D. DELAFOSSE, F. MASSI, « Perception tactile et vibrations induites : application a des surfaces texturées », 28^e journées Internationales Francophones de Tribologie, JIFT 2016, 27-29 avril 2016, Saint-Etienne, France.
- J. DACLEU, J.FAUCHEU, H. ZAHOUANI, F. MASSI, D. DELAFOSSE, « Perception of textured materials: does familiarity affect tactile, visual and visuo-tactile discrimination? », 7th European conference on sensory and consumer research, EUROSENSE 2016, 11-14 september 2016, Dijon, France
- J. DACLEU, J.FAUCHEU, M. JUGANARU-MATHIEU, « Material perception and material identification in product design », 21st International Conference on Engineering Design, ICED 17, 21-25 August 2017, Vancouver, Canada

Présentations posters

- J. DACLEU, J.FAUCHEU, J-F.BASSEREAU, H. ZAHOUANI, F. MASSI, D. DELAFOSSE, « Perception of textured material: visual and tactual evaluation through napping® procedure », 11th Pangborn Sensory Science Symposium, 23-25 August 2015, Gotenborg Suède.
- J. DACLEU, J.FAUCHEU,M. JUGANARU-MATHIEU, « Texture perception in product design », 6th European sensory society Symposium, E3S 2017, 9-10 may 2017, Paris, France
- J. DACLEU, J.FAUCHEU, M. JUGANARU-MATHIEU, « Computing Ideal Number of Test Subjects-Sensorial Map Parametrization», 8th International Conference on Knowledge Discovery and information Retrieval, KDIR 2016, 9-11 novembre, Porto, Portugal.

Dédicaces

A ma famille

Mes deux mamans Yvonne et Madeleine pour votre soutien indéfectible,

Mes frères et sœurs Lesly, Vanessa et Antonin pour votre amour et vos encouragements

Ma moitié Landry et mes garçons Nathan, Franck-Daniel et Landry qui me donnent chaque jour la force et le courage d'avancer.

Remerciements

Ce projet de recherche été très formateur pour moi. Il m'a permis de découvrir et d'adopter le domaine de l'évaluation sensorielle des matériaux.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de David Delafosse, porteur de ce projet de recherche qui m'a fait confiance pour le mener à bien.

Merci à Jenny FAUCHEU, ma directrice de thèse qui m'a accompagnée tout au long de ce projet. Ta disponibilité, les innombrables discussions, échanges, réunions qu'on a pu avoir m'ont permis de mener à bien ce projet.

Merci à Francesco Massi, mon co-directeur. C'était un réel plaisir de travailler avec toi. Ta disponibilité, ton pragmatisme étaient très agréables.

Merci à Hassan ZAHOUANI, mon codirecteur. C'était un réel plaisir de travailler avec toi. Ta disponibilité durant le temps passé à l'ECL était très appréciable.

Merci à Mihaela Mathieu. Merci pour ta disponibilité, tes conseils. Tu m'as initié à la fouille de texte et donné le goût de la programmation avec R. Nos nombreuses séances de travail et d'échange sur le traitement de données ont été très constructives et valorisées par des communications scientifiques.

Merci à Ilaria Cesini. J'ai vraiment apprécié de travailler avec toi sur la partie perception tactile dans le cadre de ton projet de master. Tu as fait un travail remarquable.

Merci à Max BOUDES. Ton accompagnement et ta disponibilité dans la partie laboratoire et préparation et fabrication des échantillons ont été très appréciables. Tu as toujours répondu présent à chacune de mes sollicitations.

Merci à Jean-françois Basserou. Ton aide, tes conseils et nos nombreuses discussions qui m'ont permis de mieux structurer mon projet.

Merci à tous mes collègues du K4 pour votre bonne humeur qui m'ont permis de passer de belles années.

Enfin merci à tous ceux dont les noms ne figurent pas, merci infiniment pour vos diverses contributions qui ont permis de mener à bien ce projet.

Table des matières

Liste des figures.....	i
Liste des tables.....	iv
Liste des équations.....	v
Introduction générale et contexte.....	1
1. Synthèse bibliographique.....	4
1.1. La perception des matériaux et des textures.....	4
1.1.1. Stimulus/Sensation/perception[5].....	4
1.1.2. La texture et texture perçue.....	5
1.1.3. Espaces de caractérisation de la texture : (physique/sensoriel/sémantique).....	7
1.1.3.1. Espaces: physique.....	7
1.1.3.2. Espace modal ou psychophysique.....	7
1.1.3.3. Espace sémantique.....	9
1.1.4. La perception visuelle.....	9
1.1.5. La perception tactile.....	11
1.1.6. Perception multisensorielle de texture.....	15
2. Matériels et méthodes.....	20
2.1. Les matériels.....	20
2.1.1. Jeu d'échantillons 1 : surfaces métalliques rainurées et périodiques (textures périodiques).....	20
2.1.2. Jeu d'échantillons 2 : textures régulières isotropes (textures isotropes).....	22
2.1.2. Jeu d'échantillon 3 : les contretypes bois (WC).....	24
2.1.3. Jeu d'échantillons 4 : les répliques des contretypes bois (R).....	25
2.1.4. Jeu d'échantillons 5 : textures sur des objets (textures-objets) et textures hors contexte d'usage (textures anonymes).....	27
2.2. Les méthodes.....	29
2.2.1. Les méthodes d'évaluation sensorielle.....	29
2.2.1.1. Les méthodes hédoniques.....	29
2.2.1.2. Les méthodes analytiques[96].....	30
2.2.2. Les méthodes d'évaluation senso- instrumentales.....	40
2.2.2.1. Le Tribotouch[133][134].....	40
2.2.2.2. Le doigt artificiel.....	44
3. Nombre de sujets idéal dans les expériences de Napping® ?.....	48
3.1. Les données.....	48

3.2.	Procédure	49
3.3.	Le coefficient RV	49
3.4.	Les algorithmes.....	50
3.4.1.	Test de l'influence d'un sujet sur la carte moyenne de perception.....	50
3.4.2.	Nombre minimum de sujets qui pourrait garantir une carte moyenne stable.....	51
3.5.	Résultats	51
3.5.1.	Influence d'un sujet sur la carte moyenne de perception	51
3.5.2.	Recherche du nombre minimum de sujet pour une représentation robuste de la carte moyenne de perception.	53
3.6.	Conclusion	55
4.	Perception tactile et vibrations induites : cas des « textures périodiques » et « des textures isotropes ».....	56
4.1.	Introduction.....	56
4.2.	Les échantillons	58
4.3.	Jeu d'échantillons « textures périodiques ».....	59
4.3.1.	Test de classement	59
4.3.2.	Test avec le doigt artificiel.....	60
4.3.3.	Le test tribo-tactile avec le Tribotouch	63
4.3.4.	Test par paires	67
4.4.	Jeu d'échantillons « textures isotropes ».....	70
4.4.1.	Test de perception tactile.....	70
4.4.2.	Le test tribo-tactile avec le Tribotouch	71
4.5.	Corrélation entre approches physique, sensorielle et tribo-tactile	73
4.5.1.	Pour les textures périodiques.....	73
4.5.2.	Pour les textures isotropes.....	73
4.6.	Conclusion	75
5.	Perception d'une texture familière	76
5.1.	Introduction.....	76
5.2.	Les échantillons	77
5.2.1.	Qualification de la texture visuelle à l'aide d'un panel humain	77
5.2.2.	Caractérisation sensorielle de la texture tactile.....	78
5.3.	Caractérisation sensorielle de la texture : perceptions tactile, visuelle et visio-tactile par Napping®	80
5.3.1.	La durée du test.....	82
5.3.2.	Les groupes formés	83

5.3.3.	Les descripteurs.....	84
5.3.4.	Les cartes moyennes de perception.....	85
5.3.4.1.	Campagne WC	86
5.3.4.2.	Campagne R.....	86
5.3.5.	Les ellipses de confiance	90
5.3.6.	Discussion	92
5.4.	Perception tactile et vibrations induites pour des textures similaires.....	94
5.4.1.	Caractérisation morphologique.....	95
5.4.2.	Caractérisation sensorielle tactile	95
5.4.3.	Caractérisation tribo-tactile.	96
5.4.4.	Mise en relation des approches topographiques, sensorielle et tribo-tactile.	99
5.4.4.1.	Effet du matériau.....	99
5.4.4.2.	Corrélation avec la carte de perception tactile	99
5.5.	Conclusion	102
6.	Perception et identification des matériaux et textures en design de produit.....	104
6.1.	Introduction.....	104
6.2.	Matériels.....	105
6.3.	Méthodes	106
6.4.	Résultats	107
6.4.1.	Traitement des données numériques	107
6.4.1.1.	Cartes moyennes de perception	107
6.4.1.2.	La similitude entre les cartes moyennes de perception.....	109
6.4.1.3.	Les ellipses de confiances.....	111
6.4.1.4.	La durée du test.....	113
6.4.1.5.	Le nombre de groupes formés	113
6.4.1.6.	La classification hiérarchique	114
6.4.1.7.	Les ellipses de confiance sur les données globales	114
6.4.2.	Traitement des données textuelles : discrimination des textures basées sur les mots : Usage des mots libres dans les expériences de Napping®.....	115
6.5.	Discussion	121
6.2.	Conclusion	122
	Conclusion générale et perspectives.....	123
	Références bibliographiques	126
	Annexe1:Le nombre de sujets idéal dans les expériences de Napping® ?.....	134

Annexe 2 : Perception tactile et vibrations induites : cas des des textures périodiques et des textures isotropes.....	144
Annexe 3 : Perception d'une texture familière	149
Annexe 4 : Perception et identification des matériaux et textures en design de produit.....	154

Liste des figures

Figure 0-1 : Démarche de mise en relation des différents niveaux de caractérisation des matériaux et des textures.....	2
Figure 1-1 : Exemples de textures.....	6
Figure 1-2: Dialogue et interaction entre l'expérimentateur et le sujet R: Réponse ; S : stimulus.....	8
Figure 1-3 : Processus de construction d'un panel sensoriel	9
Figure 1-4: Illustrations des différentes lois de la Gestalt.....	11
Figure 1-5 : Coupe de la peau avec les différents mécanorécepteurs.....	12
Figure 1-6: Procédures d'exploration tactile d'après Lederman et Klatzky	13
Figure 1-7 : Synthèse des évènements et des relations intermodales vision-toucher	18
Figure 2-1 : Schéma du profil de la rainure et image MEB d'une rainure vue de dessus	21
Figure 2-2 :Schéma du profil de la rainure et image MEB d'une rainure vue de dessus	21
Figure 2-3 : Images MEB des échantillons P12, P2 et P4.....	22
Figure 2-4 :Mousse de Nickel	23
Figure 2-5 : Images au microscope optique de quelques échantillons isotropes	23
Figure 2-6: Echantillons isotropes enrobés de résine acrylique.....	24
Figure 2-7: Présentation des échantillons contretypé bois et les empreintes à l'encre correspondantes.	25
Figure 2-8: Etapes de fabrication des répliques.....	25
Figure 2-9 : Photo des Echantillons (a) contretypé bois (b) empreinte à l'encre(c) réplique	26
Figure 2-10 : Profil extrait de l'échantillon 5WC	26
Figure 2-11 : Histogramme de rugosité des échantillons.....	27
Figure 2-12: Présentation des textures-objets et textures-anonymes	28
Figure 2-13: Les principales étapes du choix de l'épreuve sensorielle	31
Figure 2-14: Etapes de réalisation d'un profil sensoriel.....	32
Figure 2-15 : Exemple de radar d'une pièce injectée texturée utilisée pour les tableaux de bord	33
Figure 2-16 : Processus général d'une épreuve de Napping®.....	35
Figure 2-17 : Schéma du dispositif expérimental NappOmatic.....	38
Figure 2-18: Exemple de carte enregistrée avec le NappOmatic.....	38
Figure 2-19 : Balayage d'une surface texturée par le doigt	40
Figure 2-20 : Présentation du dispositif expérimental du TRIBOTOUCH	41
Figure 2-21 : Diagramme bloc du Tribotouch	42
Figure 2-22 : Exemple de signaux d'accélération d'effort et de coefficient de friction acquis sur un échantillon périodique de période 100µm	43
Figure 2-23:Exemple de signal acquis sur un échantillon isotrope avec sa densité spectrale de puissance (PSD)	44
Figure 2-24: Présentation du dispositif expérimental du doigt artificiel	45
Figure 2-25 : Découpage du signal vibratoire.....	46
Figure 2-26 : Découpage du signal d'effort	46
Figure 3-1 : Formule de calcul du coefficient RV.....	49
Figure 3-2: Algorithme 1 qui permet de tester l'influence d'un sujet sur la carte moyenne de perception	51

Figure 3-3:Algorithme 2 qui permet de rechercher le nombre minimum de sujet pour une carte moyenne de perception stable	51
Figure 4-1 : Vibrations induites lors du balayage d'une surface, ainsi que les mécanorécepteurs avec leur fréquence d'activation	56
Figure 4-2 :Images MEB de quelques exemples d'échantillon isotrope (a) référence (b) 350 μm (c) 150 μm	58
Figure 4-3 : Image au microscope optique de quelques échantillons de la série isotrope.....	59
Figure 4-4 : Montage d'un échantillon périodique sur le doigt artificiel.	61
Figure 4-5 : Paramètres tribologiques et vibratoires enregistrés sur le doigt artificiel pour les textures périodiques (a) effet de la vitesse sur le niveau vibratoire à 0,1N (b)effet de la vitesse sur le niveau vibratoire à 0,2N (c) effet de la vitesse sur le coefficient de frottement à 0,1N (d) Effet de la vitesse sur le coefficient de frottement à 0,2N.....	62
Figure 4-6 : Corrélation linéaire entre (a) La et Ra à 20mm/s et 0,2N (b) La et Ra à 30mm/s et 0,2N (c) μo et Ra à 20mm/s et 0,2N (d) μo et Ra à 30mm/s et 0,2N.....	63
Figure 4-7 : Echantillon périodique sur le Tribotouch ainsi que la position du doigt avec son accéléromètre sur l'échantillon périodique.....	64
Figure 4-8 : Spectre de fréquences pour les échantillons P1 ($\lambda=100\mu\text{m}$) et P7 ($\lambda=650\mu\text{m}$)	65
Figure 4-9 : Evolution de la fréquence des différents échantillons périodiques.	66
Figure 4-10 : Nombre de bonnes et de mauvaises réponses pour le panel voyant (a) et aveugle (b) pour les textures périodiques	68
Figure 4-11: Comparaison des performances des panels aveugle et voyant pour les différents écarts de longueur d'onde	69
Figure 4-12 : Comparaison des performances (exprimées en pourcentage) des panels aveugle et voyant pour les différents écarts de longueur d'onde.....	69
Figure 4-13 : Nombre de bonnes et de mauvaises réponses pour le panel voyant (a) et aveugle (b) pour les textures isotropes.....	70
Figure 4-14 : Performance des deux panels pour les textures isotropes.....	71
Figure 4-15 : La position du doigt avec son accéléromètre sur l'échantillon isotrope	71
Figure 4-16: Exemple de spectre de distribution des fréquences pour des échantillons I4 et I10 de la série isotrope.....	72
Figure 5-1 : Présentation des échantillons de (a) contretypage bois (b) empreinte tactile (c) réplique..	77
Figure 5-2 : Caractérisation de la texture visuelle des échantillons de contretypage bois	78
Figure 5-3 : Image prise lors du test de perception tactile sur les différentes zones de rugosité.....	79
Figure 5-4 : Présentation des échantillons en fonction de la topographie de surface	80
Figure 5-5: Conditions de test avec le NappOmatic.....	81
Figure 5-6: Consigne de test lors du Napping®	81
Figure 5-7 : Nombre de groupes et nombre d'éléments par groupe pour les campagnes WC et R.....	83
Figure 5-8: Carte moyenne de perception tactile contretypage bois	87
Figure 5-9: Carte moyenne de perception visuelle contretypage bois.....	87
Figure 5-10: Carte moyenne de perception visio-tactile contretypage bois	88
Figure 5-11: Carte moyenne de perception tactile réplique.....	88
Figure 5-12 : Carte moyenne de perception visuelle réplique.....	89
Figure 5-13 : Carte moyenne de perception visio-tactile réplique	89
Figure 5-14: Ellipse de confiance pour les cartes tactiles WC et R.....	90
Figure 5-15: Ellipse de confiance pour les cartes visuelles WC et R.....	90

Figure 5-16: Ellipse de confiance pour les cartes visio-tactiles WC et R	91
Figure 5-17 : Barycentre des échantillons contenus dans les ellipses pour les campagnes WC et R ...	92
Figure 5-18 Description qualitative de chaque échantillon selon la rugosité perçue	95
Figure 5-19: Echantillons fixés sur le Tribotouch en condition de test	97
Figure 5-20 : Exemple de signaux d'efforts normaux et tangentiels mesurés durant le test ainsi que le coefficient de friction résultant pour l'échantillon 9 WC.....	97
Figure 5-21: Comparaison des valeurs AccRMS pour les échantillons WC et R.....	98
Figure 5-22 : Comparaison des valeurs de coefficient de friction pour les échantillons WC et R.....	98
Figure 5-23: Comparaison des signaux et des spectres d'accélération pour les échantillons 9WCet R99	
Figure 5-24 : Typologie des spectres d'accélération RMS.....	100
Figure 5-25: Evolution du coefficient de friction en fonction de la position de l'échantillon.....	101
Figure 6-1 : Insert galbé utilisé pour le test de perception de texture de tableau de bord automobile	105
Figure 6-2 : Présentation des textures-objets et textures-anonymes	106
Figure 6-3 : NappOmatic utilisé pour le test en condition visio-tactile.....	106
Figure 6-4 : Cartes moyennes de perception dans le contexte textures-objets. Pour l'ensemble du panel (total), pour le groupe 1 (O2) et pour le groupe 2 (O1)	108
Figure 6-5 : Cartes moyennes de perception dans le contexte textures-anonymes. Pour l'ensemble du panel (total), pour le groupe 1 (A1) et pour le groupe 2 (A2)	109
Figure 6-6 : Présentation des coefficients RV entre les différentes cartes moyennes de perception	110
Figure 6-7 : Ellipses de confiance autour des positions des textures-anonymes en contexte global, focus objet et focus matériau.....	111
Figure 6-8: Ellipses de confiance autour des positions des textures-anonymes en contexte global, focus objet et focus matériau.....	112
Figure 6-9 : Nombre d'éléments par groupe(a) et nombre de groupe par sujet (b)	113
Figure 6-10 : Clustering hiérarchique pour les données numériques.....	114
Figure 6-11 : Nuages de point des 100 premiers termes pour les textures-objet et les textures - anonymes	117
Figure 6-12: Liste des 10 premiers termes dans les deux contextes.....	117
Figure 6-13 : Clustering hiérarchique pour les données textuelles.....	120
Figure 6-14 : Distance entre les mots obtenus à partir des deux corpus texture objet et texture anonyme.....	121

Liste des tables

Table 1-1 : Les différents espaces de caractérisation des matériaux et textures	7
Table 1-2: Synthèse des études sur les dimensions perceptuelles tactiles.....	14
Table 2-1 : Caractéristiques des échantillons périodiques.....	21
Table 2-2 : Rugosité des différents échantillons périodiques	22
Table 2-3 : Caractéristiques des échantillons isotropes.....	23
Table 2-4 : Pourcentage de phases métal des échantillons isotropes	24
Table 2-5 : Description des échantillons fournie par le vendeur	29
Table 2-6 : Facteurs à prendre en compte pour un Napping®	36
Table 3-1 : Récapitulatif des différents espaces produits testé par Napping®	48
Table 3-2 : Coefficient RV pour les échantillons WC en tactile, visuel et visio-tactile	52
Table 3-3 : Coefficient RV pour les échantillons R en tactile, visuel et visio-tactile.....	52
Table 3-4 : Coefficient RV pour les texture-objet et texture-anonyme	53
Table 3-5 : Coefficient RV pour la recherche du nombre minimum de sujet pour la campagne WC..	54
Table 3-6 : Coefficient RV pour la recherche du nombre minimum de sujet pour la campagne R.....	54
Table 3-7 : Coefficient RV pour la recherche du nombre minimum de sujet pour les textures- anonymes et textures-objets	55
Table 4-1 : Les différents échantillons de la série périodique.....	58
Table 4-2 : Echantillons isotropes	59
Table 4-3 : Rang des différents échantillons pour l'ensemble de panel	60
Table 4-4 : Différents paramètres vibratoires pour la série périodique.	65
Table 4-5 : Valeur AccRMS et de coefficient de frottement (μ) pour les textures Isotrope.	72
Table 4-6 : Résultats des différents panels avec les écarts types de l'AccRMS et le coefficient de frottement.....	74
Table 5-1 : Durées moyennes en seconde des différents tests pour les campagnes WC et R.....	82
Table 5-2: Liste des descripteurs pour les campagnes WC et R.....	85
Table 6-1 : Ordre de présentation des échantillons aux deux groupes de sujets	107
Table 6-2 : Durée en secondes du test.....	113
Table 6-3 : Positions des barycentres et recouvrement des ellipses de confiance pour les textures- objets et les textures-anonymes.	114

Liste des équations

Équation 2-1: Expression du coefficient de friction.	43
Équation 2-2 : Expression de l'amplitude vibratoire	46
Équation 2-3 : expression du coefficient de frottement	46
Équation 4-1 : Expression de la fréquence théorique	64
Équation 4-2 : Formule de calcul du coefficient de rang de Spearman	66
Équation 6-1 : Formule de la distance cosinus entre les deux représentations d1 et d2	119

Introduction générale et contexte

Cette thèse s'inscrit dans la thématique « matériaux pour le design et la création industrielle » selon un axe dédié à l'ingénierie de la perception des matériaux, pour une meilleure compréhension de l'interaction sensorielle, perceptive et émotionnelle d'un utilisateur avec un produit, afin de définir des leviers d'optimisation de l'expérience utilisateur des produits manufacturés. Parmi tous les leviers dont disposent les entreprises pour générer de la valeur ajoutée, l'un d'entre eux qui est le **design sensoriel** s'oriente vers la perception du consommateur dans les champs de l'innovation et de la création/conception. Le design sensoriel s'articule autour de l'ingénierie centrée sur l'homme, qui complète les aspects techno-centrés de la conception mécanique et fonctionnelle d'un produit. Le design sensoriel se préoccupe de maîtriser tout ce que percevra l'utilisateur, et joue un rôle majeur dans la différenciation perçue et maîtrisée d'un produit. Ainsi mis au bénéfice de la conception de produit, il donne la possibilité de rendre visible une innovation cachée, rend envisageable la création d'une valeur ajoutée tout en maîtrisant son coût (la juste conception du juste perçu)[1]. Le terme « **Expérience Utilisateur** » est défini dans la norme ISO 9241-210 comme correspondant "aux réponses et aux perceptions d'une personne qui résultent de l'usage ou de l'anticipation de l'usage d'un produit, d'un service ou d'un système". Le terme "Expérience Utilisateur" a été diffusé dans les années 90 par Donald Norman, professeur en sciences cognitives, auteur de "Design of everyday things" et acteur majeur du développement méthodologique de la conception orientée utilisateur (User-Centered Design). Cette démarche de conception repose sur l'idée que les utilisateurs finaux sont les mieux placés pour évaluer et utiliser le produit. Ainsi, le développement d'un produit devrait être davantage guidé par les besoins et exigences des utilisateurs finaux, plutôt que par des possibilités techniques ou technologiques.

Le choix des matériaux et des finis de surfaces a une influence sur l'expérience utilisateur du produit. Les problématiques liées aux propriétés sensorielles des matériaux et des produits manufacturés se développent fortement dans la conception de nouveaux produits industriels et domestiques, car celles-ci peuvent constituer un élément important de la valeur perçue. Ces propriétés sont souvent prises en compte de manière empirique dans les innovations relatives à de nombreux secteurs industriels tels l'emballage, l'industrie textile, l'automobile, l'électroménager, la cosmétique, ou l'agroalimentaire. La mise au point de descripteurs sensoriels et de mesures associées est une première étape mais le nombre important des descripteurs peut rendre difficile leur intégration dans un cahier des charges. On voit émerger une demande pour une véritable « ingénierie de l'apparence ».

Certaines propriétés sensorielles des matériaux sont directement reliées à des grandeurs physiques simples ou composites, d'autres résultent d'interactions entre différentes modalités sensorielles élémentaires (cas des sollicitations tangentielles et normales aux surfaces pour la perception tactile par exemple), qui font appel à leur tour à des combinaisons de plusieurs propriétés mécaniques et physiques élémentaires. Dans cette thèse, nous considérerons les modalités sensorielles visuelles et tactiles. L'enjeu pour une ingénierie de la perception des matériaux et des surfaces est de faire correspondre trois types de données sur les matériaux et les surfaces[2] (voir Figure 0-1):

- Des mesures instrumentales, nécessaires à la formalisation technique du cahier des charges et au contrôle qualité en production (définition d'une cible et mesure des écarts)
- Des mesures psychophysiques, qui sont l'analogie des premières pour l'appareil perceptif humain. Elles sont obtenues en général à l'aide d'un panel entraîné, en déclinant le cahier des charges sensoriel en modalités élémentaires et en établissant des échelles d'intensité graduées au moyen d'échantillons de référence.
- Des représentations sémantiques, qui traduisent une perception plus globale du rendu visuel et tactile d'une surface, en faisant appel à des associations, des connaissances préalables, des références culturelles, des expériences passées ...

Cette dernière catégorie constitue le point de contact entre Design et Ingénierie dans le processus de conception.

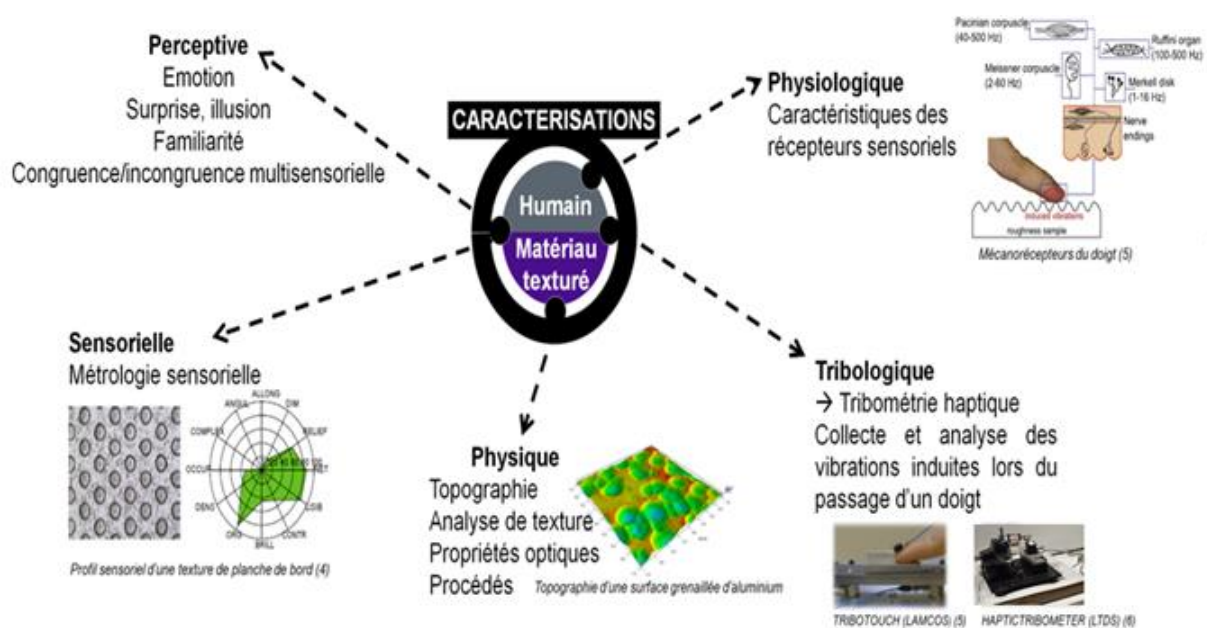


Figure 0-1 : Démarche de mise en relation des différents niveaux de caractérisation des matériaux et des textures.

Lorsqu'on entre en interaction avec un produit, tous nos sens sont en éveil. La valeur perçue repose sur des critères dépassant un cahier des charges fonctionnel. Ainsi, l'industrie a de plus en plus recours aux méthodes d'évaluations sensorielles pour mesurer les perceptions des utilisateurs, afin de mettre à leur disposition des produits qui correspondent le mieux à leurs attentes[3][4]. L'évaluation sensorielle est un outil quotidien des industries alimentaire et cosmétique, intervenant à tous les étapes de la vie d'un produit, de sa conception à son contrôle-qualité en suivi de production et de distribution. Ces méthodes gagnent progressivement du terrain dans les autres domaines industriels

Ce projet de recherche explore différents aspects de la perception des textures de matériaux à travers plusieurs études de cas indépendantes. Le manuscrit se divise en 6 chapitres :

- **Le chapitre 1** présente une synthèse bibliographique en matière de perception matériaux et de textures. Dans ce chapitre, le processus général de perception est présenté. Les notions de texture et de texture perçue sont explicitées. Les perceptions tactile, visuelle et visio-tactile des textures sont explicitées. Enfin les différents espaces de caractérisation des textures sont présentés.
- **Le chapitre 2** présente les matériaux et méthodes utilisés dans ce travail. En premiers lieux, tous les jeux d'échantillons analysés dans ce travail sont décrits. En second lieu, les différentes méthodes sensorielles et senso-instrumentales sont décrites. En particulier la collecte de données par Napping est présentée. Cette technique de collecte des données sensorielles est la plus utilisée dans les différentes études de cas qui composent ce travail.
- **Le chapitre 3** présente le nombre de sujet « idéal » dans les expériences de Napping®. L'influence d'un sujet sur les cartes moyennes de perception est étudiée, ainsi que le nombre de sujet minimum qui pourrait garantir une représentation robuste (du point de vue statistique) de la carte moyenne de perception.
- **Le chapitre 4** met un accent particulier sur la perception tactile. Des textures artificielles, périodiques et isotropes, ont été analysées dans le but de rechercher les paramètres tribologiques et vibratoires en lien avec la perception tactile.
- **Le chapitre 5** présente l'étude de la perception de textures « familières ». Un jeu d'échantillons dont la texture s'apparente à celle du bois a été utilisé pour étudier l'influence de l'identification de la matière sur la perception de texture.
- **Le chapitre 6** présente une étude sur l'influence du contexte de présentation des échantillons sur la perception de texture. Un jeu d'échantillons est constitué d'un même ensemble de textures présentées sous formes différentes est étudié (disque de matière texturée vs. objet identifié avec une surface texturée)

1. Synthèse bibliographique

Dans cette partie, nous parlons tout d'abord du processus général de perception des matériaux et textures, avec un accent particulier sur les modalités visuelle et tactile. Nous définissons ensuite la notion de texture et de texture perçue telle qu'elle est abordée dans le cadre de cette thèse. Enfin nous abordons les divers niveaux de caractérisation des textures de matériaux.

1.1. La perception des matériaux et des textures

La perception de texture renvoie à l'interaction entre un sujet et une texture (à travers un matériau ou un objet). Cette interaction se décline en plusieurs mots clés : stimulus, sensation, perception et texture. Ces termes sont utilisés à la fois dans le langage courant et dans différents domaines de recherche. Cette partie permet de mettre en place une définition utilisée dans le cadre de cette thèse.

1.1.1. Stimulus/Sensation/perception[5]

Selon le dictionnaire Larousse, un stimulus se définit comme étant tout élément physique, chimique ou biologique capable de déclencher des phénomènes dans l'organisme, notamment des phénomènes nerveux, musculaires ou endocriniens. Le stimulus est donc à la base de tout phénomène de perception. Toujours selon le dictionnaire Larousse, une sensation est un phénomène qui traduit de façon interne chez un individu une stimulation d'un de ses organes récepteurs. En psychologie, la sensation est définie comme l'étape qui démarre une succession d'évènements biochimiques ou neurologiques, allant jusqu'à la réponse. En d'autres termes, c'est le message transmis par les organes de sens au système nerveux. Chez l'être humain, les organes de sens sont au nombre de 5 : l'œil qui est l'organe de la vue, l'oreille qui est l'organe de l'ouïe, le nez qui est l'organe de l'odorat, la peau qui est l'organe du toucher et la langue qui est l'organe du goût.

Les organes sensoriels sont sensibles aux stimulations de l'environnement, agissant ainsi comme des capteurs. En effet, chaque sens présente des récepteurs spécifiques et active des zones distinctes du cortex cérébral. Ainsi, pour la vision, les cônes et les bâtonnets de la rétine répondent aux stimulations électromagnétiques de la lumière. Pour le toucher, les mécanorécepteurs de la peau répondent aux stimulations mécaniques qui les sollicitent. Les récepteurs sensoriels transforment l'énergie captée dans l'environnement, c'est-à-dire le stimulus physique ou chimique, en un signal électrochimique (l'impulsion nerveuse) qui est envoyé au cerveau pour y être traité : c'est le processus de transduction. La sensation peut alors être définie comme la réponse immédiate de nos récepteurs sensoriels à une sollicitation extérieure.

Selon le dictionnaire Larousse, la perception quant à elle est l'action de percevoir par les organes des sens. La perception est un phénomène cognitif dans lequel un stimulus ou un objet, présent dans l'environnement immédiat d'un individu, lui est représenté dans son activité psychologique interne, en principe de façon consciente. La perception est l'interprétation de la

sensation, qui permet de lui attribuer une signification[6]. Elle se définit comme un processus de sélection, d'organisation et d'interprétation des sensations afin de se former une représentation interne du monde extérieur. Ainsi, pour qu'il y ait perception, le cerveau doit combiner des milliers de sensations distinctes pour en faire un tout significatif. La perception a essentiellement une fonction cognitive d'interprétation des informations sensorielles. On peut résumer la perception en trois grandes étapes [7] .

- Lors de la première étape, les mécanismes mis en jeu dépendent des informations fournies par les stimuli et des caractéristiques des systèmes. Il s'agit d'un simple codage automatique des informations.
- Lors de la deuxième étape, les informations extraites de l'étape précédente sont regroupées et structurées en forme globale.
- La troisième étape quant à elle, est une étape cognitive lors de laquelle on identifie les objets ou événements par interprétation des données sensorielles extraites en étape une et structurées en étape deux. Ici, les connaissances antérieures sont nécessaires pour réaliser l'identification et réagir automatiquement aux informations encodées.

La perception est donc influencée par plusieurs facteurs: les caractéristiques des récepteurs, les caractéristiques du stimulus et l'individu (expériences, connaissances, motivations...). Alors que La sensation ne fait que transmettre ou communiquer l'information sur l'environnement, la perception quant à elle fait la sélection, parmi tous les stimuli disponibles, de ceux que l'on choisit de percevoir, l'organisation de l'information perçue dans l'environnement et l'interprétation par le cerveau des sensations reçues afin d'en faire un tout cohérent.

1.1.2. La texture et texture perçue

Dans le dictionnaire Larousse, il existe une multitude de définitions associées au mot texture. C'est une notion assez complexe qui se retrouve dans plusieurs domaines d'étude, avec une signification différente en fonction du domaine considéré. Par exemple dans le domaine textile la texture d'un tissu renvoie au mode d'entrecroisement des fils, tandis que la texture d'une crème fait référence à des paramètres rhéologiques, ou alors la texture d'une image renvoie à une région d'image qui a des caractéristiques homogènes. Dans le domaine des matériaux, la définition la plus commune est celle de la texture cristallographique qui se définit, selon le dictionnaire Larousse comme étant la constitution d'un agrégat polycristallin dont les cristaux constitutifs ne sont pas orientés aléatoirement dans l'espace. Plus proche des considérations de textures de matériaux abordés dans ce manuscrit, la littérature scientifique dans le domaine des sciences comportementales emploie aussi le terme texture. Selon Klatzky et Ledermann [8] toutes les propriétés physiques définissant la microstructure d'une surface sont englobées dans le terme texture. Selon ces auteurs, la texture est majoritairement considérée comme une propriété qui appartient au domaine du toucher, car elle est très souvent associée à la rugosité de surface. Elles concluent également que la texture est « multisensorielle », et n'est pas réservée qu'à une seule modalité sensorielle. Les chercheurs en sciences cognitives considèrent la texture comme une donnée « visuelle » qui joue un rôle fondamental dans la plupart des tâches cognitives [9]. Ainsi, la texture fait référence aux contours d'un objet ou à son apparence 2D, et donc sa macrostructure. La texture est souvent réduite aux propriétés d'une image [10]. Ainsi, Zuo et al [11] ont noté que, dans le domaine de la perception des matériaux, la plupart des définitions de la texture proposées prennent

en compte l'aspect visuel et non l'aspect tactile. Ils ont donc proposé une définition plus étendue de la texture comme étant l'ensemble des propriétés géométriques, physiques et chimiques d'un matériau ou d'un objet. Partant de ce qui précède, nous avons défini la texture dans le cadre ce travail comme étant, un état de surface comportant un motif en relief répété sur une surface, et dont l'arrangement peut être plus ou moins régulier. Cette définition tient compte du fait que nos textures pourront être à la fois visuelles et tactiles et fait ressortir 3 attributs principaux : motif, relief, arrangement. Ces trois attributs peuvent être présents sur la texture de manière plus ou moins accentuée. La Figure 1-1 présente deux exemples comparatifs de texture selon cette description de la texture. Afin d'illustrer cette comparaison, pour l'attribut relief, 2 niveaux sont considérés (Niveau 0 : pas de relief, Niveau 1 : présence d'un relief), pour les autres attributs (motif et arrangement), 5 niveaux permettent de décrire qualitativement les différentes textures. Le niveau cinq correspond à une présence très accentuée, très bien définie de l'attribut considéré. La texture a) présente une plaque de métal rainurée. Dans cet exemple, le motif (une rainure) est très bien défini (Niveau 5/5 pour l'attribut motif), ce motif est en relief et répété de manière périodique selon une direction (Niveau 5/5 pour l'attribut arrangement). La texture b) présente une lame de PVC imitation bois. Le motif n'est pas précis mais peut être défini comme une nervure. Le relief est bien présent et rappelle le relief du bois brut. L'arrangement quant à lui est visible mais présente de nombreuses hétérogénéités (niveau 3/5 pour l'attribut arrangement).

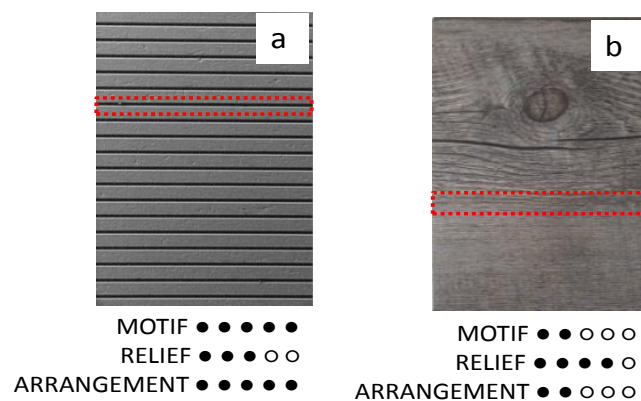


Figure 1-1 : Exemples de textures

A la différence de la texture, la texture perçue implique une interaction avec un sujet qui perçoit les propriétés de la texture, du matériau ou de l'objet. Szczesniak [12] définit la texture perçue liée aux produits alimentaires comme étant la réponse sensorielle à un ensemble de propriétés physiques, mécaniques ou rhéologiques, résultant de la structure de l'aliment. Dans le même domaine, Brennan [13] a défini la texture perçue comme étant l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit, perceptibles par les récepteurs tactiles et éventuellement visuels et auditifs. Bien que ces définitions aient été proposées pour le domaine alimentaire, elles sont transposables au domaine des sciences des matériaux. Zuo [11] a ainsi relevé la différence entre texture et texture perçue. La texture fait référence aux propriétés géométriques, physiques et chimiques et la surface du matériau. Tandis que la texture perçue est une synthèse des réponses physiologiques et psychologiques face à la configuration géométrique et aux attributs physico-chimiques de la surface du matériau. La corrélation entre texture et texture perçue permet donc de fournir un cadre pour la création de texture plus appropriées dans les processus de conception et design, car prenant en compte à la fois les données physiques, mais aussi le ressenti de

l'humain. Finalement, la texture perçue peut être vue comme un paramètre structural qui conditionne les propriétés perçues des matériaux ou des objets, et qui peut influencer la valeur perçue d'un objet. Elle dépend bien sûr de la texture, mais aussi de l'analyse et de l'interprétation des sensations. Dans notre étude, nous adopterons cette même nuance entre texture et texture perçue.

1.1.3. Espaces de caractérisation de la texture : (physique/sensoriel/sémantique)

Etteradossi [2] a proposé une description de l'ingénierie d'aspect organisée autour de 3 niveaux de cartographie (Table 1-1). Un premier niveau dit physique ou instrumental, composé de composantes mesurables de manière instrumentale. Ces composantes permettent la formalisation technique du cahier des charges et le contrôle qualité en production. Un deuxième niveau dit psychophysique, modal ou encore sensoriel, qui permet de rechercher les composantes des filtres permettant au système sensoriel de transformer un stimulus en une sensation. Il exploite donc les résultats des tests de perception pour déterminer des seuils de perception, des sensibilités et des stratégies de détection des stimuli. Les données obtenues permettent la formalisation du cahier des charges sensoriel. Enfin, un dernier niveau dit sémantique, qui traduit une perception plus globale de l'aspect (exemple : du rendu visuel et tactile d'une surface) en faisant appel à des associations, des connaissances préalables, des références culturelles, des expériences passées etc. Cette dernière catégorie constitue le point de contact entre Design et Ingénierie dans le processus de conception. C'est à ce niveau que cristallise la notion de « qualité perçue » d'un produit. La Table 1-1 résume les différents niveaux de caractérisation pour la perception des matériaux.

Table 1-1 : Les différents espaces de caractérisation des matériaux et textures

Espace Physique	Espace Modal	Espace sémantique
Matériaux en tant que combinaison d'une matière, d'un procédé de fabrication, d'une forme et d'une fonction	Matériaux en tant que générateurs de stimuli	Matériaux en tant que support non-verbal pour porter une identité de produit ou de marque

1.1.3.1. Espaces: physique

L'espace physique décrit l'ensemble des propriétés physiques mesurables à l'aide d'un instrument. Cet espace est donc centré sur le matériau ou la texture mais ne considère pas directement l'humain. Toutefois, un choix adéquat, en lien avec les caractéristiques des récepteurs sensoriels humains, des types et niveaux des sollicitations mises en jeu et/ou des données collectées lors des caractérisations peut permettre de faire un parallèle pertinent avec l'interaction avec l'humain. Pour faire ces choix, une bonne compréhension des mécanismes qui gouvernent les sensations est nécessaire. A titre d'exemple on peut citer comme propriétés de l'espace physique : la réflectance, le profil topographique, la rugosité moyenne, le coefficient de diffusivité thermique etc.

1.1.3.2. Espace modal ou psychophysique

Dans l'espace modal, le matériau est considéré comme un générateur de stimuli. Cet espace modal s'articule autour de différentes techniques qui permettent de mesurer la qualité d'un produit.

Parmi ces méthodes, La métrologie sensorielle ou analyse sensorielle figure au premier plan. Elle se définit comme l'ensemble des méthodes, outils et instruments qui permettent d'évaluer les qualités organoleptiques d'un produit. Les techniques d'évaluation sensorielle ont été mise au point pour pallier l'absence d'instruments de mesure permettant de mesurer la qualité perçue d'un produit. A l'origine, ces techniques étaient utilisées pour la mesure d'une qualité de conformité. Mais dans une logique d'évolution classique, elles ont été mobilisées en d'aval en amont dans le processus de développement d'un produit [1]. Bien qu'originaires de l'industrie agroalimentaire, elle s'ouvre de plus en plus aux industries non-alimentaires. Ces méthodes mettent en jeu un expérimentateur qui mènera l'expérience, un (plusieurs) sujets considéré(s) comme « instrument de mesure » et un stimulus. La Figure 1-2 traduit la démarche générale de métrologie sensorielle [14].

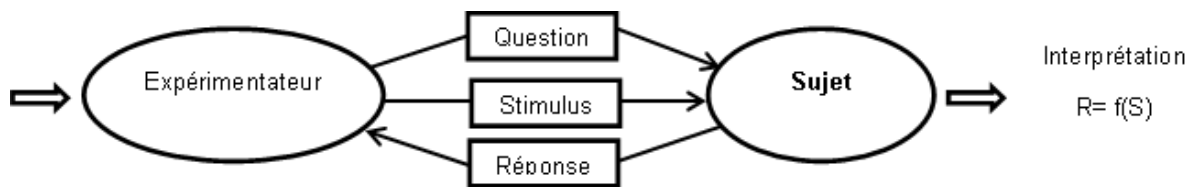


Figure 1-2: Dialogue et interaction entre l'expérimentateur et le sujet R: Réponse ; S : stimulus

Dans le dialogue entre l'expérimentateur et le sujet, l'objectif est de définir quantitativement la relation stimulus-réponse. Il s'agit donc, connaissant le stimulus de pouvoir prédire la perception qu'il engendrera chez le sujet. La caractérisation sensorielle repose sur quatre grands principes [15]:

- La caractérisation des sensations relatives à une famille d'objets : nécessité de construire un « espace produit »
- L'évaluation des sensations par un groupe de personnes mobilisant les performances de leurs appareils perceptifs (nécessité de supprimer tout élément de jugement de valeur et élément hédonique spécifique à chaque personne)
- La représentation d'une sensation par un mot permettant, une fois la relation de représentativité identifiée, d'associer une échelle de variation d'intensité
- La mesure dans un contexte « maîtrisé », où les variables exogènes à l'objet de mesure sont admises comme neutres et sans influence.

Les sujets [1] sont au cœur du processus d'évaluation sensoriel. Ils constituent le panel en analyse sensorielle. Le panel sensoriel est composé d'un groupe de personnes, candidates au processus d'apprentissage de l'appareil perceptif humain qui est jalonné d'étapes. Le panel représente un individu « standard » dans ses invariants sensoriels.

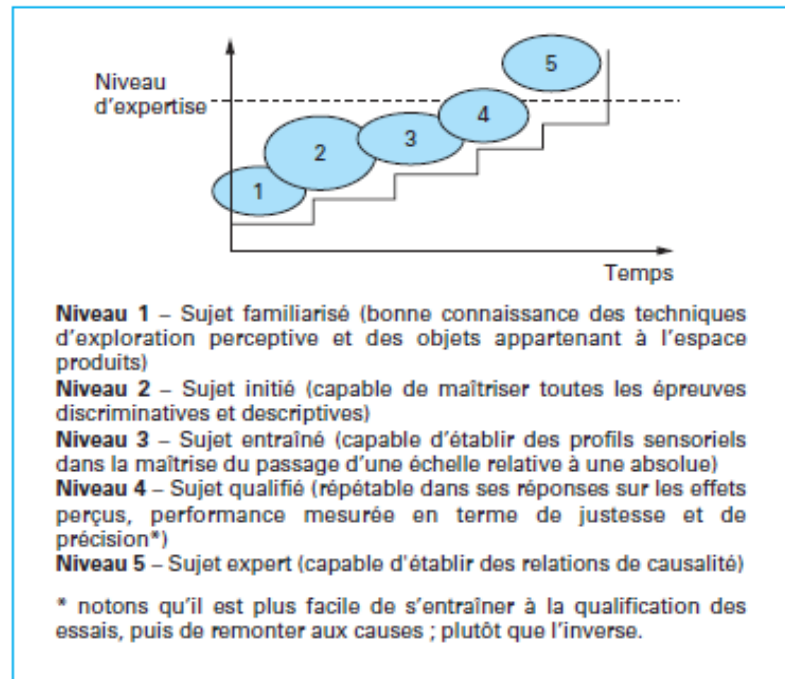


Figure 1-3 : Processus de construction d'un panel sensoriel [1]

La Figure 1-3 montre les différentes étapes parcourues dans la construction d'un panel sensoriel. On distingue cinq niveaux de qualification du panel : le sujet familiarisé, le sujet initié, le sujet entraîné, le sujet qualifié et le sujet expert. Dans les quatre premières étapes, les sujets peuvent participer activement aux épreuves descriptives quantitatives. La cinquième étape quant à elle est un changement de référentiel qui permet, une fois les effets caractérisés, de valider les relations de causalité qui lient les effets aux causes : on parle alors d'expert sensoriel.

1.1.3.3. Espace sémantique

En plus des espaces physique et sensoriel de caractérisation, les matériaux et textures se caractérisent dans un espace sémantique. Dans cet espace, ils sont perçus comme des artefacts non verbaux qui témoignent de l'identité d'un produit ou d'une marque. Ce dernier espace est celui sur lequel agissent le marketing et le design pour développer la qualité perçue du produit. Par exemple, le packaging joue un rôle important sur la manière dont le produit sera perçu. Un yaourt présenté dans un contenant en céramique aura une meilleure qualité perçue que le même yaourt présenté dans un contenant en plastique. De même un sol imitation bois présentant du relief de surface aura une qualité perçue plus élevée qu'une imitation dont la texture serait sans relief, parce que la première est plus identifiée au matériau naturel. En somme, les matériaux et les textures sont des leviers non verbaux qui sont utilisés pour augmenter la qualité perçue d'un produit.

1.1.4. La perception visuelle

En présence d'un stimulus visuel, une image se forme sur la rétine via ses photorécepteurs que sont les cônes et les bâtonnets[13]. Les cônes sont les moins sensibles à la lumière. Ils permettent une vision des couleurs et une vision précise des objets. Les bâtonnets en revanche, peuvent réagir à des éclaircissements très faibles, mais ils ne permettent de différencier ni les couleurs ni les détails. Ils

sont utiles pour les perceptions nocturnes. Le message nerveux issu de l'œil, de nature électrique, est acheminé au cerveau via le nerf optique. La partie arrière du cerveau est spécialisée dans la vision : le cortex visuel primaire constitue le point d'entrée des messages nerveux provenant des deux yeux.

Le système visuel explore les informations de manière rapide, active, dynamique, selon une série de mouvements des yeux et de fixation des stimuli. Selon plusieurs études [16][17][18][19], les propriétés de surface des objets sont d'abord perçues par la vision. La vision est la modalité la plus précise et la plus rapide pour évaluer les propriétés de forme, de dimension, de longueur, de courbure, de couleur [16]. Par exemple, pour l'identification d'objets communs, le temps nécessaire à la modalité visuelle est inférieur ou égal à 1 s [20][21], tandis qu'il est compris entre 5 et 6 s pour la modalité tactile [22][23].

L'espace perceptuel de la texture lié à la modalité visuelle s'organise autour de quatre principales dimensions : la brillance, la régularité, le contraste et la dureté [24][25][26]. Cet espace perceptuel traduit par des mots la manière dont la texture est perçue. Hanada [27] a relevé le fait que la plupart des études portant sur l'espace perceptuel de la modalité visuelle se sont intéressées plutôt aux propriétés générales perçues par la vision (couleur, transparence, forme...) et pas spécifiquement aux propriétés de surface qui génèrent la texture visuelle. Il s'est alors intéressé spécifiquement à l'espace perceptuel de la texture. Dans son étude, 45 sujets ont évalué 50 photos d'objets de la vie courante (pot métallique, cuillère, poudre de café, mousse polystyrène, pomme...). Les sujets devaient décrire leur impression visuelle du matériau constituant l'objet présenté en utilisant les onomatopées (en langue japonaise) et les mots les plus appropriés qu'ils ont eux-mêmes choisis. Trois principales dimensions sont ressorties de cette étude : humide/accrochant (*wetness/stickiness*), duveteux/doux (*fluffiness/softness*), lisse-rugueux/brillant-mat (*smoothness-roughness/gloss-dullness*). Deux dimensions secondaires ont aussi été identifiées : friable et froid (*crumbliness and coldness*). Selon cet auteur, les dimensions identifiées sont similaires à celles qui caractérisent la perception tactile de textures. Ces conclusions rejoignent celles de Jones et O'Neil [28], Lederman et Abbott [29], Lederman et al [30] qui à leurs époques avaient trouvé des aptitudes équivalentes entre vision et toucher lors de l'évaluation de la rugosité de papier abrasif et de surfaces périodiques constituées de points en relief. Tout ceci soutient l'idée selon laquelle la texture est une propriété qui se situe au carrefour de plusieurs modalités sensorielles, elle peut donc être évaluée par toutes ces modalités, et le vocabulaire peut être très proche d'une modalité à l'autre.

Les mécanismes de traitements des données sensorielles liés à perception visuelle ont été modélisés dans la théorie de la Gestalt encore appelée théorie de la forme et des organisations [31]. D'après la théorie de la Gestalt nous percevons primordialement des formes globales et non des détails. Il s'agit pour notre cerveau de faire une synthèse, un assemblage qui rend l'ensemble compréhensible, rapidement. Pour cela plusieurs mécanismes cognitifs complexes traduisent ce qui est perçu, de façon physique, par l'œil [7][32]. Ces mécanismes ont été modélisés et formalisés dans les lois de la Gestalt dont les principales sont les suivantes (voir Figure 1-4) :

- La loi de la bonne forme (A) : c'est la loi principale dont découlent les autres. Elle stipule qu'un ensemble de parties informes tend à être perçu d'abord comme une forme qui se veut simple, symétrique, stable, en somme une bonne forme (par exemple un carré, un triangle, un cercle ou encore un objet familier).

- La loi de la continuité (B): des points rapprochés tendent à représenter des formes lorsqu'ils sont perçus. Ils sont perçus d'abord dans une continuité comme des prolongements les uns des autres.
- La loi de la proximité (C): les points sont regroupés d'abord les plus proches les uns des autres.
- Loi de la similitude (D): si la distance ne permet pas de regrouper les points, les plus similaires sont repérés pour percevoir une forme.
- Loi du destin commun (E): des parties en mouvement ayant la même trajectoire sont perçues comme faisant partie de la même forme.
- Loi de clôture (ou fermeture) (F) : notre cerveau va tenter de combler les vides afin percevoir une forme dans sa totalité.

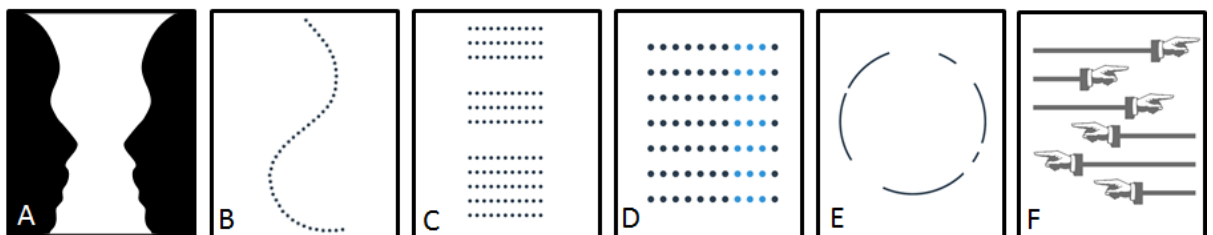


Figure 1-4: Illustrations des différentes lois de la Gestalt

Finalement la théorie de la Gestalt postule que la complexité visuelle de notre environnement oblige le cerveau à l'ordonner et le simplifier afin de lui donner une structure signifiante. L'identification d'un objet se fait par comparaison avec des formes qui nous sont familières.

1.1.5. La perception tactile

Le toucher est une modalité sensorielle communément employée pour percevoir les textures des objets de la vie courante [33]. La perception tactile concerne tout type de sensation en lien avec le toucher, qu'elle soit cutanée (pression, vibration, température...), kinesthésique (mouvement des membres) ou proprioceptive (position du corps) [34]. Les récepteurs du toucher sont distribués dans la peau sur toute la surface du corps[35]. Dans le cadre de cette thèse, nous nous limiterons au contact entre le doigt et la surface.

Pour percevoir les états de surface des matériaux, la peau en contact avec l'objet se déforme suite aux différents signaux mécaniques véhiculés par l'état de surface de l'objet, activant ainsi les récepteurs sensoriels. Puis les informations issues de ce contact sont transmises au système nerveux, et après traitement on aboutit à la perception tactile de la texture de l'objet. Il existe trois types de récepteurs sensoriels à l'origine de la perception tactile:

- Les thermorécepteurs : liés aux sensations de chaud et froid
- Les nocirécepteurs : liés à la sensation de douleurs
- Les mécanorécepteurs : liés à la discrimination tactile.

Ces derniers récepteurs, les mécanorécepteurs, se situent à différents niveaux de la peau. Tel que présenté en Figure 1-5. Ils sont de quatre types : les disques de Merkel, les corpuscules de Ruffini, les corpuscules de Meissner et les corpuscules de Pacini.

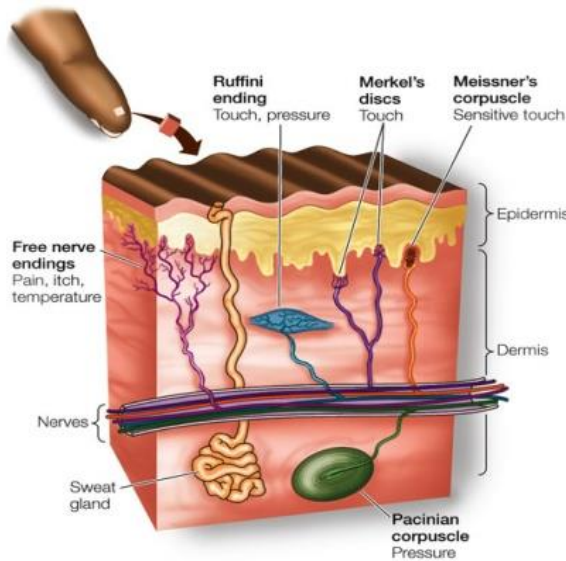


Figure 1-5 : Coupe de la peau avec les différents mécanorécepteurs

Chaque mécanorécepteur est sensible à une bande de fréquence et répond à des stimulations différentes. Les disques de Merkel (0-10 Hz) sont particulièrement sensibles aux arrêtes, contours et courbures des objets. Ils sont davantage sensibles aux sollicitations dynamiques que statiques, ils encodent les caractéristiques spatiales (liées à la géométrie) des stimuli. Les corpuscules de Rufini (0-10Hz) sont particulièrement sensibles au cisaillement de la peau et moins sensibles à son indentation. Ils ont un rôle proprioceptif car sont sensibles aux mouvements des articulations. Les corpuscules de Meissner (20-54 Hz) permettent de détecter et discriminer les vibrations de basse fréquence. Ils jouent un rôle important dans la préhension grâce à leur capacité à détecter le glissement entre la peau et une surface. Ils encodent les caractéristiques temporelles des stimuli. Enfin les corpuscules de Pacini (100-300Hz) sont particulièrement sensibles aux vibrations de haute fréquence. Leur seuil de sensibilité est inférieur pour les vibrations parallèles à la peau que pour les vibrations perpendiculaires à la peau [36][37].

Le toucher se distingue des autres sens par le fait qu'il résulte d'une démarche volontaire de la part de l'observateur. L'exploration tactile impose la réalisation de gestes répétés, lents, car différentes manipulations de l'objet peuvent être nécessaires, et les surfaces à explorer peuvent être relativement faibles. Le mouvement joue donc un rôle très important dans l'exploration tactile. Lederman et Klatzky [38] ont défini les principales procédures exploratoires manuelles des objets. Dans leur étude, des sujets ont eu comme instruction de toucher des objets de la vie courante et d'évaluer des caractéristiques spécifiques de ces objets (ex : poids, volume, température...). Les sujets n'ont reçu aucune restriction quant à la manière d'explorer les objets et ont été filmé durant tous les tests. Par une analyse des mouvements des sujets, les six procédures suivantes ont pu être identifiées : mouvement tangentiel pour l'évaluation de texture, la pression pour l'évaluation de dureté, le contact statique pour l'évaluation de température, le soupèsement pour l'évaluation du poids, la prise en main pour l'évaluation de volume et de forme, le contournement pour l'évaluation de contour. Ces différentes procédures d'exploration tactile sont présentées dans la Figure 1-6. Le choix de la procédure et donc du geste dépend de la propriété du matériau que l'on souhaite évaluer. Pour l'exploration de la texture d'un objet/surface, qui fait l'objet de notre étude, on utilisera un mouvement latéral du doigt sur la surface.

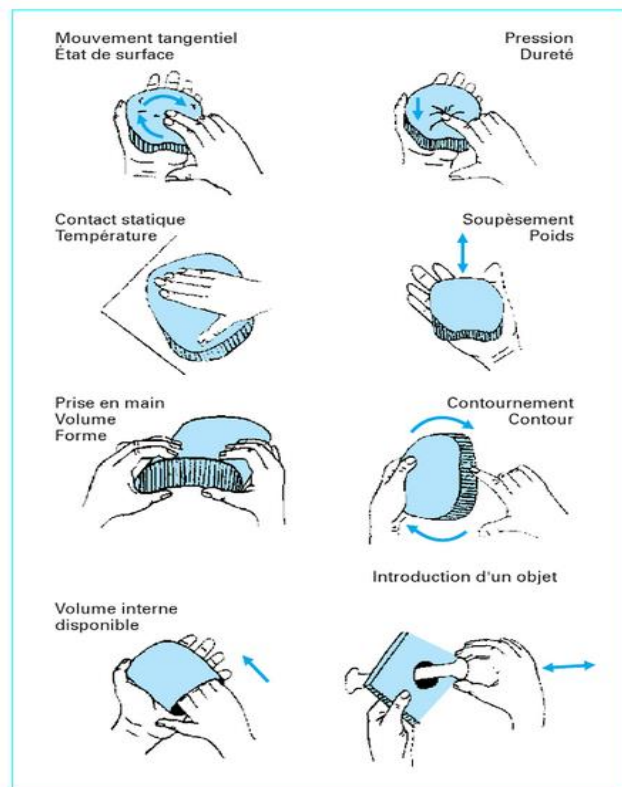


Figure 1-6: Procédures d'exploration tactile d'après Lederman et Klatzky[39][40]

Dans les travaux de recherche en perception tactile, on distingue trois types de toucher : le toucher passif, le toucher actif et le toucher dynamique[40]. En condition de toucher passif, le sujet qui explore la texture ne bouge pas et le stimulus est mis au contact de la peau. Ce type de toucher est utilisé dans des expérimentations utilisant des jets d'air [41], des vibrations [42] et des pressions [43]. Le toucher actif nécessite du mouvement de la part du sujet qui explore la texture. Ce dernier peut alors être libre d'explorer le stimulus de la manière dont il le souhaite en pleine main [22][44] ou alors peut se voir imposer des gestes précis impliquant uniquement un ou plusieurs doigts, des gants, une sonde etc.[45][46][47]. Le toucher dynamique quant à lui a été défini par Gibson [48] comme étant la perception qui résulte de la combinaison des informations fournies par la peau, les muscles et les articulations. Dans ce cas, le sujet reste statique et c'est le stimulus qui se déplace.

Il a été montré que les textures fines sont mieux discriminées en présence de mouvement alors que pour les textures grossières il n'y a aucune différence en condition active et passive [49][29][50][51]. En particulier, Lederman [52] a relevé que les vibrations permettent une activation continue des mécanorécepteurs, ce qui facilite la perception de texture. En effet, c'est parce que la condition statique supprime la composante vibratoire de la stimulation qu'elle dégrade la discrimination des textures fines. Alors que pour les textures grossières, la composante spatiale (la seule préservée en condition passive) est suffisante pour permettre la discrimination. La frontière entre textures fines et grossières a été formalisée dans le cadre de la Théorie Duplex de la perception tactile [53]:

- Les textures fines sont définies avec des périodes spatiales inférieures à 200 microns : La perception est principalement due aux vibrations induites lors du balayage de la surface par le doigt.
- Les textures grossières sont définies avec des périodes spatiales supérieures à 200 microns : La perception est principalement due aux propriétés spatiales (taille, forme, distribution des éléments de surface).

La perception de textures de matériaux a fait l'objet d'études en sciences comportementales. Yoshida [54] a étudié la perception tactile de surface de divers matériaux (verre, papier, pierre, aluminium...) et textiles (soie, laine, coton, lin...) de la vie courante. Dans son étude, 25 échantillons ont été évalués par 25 sujets de manière libre (sans restriction de geste). Trois principales dimensions sont ressorties de cette étude : « heaviness and coldness », « wet and smoothness », et « hardness ». Plusieurs autres équipes ont identifié des dimensions similaires à celle de Yoshida pour une gamme assez large de textures : Lyne [55] (papier toilette et lingette), Hollins [56] (textiles et matériaux divers : carton, papier, bois, velour...), Hollins [57] (papier abrasif), Picard [58] (textiles de siège automobile), Picard [59] (textiles divers), Soufflet [60] (textiles pour vêtement), Shirado [61] (matériaux divers : métal, bois, plastique...), Gesheider [62] (plaque de plastique embossé), Ballesteros [63] (matériaux « écologiques » : savon, scotch, mousse, fourrure synthétique...), Bergmann [64] (matériaux divers : papier, tapis, serviette polyester, t-shirt coton, pvc, plexiglas...), Tanaka [65] (matériaux divers), Yoshioka [66] (divers matériaux de la vie courante : velours côtelé, caoutchouc, papier...), Summers [67] (papier), Guest [68][69] (fluides de viscosités différentes, textiles). Okamoto et al [70] ont fait une synthèse des études sur le sujet (Table 1-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Selon leur revue, 5 principales dimensions définissent la perception tactile des textures: la rugosité fine (fine roughness), la rugosité grossière (macro roughness), le chaud/froid (warmness/coldness), le dur/souple (hardness/softness), et la friction (moistness/dryness, stickiness/slipperiness).

Table 1-2: Synthèse des études sur les dimensions perceptuelles tactiles [70]

Author	Year	Texture	Modality	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3	Dimension 4
Yoshida	1968	25 materials	Visuo-tactile	Hard/soft; cold/warm; rough/smooth	Moist/dry; Rough/smooth	Hard/soft	
Lyne	1984	8 tissues and paper towels	Visuo-tactile	Hard/soft	embossed (Roughness)		
Hollins	1993	17 materials	Tactile	Rough/smooth; warm/cold; sticky/slippery	Hard/soft	not specified (stiff)	
Hollins	2000	17 materials	Tactile	Rough/smooth	Hard/soft	Sticky/slippery	
Tamura	2000	15 materials	Tactile	Rough/smooth; Hard/soft	Warm/cold	Moist/dry	
Picard	2003	24 car seats	Tactile	Hard/soft; Rough (fine roughness)	Relief (Macro roughness)	Hard/soft	
Picard	2004	40 fabrics	Tactile	Hard/soft	Rough/smooth		
Soufflet	2004	26 fabrics	Tactile	Rough/smooth; Hard/soft	Warm/cold		
Ballesteros	2005	20 materials	Tactile	Rough/smooth	Hard/soft	Slippery/sticky	
Shirado	2005	20 materials	Tactile	Rough/smooth	Cold/warm	Moist/dry	Hard/soft
Gesheider	2005	7 raised dots	Tactile	Macro roughness	Rough/smooth	fine roughness	
Bergmann	2006	124 materials	Tactile	Hard/soft	Smooth/rough	not named	not named
Tanaka	2006	13 fabrics	Tactile	Moist/dry; Rough/smooth	Hard/soft; cold/warm		
Yoshioka	2007	16 materials	Tactile	Hard/soft	Rough/smooth	Sticky/slippery	
Summers	2008	10 papers	Tactile	Rough/smooth			
Guest	2011	15 fluids	Tactile	Slippery/Sticky	Rough/smooth	Oily	
Guest	2012	5 fabrics	Tactile	Rough/smooth	Moist/dry	Hard/soft	

Dans cet espace perceptuel tactile, la rugosité a fait l'objet d'un grand nombre d'études [71][72][73][74][75][76][52]. Elle reflète à la fois les propriétés d'une surface explorée et la manière dont cette surface est explorée. La littérature scientifique relève une différence entre, rugosité physique et rugosité perçue. La rugosité physique peut être mesurée à l'aide d'instruments (rugosimètre, profilomètre...) et décrite à l'aide de paramètres physiques. Ces paramètres physiques sont le plus souvent des paramètres d'amplitude de rugosité définis par des normes tels que la rugosité moyenne arithmétique (R_a), la rugosité moyenne quadratique (R_q) et la hauteur maximale du profil R_t définis dans la norme ISO 4287. La rugosité perçue quant à elle dépend de l'interaction entre le doigt humain et la surface explorée. Plusieurs auteurs [34][48][77] ont étudié la perception tactile de rugosité au travers d'expérimentation utilisant des plaques rainurées (largeur de rainure entre 0,13 et 1mm ; profondeur de rainure entre 0,125 et 0,25mm ; espacement des rainures entre 0,38 à 1mm) et ont montré que la largeur des rainures, la force de contact, la vitesse d'exploration et la microrugosité (profil des arrêtes, rugosité dans les rainures) sont susceptibles de modifier la rugosité perçue. D'autres études [48][78] sur des supports tels que des papiers abrasifs ou des plaques embossées ont également montré que la rugosité perçue est très influencée par la taille ainsi que l'arrangement des motifs de la texture.

1.1.6. Perception multisensorielle de texture.

La perception de texture est un exercice multisensoriel [71][8][79]. Lorsque nous percevons les textures des objets, chacune de nos modalités sensorielles peut contribuer au processus de perception. L'intermodalité visio-tactile fait référence au processus d'intégration des différentes informations sensorielles véhiculées par la vision et le toucher pour donner une perception globale de la texture [33]. La modalité visuelle donne à l'observateur d'importantes informations sur les propriétés de surface. Ces propriétés de surface sont d'abord perçues par la modalité visuelle qui par la suite peut orienter le toucher dans l'exploration [16][17]. Si l'état de l'art s'accorde sur le caractère multisensoriel de la perception de texture, la question du partage d'informations ainsi que des performances entre modalités fait moins l'unanimité. Plusieurs cas de figures sont possibles lorsque plusieurs modalités sensorielles évaluent la même propriété. Dans un premier cas, les informations encodées par les différentes modalités sont identiques. On aura alors des informations redondantes sur la propriété à évaluer. Dans un deuxième cas, les informations encodées par les modalités sont concordantes, mais l'une des modalités donne des informations plus précises et plus rapidement que les autres modalités. Dans un troisième cas, les modalités encodent des informations complètement différentes sur la propriété à évaluer. Dans un quatrième et dernier cas, les modalités donnent des informations différentes mais complémentaires sur la propriété à évaluer [8]. La perception multisensorielle de texture soulève deux questions principales [8] :

- Question 1 : Comment le sujet intègre-t-il les informations relatives à la texture et provenant de diverses modalités sensorielles ?
- Question 2 : Comment l'intégration multisensorielle affecte-t-elle les performances du sujet ?

En réponse à la question 1, le sujet peut choisir d'ignorer les informations provenant d'une modalité sensorielle ou alors d'intégrer les informations provenant des diverses sources sous forme de compromis. On parle alors soit de conflit sensoriel et de dominance sensorielle. Vision et toucher évaluent les textures de manière différente. La modalité tactile évalue la texture de manière séquentielle et les propriétés du stimulus sont explorées de manière progressive. Au contraire, la

modalité visuelle évalue la texture de manière globale, et peut évaluer simultanément plusieurs propriétés du stimulus. Ceci induit un processus d'exploration plus long en tactile par rapport au visuel [40]. Dans une étude destinée à comparer les perceptions visuelle et tactile dans un processus séquentiel, [80] le champ visuel a été restreint de manière à ce que les sujets puissent découvrir le stimulus de manière séquentielle (une petite partie du stimulus à la fois). Dans ces conditions, des performances très similaires dans les deux modalités ont été observées, ce qui a permis de relever que la méthode d'évaluation du stimulus affecte de manière significative les capacités à le reconnaître.

Afin d'évaluer la manière dont les sujets intègrent les données issues des différentes modalités sensorielles, plusieurs études se sont intéressées à la comparaison de la vision et le toucher lors de perception de texture en condition unimodale. C'est le cas de Binns[81] qui déjà à son époque n'a trouvé aucune différence entre vision et toucher lors d'une tâche de classement en condition tactile et visuelle d'étoffes de laine selon leur finesse et leur douceur. Plus tard, Lederman et Abbott [29], lors d'un test d'évaluation de la rugosité de papier abrasif ont également trouvé des performances équivalentes entre conditions visuelle seule, tactile seule et visio-tactile. Drewing et al[75] ont également conclu à une équivalence entre vision et toucher lors de l'évaluation de rugosité de stimuli virtuels constitués de plaques embossées. Enfin, avec des stimuli plus « familiers » (issus de la vie courante), Bergmann Tiest et Kappers [64] ont demandé à des sujets de classer les objets selon la rugosité perçue. Les résultats des classements visuel et tactile ont été corrélés à des mesures physiques de rugosité et les résultats entre vision et toucher étaient très similaires. De même Picard [82] a également trouvé des performances équivalentes entre vision et toucher lors de l'évaluation de la rugosité de textile utilisé pour des sièges auto.

Afin de répondre à la question 2, d'autres études se sont intéressées à la comparaison entre vision et toucher en condition unimodale et bimodale, afin d'évaluer comment ce paramètre pourrait affecter les performances des sujets. Plusieurs conclusions parfois contradictoires ressortent de l'état de l'art. Heller[83] s'est intéressé à la perception de la douceur de différents échantillons de papier abrasif. Dans son étude, les sujets ont présenté de meilleures performances en condition visio-tactile par rapport aux conditions visuelle seule et tactile seule. Il a donc conclu à une supériorité de la condition bimodale sur la condition unimodale. Guest et Spence [73] ont travaillé sur la perception de rugosité sur des textiles. Eux, au contraire, n'ont trouvé aucune amélioration de performance en discrimination en condition visio-tactile par rapport aux conditions tactile seule et visuelle seule. Helbig et al [84] ont travaillé sur l'évaluation de la forme d'objet ainsi que sur l'évaluation de la hauteur d'une barre en plastique en conditions visuelle, tactile et visio-tactile. Ils ont suggéré qu'en condition bimodale, la perception globale résulte d'une intégration des informations provenant des diverses modalités sensorielles. Dans cette intégration, la pondération la plus élevée est attribuée à la modalité fournissant l'information la plus précise sur la propriété à évaluer. En d'autres termes, s'il s'agit par exemple d'évaluer en visio-tactile la taille d'un objet, la vision aura une pondération plus élevée dans le résultat global. Par contre, s'il s'agit d'évaluer l'état de surface, c'est le toucher qui aura la pondération la plus élevée. Burge et Banks [85] ont également abouti aux mêmes conclusions sur l'intégration multisensorielle visio-tactile, c'est-à-dire que la vision prend le dessus dans la perception visio-tactile s'il s'agit d'une tâche plutôt « visuelle » comme l'estimation de la taille ou de la forme d'un objet ([86][87]; par contre le tactile prend le dessus s'il s'agit d'une tâche plutôt « tactile » comme l'estimation d'une rugosité de surface[75].

Selon Helbig et Ernst [88] il est essentiel pour le cerveau humain de combiner les informations issues de plusieurs modalités sensorielles car aucune modalité seule n'est assez puissante pour donner une information précise en toutes circonstances. Les sens fournissent des informations soit redondantes soit complémentaires. Il est donc bénéfique d'intégrer les informations provenant de diverses sources, car cela réduit toute ambiguïté perceptive, améliore les performances et permet de faire un jugement plus précis sur les propriétés à évaluer. En plus des différents signaux sensoriels collectés par les différentes modalités, l'expérience passée contribue de manière significative à l'interprétation de ces derniers, pour construire une perception robuste et cohérente [89]. Crochemore [90] s'est intéressé à l'interaction vision-toucher en se basant sur les travaux de Hatwell [91]. Il a synthétisé sa vision des événements et relations intermodales dans la Figure 1-7. Selon lui, dans l'ensemble, on constate une influence plus importante de la vision sur le toucher. La diversité de l'information montre que ces deux sens sont davantage complémentaires que concurrents. La nature de la tâche de perception influence l'interaction entre les deux sens, c'est-à-dire que la vision prédominera s'il s'agit de l'appréhension de l'espace, tandis que le toucher prédomine s'il s'agit de la perception de la texture ou état de surface.

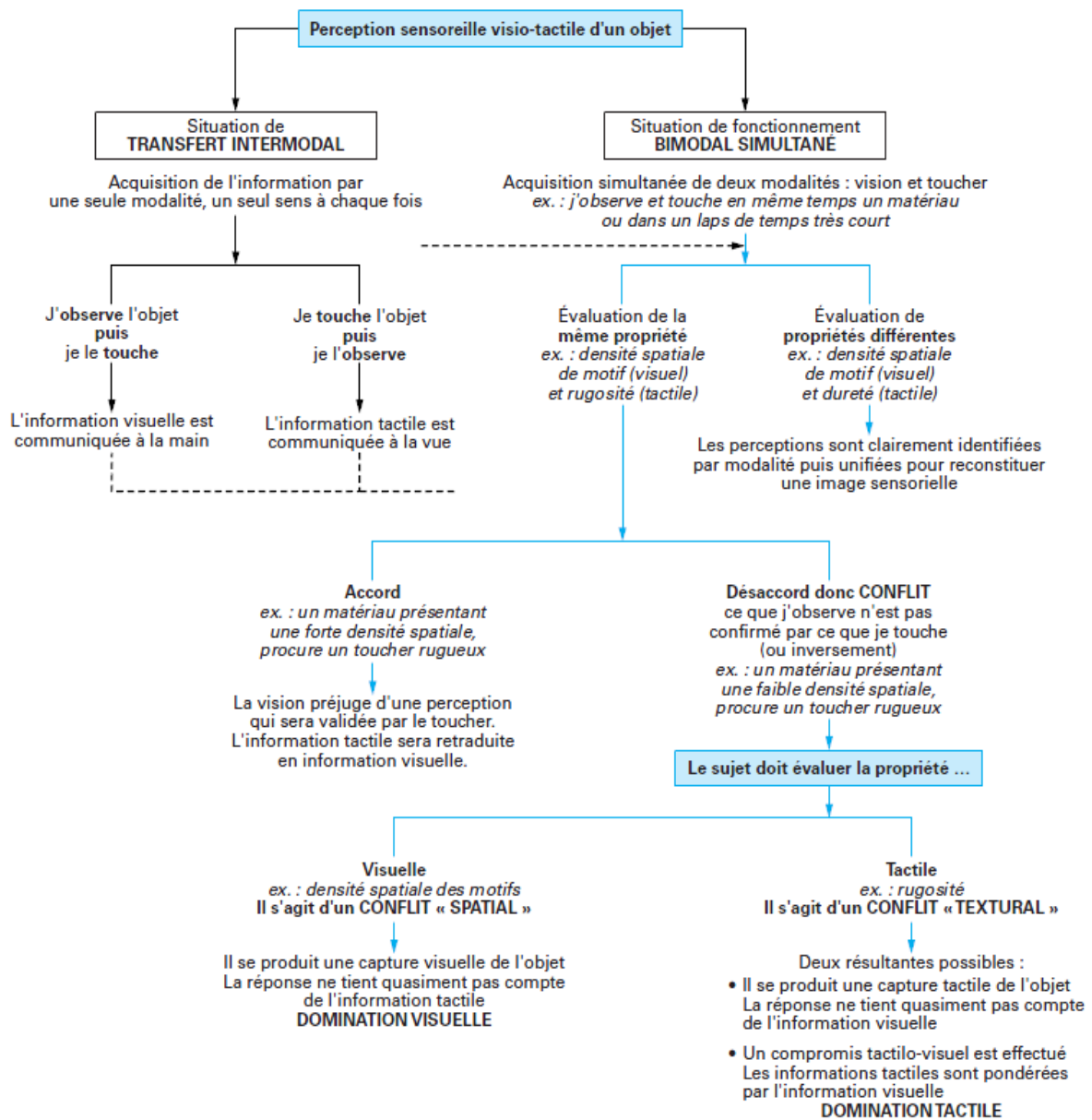


Figure 1-7 : Synthèse des événements et des relations intermodales vision-toucher[90]

Toutes les conclusions sur l'étude relative à la perception multisensorielle de texture montrent la complexité de cet exercice. Le type de texture peut aussi être mis en cause. En effet, la plupart des textures étudiées dans les recherches mentionnées ci-dessus sont de type artificiel : réseaux de points, plaques embossées, plaques rainurées, papier abrasif comme ont souligné Whitaker et al [33] dans leur revue. Ils ont également souligné que, pour des « textures familières » la perception en situation multisensorielle pourrait conduire à de meilleurs résultats avec de meilleures performances en discrimination. Cette amélioration pourrait être due à des aspects cognitifs plutôt que purement sensoriels. Les aspects cognitifs du sujet prennent en compte les capacités même du sujet, mais également son expérience passée ou encore la mémoire comme l'ont si bien souligné Ernst et Bühlhoff [89] dans leur étude. Sur la notion d'expérience passée, plusieurs études se sont

intéressées à l'influence de la familiarité sur la perception d'objet, de textures, de matériaux. Bülthoff et Newell [92] ont travaillé sur la reconnaissance d'objet et de visage avec les modalités tactile et visuelles. Elles ont conclu que le fait d'être familier avec un objet peut drastiquement changer la manière dont on le perçoit. Elles ont montré dans leur étude que la familiarité avec un objet permet de construire une représentation plus robuste de ce dernier au niveau de la mémoire, conduisant ainsi à une reconnaissance plus efficace des objets. De même, Bushnell & Baxt [93] ont travaillé sur l'identification d'objets familiers et non familiers. Dans leur étude, de jeunes enfants ont eu à évaluer des objets familiers et non-familiers en condition tactile, visuelle et visio-tactile. Les objets familiers (crayon, voiture en jouet, vêtements, brosse à dent...) ont conduit à de meilleures performances par rapport aux objets non-familiers (bouton en caoutchouc, connecteur d'ordinateur, boa en plume...). Ainsi la familiarité avec un stimulus ou une tâche permet au sujet d'avoir de meilleures performances.

En résumé, il faut garder à l'esprit que la perception de texture est un exercice multisensoriel. Vision et toucher sont aptes à évaluer la texture, même si les processus d'évaluation sont différents. La complexité de la tâche d'évaluation de la texture amène à bien choisir les protocoles de test, c'est-à-dire les jeux d'échantillons et les méthodes de collecte de données sensorielles, en fonction du type d'information que l'on souhaite obtenir à l'issue du test.

2. Matériels et méthodes

Ce chapitre présente les différents échantillons analysés tout au long de ce travail de thèse, ainsi que les différentes méthodes utilisées.

2.1. Les matériels

Différents types d'échantillons ont été analysés dans ce travail. Le choix des différents jeux d'échantillons ou espaces produits est fondé sur diverses observations issues de l'état de l'art en matière de perception de texture. En particulier, Whitaker [33] dans sa revue a souligné le fait que, la plupart des études scientifiques se sont intéressées à la perception de textures de stimuli « artificiels » telles que des plaques embossées, des réseaux de points, des plaques rainurées, du papier abrasif, surfaces gravées etc. Avec ce type de stimulus, les paramètres physiques (fréquence spatiale, période, amplitude..) sont parfaitement contrôlés et maîtrisés. Très peu d'études ont utilisé des stimuli « naturels » qui, contrairement aux précédents, ont des paramètres physiques plus difficiles à mesurer et à contrôler. Or l'humain possède de remarquables capacités à percevoir les textures « naturelles », ou « familières » présentes dans son quotidien. Pour des textures « familières », la mémoire joue un rôle fondamental dans la perception et l'identification. L'exploration de ce dernier type de texture pourrait donner des informations indispensables au développement d'environnements virtuels car leur intérêt dans divers domaines est de plus en plus grandissant. L'utilisation de textures « naturelles » ou « familières » représente un réel challenge à cause de la difficulté de contrôler les paramètres physiques, comme c'est le cas pour les textures artificielles. Il est apparu intéressant d'envisager des jeux d'échantillons entrant dans ces catégories. Ainsi trois jeux d'échantillons ont été considérés dans cette thèse. Chaque jeu d'échantillons de complexité croissante permet d'explorer un champ particulier de la perception des textures en lien avec les espaces de caractérisation définis dans le paragraphe 1.1.3. On a donc :

- Jeu d'échantillons 1 : Surfaces métalliques rainurées et périodiques
- Jeu d'échantillons 2 : Textures régulières isotropes (non périodiques)
- Jeu d'échantillons 3 : Contretypes bois
- Jeu d'échantillons 4 : Répliques des contretypes bois
- Jeu d'échantillons 5 : textures sur des objets et textures hors contexte d'usage

2.1.1. Jeu d'échantillons 1 : surfaces métalliques rainurées et périodiques (textures périodiques)

Ce jeu d'échantillons est très similaire aux jeux d'échantillons sélectionnés dans la littérature existante. Il s'agit d'une série d'échantillons présentant une texturation artificielle décrite par les paramètres dimensionnels d'une rainure (motif) répété selon une direction suivant une période donnée (arrangement). Cette série d'échantillons est utilisée dans le chapitre 4 relatif aux perceptions tactiles et vibrations induites. L'objectif de l'étude est de mettre en relation données sensorielles de perception tactile et mesure senso-instrumentale pour mieux comprendre les mécanismes de perception tactile.

Douze échantillons de dimension 5*5cm² (dont une référence et onze échantillons texturés) en acier inoxydable constituent la série d'échantillons. La texturation de surface a été effectuée par laser sur la centrale USD (Ultrafast Surface Design) de MANUTECH-USD. Un laser ultra bref de pulsation d'environ 400 fs et de puissance 7,35 W a été utilisé. La texture des échantillons est formée de rainures parallèles arrangées de manière périodiques. Chaque échantillon présente une période différente variant de 150 μm et 1050 μm . la profondeur de la rainure est 25 μm et la largeur est 50 μm au niveau de la surface et 39 μm au niveau du fond de la rainure. Le profil de la rainure est schématisé sur la Figure 2-1.

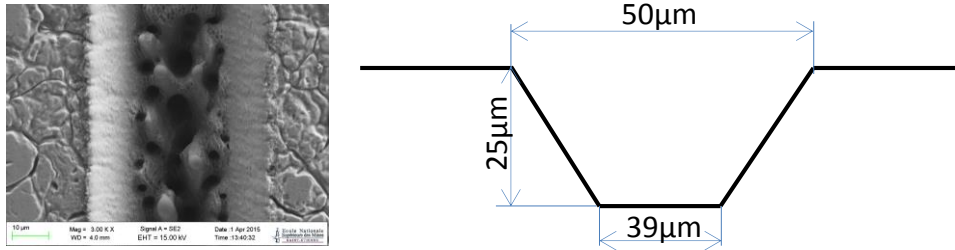


Figure 2-1 : Schéma du profil de la rainure et image MEB d'une rainure vue de dessus

Un échantillon particulier a été obtenu lors de la fabrication de l'échantillon de période 50 μm . Puisque la largeur du faisceau est de l'ordre de 50 μm , cet échantillon devrait présenter un profil en dents de scie (figure 2-2a). Lors de la fabrication de cet échantillon, un décalage dans la course du faisceau a modifié légèrement le profil attendu (figure 2-2b), faisant ainsi apparaître un petit plateau restant de la surface d'origine. Finalement, la période de l'échantillon est proche de 2 largeurs de faisceau soit 100 μm et la largeur de rainure au niveau de la surface est 30 μm . Cet échantillon est référencé P1*/100* μm .

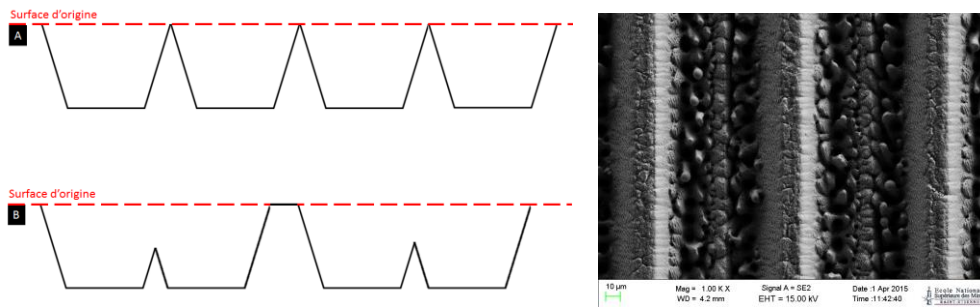


Figure 2-2 : Schéma du profil de la rainure et image MEB d'une rainure vue de dessus

La Figure 2-2 présente les caractéristiques des échantillons du jeu d'échantillons 1. Et la Figure 2-3 présente quelques échantillons de la série.

Table 2-1 : Caractéristiques des échantillons périodiques

Echantillon	P1*	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Préf
Largeur de rainure théorique (μm)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Largeur de rainure réelle (μm)	30	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Période (μm)	100*	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050	0

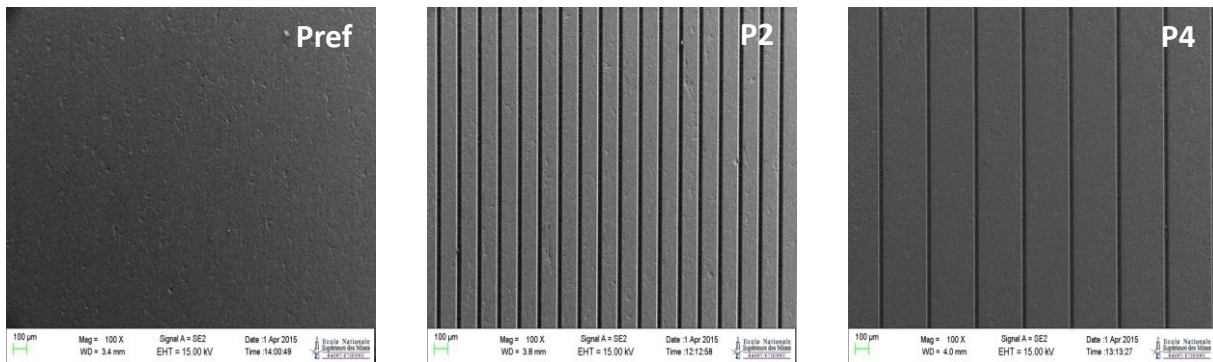


Figure 2-3 : Images MEB des échantillons P12, P2 et P4.

La rugosité de surface des différents échantillons a été mesurée par interférométrie optique (Altisurf 500). Les paramètres utilisés pour la mesure étaient : 4,5µm de pas selon les axes X et Y et une vitesse de balayage 4500µ/s. Pour chaque échantillon, trois profils ont été collectés afin de calculer la rugosité moyenne arithmétique (Ra) selon l’axe X, perpendiculaire aux rainures. Bien que ce paramètre de rugosité soit plutôt adapté pour décrire des surfaces rugueuses aléatoires (stochastiques) telles que les surfaces sablées, ces valeurs de rugosité ont été calculées afin d’être éventuellement comparées aux valeurs de rugosité des autres jeux d’échantillons. Les valeurs de rugosité Ra des différents échantillons sont présentées dans la Table 2-2. Sans surprise, les valeurs de rugosité augmentent lorsque la période diminue.

Table 2-2 : Rugosité des différents échantillons périodiques

Echantillon	P1*	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Période (µm)	100*	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050	0
Ra (µm)	9,66	8,95	6,09	4,61	3,76	3,1	2,63	2,35	2,15	1,88	1,82	0,28

2.1.2. Jeu d’échantillons 2 : textures régulières isotropes (textures isotropes)

Dans la littérature, la plupart des textures isotropes utilisées sont : les papiers abrasifs, les textures sablées ou les réseaux de points. Nous avons considéré un autre procédé afin de produire une série d’échantillons présentant une évolution contrôlée de la texture de surface. Pour ce faire, nous avons procédé au laminage de mousses de nickel. Ces mousses sont utilisés traditionnellement comme support d’électrolyte dans les batteries. Les tailles de cellules sont de l’ordre de 500 µm à 1 mm de diamètre et plutôt monodispersées pour une référence donnée (densité de la mousse). Ces mousses présentent l’avantage d’être facilement déformables par laminage, ce qui permet de produire des surfaces planes et texturées. L’échantillon demeure cependant poreux. La Figure 2-4 présente des exemples de mousse de nickel.

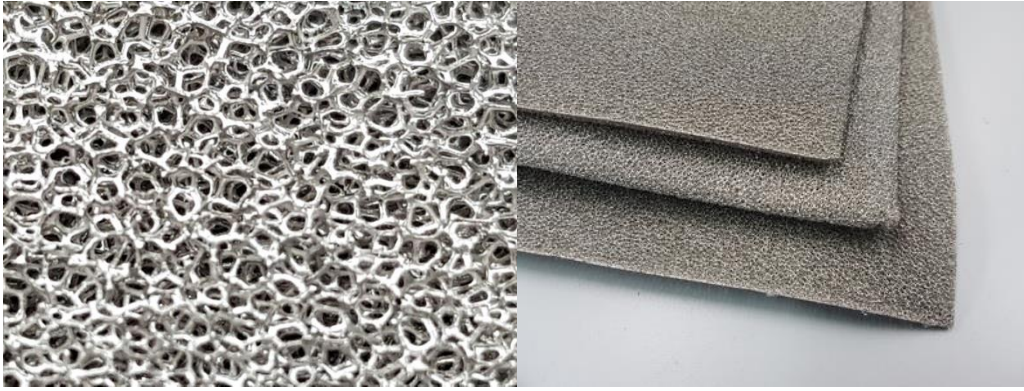


Figure 2-4 :Mousse de Nickel [94]

Le jeu d'échantillons « textures isotropes » est constitué d'une série de 12 échantillons de $5 \times 5 \text{ cm}^2$ obtenus par laminage de deux ou quatre épaisseurs de manière à obtenir des taux de déformation différents et ainsi des textures de surface différentes. Les caractéristiques des échantillons sont détaillées dans la Table 2-3. Les échantillons I1 et I2 sont des échantillons de mousses d'origine sans laminage.

Table 2-3 : Caractéristiques des échantillons isotropes

Référence Echantillon	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
Densité mousse d'origine (g/m^2)	900	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Nombre de couches	1	1	2	2	2	4	2	2	4	4	2	4
Epaisseur avant laminage (mm)	1,4	1,6	2,8	2,8	2,8	5,6	2,8	2,8	5,6	5,6	2,8	4,6
Epaisseur après laminage (mm)	1,4	1,6	2,5	2	0,8	2,4	1,5	1,2	0,8	1,2	0,4	0,4
Taux de déformation (%)	100	100	89	71	29	43	54	43	14	21	14	9

Compte tenu de la structure poreuse des échantillons, les mesures de rugosités de surface ne sont pas adéquates. Ainsi, afin de qualifier la texture de surface, un autre paramètre a été considéré. Nous avons émis l'hypothèse que, dans le cas de cette série d'échantillons, la mesure de la surface émergente de métal est directement reliée à la rugosité perçue. Ainsi, les échantillons ont été enrobés sous résine acrylique (Figure 2-5), puis très légèrement polis pour être ensuite observés au microscope optique (OLYMPUS GX51) afin de collecter des images de la surface. Les images collectées ont été binarisées (Figure 2-6) afin de déterminer le pourcentage de phases métal et résine émergents à la surface.



Figure 2-5 : Images au microscope optique de quelques échantillons isotropes

Les pourcentages de phase métal obtenus sont présentés dans la Table 2-4.

Table 2-4 : Pourcentage de phases métal des échantillons isotropes

Référence	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
% phase	2,1	2,7	3,2	3,3	4,9	5,18	6	6,8	8,3	8,3	12,74	24,12

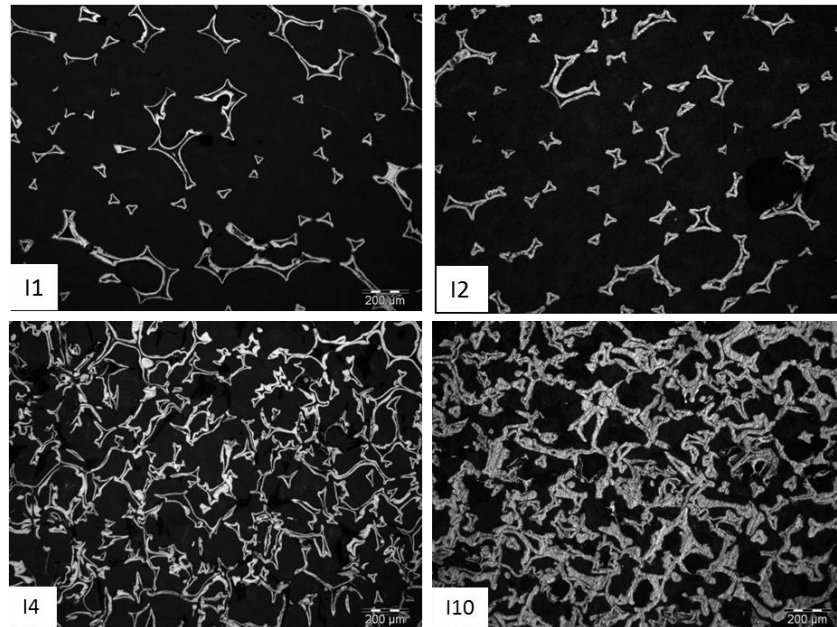


Figure 2-6: Echantillons isotropes enrobés de résine acrylique

2.1.2. Jeu d'échantillon 3 : les contretypes bois (WC)

Dans son article de revue, Whitaker [33] souligne que l'état de l'art des études de perception des textures manque d'études ayant pour objet l'études de textures familières ou naturelles. En effet, il est souligné que, pour des « textures familières » la perception en situation multisensorielle pourrait conduire à de meilleures performances de discrimination probablement dues à des aspects cognitifs plutôt que purement sensoriel. Dans cette idée, le jeu d'échantillons 3 (contretypes bois, WC) a été sélectionné. D'une part ce jeu d'échantillon est composé de lames de parquet faux-bois de bonne facture et fait clairement appel au champ sémantique du bois. D'autre part, comme il s'agit de matériaux manufacturés et non réellement naturels, ils sont plus robustes à la manipulation (patine, oxydation, dégradation).

9 échantillons rectangulaires de dimension 10*15cm² constituent la série contretype bois. Ces échantillons proviennent de lames en vinyle imitation bois utilisées en revêtement de sol. L'échantillonnage est issu de la gamme « senso rustic PECAN » d'une marque commerciale assez populaire (Gerflor). Ces échantillons présentent la particularité d'avoir à la fois une texture visuelle et une texture tactile rappelant les caractéristiques du bois. La texture visuelle rappelle le bois et ses hétérogénéités (nœud, nervures, traits de scie). La texture tactile présente des rainures plus ou moins profondes, de largeurs variables, orientées de manière directionnelle rappelant les nervures et les fibres du bois. A noter que les textures visuelles et tactiles sont cohérentes avec l'archétype du bois, mais que les détails tactiles et visuels ne se superposent pas spatialement. C'est-à-dire par exemple que sur un détail visuel en forme de nœud, la texture tactile à cet endroit ne correspond pas à celle d'un nœud, cette texture tactile est essentiellement constituée de rainures. Les 9 échantillons

constituant cette série sont présentés en Figure 2-7. Des empreintes à l'encre de la topographie permettent d'illustrer la non concordance entre texture visuelle et texture tactile.

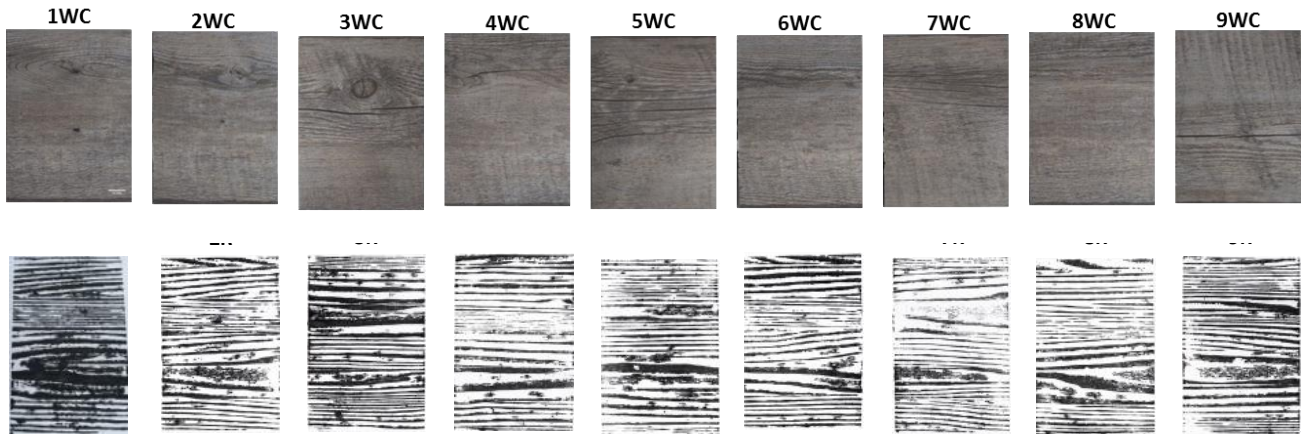


Figure 2-7: Présentation des échantillons contretypage bois et les empreintes à l'encre correspondantes.

2.1.3. Jeu d'échantillons 4 : les répliques des contretypes bois (R)

Le jeu d'échantillons « Répliques (R) » est composé de moulages des échantillons contretypes bois. Cette série découle du besoin de fabriquer des échantillons de même texture tactile que les contretypes bois, tout en s'affranchissant de l'aspect visuel qui rappelle le bois. Les répliques ont été fabriquées en laboratoire. Un moulage en silicone de chacun des échantillons de contretypage bois a été fabriqué. Ces moules ont ensuite été utilisés pour fabriquer chaque réplique en résine polyuréthane colorée (violet). La Figure 2-8 illustre en images les différentes étapes de fabrication des répliques. L'étape 1 présente la fabrication de moule en silicone. L'étape 2 présente le moule en silicone obtenu pour un échantillon donné. L'étape 3 présente le remplissage du moule avec la résine polyuréthane. Et enfin l'étape 4 présente la réplique en polyuréthane obtenue après démoulage.

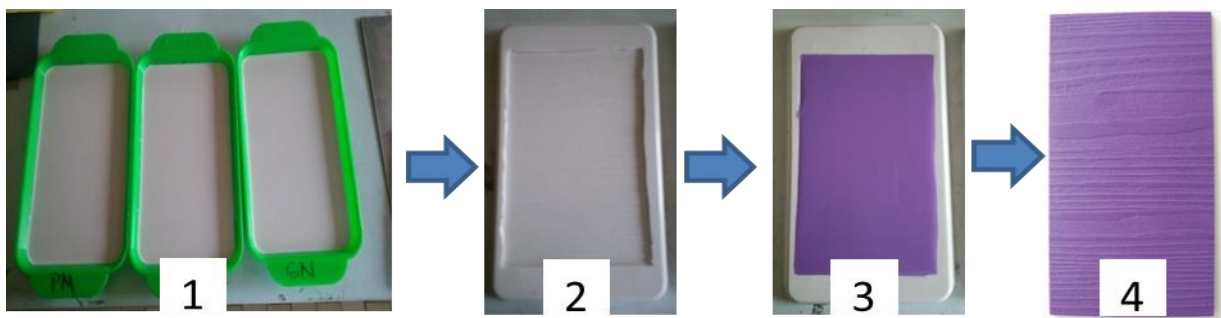


Figure 2-8: Etapes de fabrication des répliques

Sur la Figure 2-9, on peut voir en (a) l'échantillon de départ, le contretypage bois. En (b) l'empreinte tactile de cet échantillon sur laquelle on peut voir l'orientation préférentielle des nervures, et qui montre la différence de texture visuelle et tactile.

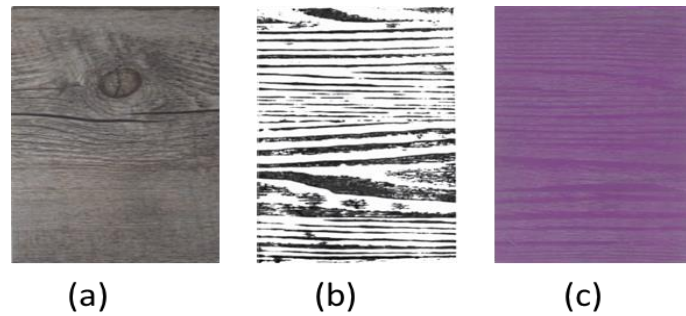


Figure 2-9 : Photo des Echantillons (a) contretypage bois (b) empreinte à l'encre(c) réplique

Pour valider la qualité de la procédure de réplcation, la topographie des différents échantillons a été mesurée par microscopie confocale (Plateforme P2M de Manutech-USD). Pour des raisons de coût et de durée de la mesure, la totalité de chacun des échantillons n'a pas pu être analysée : une surface de $12 \times 2 \text{ cm}^2$ localisée au milieu de chaque échantillon a été analysée. Etant donnée la différence de matériaux entre les contretypes bois et les répliques, les conditions de mesures ont été les suivantes :

- Pour les contretypes bois : résolution $100 \mu\text{m}$ selon l'axe X et $250 \mu\text{m}$ selon l'axe Y ; Vitesse $10000 \mu\text{m/s}$; fréquence 100 Hz ; filtre gaussien appliqué 2,5.
- Pour les répliques : résolution $100 \mu\text{m}$ selon l'axe X et $250 \mu\text{m}$ selon l'axe Y ; Vitesse $20000 \mu\text{m/s}$; fréquence 200 Hz ; filtre gaussien appliqué 2,5.

Sur chaque surface mesurée, environ quatre-vingt-un profils ont été extraits selon la direction transversale. Un exemple de profil est présenté en Figure 2-10. On peut voir sur cette figure que la surface de l'échantillon se compose de pics et de vallées de largeur différente, pouvant être assimilées aux veines de bois.

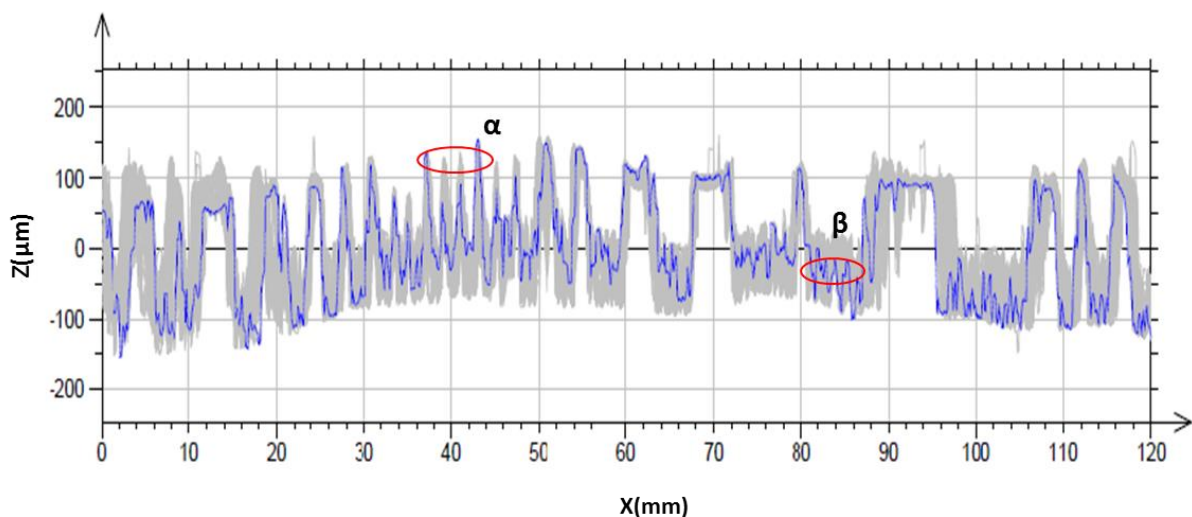


Figure 2-10 : Profil extrait de l'échantillon 5WC

Sur les différents profils extraits, on peut se rendre compte que pour tous les échantillons, on a 2 niveaux de rugosité. L'un représentant les rugosités grossières (α) et l'autre les rugosités plus fines

(β). Sur plus de 100 valeurs, entre le pic le plus haut et la vallée la plus basse, une distance moyenne $\langle D_\alpha \rangle$ de 250 μm a été calculée pour le niveau α , contre une distance $\langle D_\beta \rangle$ de 50 μm pour le niveau β . Pour évaluer la qualité des répliques, les valeurs de rugosité moyenne quadratique R_q ont été calculées sur les quatre-vingt-un profils extraits de chaque échantillon. La Figure 2-11 présente sur un histogramme la comparaison des valeurs obtenues pour chaque échantillon et sa réplique.

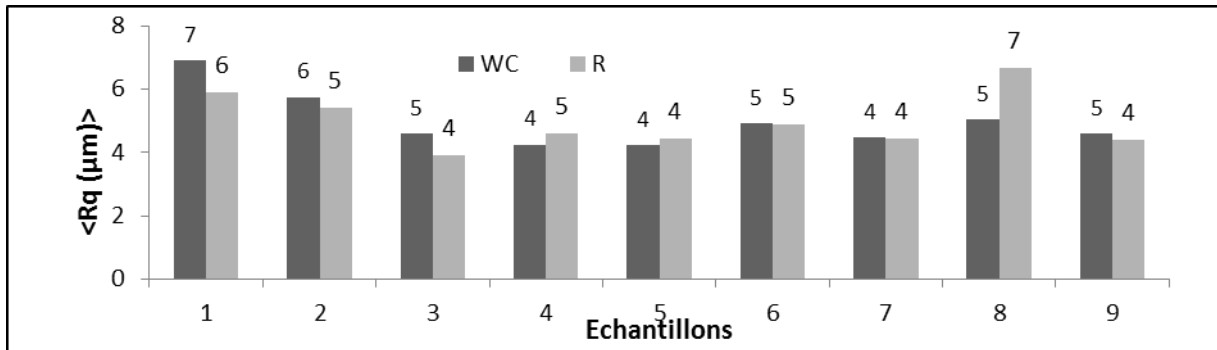


Figure 2-11 : Histogramme de rugosité des échantillons

Sur l'histogramme de la Figure 2-11, on peut se rendre compte que les valeurs de rugosité varient entre 4 et 7 μm . on peut voir que les écarts de rugosité pour un même échantillon et sa réplique sont relativement faibles. De plus, étant donné le fait que cette valeur de rugosité résulte d'une moyenne sur quatre-vingt-un profils, on peut considérer comme très faibles ces écarts observés et donc valider la qualité des répliques pour la suite de l'étude.

2.1.4. Jeu d'échantillons 5 : textures sur des objets (textures-objets) et textures hors contexte d'usage (textures anonymes)

Du point de vue applicatif, les textures ont pour but d'être appliquées sur des objets. Se pose alors la question de l'applicabilité des résultats des études liées à la perception des textures présentées hors d'un contexte d'usage. Pour cette série d'échantillons, notre cahier des charges comportait certaines contraintes : objet de la vie courante, facilement manipulable, à bas coût, avec lesquels l'interaction peut-être visuelle et tactile, avec une large gamme de textures disponibles sur le marché. Notre choix s'est porté sur les coques de téléphone. 12 coques de téléphones ont été sélectionnées pour former les 2 espaces produits analysés dans cette étude. Le premier espace produit est constitué des coques de téléphones de dimension 12*6 cm (série « O » pour objet). Le deuxième espace produit est constitué de 12 disques de diamètre 5cm, découpés dans les mêmes coques de téléphone (série « A » pour anonyme). La Figure 2-12 présente la série d'échantillons.

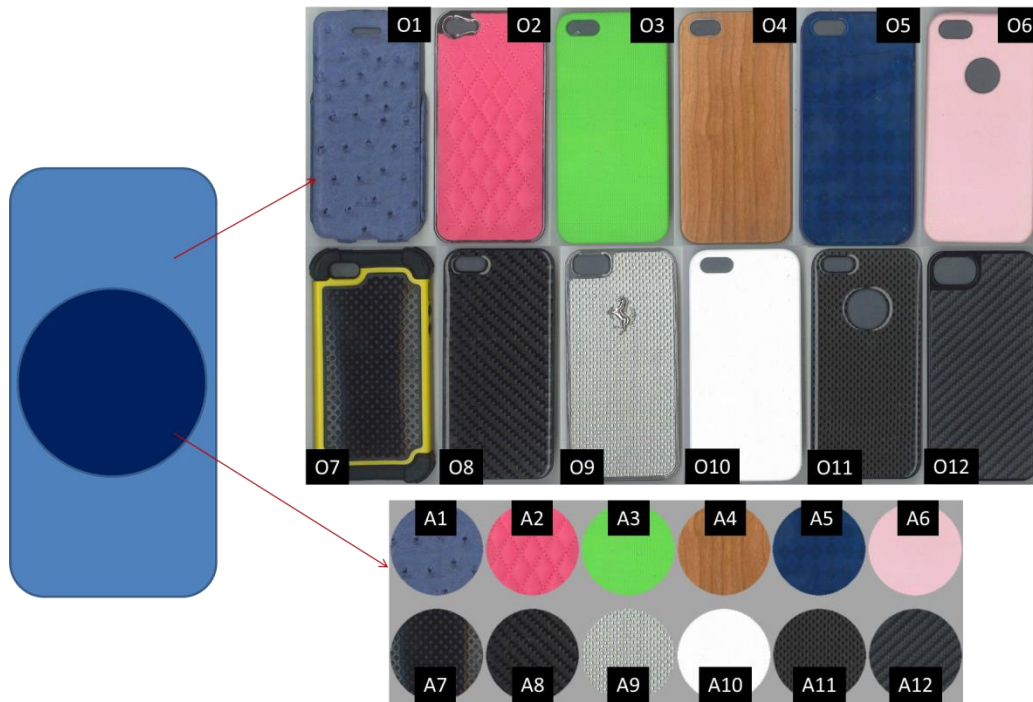


Figure 2-12: Présentation des textures-objets et textures-anonymes

Les différentes coques de téléphone ont été achetées sur un site de vente en ligne spécialisé dans les accessoires de téléphonie mobile. La présentation détaillée des échantillons est fournie dans la Table 2-5. La description fournie par le vendeur s'articule autour de différents éléments tels que la fonction de l'objet, le type de matière (naturelle ou artificielle), l'état de surface, les éléments particuliers (colonne 2 du tableau). De cette description du vendeur, nous avons pu ressortir des éléments de description de chaque objet : la fonction, la couleur, la texture tactile, le type de matériau (colonne 4-5-6-7-8). L'espace produit présente un large éventail de matières à la fois naturelles (ex : bois) et artificielles (ex : silicone aspect cuir), de texture tactile (lisse, rugueux, grainé, matelassé).

Table 2-5 : Description des échantillons fournie par le vendeur

Ref.	Description du vendeur	Prix de vente (€)	Catégorisation de la description				
			Fonction	Couleur	propriétés texture/matériaux	Matériau (artificiel)	Matériaux (naturel/authentique)
O1	Etui Rabat Bleu façon Autruche pour iPhone 5/5S PURO modèle Safari	24,90	Etui rabat	Bleu	rugueux	Façon autruche	
O2	Coque pour iPhone 5/5S Aspect cuir Rose matelassé	10,71	Coque	Rose	matelassé	aspect cuir	
O3	Coque iPhone 5/5S verte rigide grainée	3,90	Coque	Vert	rigide-grainé		
O4	Coque pour iPhone 5/5S bois Cerisier	22,90	Coque	Marron	lisse		cerisier
O5	Coque iPhone 5 bleue croisillons souple, brillante	5,90	Coque	Bleu	diamond-shaped, flexible, glossy		
O6	Coque pour iPhone 5/5S Rose en silicone Aspect cuir et Découpe logo	12,90	Coque	Rose	grainé	aspect cuir	silicone
O7	Bumper Antichoc pour iPhone 5/5S noir/jaune	9,40	bumper antichoc	Noir/Jaune	rugueux		
O8	Coque iPhone 5/5S carbone ULTRA	26,90	Coque	Noir	rugueux		Carbone
O9	FERRARRI Coque pour iPhone 5/5S Carbone Blanche Argent Logo Métal	29,90	Coque	Blanc	lisse	Carbone-argent	Metal (Logo)
O10	Coque de protection iPhone 5/5S blanche rigide grainée	3,90	Coque de protection	Blanc	rigide-grainé		
O11	Coque iPhone 5/5S Carbone SPACE avec découpe Logo Apple	24,90	Coque	Noir	lisse		Carbone
O12	Coque iPhone 5/5S Effet Fibres de Carbone GRIFFIN	19,90	Case	Noir	lisse	Effet fibres de carbone	

2.2. Les méthodes

2.2.1. Les méthodes d'évaluation sensorielle

Différentes méthodes existent en métrologie sensorielle. D'une part, les méthodes analytiques permettant de mesurer les caractéristiques sensorielles d'un produit. Elles se déclinent en deux grandes catégories que sont les méthodes discriminatives et les méthodes descriptives. D'autre part on a les méthodes hédoniques qui permettent de mesurer les préférences du consommateur et donc le plaisir que le produit lui procure.

2.2.1.1. Les méthodes hédoniques

Le dictionnaire Larousse définit l'hédonisme comme étant la motivation de l'activité économique par la recherche du maximum de satisfaction par le minimum d'effort. Dans le contexte de l'analyse sensorielle, l'hédonisme renvoie au plaisir subjectif que procurent les caractéristiques sensorielles d'un produit. La mesure hédonique s'intéresse à l'étude des préférences pour un produit et aussi de son acceptabilité [95]. Elle se pratique le plus souvent avec des consommateurs. Il existe différents types de test hédonique : les tests de préférence et les tests notation.

- Tests de préférences : ils ont pour but de déterminer un classement de préférence entre les produits testés
 - Essais de préférence par comparaison par paire : déterminer une préférence entre des produits présentés simultanément
 - Essai de préférence par classement : déterminer une préférence entre les produits et les classer sans estimer l'importance des différences sensorielles.

- Essais de notation hédonique : Ce sont des tests de notation conçus pour mesurer le degré d'appréciation global d'un produit à l'aide d'une note choisie sur une échelle. Ils permettent de déterminer le degré de plaisir ou déplaisir procuré par un produit ou évaluer l'importance relative des préférences entre produits.

Les méthodes hédoniques n'étant pas utilisées dans le cadre de ce travail, elles ne seront pas développées davantage.

2.2.1.2. Les méthodes analytiques[96]

En ce qui concerne les méthodes analytiques, elles permettent de déterminer les différences entre produits. Elles se pratiquent avec divers types de sujets (naïfs, initiés, entraînés, experts..). Elles sont de plusieurs sortes en fonction de l'objectif recherché.

- Les essais discriminatifs : ils déterminent s'il existe des différences perceptibles ou bien des similitudes sensorielles entre produits, sans toutefois préciser la nature de celles-ci. On peut citer ici l'essai triangulaire, l'essai duo-trio, l'essai 2 sur 5.
- Les essais de positionnement : ils permettent de positionner des produits en fonction d'une caractéristique sensorielle, la nature de la différence étant connue. On aura ici, l'essai de comparaison par paire, l'essai de classement, l'essai de notation.
- Les essais de positionnement global : ils permettent de positionner des produits en fonction de leurs ressemblances et différences globales. On peut citer ici l'essai de tri libre, l'essai de Napping®, l'essai de positionnement sensoriel polarisé.
- Les profils sensoriels : ils permettent de décrire en intensité et/ou qualité un ensemble de caractéristiques perçues sur un ou plusieurs produits. On peut citer ici le profil descriptif quantitatif, le profil libre choix, le profil qualitatif.
- Les démarches descriptives dynamiques : elles permettent de décrire et évaluer de manière dynamique les caractéristiques perçues sur un ou plusieurs produits. Ce type d'essai est considéré comme un essai descriptif intégrant le facteur temps. On peut citer les profils temps intensité, le profil dominance temporelle des sensations.

Le choix de la technique à utiliser est fonction de l'objectif visé. Ainsi, la réponse sensorielle, qui correspond à la description et à la quantification des perceptions par le sujet sera différente selon cet objectif. La Figure 2-13 présente les différentes étapes de choix d'une épreuve sensorielle analytique.

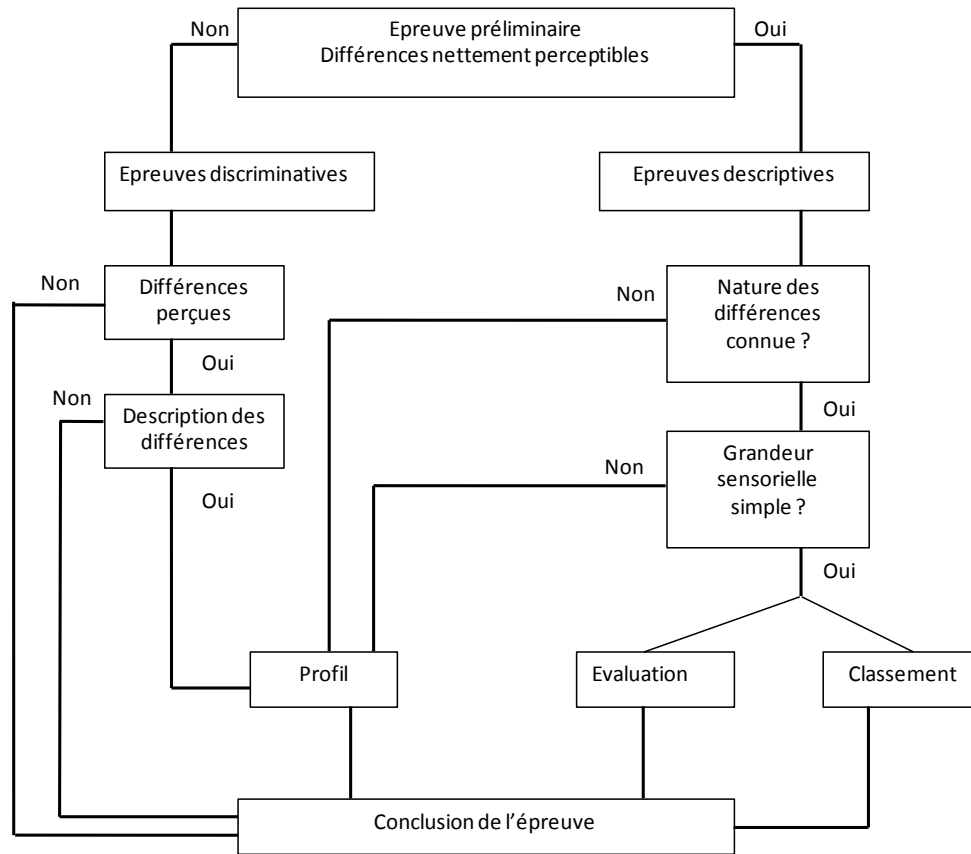


Figure 2-13: Les principales étapes du choix de l'épreuve sensorielle[97]

Il existe une multitude de méthodes envisageables pour évaluer les propriétés sensorielles de matériaux. L'état de l'art fait ressortir un certain nombre de méthodes privilégiées dans les études relatives à l'évaluation de la texture de matériaux. Ce sont à la fois des méthodes classiques, et des méthodes rapides, peu coûteuses à mettre en place, qui ne nécessitent pas forcément l'emploi d'un panel entraîné[98][99][100][101]. Les plus courantes qui ressortent de l'état de l'art sont : le profil sensoriel [102][103], le tri libre ou catégorisation [58][102][64][63], le test de comparaison par paire [46][73][87][104][28][105], le test de classement [44], le Napping® [71][106].

2.2.1.2.1. Le profil sensoriel

L'épreuve du profil sensoriel encore appelé Quality Descriptive Analysis (QDA)[107]est une méthode de référence en évaluation sensorielle, elle consiste à décrire un ensemble de produits à l'aide d'une liste de descripteurs sensoriels. Un panel de sujets est sélectionné et entraîné pour donner des évaluations sous forme de notes qui reflètent des intensités perçues pour chacun des descripteurs considérés [108].C'est une technique qui consiste à former un panel d'experts pour le rendre aptes à évaluer une série d'attributs sensoriels, pour un ensemble de produits donnés, en utilisant des échelles d'intensité. Les différences entre les produits sont testées par analyse de variance puis synthétisées sur une carte factorielle. Les panélistes entraînés doivent avoir et maintenir un bon niveau d'acuité sensorielle. Ils testent les produits de manière monadique séquentielle, c'est-à-dire les uns à la suite des autres, et chaque sujet est en général isolé dans un box. La mise en place d'un profil sensoriel se fait en plusieurs étapes [90]:

- Formation du panel avec élaboration d'une liste de descripteurs. La génération des descripteurs se fait à partir des produits qui seront évalués par la suite. Elle s'effectue par enchaînement d'au minimum quatre séances individuelles et discussion de groupe.
- Réduction de la liste des termes : tout d'abord, une réduction qualitative des termes qui doit permettre d'écarter les termes hédoniques, quantitatifs, non représentatifs d'une sensation ou mal adaptés à la description ; d'explicitier les éléments de sa perception, de favoriser l'exhaustivité des recherches. A l'issue de cette étape, on a en général une centaine de termes. Ensuite une réduction quantitative qui permet d'obtenir une liste consensuelle de descripteurs. On préconise au maximum 15 descripteurs qui devront être précis, pertinents, discriminants, indépendants et exhaustifs.
- Choix des produits de référence,
- Entraînement du panel : les sujets sont entraînés sur les descripteurs choisis et leur répétabilité est contrôlée.
- Evaluation des produits en monadique séquentiel, c'est-à-dire les uns à la suite des autres dans des box individuels.

La Figure 2-14 synthétise les étapes de réalisation d'un profil sensoriel.

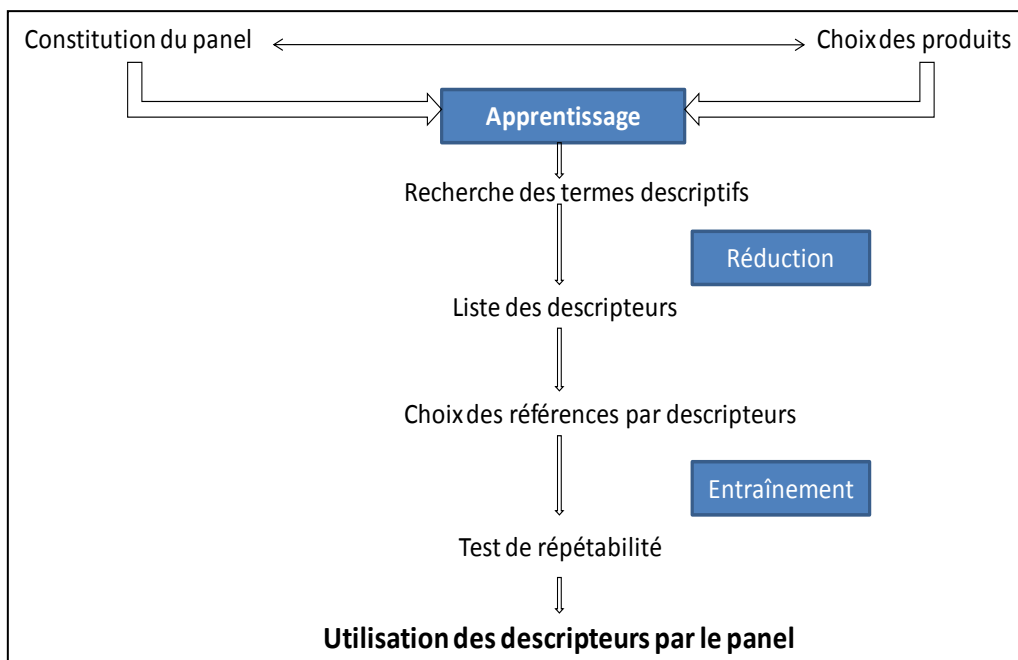


Figure 2-14: Etapes de réalisation d'un profil sensoriel[109]

Une fois les différents descripteurs identifiés, une intensité est attribuée à chacun d'eux pour chaque texture évaluée ces différentes intensités sont présentées sous forme de radar. La Figure 2-15 présente un exemple de profil sensoriel d'une pièce injectée texturée utilisée dans les planches de bord de véhicule.

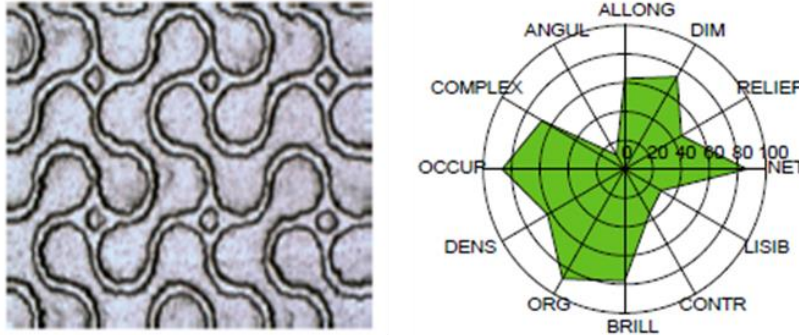


Figure 2-15 : Exemple de radar d'une pièce injectée texturée utilisée pour les tableaux de bord[110]

La méthode du profil sensoriel est très fiable et robuste. Mais elle nécessite beaucoup d'investissements (humain, temps, financier) pour sa mise en place. C'est la raison pour laquelle des méthodes alternatives moins chronophages, moins coûteuses et plus faciles à mettre en œuvre sont envisagées. Les performances de ces méthodes alternatives sont souvent comparées aux performances du profil sensoriel.

2.2.1.2.2. La catégorisation ou tri libre[111][108]

La catégorisation encore appelée Free sorting task en anglais, est une méthode utilisée depuis les années 70 dans le domaine de la psychologie. C'est une tâche au cours de laquelle l'expérimentateur demande à des sujets de former des groupes d'objets en fonction de leur ressemblance. Les objets sont présentés simultanément, et le sujet devra mettre dans un même groupe ceux perçus proches. La plupart du temps, la consigne spécifie aux sujets ces deux aspects de la tâche de la manière suivante : « regrouper les produits qui se ressemblent » et « mettre dans des groupes séparés les produits qui semblent différents ». Le nombre de groupes et le nombre de produits par groupe sont laissés à l'appréciation de chaque sujet. Cependant, les sujets sont prévenus qu'ils doivent éviter de mettre tous les produits dans un même groupe ou mettre chaque produit dans une classe séparée. Une fois les groupes formés, il peut être demandé aux sujets de décrire chacun d'eux avec leurs propres termes. La tâche de catégorisation peut prendre différentes formes :

- Catégorisation libre : le nombre de groupes et le nombre d'objets par groupe sont laissés au choix du sujet. Il ne doit pas mettre tous les objets dans le même groupe et ne pas mettre isoler chaque objet dans un groupe.
- Catégorisation contrainte : le nombre de groupes et/ou le nombre d'objets par groupe est fixé par l'expérimentateur.
- Catégorisation hiérarchique : elle peut être ascendante (le sujet commence par constituer k groupes, puis agrège les deux qu'il considère comme les plus semblables, jusqu'à n'obtenir qu'un seul groupe). Ou inversement, descendante, il commence par diviser les objets en deux groupes, puis subdivise s'il le désire ces groupes jusqu'à obtenir des groupes formés d'un seul objet.

La catégorisation peut se pratiquer avec tout type de sujets, et est particulièrement adaptée pour appréhender la perception de produits par des consommateurs. C'est une épreuve simple, naturelle et intuitive, qui permet d'évaluer un plus grand nombre de produits. A l'issue de ce test, l'expérimentateur pourra avoir des informations sur les produits perçus proches et distincts ainsi que

les critères donnés par les sujets. Les données sont traitées en utilisant des méthodes factorielles (positionnement multidimensionnel, analyse en correspondance multiple) ou des méthodes de classification (matrices de dissimilarités, partitions individuelles).

2.2.1.2.3. Le test de comparaison par paire[112]

Selon la norme ISO 5495:2005, le test de comparaison par paire ou essai 2-AFC (Alternative Forced Choice en anglais) est un mode opératoire permettant de déterminer s'il existe une différence sensorielle perceptible ou une similitude entre les échantillons de deux produits sur l'intensité d'une propriété sensorielle. C'est un essai à choix forcé entre deux alternatives. La méthode est applicable s'il existe une différence pour une seule propriété sensorielle ou pour plusieurs, ce qui signifie qu'elle permet de déterminer s'il existe une différence perceptible sur une propriété donnée, de préciser le sens de la différence, mais elle ne donne pas d'indications sur l'amplitude de la différence. La méthode est efficace pour déterminer s'il existe (essai par paires de différence), ou s'il n'existe pas de différence perceptible (essai par paires de similitude), ou sélectionner, entraîner et contrôler les sujets. Il est nécessaire de savoir avant la réalisation de l'essai si l'on se trouve dans un cas d'essai unilatéral (l'expérimentateur a un a priori sur le sens de la différence et l'hypothèse alternative correspond à l'existence d'une différence dans le sens attendu) ou dans un cas d'essai bilatéral (l'expérimentateur n'a pas d'a priori sur le sens de la différence et l'hypothèse alternative correspond à l'existence d'une différence dans un sens ou dans l'autre).

2.2.1.2.4. Le test de classement [113]

Selon la norme ISO8587 :2006, sur les mêmes bases que le test par paire, le test de classement consiste à comparer simultanément plus de deux produits en les classant selon l'intensité perçue d'une caractéristique sensorielle. Les objets sont présentés simultanément aux juges qui doivent les classer du moins intense au plus intense sur une caractéristique donnée. Le test peut se pratiquer avec tous types de sujets. Lorsque les sujets ont donné leur classement des échantillons, on fait le total des classements attribués à chaque échantillon. On vérifie alors si les différences sont significatives en comparant les totaux de classement entre toutes les paires possibles d'échantillons au moyen du test Friedman. Le test de Friedman[114] est une alternative non paramétrique à l'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs dans le cas où l'hypothèse de normalité n'est pas acceptable. Il permet de tester si k échantillons appariés ($k > 2$) de taille n , proviennent de la même population, ou de populations ayant des caractéristiques identiques, au sens d'un paramètre de position. Le contexte étant souvent celui de l'ANOVA à deux facteurs, on parle parfois de test de Friedman à k traitements et n blocs. Cette épreuve présente de nombreux avantages: elle est relativement simple à mettre en œuvre; elle ne requiert pas de témoin ou de référence; elle est facile à comprendre; son processus est un processus naturel car l'être humain effectue régulièrement et spontanément des classements. Elle possède toutefois deux inconvénients : elle ne donne pas de valeur absolue pour un produit, mais seulement une valeur relative, le classement réalisé n'est valable que pour les produits testés au cours d'une même séance; elle ne donne que des indications indirectes sur l'intensité des différences entre échantillons.

2.2.1.2.5. Le projective mapping et le Napping®

Le « projective mapping » est une technique d'évaluation sensorielle dans laquelle les échantillons sont placés sur une surface 2D (en général une table). Elle a été introduite dans le domaine de l'analyse sensorielle dans par Risvick [115], comme étant une approche rapide qui permet de collecter les ressemblances et les différences dans un espace produit. Dans cette approche, les échantillons sont présentés simultanément, et l'instruction donnée au sujets est de placer proches spatialement les échantillons perçus similaires, et éloignés spatialement les échantillons perçus différents. Le choix des critères de différenciation est laissé aux sujets. Les données ainsi collectées sont analysées par analyse en composante principale (ACP) ou analyse procustéenne généralisée (GPA)[116].

Le Napping® est une variante du « projective mapping » dans laquelle en plus de positionner les échantillons sur la nappe, les participants doivent donner des mots décrivant les différents groupes qu'ils ont formés. La technique a été introduite par Pagès en 2003[117]. Son expérience a consisté à tester 10 vins blancs avec 2 panels d'experts en vin et analyse de vin, qui avaient pour instruction de disposer les vins sur une nappe de 60*40 cm et mettant proches les vins perçus proches et éloignés les vins perçus différents, sans avoir à indiquer les critères de différenciation. Plus tard[118] l'approche a été enrichie en demandant aux sujets d'indiquer sur la nappe leurs critères de différenciation on parle ainsi de « Napping catégorisé ». Lorsque les nappes des différents sujets sont formées, les coordonnées de chaque produit sur la nappe sont collectées, et les données sont traitées par analyse factorielle sous environnement R. La Figure 2-16 résume les différentes étapes d'un Napping®.

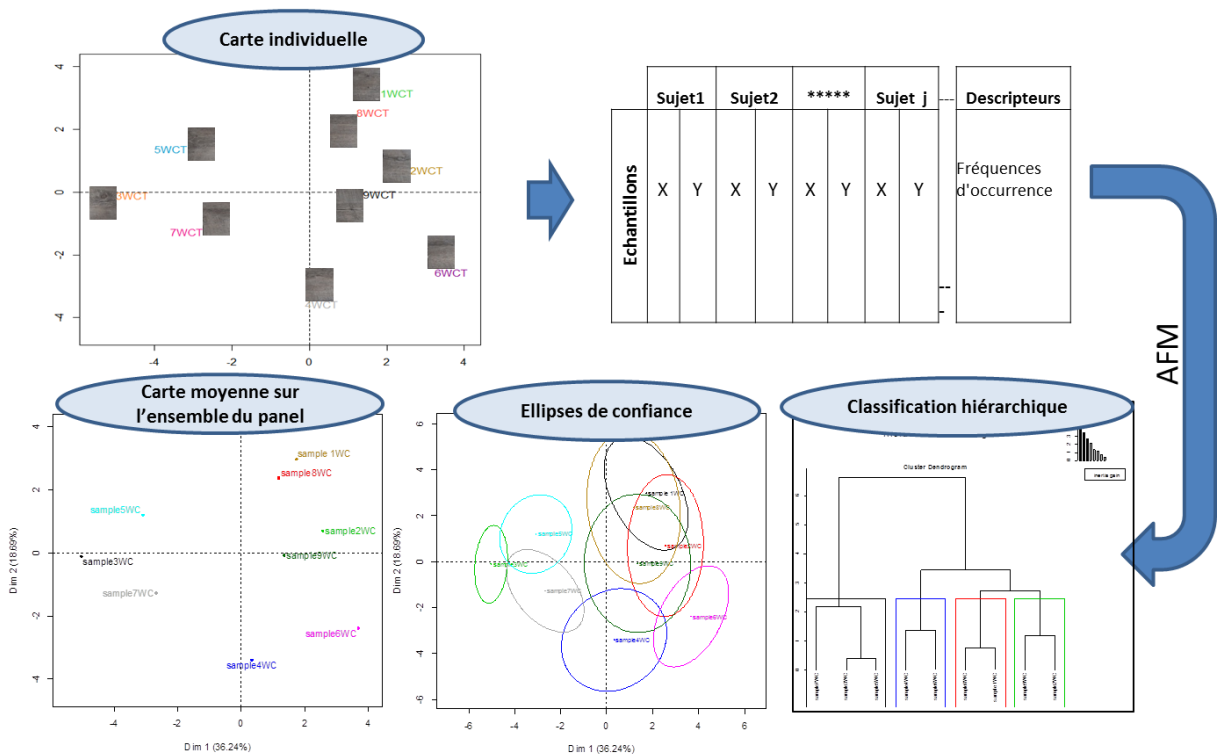


Figure 2-16 : Processus général d'une épreuve de Napping®

Chaque sujet fournit une nappe individuelle. Sur chaque nappe, chacun des échantillons possèdent des coordonnées X et Y qui correspondent à sa position. Pour chacun des sujets, toutes les coordonnées des échantillons sont compilées dans un fichier .CSV, sur lequel sera appliquée l'analyse factorielle multiple. A l'issue de l'AFM, on peut alors obtenir plusieurs éléments tels que les cartes moyennes de perception, les ellipses de confiance autour des positions des différents échantillons, la classification hiérarchique etc.

Varela et Ares [99] ont compilé les différents critères à prendre en compte pour l'épreuve de Napping® (voir Table 2-6).

Table 2-6 : Facteurs à prendre en compte pour un Napping® [99]

Factors to consider for a projective Mapping (Napping) Evaluation		
Factor	Variation (not exhaustive)	Implication (theoretical)
Frame geometry	Rectangular, Square Round, Ellipse,	Conventional: assesor generally consider the longer direction as more important Applied in several studies. Dimensionality is not taken into consideration. Applied in few studies, aims at removing dimensionality thinking from the assesor Suggested (not yet applied), aims at mimicking the visual field
Added scale	None Grid or scale	Conventional, more holistic perceptual approach Not conventional, adds dimensionality to the projective space and promotes a constructual sample approach
Type of assesor	Naive Professionnal panelists	Consumer study, more holistic thinking, but might apply various projection strategies Assesors might apply semantic from a priory trained vocabulary and apply a more constructual sample approach
Collection of semantics	For each product (Napping, ultra-flash profiling) For groups of product (sorted Napping)	conventional , semantics are noted for each sample after placement Semantics are noted for each group of similar sample after placement
Free or restricted/ guide responses	Global napping Partial Napping	Assesors are allowed to place samples according to a « perceptual » system free of choice Evaluation instruction telle assesors to focus thir projection on a pregiven subject (e.g. a sensory modality or emotional state)
Repetitions	None Some (e.g. three)	Support the idea of the spontaneous evaluation Provide a large data set for each assesor,

- Tout d'abord la nappe. A l'origine, la méthode a été conçue avec une nappe rectangulaire, le fait d'avoir une dimension plus grande que l'autre encourage indirectement les sujets à donner plus d'importance à l'axe le plus grand. Cependant plusieurs formats ont été expérimentés, afin de réduire cette tendance à imposer un axe principal aux sujets. : nappe de format A4 et A3 [115][119] ; nappe de 60*40cm [117], nappe de 60*60cm [120], nappe circulaire de 40cm de diamètre [121]. Aucune étude n'a, à ce jour, comparé les résultats obtenus avec différentes formes de nappe sur un même espace produit.
- Les sujets : naïfs ou entraînés ? ceci dépend du but de l'étude et des résultats que l'on souhaite obtenir. Si l'on veut obtenir des résultats plus spontanés et holistiques quant à la différenciation des produits, il est recommandé d'utiliser un panel naïf. Quant au nombre de sujets, différents nombres ont été utilisés. De huit à quatre-vingt-trois sujets [119][122][120][123]. Aucune étude à ce jour n'a conclu sur un nombre de sujet idéal qui garantirait des résultats stables statistiquement. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ce nombre « idéal » de sujet est fortement dépendant de la nature du jeu d'échantillon à évaluer.
- Le nombre d'échantillons : celui-ci varie en fonction du type de produit. Selon [121], étant donné que la projection de l'espace produit se fait sur un espace à deux dimensions, un minimum

de quatre échantillons est nécessaire pour couvrir ces deux dimensions. Dans la littérature, cinq à dix-huit échantillons [122][115][124] ont été utilisés. Le nombre d'échantillons constituant l'espace produit doit être choisi en fonction de la nature de l'espace produit, mais aussi dans le respect de la fatigue sensorielle que l'exercice pourrait engendrer chez le sujet.

Telle qu'elle a été pensée à l'origine, la méthode du Napping® est globale, c'est-à-dire que l'approche est multisensorielle. Des études faites plus tard se sont intéressées au Napping® dit partiel dans lequel les sujets testent les produits selon une seule modalité sensorielle à la fois. Pfeiffer and Gilbert [125] ont travaillé sur un espace produit de yaourts à la fraise avec un panel entraîné de huit sujets; Dehlholm et al [121] ont travaillé sur un espace produit de pâtés de foie avec deux panels entraînés (expert et spécialiste). Ces études montrent qu'en combinant les résultats obtenus des différents Napping® partiels on obtient des résultats très proches du profil conventionnel obtenu avec un Napping® global. De plus en ce qui concerne les descripteurs, une liste plus fournie et plus détaillée est obtenue en Napping® partiel par rapport à un Napping® global, mais avec le risque de mettre de côté les descripteurs de nature intermodale.

- Si l'on veut s'intéresser aux performances et à la répétabilité des sujets, on peut répéter le Napping® plusieurs fois de manière à avoir plusieurs nappes d'un même sujet.

Le Napping® est une technique rapide, intuitive, facile à mettre en place, qui peut se faire avec tout type de panel, même si certains déplorent son manque de précision [101]. L'objectif déclaré du Napping® est de faire émerger les principales dimensions de variabilité perçues par un consommateur pour un groupe de produits, et de les hiérarchiser car les dimensions sont propres à chaque sujet [126]. La technique se décline aussi en plusieurs variantes : Napping® global, Napping® partiel, Napping® catégorisé, Napping® consensuel. Il faut tout de même relever le fait que, pour l'instant, le Napping® n'est utilisé que dans le cadre d'études sur des produits alimentaires (vin, yaourts, chocolat, pâté de foie, biscuits etc.) ou cosmétiques (parfum, eau de toilette etc.). Ce sont des espaces produits ayant un contexte et une identité connue et bien précise. Le sens de la vue est toujours présent même si lors de Napping® partiel on demande aux sujets de se focaliser sur un aspect de l'espace produit à la fois (flaveur, odeur, texture etc.). On peut dès lors se poser la question de savoir si cette technique pourrait donner des résultats significatifs avec des espaces produits constitués d'échantillons sans identité ni contexte préalable, par exemple des échantillons de matériaux texturés. Faucheu et al [71] ont mis au point un équipement : NappOmatic permettant d'évaluer les textures de matériaux avec la technique du Napping®.

2.2.1.2.6. Le Napping® comme technique d'évaluation des textures de matériaux

Le dispositif expérimental NappOmatic a été mis au point par l'équipe matériaux pour la création et le design industriel de l'école des mines de Saint-Etienne [127][71]. Comme dit précédemment, il permet d'évaluer grâce la technique du Napping® les textures de matériaux avec les modalités visuelle et tactile. Le test peut se faire soit en Napping® partiel (tactile seul ou visuel seul), soit en Napping® global (visio-tactile). La Figure 2-17 présente une vue du dispositif NappOmatic ainsi que les conditions de test.

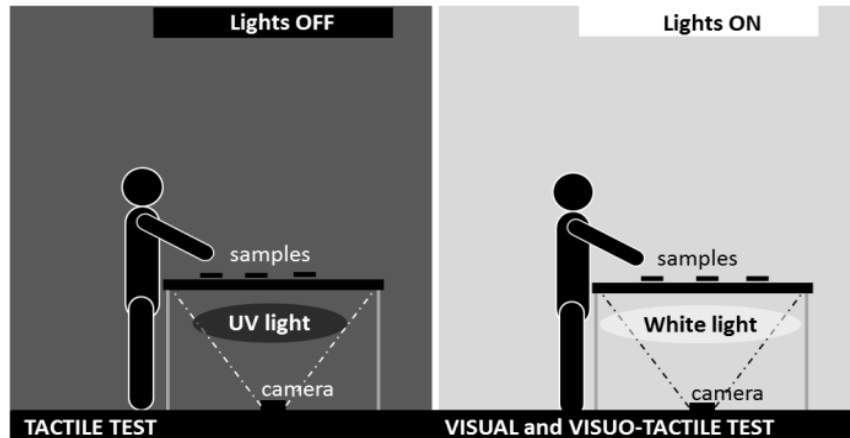


Figure 2-17 : Schéma du dispositif expérimental NappOmatic

Le dispositif se compose d'une table carrée de 93*93cm². Le dessus de la table est fait dans un matériau translucide, et une caméra installée sous la table permet d'enregistrer les différentes nappes ou cartes formées par les panélistes. En condition tactile, la lumière de la pièce est éteinte, et un éclairage UV permet au panéliste d'explorer, de déplacer les échantillons sans distinguer visuellement les détails de leur texture. En condition visuelle et visio-tactile, la lumière dans la pièce reste allumée. Chaque échantillon porte à son dos un QR code. Le QR code est imprimé dans un papier fluorescent de façon à amplifier le contraste en éclairage UV. Il permet l'extraction automatique des coordonnées de chaque échantillon lors du traitement des données. Pour chaque sujet, la carte enregistrée comporte les coordonnées de chaque échantillon, ainsi que les mots utilisés pour décrire la texture des groupes formés. La Figure 2-18 présente un exemple de carte acquise automatiquement grâce au NappOmatic.

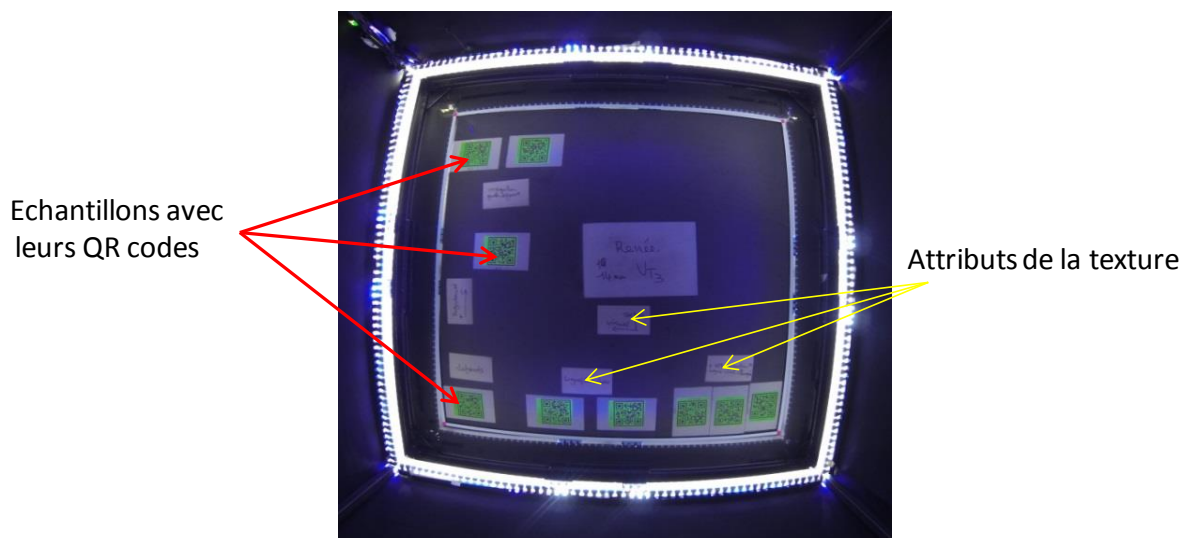


Figure 2-18: Exemple de carte enregistrée avec le NappOmatic

Les positions des différents échantillons sont extraites automatiquement grâce à l'application SENSOTECH spécialement conçue pour cet usage. Elle génère le fichier de données exploité par la suite pour le traitement statistique avec les packages SensomineR [128] et FactomineR [129]. L'AFM est basée sur une analyse en composante principale. Elle présente l'avantage de traiter les données structurées en groupe, et aussi d'équilibrer l'influence de chacun des juges dans l'analyse globale. De

cette AFM, on peut donc extraire des cartes moyennes de perception sur l'ensemble du panel, les ellipses de confiance autour des positions de chaque échantillon, la comparaison de chaque carte individuelle à la carte moyenne etc. Les descripteurs recueillis lors du test permettent de donner un sens aux dimensions principales des cartes moyennes de l'AFM, et ainsi de mieux comprendre les critères de différenciation utilisés par le panel.

Pour évaluer la stabilité des cartes moyennes de perception, on construit des ellipses de confiances autour des positions des différents échantillons. Cadoret et al [130] ont proposé une méthode : « total truncated bootstrap », implémentée dans la fonction « Boot » du package SensomineR qui permet de construire des ellipses de confiance, qui sont également des zones de confiance autour des positions moyennes des différents échantillons. Les ellipses de confiance permettent de recouvrir environ 95% des différentes positions occupées par un échantillon, et ce même pour des panels de petite taille. La position moyenne de l'échantillon correspond au centre de l'ellipse. Cette position moyenne se situe au barycentre des différentes positions prises par l'échantillon. La taille de l'ellipse représente la variabilité autour de la position d'un échantillon. Plus une ellipse sera grande, moins il y aura eu d'accord entre les panélistes sur la perception d'un échantillon, c'est-à-dire que l'échantillon a été perçu très différemment d'un panéliste à l'autre. Au contraire, plus une ellipse sera petite, plus les panélistes auront perçu l'échantillon de la même manière. De plus, le recouvrement des ellipses donnent une indication sur le niveau de discrimination des échantillons. C'est-à-dire que deux échantillons dont les ellipses vont se recouvrir signifie une faible discrimination de ces derniers. De même lorsque les ellipses ne se recouvrent pas, ceci signifie que les échantillons ont été bien différenciés.

La classification hiérarchique (CAH) [131] est l'une des nombreuses techniques statistiques qui permet de partitionner une population en différentes classes ou sous-groupes. Le principe de la CAH est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances, exprimant la distance existant entre les individus pris deux à deux. Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière itérative afin de produire un dendrogramme ou arbre de classification. La classification est ascendante car elle part des observations individuelles ; elle est hiérarchique car elle produit des classes ou groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein. Cette méthode de classification est implémentée dans la fonction **hclust** sous **R**. La CAH s'applique à la matrice de distances constituée des distances euclidiennes qui quantifient la dissimilarité entre chaque paire d'échantillons. Pour l'agrégation du dendrogramme la méthode utilisée est celle de **Ward**. Cette méthode se distingue de toutes les autres en ce sens qu'elle utilise une analyse de la variance approchée pour évaluer les distances entre groupes. La méthode de Ward se justifie bien lorsque l'on utilise le carré de la distance. Choisir de regrouper les deux individus les plus proches revient alors à choisir la paire de points dont l'agrégation entraîne la diminution minimale de l'inertie du nuage. En résumé, cette méthode cherche à minimiser l'inertie intra-classe et à maximiser l'inertie inter-classe afin d'obtenir des classes les plus homogènes possibles.

A côté des techniques d'évaluation sensorielle, il existe des méthodes « hybrides » qui incluent à la fois sensoriel et instrumental pour évaluer les matériaux et textures.

2.2.2. Les méthodes d'évaluation senso-instrumentales

Les méthodes que nous avons qualifiées de « senso-instrumentales » utilisent les récepteurs sensoriels comme capteurs pour mesurer les effets induits par la texture d'un matériau. Ces équipements s'intéressent aux effets induits par la texture en lien avec la perception tactile. L'objectif majeur est de rechercher des corrélations entre les signaux vibratoires et tribologiques et les propriétés perçues de la texture. Ce qui pourrait permettre dans une certaine mesure de prédire la perception. En effet, lors du balayage d'une surface, la friction entre le doigt et la matière génère des vibrations qui excitent les mécanorécepteurs à différents niveaux de fréquence. Les mécanorécepteurs, convertissent la contrainte mécanique en différents signaux électriques qui sont transmis au système nerveux. La Figure 2-19 présente le contact doigt-texture. Ces signaux sont représentatifs de la texture du matériau.

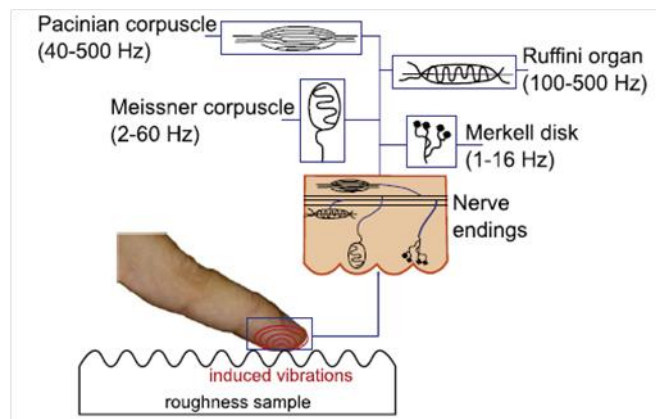


Figure 2-19 : Balayage d'une surface texturée par le doigt[132]

Nous présenterons ici deux équipements mis au point par le LAMCOS : TRIBOTOUCH et le LTDS : Doigt artificiel.

2.2.2.1. Le Tribotouch[133][134]

Le Tribotouch est un équipement mis au point au sein du LAMCOS. C'est un dispositif qui permet de reproduire et d'analyser le mécanisme de perception tactile. Il permet d'obtenir des paramètres objectifs qui expliquent la perception tactile. L'étude du doigt se déplaçant sur une surface, comporte plusieurs difficultés liées aux caractéristiques du contact et aux mesures mêmes. Il est difficile de mesurer et maintenir simultanément la fidélité du contact entre le doigt et la surface de l'objet. De plus, chaque doigt, chaque main possède ses propres propriétés mécaniques, une densité de mécanorécepteurs spécifique, par conséquent une sensibilité au toucher différente. Un autre problème majeur est la difficulté d'analyser les vibrations induites par balayage, car elles sont de vibrations de très faibles amplitudes, et il est donc difficile de les isoler du bruit sortant du dispositif expérimental. Fort de ce constat, le Tribotouch a été développé pour reproduire le balayage d'une surface par un doigt dans des conditions de contact réalistes (vitesse de balayage, charge normale, rugosité de surface, etc.) tout en évitant la production de bruit. Les forces de contact sont récupérées au moyen de deux capteurs de force triaxiaux, placés en dessous de l'échantillon de surface, tandis que les vibrations induites par le balayage sont mesurées grâce à un accéléromètre

placé sur l'ongle. On peut donc déterminer le coefficient de frottement ainsi que le spectre de fréquence des vibrations induites.

Le banc d'essai a été conçu pour garantir la reproductibilité des mesures et pour effectuer des mesures sans introduire de bruit parasite. Le mouvement relatif entre le doigt et la surface est obtenu grâce à un système à lames flexibles et un actionneur linéaire électromagnétique qui, au travers d'un contrôle de feedback et d'un codeur TTL linéaire (Transistor-Transistor-Logic), permet d'imposer le déplacement désiré, évitant ainsi la présence d'interface de contact frottante autre que celle du doigt/surface. La Figure 2-20 présente une vue d'ensemble du dispositif du Tribotouch.

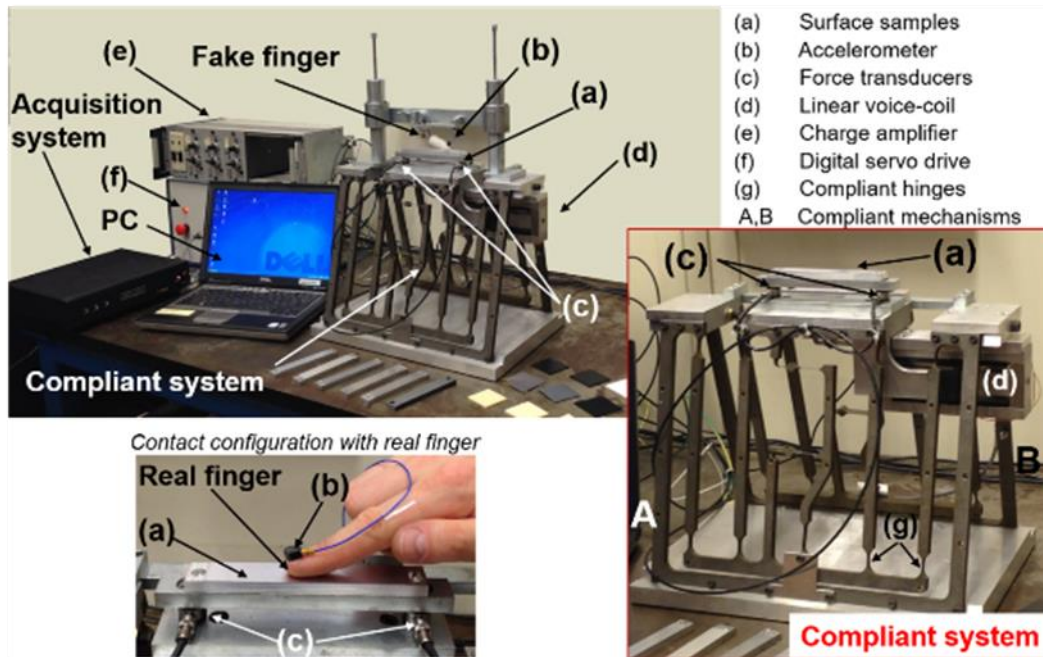


Figure 2-20 : Présentation du dispositif expérimental du TRIBOTOUCH

Le dispositif Tribotouch permet de

- Maintenir un déplacement relatif maximum de $\pm 50\text{mm}$. Ceci est nécessaire pour obtenir une grande zone de contact entre le doigt et la surface, à vitesse d'exploration constante, afin de mesurer les vibrations induites dans des conditions stationnaires.
- Garantir une résolution minimale sur l'effort de $0,01\text{N}$ afin d'obtenir des mesures fiables des forces de contact entre $0,1\text{N}$ et 3N .
- Garantir une faible résistance globale dans la direction du déplacement. D'où la nécessité d'utiliser un actionneur de bobine mobile linéaire qui permet de réduire les vibrations parasites.
- Garantir une grande résistance dans la direction de la force de contact appliquée pour éviter tout mouvement vertical de l'échantillon
- Garantir la planéité lors du déplacement de l'échantillon par rapport au doigt afin d'éviter toute variation de force de contact
- Réduire les vibrations parasites provenant du fonctionnement de la machine afin de ne mesurer que celles provenant du balayage de la surface par le doigt.

La Figure 2-21 présente le diagramme bloc du Tribotouch. Les forces normales et tangentielles globales sont mesurées grâce à des capteurs de force triaxiaux (Kistler, modèle 9017B). Les signaux détectés passent par un amplificateur de charge (Kistler, modèle 5007) avant d'être transmis au système d'acquisition.

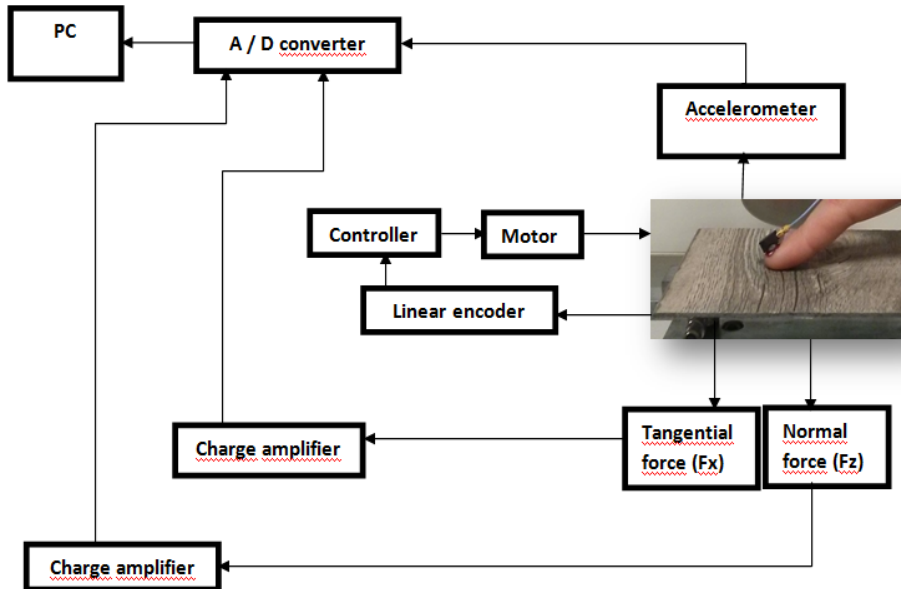


Figure 2-21 : Diagramme bloc du Tribotouch

Les forces sont mesurées durant tout le test afin de suivre l'évolution du contact entre le doigt et la surface. Ces forces permettent de calculer le coefficient macroscopique de frottement entre le doigt et la surface. Les vibrations induites lors du balayage de la surface par le doigt sont enregistrées grâce à un accéléromètre (PCB modèle 352A24) fixé sur le doigt de l'expérimentateur. Etant donné qu'il est difficile de collecter les vibrations à l'interface de contact entre le doigt et la matière, l'accéléromètre, permet de mesurer de manière globale les vibrations induites dans le système. Les signaux collectés sont enregistrés grâce à un système d'acquisition (OROS-36) associé au logiciel NVGATE V8.3. Lors du test, le doigt qui est principal point de mesure, est fixe. Le balayage de la surface étant permis par la translation de l'échantillon, assurant ainsi un meilleur contrôle de la force appliquée et de la vitesse de balayage. Les signaux analogiques enregistrés sont convertis en signaux numériques avant d'être traités grâce à un programme MATLAB.

A l'issue de test, pour chaque échantillon, on peut collecter différents types de paramètre : AccRMS, efforts normaux et tangentiels, coefficient de friction, fréquences des vibrations induites :

- Le paramètre **AccRMS (m/s^2)** correspond à la racine carrée de la moyenne du carré du signal d'accélération. Dans le domaine vibratoire, le paramètre RMS (Root Mean Square) permet de calculer la valeur efficace d'un signal. Dans notre cas la valeur efficace du signal d'accélération. La valeur efficace traduit l'énergie contenue dans le signal d'accélération.
- Le coefficient de friction μ s'obtient en faisant le rapport entre l'effort normal et effort tangentiel, grâce à la formule

$$\mu = \frac{F_n}{F_t}$$

Équation 2-1: Expression du coefficient de friction.

La Figure 2-22 présente des exemples de signaux collectés lors du test.

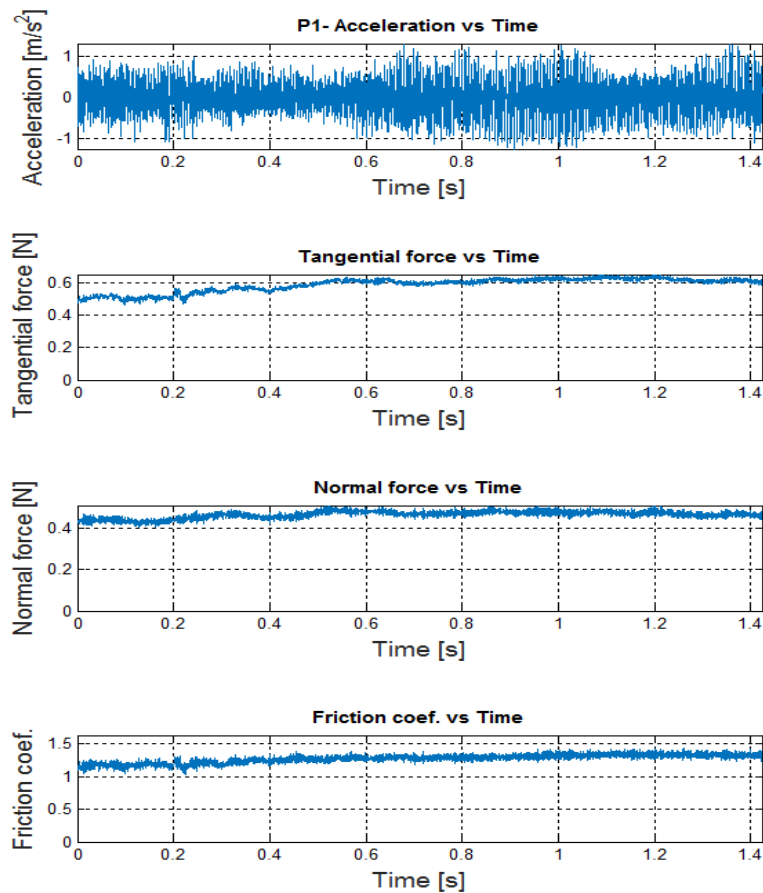


Figure 2-22 : Exemple de signaux d'accélération d'effort et de coefficient de friction acquis sur un échantillon périodique de période 100 μ m

- Les fréquences des vibrations induites $F(\text{Hz})$ sont accessibles lorsqu'on passe du domaine temporel au domaine fréquentiel. Les signaux recueillis donnent l'accélération en fonction du temps. L'application de la transformée de fourrier (**FFT**) permet de passer dans le domaine fréquentiel, et on peut également quantifier la puissance du signal dans le domaine fréquentiel grâce à la densité spectrale de puissance (**PSD**). Cette dernière correspondant au carré du module de la transformée de fourrier divisé par la largeur de bande spectre (voir Figure 2-23). Ainsi on peut directement avoir accès aux fréquences caractéristiques des différents échantillons, et en même temps voir si la bande de fréquence où se situent les différents échantillons correspond bien à la bande de fréquence d'activation des mécanorécepteurs.

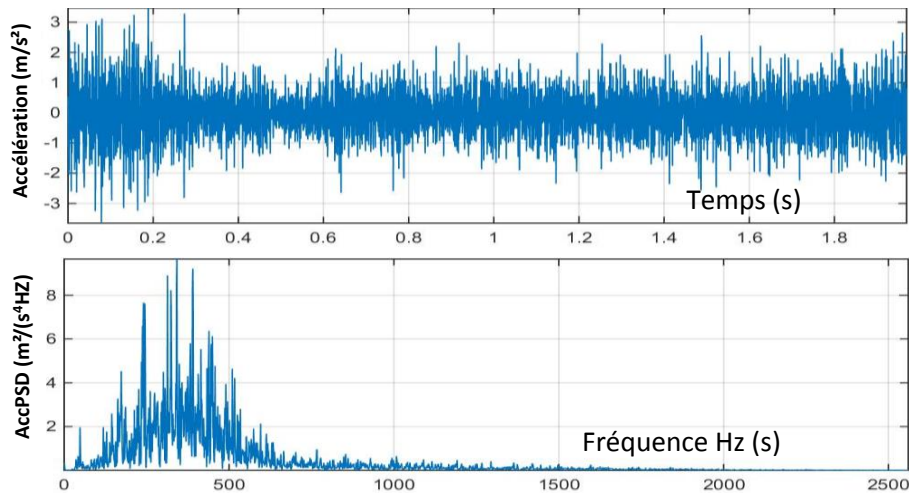


Figure 2-23: Exemple de signal acquis sur un échantillon isotrope avec sa densité spectrale de puissance (PSD)

Différents types de textures ont été testés avec ce dispositif : textures périodiques constituées de plaques rainurées, textures isotropes constituées d'échantillons textiles de pilosité et de contexture différentes. Les différentes conclusions sont en accord avec la littérature scientifique en matière de perception tactile [135][136][137][138][139][134][132][140]. Il a donc été montré que le coefficient de friction décroît en fonction de la vitesse de balayage. Pour les textures périodiques, le spectre des vibrations induites est caractérisé par des pics de fréquence bien définis, tandis que pour les textures isotropes, le spectre de fréquence est caractérisé par une large bande de distribution des fréquences. L'amplitude des vibrations augmente avec la vitesse de balayage. Pour des textures périodiques, les conclusions obtenues sont cohérentes avec la « Duplex theory ». Pour des textures fines, de période spatiale inférieure ou égale à celle du doigt, la fréquence des vibrations induites varie avec la période spatiale. Tandis que pour des surfaces à grande période spatiale supérieure à celle du doigt, les vibrations induites sont fonction de la période spatiale du doigt, et donc ne varient pas en fonction de la texture de surface. Ceci a permis de conclure que les vibrations induites permettent de discriminer des textures fines, et n'apportent pas d'éléments permettant d'évaluer les textures grossières. Enfin, le Tribotouch a permis de montrer que l'amplitude des vibrations induites est quasi constante pour des forces de contact entre 0,1 et 1N, tandis qu'elle augmente au-delà de 1N.

2.2.2.2. Le doigt artificiel

Le doigt artificiel est un équipement mis au point au sein du LTDS[141][142]. C'est un dispositif qui permet de caractériser la « signature sensorielle » des textures. Il s'inspire du fonctionnement des mécanorécepteurs et utilise l'information vibro-acoustique générée par le frottement entre la pulpe du doigt et la texture. Ce dispositif peut être perçu comme une technique d'appréciation des propriétés tactiles, permettant d'anticiper les caractéristiques sensorielles des textures de matériaux. La mise au point d'un dispositif de cette nature passe par plusieurs étapes.

- Tout d'abord, la compréhension du comportement viscoélastique du doigt lors d'un test de palpation tactile. Il s'agit ici d'étudier les lois mécaniques qui régissent le contact entre le relief de l'empreinte digitale et des surfaces explorées.

- Ensuite, il faut reproduire un matériau viscoélastique qui simule le doigt. Ceci passe par le choix d'un matériau multicouche intégrant des capteurs d'effort et de vibration, et répondant au fonctionnement mimétique du doigt (texture, déformation mécanique, transmission des vibrations et des propriétés d'énergie de surface). De plus la forme sphérique du doigt artificiel est relativement proche de celle d'un doigt humain.
- Enfin le développement du doigt artificiel qui doit être sensible aux caractéristiques du couple matériau/surface, la texture et ses échelles (palpation normale), la rigidité du matériau (palpation tangentielle) et le caractère adhésif (déformation du doigt).

La Figure 2-24 présente une vue d'ensemble du dispositif expérimental ainsi que des livrables.

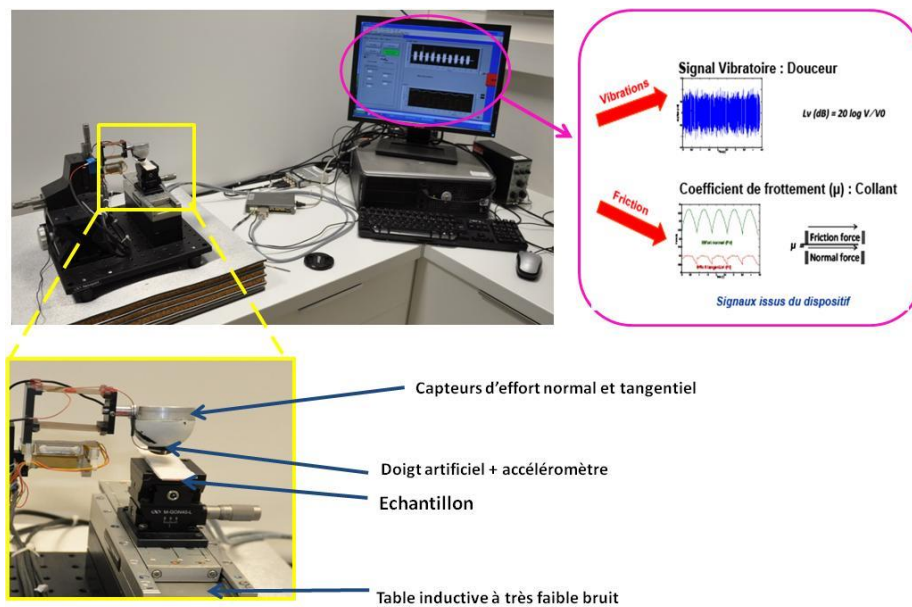


Figure 2-24: Présentation du dispositif expérimental du doigt artificiel

Le dispositif permet de réaliser un contact orthogonal et tangentiel avec la surface à explorer, et ainsi mesurer les informations tribologiques à l'origine des vibrations. L'échantillon est posé sur un plaque en aluminium et fixé afin d'éviter tout mouvement durant le test. Il se déplace sous le doigt artificiel grâce à un moteur linéaire. L'effort normal reste constant tout au long de l'essai grâce à un système de bilames qui compense les ondulations macroscopiques de la surface à tester. La position du capteur est réglable grâce à la table de déplacement micrométrique 3 axes. Un accéléromètre mesure les vibrations induites par le frottement entre le doigt artificiel et la surface testée. Chacun des capteurs (jauges ou accéléromètre) est relié à la carte d'acquisition National Instrument, qui communique les données à un ordinateur. Un logiciel développé sur LabView permet l'interfaçage entre l'unité d'acquisition et la partie matérielle du doigt artificiel. Il permet également de visualiser et de traiter le signal vibratoire, ainsi que les efforts normaux et tangentiels appliqués sur la surface étudiée. (Voir Figure 2-25 et Figure 2-26)

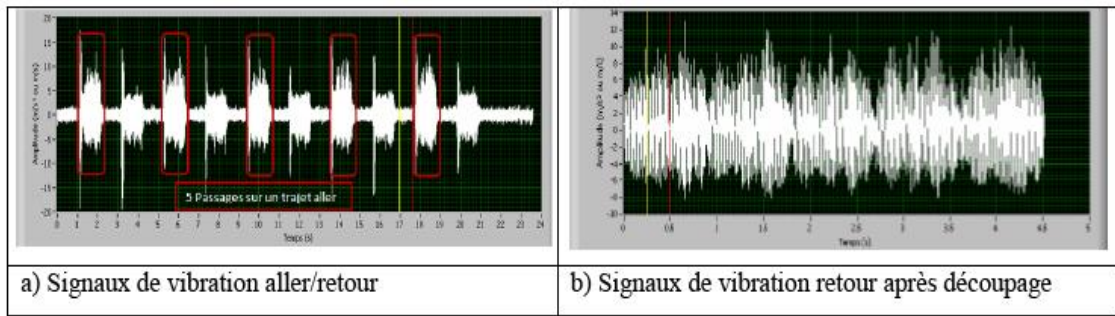


Figure 2-25 : Découpage du signal vibratoire

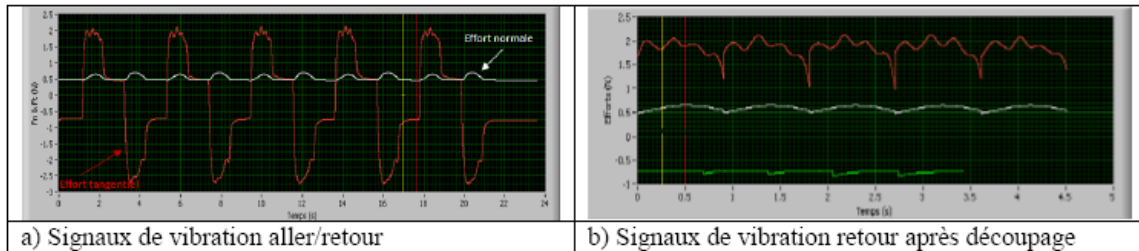


Figure 2-26 : Découpage du signal d'effort

Un découpage des signaux vibratoires et d'effort est nécessaire afin de séparer les signaux allers des signaux retours. On conserve les signaux aller qui sont ensuite juxtaposés afin d'en former un seul. Après traitement du signal, on peut obtenir deux paramètres principaux : l'amplitude vibratoire L_a et le coefficient de frottement μ . Le paramètre L_a (dB) s'obtient à partir de l'expression

$$L_a = 20 \cdot \log \left(\frac{A_{mesurée}}{A_{ref}} \right)$$

Équation 2-2 : Expression de l'amplitude vibratoire

Avec $A_{mesurée}$ = accélération mesurée pendant l'essai ; A_{ref} = accélération de référence $10e^{-6}$ m/s². Plus la valeur de L_a est élevée, plus la surface est douce. Ce paramètre est corrélé à la rugosité Ra de la surface. Le coefficient de frottement μ s'obtient à partir de l'expression

$$\mu = \frac{F_T}{F_N}$$

Équation 2-3 : expression du coefficient de frottement

Avec F_T la force tangentielle en Newton ; F_N la force normale en Newton. Plus la valeur est élevée, plus la surface est adhérente.

Les tests initiaux de mise au point du doigt artificiel (Au sein du LTDS) sur des surfaces plastiques texturées (majoritairement isotropes) avaient montré une très bonne corrélation entre le niveau vibratoire et le paramètre de rugosité Ra. Concernant le coefficient de frottement, il avait été trouvé que plus la valeur du coefficient de frottement est élevée, plus la surface adhère lors d'un toucher tangentiel. Thieulin et al [143] ont utilisé le doigt artificiel pour tester des surfaces non-tissées. Les paramètres physiques caractérisant ces non-tissés étaient la masse surfacique, l'épaisseur et l'élasticité. Le niveau vibratoire a montré une évolution inversement proportionnelle à l'épaisseur avec un bon coefficient de corrélation. Par contre, aucune corrélation n'a été trouvée

entre le niveau vibratoire et la masse surfacique ou l'élasticité. Le coefficient de frottement quant à lui n'a montré que de faible corrélation avec les paramètres physiques.

3. Nombre de sujets idéal dans les expériences de Napping® ?

Le Napping® est une technique qui a été validée dans le domaine agro-alimentaire, et aussi dans les cosmétiques (parfums). Dans notre travail, cette technique a été utilisée à plusieurs reprises pour collecter les données de perception de texture. Mais dans le domaine des matériaux, tout reste encore à faire car l'application de la méthode doit faire ses preuves. Varela et al (2014), dans leur revue sur l'épreuve du Napping® ont relevé le fait qu'aucune étude n'a réellement conclu sur un nombre de sujet minimum idéal. Il est d'ailleurs fort probable que ce nombre dépende de la nature de l'épreuve. Dans les études agro-alimentaires, le nombre de sujets varie en fonction du type de produit testé, et aussi en fonction du type de panel (naïf, expert, ...). Ces études ont utilisé de 5 à 83 sujets. Faucheu et al (2015) dans leur étude sur la perception de texture de différents matériaux ont travaillé avec 10 sujets naïfs. Dans l'optique de légitimer la méthode pour l'évaluation des matériaux texturés utilisés dans le cadre de cette thèse, il nous a semblé fondamental de s'intéresser au nombre minimum de sujets qui pourrait garantir des résultats statistiquement robustes. Le principe de cette étude repose sur l'évaluation de la stabilité de la carte moyenne en fonction du nombre de panélistes considérés dans l'analyse statistique.

3.1. Les données

Pour cette étude, tous les échantillons analysés lors des tests de Napping® dans notre travail de ont été inclus. Il s'agit donc des échantillons textures-anonymes et texture-objets, ainsi que des échantillons de contretypage bois et répliques. Pour les différents jeux d'échantillons, différentes conditions expérimentales ont été utilisées, différents nombre de sujets, différents nombres d'échantillons. La Table 3-1 résume les différentes conditions utilisées lors de nos tests de Napping® sur matériau.

Table 3-1 : Récapitulatif des différents espaces produits testé par Napping®

	Modalité sensorielle			Nombre de sujet(N)	Nombre d'échantillon(m)
	Tactile (T)	Visuel(V)	Visio-tactile(VT)		
Texture- anonyme			x	23	12
Texture-objet			x	23	12
Contretypage bois (WC)	x			18	9
		x		18	9
			x	18	9
Réplique (R)	x			18	9
		x		18	9
			x	18	9

8 jeux de données au total ont été inclus dans cette étude. Sur les données contretypes bois et répliques, 6 jeux de données correspondant aux différentes modalités sensorielles ont été collectés (tactile WC, visuel WC, visio-tactile WC, tactile R, visuel R, visio-tactile R). Sur les textures-anonymes

et textures-objets, 2 jeux de données en modalité visio-tactile ont été collectés. Chaque jeu de données contient les coordonnées X et Y de chaque échantillon sur la carte de perception construite par chaque sujet.

3.2. Procédure

Dans le Napping®, la construction d'une carte moyenne repose sur une analyse factorielle multiple (AFM) appliquée aux jeux de données. L'un des avantages majeurs de l'AFM est d'équilibrer l'influence de chacun des panélistes dans l'analyse globale. En d'autres termes, chaque sujet contribue de manière relativement égale à la construction de la carte de perception moyenne. Pour rechercher le nombre minimum de sujets pour nos épreuves de Napping®, nous avons procédé en plusieurs étapes. La première étape a consisté à vérifier que chaque sujet contribue effectivement de manière relativement égale à la construction de la carte de perception moyenne. Ensuite, la deuxième étape a consisté à rechercher le nombre minimum de sujets nécessaire pour avoir une représentation robuste et stable du point de vue statistique. La procédure utilisée se résume dans les points suivants :

- Analyse de l'influence d'un sujet sur la carte de perception moyenne
- Analyse de l'influence du nombre de sujets sur la carte de perception moyenne

Comparaison des différentes cartes de perception moyenne a été effectuée à partir du coefficient RV afin de rechercher le nombre minimum de sujets qui pourrait garantir une représentation stable du point de vue statistique.

3.3. Le coefficient RV

Le coefficient RV a été introduit par Escoufier [144]. Il a été défini comme étant un coefficient qui quantifie la similarité entre deux matrices de même taille dans le même espace [145][146], les matrices n'étant pas forcément carrées de dimension $n \times n$. En évaluation sensorielle, il est couramment utilisé pour comparer deux représentations sur un même espace produit. Son expression se définit de la manière suivante :

Soit U et V , deux matrices de taille $N \times m$, correspondant à deux ensembles de m variables définies sur le même ensemble de N individus. Si l'on considère que les matrices X et Y sont centrées par colonne, le coefficient RV entre ces deux matrices s'écrit :

$$RV(U, V) = \frac{\text{trace}(UU'VV')}{\sqrt{\text{trace}(UU')^2 \times \text{trace}(VV')^2}}$$

Figure 3-1 : Formule de calcul du coefficient RV

Pour les données contretypage bois et répliques, dans le calcul du coefficient RV, on aura $N= 18$ individus ou sujets et $m= 18$ variables ou échantillons (soit 9×2 car 2 matrices). De même, pour les jeux de données textures-anonymes et textures-objets on aura $N= 23$ individus et $m= 24$ variables (soit 12×2 car 2 matrices).

Le coefficient RV permettra, par exemple, de comparer des représentations issues de deux méthodes différentes d'évaluation sensorielle sur le même espace produit ou alors des représentations issues de différentes modalités sensorielles sur le même espace produit. Par exemple, la matrice U correspondra à la matrice de coordonnées des éléments de l'espace produit obtenue par la première méthode, tandis que la matrice V correspondra à la matrice de coordonnées des éléments de l'espace produit obtenue par la deuxième méthode. Généralement on compare des matrices de même taille. Le coefficient RV est borné. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus sa valeur est proche de 1, plus les représentations sont similaires. Nous avons obtenu les différents coefficients RV nécessaires à nos analyses grâce à la fonction **coeffRV** [147] disponible dans le package FactomineR sous environnement R. Cette fonction calcule le coefficient RV ainsi que la p-valeur associée. Pour rappel, la p-valeur permet de conclure sur un test statistique. Elle est en général comparée à un seuil préalablement fixé (souvent 5%). Si la p-valeur est inférieure à ce seuil, on rejette l'hypothèse nulle en faveur de l'hypothèse alternative, et le résultat du test est déclaré « statistiquement significatif ». Dans le cas contraire, si la p-valeur est supérieure au seuil, on ne rejette pas l'hypothèse nulle, et on ne peut rien conclure quant aux hypothèses formulées. C'est le statisticien Ronald Fisher qui a introduit les termes de significativité de l'hypothèse nulle et l'utilisation de la valeur-p. Dans son approche, la valeur-p est considérée comme une mesure à partir de laquelle les données plaident contre l'hypothèse nulle. Les seuils suivants sont généralement pris pour référence :

- $p \leq 0,01$: très forte présomption contre l'hypothèse nulle
- $0,01 < p \leq 0,05$: forte présomption contre l'hypothèse nulle
- $0,05 < p \leq 0,1$: faible présomption contre l'hypothèse nulle
- $p > 0,1$: pas de présomption contre l'hypothèse nulle

3.4. Les algorithmes

Pour les différentes étapes énoncées plus haut, nous avons utilisé différents algorithmes. L'idée est de calculer le coefficient RV entre la carte moyenne de perception globale et la carte moyenne obtenue avec une partie du panel. Soit *All* le jeu de données global avec tous les sujets. *All* est donc formé par la contribution U_j de chaque sujet j , N étant le nombre total de sujet, on a donc $1 \leq j \leq N$. On considère *Part* le jeu de données avec une partie des sujets. On définit une fonction **RV** qui nous permet de calculer les différentes valeurs du coefficient RV (exemple : $RV(All, Part)$).

3.4.1. Test de l'influence d'un sujet sur la carte moyenne de perception

On a voulu vérifier l'influence d'un sujet sur la carte de perception moyenne. Nous avons donc tenté de répondre à la question suivante : si on supprime un sujet j , comment varie la carte moyenne de perception ?

On construit la carte moyenne de perception avec tous les sujets qui ont effectué le test, on construit également une carte de perception moyenne avec tous les sujets excepté le sujet j . On compare les deux cartes de perception. Cette comparaison se fait grâce au coefficient RV entre les deux cartes. L'algorithme 1 de la Figure 3-2 résume la démarche.

```

Data: jeux de données All avec les coordonnées des échantillons pour chaque panéliste
N = size(All)
Forall j ∈ 1 : N do
    Coefj = RV( All, All \ {Uj} )
End
On examine Coefj, j = 1, N
    
```

Figure 3-2: Algorithme 1 qui permet de tester l'influence d'un sujet sur la carte moyenne de perception

Le code exécuté pour calculer ces différents coefficients est présenté en annexe 1.

3.4.2. Nombre minimum de sujets qui pourrait garantir une carte moyenne stable

Pour rechercher le nombre minimum de sujets qui pourrait fournir une carte moyenne de perception stable, on calcule les coefficients RV entre la carte moyenne de perception globale avec tous les sujets et les différentes cartes obtenues avec une partie du panel. On fait varier le nombre de sujets K entre 2 et N. Pour chaque K on construit la carte moyenne de perception par AFM. On fait plusieurs tirages aléatoires pour un même K pour s'assurer de prendre en compte un maximum de combinaisons différentes de sujets dans le panel. Pour chaque K on calcule alors les différents coefficients RV moyens, minimums et maximums. L'algorithme de la Figure 3-3 résume la démarche.

```

Data : jeux de données All avec les coordonnées des échantillons pour chaque panéliste
N = size (All)
N' = N-1
Forall k ∈ 2 : N-1 do
    Forall j ∈ 1 : N' do
        P = RandomPart (All,k);
        Rvj = RV( All, All \ P)
    end
    mink = min (rvj);
    maxk = max(rvj);
    avgk = average(rvj)
end
On examine minj, maxj, avgj, j = 2, N-1
    
```

Figure 3-3: Algorithme 2 qui permet de rechercher le nombre minimum de sujet pour une carte moyenne de perception stable

3.5. Résultats

3.5.1. Influence d'un sujet sur la carte moyenne de perception

Chaque sujet a été tour à tour enlevé du panel. Les résultats obtenus pour les différents jeux de données sont présentées dans les Table 3-2, Table 3-3, Table 3-4.

- Contretype bois et répliques : le panel comporte 18 sujets. On compare donc chaque carte de 17 sujets avec la carte de 18 sujets.

Table 3-2 : Coefficient RV pour les échantillons WC en tactile, visuel et visio-tactile

Carte sans le sujet	Tactile WC		Visuel WC		Visio-tactile WC	
	Coeff RV	p-valeur	Coeff RV	p-valeur	CoeffRV	p-valeur
1	0.9950583	2.420700e-05	0.9987643	6.052994e-06	0.9975122	3.903053e-06
2	0.9961055	1.644415e-05	0.9969343	6.790044e-06	0.9960750	4.591901e-06
3	0.9925099	1.327244e-05	0.9961755	5.316856e-06	0.9881678	1.808300e-05
4	0.9981382	1.088121e-05	0.9986592	6.419490e-06	0.9970404	3.609560e-06
5	0.9916664	1.360471e-05	0.9943878	5.229137e-06	0.9931783	2.909439e-06
6	0.9867178	1.997282e-05	0.9956443	9.602167e-06	0.9882055	9.939240e-06
7	0.9955819	1.199137e-05	0.9957672	4.504451e-06	0.9977511	3.087709e-06
8	0.9908646	2.444590e-05	0.9963720	1.027848e-05	0.9943355	4.463815e-06
9	0.9956396	1.970027e-05	0.9979520	5.004933e-06	0.9973982	6.771113e-06
10	0.9917452	2.590656e-05	0.9962519	4.002781e-06	0.9826275	1.988708e-05
11	0.9983286	1.057165e-05	0.9972116	7.146625e-06	0.9965925	3.574991e-06
12	0.9970160	1.312349e-05	0.9936321	9.128666e-06	0.9985784	3.368887e-06
13	0.9975524	1.857119e-05	0.9970752	6.950767e-06	0.9967230	3.195715e-06
14	0.9944046	1.915020e-05	0.9976479	6.618110e-06	0.9957331	8.722694e-06
15	0.9996638	1.417679e-05	0.9981965	5.983933e-06	0.9963183	4.368270e-06
16	0.9963820	1.449130e-05	0.9981366	5.438795e-06	0.9976444	5.155430e-06
17	0.9955952	1.090075e-05	0.9988225	5.214377e-06	0.9978352	3.134082e-06
18	0.9952205	2.037819e-05	0.9988799	4.630181e-06	0.9978436	3.628499e-06

Table 3-3 : Coefficient RV pour les échantillons R en tactile, visuel et visio-tactile

Carte sans le sujet	Tactile R		Visuel R		Visio-tactile R	
	Coeff RV	p-valeur	Coeff RV	p-valeur	Coeff RV	p-valeur
1	0.9946766	4.854458e-05	0.9992534	1.403893e-06	0.9995429	5.891675e-07
2	0.9987283	3.399640e-05	0.9941397	1.616510e-06	0.9994267	6.055581e-07
3	0.9911104	3.583781e-05	0.9962519	2.219806e-06	0.9880122	1.048577e-06
4	0.9979843	2.921753e-05	0.9904161	1.965512e-06	0.9967425	6.706689e-07
5	0.9922895	3.261364e-05	0.9884539	4.758089e-06	0.9921521	8.782467e-07
6	0.9956378	1.770143e-05	0.9952531	1.405919e-06	0.9869010	2.228528e-06
7	0.9937500	3.006256e-05	0.9991152	8.906443e-07	0.9954593	9.827754e-07
8	0.9954432	9.425096e-06	0.9988739	1.725976e-06	0.9985783	6.188003e-07
9	0.9911796	4.564086e-05	0.9893341	2.054230e-06	0.9932513	1.481831e-06
10	0.9925548	3.496015e-05	0.9877609	2.132588e-06	0.9910881	7.795172e-07
11	0.9905266	6.557337e-05	0.9887429	1.170876e-06	0.9941036	1.090815e-06
12	0.9915428	6.824984e-05	0.9921110	1.269045e-06	0.9928434	1.091685e-06
13	0.9972721	3.539492e-05	0.9946522	2.521234e-06	0.9973668	7.347503e-07
14	0.9993796	3.179066e-05	0.9935456	2.313708e-06	0.9964219	1.048813e-06
15	0.9995126	2.406774e-05	0.9985328	1.496298e-06	0.9978891	6.672511e-07
16	0.9858817	1.099929e-05	0.9868977	4.112443e-06	0.9843529	6.143826e-07
17	0.9917822	4.043859e-05	0.9992746	1.584881e-06	0.9990330	4.430106e-07
18	0.9969212	1.878889e-05	0.9926439	1.767520e-06	0.9960891	8.830123e-07

- Texture-objet et texture-anonyme

Le panel est constitué de 23 sujets. On compare chaque carte de 22 sujets avec la carte globale de perception de 23 sujets.

Table 3-4 : Coefficient RV pour les texture-objet et texture-anonyme

Sans le sujet	Texture-objet		Textute-anonyme	
	Coeff RV	p-valeur	Coeff RV	p-valeur
1	0.9969245	9.647078e-06	0.9971485	2.561823e-05
2	0.9968665	7.686154e-06	0.9964342	2.265164e-05
3	0.9993329	7.652130e-06	0.9992971	2.012010e-05
4	0.9992873	7.316040e-06	0.9994671	1.975589e-05
5	0.9995793	7.969934e-06	0.9995657	2.024106e-05
6	0.9932582	1.222052e-05	0.9988490	2.049015e-05
7	0.9994813	8.492618e-06	0.9996487	2.286787e-05
8	0.9987969	8.993405e-06	0.9924598	2.531637e-05
9	0.9953651	6.763334e-06	0.9982126	1.754889e-05
10	0.9989282	6.687446e-06	0.9995741	2.048063e-05
11	0.9977334	8.360140e-06	0.9984970	1.999796e-05
12	0.9994534	7.552652e-06	0.9992564	2.329921e-05
13	0.9985761	7.457676e-06	0.9988160	2.007013e-05
14	0.9990266	6.415641e-06	0.9990212	1.914243e-05
15	0.9987920	7.058059e-06	0.9987255	2.204152e-05
16	0.9984504	7.141431e-06	0.9986993	2.076934e-05
17	0.9989072	6.864290e-06	0.9989481	2.050539e-05
18	0.9988803	8.242877e-06	0.9972542	2.284096e-05
19	0.9979545	6.610175e-06	0.9982278	1.959862e-05
20	0.9939960	1.494437e-05	0.9993569	2.056687e-05
21	0.9995917	8.265173e-06	0.9998137	2.116177e-05
22	0.9990081	8.223297e-06	0.9987864	2.602218e-05
23	0.9981801	9.765529e-06	0.9958170	3.034303e-05

Sur les 8 jeux de donnée analysés, on trouve des coefficients RV de supérieurs à 0,99, donc très proche de 1. On peut donc conclure qu’aucun sujet à lui seul n’influence particulièrement la carte moyenne de perception globale. Ceci confirme bien que chaque sujet contribue de manière relativement égale dans la construction de la carte moyenne globale de perception.

3.5.2. Recherche du nombre minimum de sujet pour une représentation robuste de la carte moyenne de perception.

- Contretype bois et répliques (WC et R)

18 sujets ont participé à l’étude. Nous avons fixé le minimum de sujet à 2. De 2 au nombre total de sujet (18), on va calculer les différents coefficients RV. Pour tester la sensibilité du tirage pour chaque effectif, on va maximiser le nombre de tirage aléatoire afin de prendre en compte un maximum de combinaisons possibles. Nous avons donc fixé à 17 le nombre de combinaisons pour tester la sensibilité du tirage. Nous avons analysé les coefficients RV moyens, maximums et minimums sur les 17 tirages de chaque taille.

Table 3-5 : Coefficient RV pour la recherche du nombre minimum de sujet pour la campagne WC

Tactile WC				Visuel WC				Visio-tactile WC			
Sujets	min	moy	max	Sujets	min	moy	max	Sujets	min	moy	max
2	0,46	0,62	0,76	2	0,57	0,76	0,9	2	0,55	0,67	0,8
3	0,62	0,73	0,81	3	0,59	0,8	0,86	3	0,62	0,75	0,83
4	0,62	0,79	0,89	4	0,7	0,85	0,92	4	0,7	0,78	0,84
5	0,77	0,83	0,91	5	0,74	0,88	0,94	5	0,68	0,82	0,89
6	0,72	0,85	0,92	6	0,86	0,91	0,95	6	0,75	0,84	0,91
7	0,84	0,89	0,94	7	0,87	0,93	0,96	7	0,82	0,89	0,93
8	0,83	0,9	0,94	8	0,85	0,94	0,98	8	0,83	0,91	0,95
9	0,88	0,92	0,96	9	0,89	0,94	0,98	9	0,86	0,91	0,96
10	0,87	0,93	0,97	10	0,93	0,96	0,97	10	0,89	0,93	0,96
11	0,92	0,95	0,97	11	0,94	0,96	0,98	11	0,91	0,94	0,96
12	0,92	0,96	0,98	12	0,94	0,97	0,98	12	0,92	0,95	0,98
13	0,94	0,96	0,99	13	0,95	0,97	0,99	13	0,91	0,96	0,98
14	0,95	0,97	0,98	14	0,97	0,98	0,99	14	0,95	0,97	0,98
15	0,95	0,98	0,98	15	0,98	0,98	0,99	15	0,93	0,98	0,99
16	0,98	0,99	0,99	16	0,98	0,99	0,99	16	0,97	0,98	0,99
17	0,98	0,99	0,99	17	0,99	0,99	0,99	17	0,98	0,99	0,99

Pour les tests tactile, visuel et visio-tactile WC, à partir de 11 sujets, on a des coefficients RV de l'ordre de 0,90.

Table 3-6 : Coefficient RV pour la recherche du nombre minimum de sujet pour la campagne R

Tactile R				Visuel R				Visio-tactile R			
Sujets	min	moy	max	Sujets	min	moy	max	Sujets	min	moy	max
2	0,4	0,62	0,78	2	0,46	0,6	0,72	2	0,4	0,62	0,78
3	0,56	0,7	0,79	3	0,57	0,7	0,76	3	0,56	0,7	0,79
4	0,56	0,79	0,87	4	0,68	0,76	0,84	4	0,56	0,79	0,87
5	0,66	0,79	0,89	5	0,61	0,78	0,86	5	0,66	0,79	0,89
6	0,68	0,84	0,9	6	0,74	0,83	0,89	6	0,68	0,84	0,9
7	0,74	0,85	0,92	7	0,82	0,88	0,92	7	0,74	0,85	0,92
8	0,81	0,9	0,94	8	0,84	0,88	0,92	8	0,81	0,9	0,94
9	0,82	0,91	0,94	9	0,86	0,91	0,95	9	0,82	0,91	0,94
10	0,89	0,92	0,95	10	0,87	0,92	0,95	10	0,89	0,92	0,95
11	0,88	0,93	0,97	11	0,89	0,92	0,95	11	0,88	0,93	0,97
12	0,92	0,95	0,98	12	0,93	0,94	0,97	12	0,92	0,95	0,98
13	0,93	0,96	0,97	13	0,93	0,96	0,98	13	0,93	0,96	0,97
14	0,94	0,97	0,98	14	0,94	0,96	0,98	14	0,94	0,97	0,98
15	0,96	0,98	0,99	15	0,94	0,97	0,98	15	0,96	0,98	0,99
16	0,98	0,98	0,99	16	0,97	0,98	0,99	16	0,98	0,98	0,99
17	0,99	0,99	0,99	17	0,98	0,99	0,99	17	0,99	0,99	0,99

Pour les tests tactile, visuel et visio-tactile R, à partir de 12 sujets, on a des coefficients RV de l'ordre de 0,90.

- Texture- anonyme et texture-objet

23 sujets ont participé à l'étude. Nous avons fixé le minimum de sujet à 2. De 2 au nombre total de sujet (23), on va calculer les différents coefficients RV. Pour tester la sensibilité du tirage pour chaque effectif, on va maximiser le nombre de tirage aléatoire afin de prendre en compte un maximum de combinaisons possibles. Nous avons donc fixé à 22 le nombre de combinaisons pour tester la sensibilité du tirage. Nous avons analysé les coefficients RV moyens, maximum et minimum sur les 22 tirages de chaque taille.

Table 3-7 : Coefficient RV pour la recherche du nombre minimum de sujet pour les textures-anonymes et textures-objets

Texture -anonyme				Texture -objet			
Sujets	min	moy	max	Sujets	min	moy	max
2	0,5	0,76	0,88	2	0,5	0,73	0,84
3	0,63	0,81	0,93	3	0,66	0,8	0,9
4	0,67	0,85	0,93	4	0,64	0,82	0,91
5	0,8	0,88	0,94	5	0,69	0,87	0,92
6	0,79	0,9	0,96	6	0,82	0,9	0,95
7	0,85	0,92	0,95	7	0,84	0,91	0,96
8	0,89	0,93	0,96	8	0,87	0,92	0,96
9	0,88	0,94	0,96	9	0,88	0,94	0,96
10	0,92	0,95	0,97	10	0,89	0,94	0,97
11	0,94	0,96	0,98	11	0,93	0,96	0,98
12	0,94	0,96	0,98	12	0,94	0,96	0,98
13	0,95	0,97	0,98	13	0,94	0,96	0,99
14	0,95	0,97	0,98	14	0,94	0,97	0,99
15	0,96	0,98	0,99	15	0,95	0,97	0,98
16	0,96	0,98	0,99	16	0,96	0,98	0,99
17	0,97	0,98	0,99	17	0,97	0,98	0,99
18	0,98	0,99	0,99	18	0,97	0,98	0,99
19	0,98	0,99	0,99	19	0,97	0,99	0,99
20	0,98	0,99	0,99	20	0,97	0,99	0,99
21	0,99	0,99	0,99	21	0,99	0,99	0,99
22	0,99	0,99	0,99	22	0,99	0,99	0,99

Pour les textures-anonymes, on a une représentation stable à partir de 10 sujets, avec des coefficients RV de l'ordre de 0.90. Alors que pour les textures-objets, on a des coefficients RV de l'ordre de 0,90 à partir de 11 sujets.

3.6. Conclusion

Le nombre de sujets est un paramètre très important dans les tests d'évaluation sensorielle. Dans le cas de la méthode de Napping®, les études disponibles dans l'état de l'art ont utilisées différents nombre de sujets. Le nombre de sujets étant souvent fonction du type de panels, du type d'échantillon à tester. Nous avons par cette étude tenté de rechercher le nombre de sujet qui pourrait assurer une représentation stable des cartes de perception moyenne, en ayant au préalable vérifié l'influence de chaque sujet sur la carte moyenne de perception. Le coefficient RV nous a permis d'analyser ces deux aspects. Dans nos tests de perception, nous avons travaillé avec des panels non-entraînés. Sur les 8 jeux de données testés, nous avons par notre démarche synthétique pu montrer qu'aucun sujet n'influence de manière significative la carte de perception moyenne. Il y a donc bien un équilibre de la contribution de chaque sujet dans la construction de la carte moyenne de perception. De plus nous avons montré qu'entre 10 et 12 sujets, on trouve des coefficients RV de l'ordre de 0.90 avec des p-valeurs significatives. En conclusion, pour tester les matériaux avec la méthode de Napping®, on peut recommander un nombre minimum de sujet compris entre 10 et 12.

4. Perception tactile et vibrations induites : cas des « textures périodiques » et « des textures isotropes »

4.1. Introduction

Le toucher est l'un des sens sur lequel on s'appuie pour effectuer la plupart des tâches du quotidien. Cette modalité sensorielle fournit des informations fiables et précises sur les propriétés des matériaux et des surfaces [33]. La perception tactile fait l'objet d'un intérêt de plus en plus grandissant pour plusieurs raisons : la nécessité de développer des nouvelles interfaces homme-machine, l'équipement de réalité virtuelle, le développement de nouvelle génération d'écran tactile etc. La main humaine est un système très complexe. Plusieurs domaines de recherche (biologie, psychologie, biomécanique, neurophysiologie) se sont intéressés aux fonctions de la main ainsi qu'au sens du toucher. En effet, lors du balayage d'une surface par le doigt, le contact génère des vibrations qui se propagent le long de la peau, activant ainsi les mécanorécepteurs. Ces mécanorécepteurs situés à la pulpe du doigt agissent comme des transducteurs qui convertissent les stimuli mécaniques, générés par le contact, en impulsions électriques. À titre de rappel, les mécanorécepteurs sont de divers types (disques de Merkel, corpuscules de Meissner, corpuscules de Pacini, corpuscules de Ruffini) et sont situés à différents niveaux de profondeur dans la peau, et sont activés à différents niveaux de fréquences (Figure 4-1).

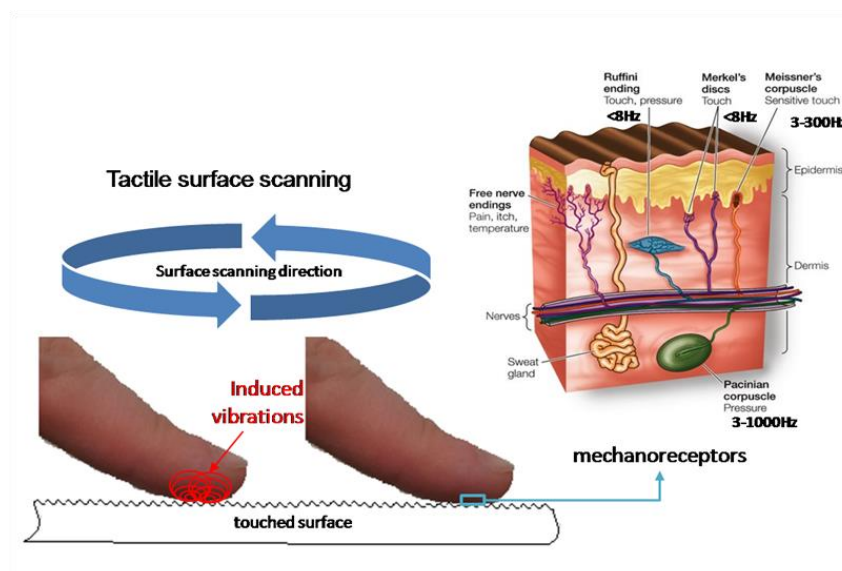


Figure 4-1 : Vibrations induites lors du balayage d'une surface, ainsi que les mécanorécepteurs avec leur fréquence d'activation

Le signal vibratoire est par la suite transmis au cerveau, permettant alors d'identifier les propriétés de surfaces des objets. Plusieurs travaux ont révélé l'existence d'un lien entre les vibrations induites et la sensation tactile [148][132][141]. Les vibrations induites jouent un rôle essentiel dans la perception des propriétés de surface telle que la rugosité et la douceur [34][149][40][57][52], qui sont parmi les principales dimensions perceptuelles de la modalité tactile. En analysant la distribution spatiale des vibrations qui se propagent dans la peau, leur intensité ainsi que leur quantité d'énergie, il est possible d'obtenir des informations sur le type d'interaction ainsi que les caractéristiques d'un objet ou matériau[150]. La distribution de fréquence des vibrations induites a été corrélée à la « Duplex theory » de la perception tactile [49]. Plusieurs études relativement récentes ce sont intéressées aux textures périodiques et isotropes [132][151][152][153]. Les résultats de ces études étaient en accord avec ceux trouvés précédemment dans la « Duplex theory » de la perception tactile. Pour des échantillons de texture isotropes, le spectre des vibrations induites présente une large distribution dans la bande de fréquence. Pour des échantillons dont la texture est périodique le spectre des vibrations induites permet de mesurer un pic de fréquence bien défini. La fréquence de vibration est fonction non seulement de la vitesse de balayage, mais aussi de la relation entre la période ou longueur d'onde de la surface et celle du doigt qui balaye la surface. En effet il n'existe pas de relation linéaire entre la fréquence des vibrations induites et la longueur d'onde de la texture. Ceci tient du fait que, la fréquence de l'excitation finale est fonction de la combinaison entre la rugosité du doigt et celle de la texture. Il est donc possible de distinguer 3 zones principales en fonction de la longueur d'onde du doigt :

- Zone I : la longueur d'onde de la texture est inférieure à celle du doigt. le pic de fréquence dépend principalement de la longueur d'onde de l'échantillon
- Zone II : la longueur d'onde de la texture de l'échantillon est comparable à celle doigt. le pic de fréquence dépend du ratio entre les deux longueurs d'onde (celle de l'échantillon et celle du doigt). C'est une zone de transition dans le mécanisme d'excitation entre les deux surfaces.
- Zone III : la longueur d'onde de la texture est supérieure à celle du doigt. Le pic de fréquence dépend principalement de la longueur d'onde du doigt et non de celle de l'échantillon.

En synthèse, deux mécanismes existent en fonction de la longueur d'onde de la texture. Dans les zone I et II, le spectre des vibrations induites est affecté par la rugosité de l'échantillon. En revanche, dans la zone III le spectre des vibrations induites ne donne pas d'informations sur la surface de l'échantillon parce qu'il est fonction de la longueur d'onde du doigt.

Les différentes études dans l'état de l'art incluent divers type de testeurs : doigt humain, doigt humain instrumenté, doigt artificiel. Pour ce qui est du doigt humain, on peut distinguer deux types de panels : les personnes aveugles et les personnes voyantes. Plusieurs études se sont intéressées à la comparaison de performance entre panel aveugle et panel voyant [154][155][156][157][158]. Ces études ont montré que les panels de personnes aveugles sont plus rapides que les panels de personnes voyantes dans les tâches d'identification et de discrimination tactile. Par contre, en termes de performances ces études ont conclu à des performances comparables. D'autres ont souligné le fait que la différence de performance entre aveugles et voyants dépend du type de tâche à effectuer. Par exemple, Goldreich et al [159] ont montré que les aveugles ont de meilleures performances pour la discrimination de surface rainurées de faible longueur d'onde. De même, Alary et al [160] ont trouvé des performances supérieures des aveugles dans la discrimination de textures

formées de plaques embossées 3D. Il a également été montré que les personnes aveugles possèderaient des capacités de discrimination vibro-tactile supérieures à celles des personnes voyantes[161][118][162].

Plusieurs études ont conclu à l'existence d'une forte corrélation entre mesure physique de rugosité (Ra) et paramètres tribologiques et vibratoires. Or très peu d'études ont mis en relation approche sensorielle et approche senso-instrumentale. Cette étude se propose d'étudier des textures périodiques et isotropes. L'objectif est de combiner mesures topographiques, sensorielles et senso-instrumentales afin de rechercher les corrélations entre les diverses approches. De plus deux types de panel sont utilisés : un panel aveugle et un panel voyant, afin de comparer les performances dans des tâches de discrimination pour les textures étudiées.

4.2. Les échantillons

Deux séries d'échantillons sont utilisées dans cette étude. Il s'agit des textures périodiques et des textures isotropes. Pour la présentation détaillée de ces deux séries, se reporter au chapitre 2. La série périodique se compose de 12 échantillons de plaques d'acier inoxydable dont 11 échantillons rainurés et une référence non texturée. Les caractéristiques des différents échantillons de la série périodique sont présentées dans la Table 4-1.

Table 4-1 : Les différents échantillons de la série périodique

Echantillon	P1*	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Pref
Longueur d'onde (μm)	100*	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050	0
Rugosité Ra(μm)	9,66	8,95	6,09	4,61	3,76	3,1	2,63	2,35	2,18	1,88	1,81	0,28

La gamme de longueur d'onde varie entre 100μm et 1050μm. la Figure 4-2 présente quelques exemples d'échantillons périodiques.

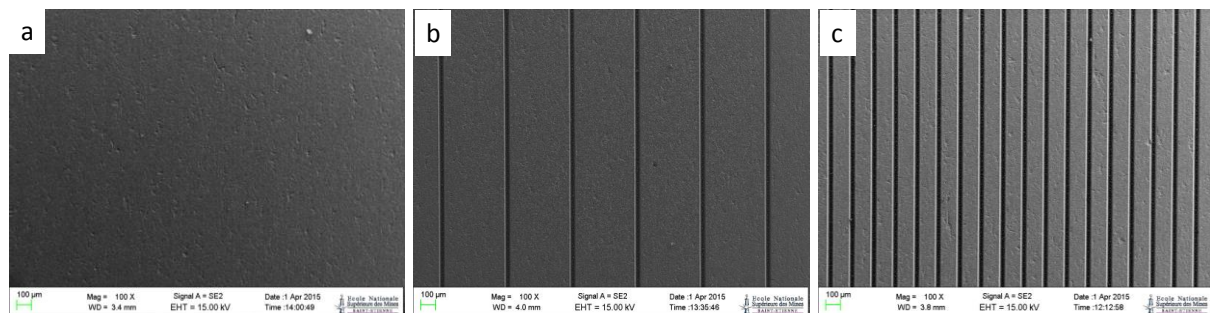


Figure 4-2 : Images MEB de quelques exemples d'échantillon isotrope (a) référence (b) 350 μm (c) 150 μm

La série isotrope est également constituée de 12 échantillons de topographies variables. La texture de cette série est très poreuse. Chaque échantillon est référencé en fonction de la masse surfacique de la mousse de base utilisée pour le fabriquer, suivi du nombre de couches laminées et enfin de son épaisseur. Les caractéristiques des échantillons de la série isotrope sont présentées dans la Table 4-2.

Table 4-2 : Echantillons isotropes

Référence	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
% phase	2,1	2,7	3,2	3,3	4,9	5,18	6	6,8	8,3	8,3	12,74	24,12

Quelques exemple d'échantillon de cette série sont présenté la Figure 4-3. Pour une description plus détaillée, se reporter au chapitre 2.

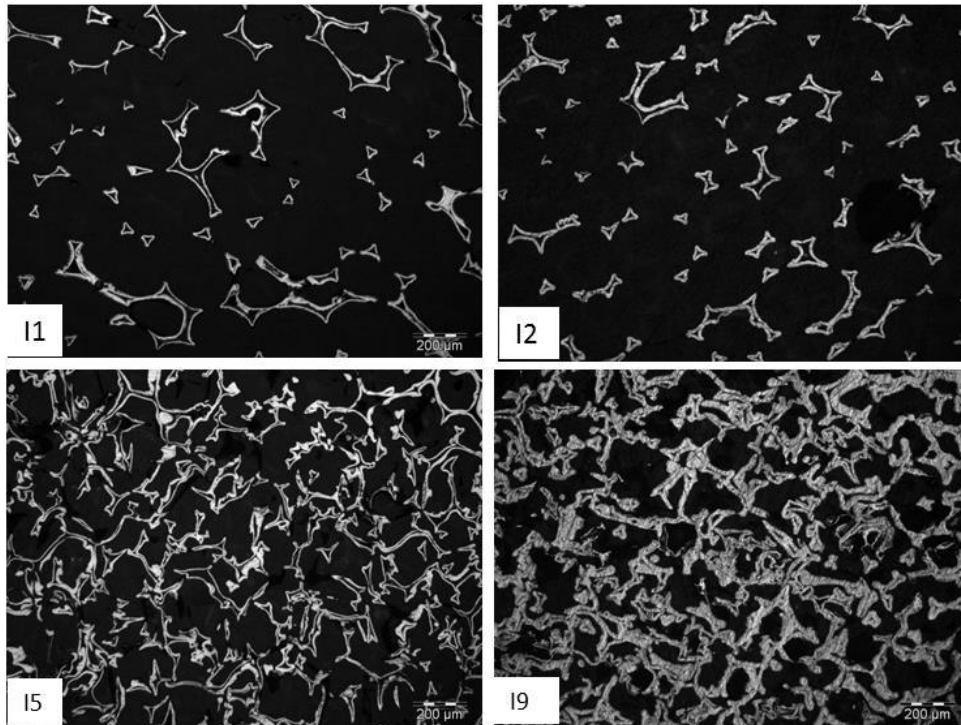


Figure 4-3 : Image au microscope optique de quelques échantillons de la série isotrope

Après la description des deux séries d'échantillon, nous présentons les différents qui ont été effectués pour analyser chacune des séries. En premier lieu la série périodique, en second lieu la série isotrope.

4.3. Jeu d'échantillons « textures périodiques »

4.3.1. Test de classement

15 sujets voyants ont participé au test. Pour chacun des échantillons, la somme des rangs a été calculée. Les différents classements des panélistes sont présentés dans la Table 4-3. Grâce au test de Friedman nous avons calculé si la différence perçue entre les échantillons est significative ou non.

Table 4-3 : Rang des différents échantillons pour l'ensemble de panel

Sujets	Echantillons											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Pref
A	3	6	12	11	9	1	10	5	4	8	7	2
B	12	2	5	6	8	10	11	9	3	7	4	1
C	10	8	12	9	11	7	6	5	2	3	4	1
D	7	12	3	11	9	6	5	2	10	4	8	1
E	12	11	5	6	10	3	8	4	7	1	9	2
F	5	12	2	11	8	7	6	3	10	9	4	1
G	1	3	11	8	4	9	12	10	7	5	6	2
H	12	11	7	9	10	6	2	8	3	5	4	1
I	12	11	5	9	8	7	2	4	6	3	10	1
J	7	3	12	9	11	10	8	6	2	5	4	1
K	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
L	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
M	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
N	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	1	2
O	11	12	10	9	8	7	6	5	4	3	1	2
Somme des rangs	140	135	124	134	128	101	100	81	74	65	68	20
Moyenne des rangs	9,33	9,00	8,27	8,93	8,53	6,73	6,67	5,40	4,93	4,33	4,53	1,33
Ecart type des rangs	3,77	3,64	3,43	1,49	1,68	2,31	2,82	2,13	2,55	2,19	2,88	0,49

Pour analyser les données du test de classement, on va s'intéresser aux sommes des rangs et aussi aux écarts types des rangs. D'après la somme des rangs, Le classement moyen qui ressort du test de classement du panel est le suivant : P1-P2-P4-P5-P3-P6-P7-P8-P9-P11-P10-Pref. La valeur F_{test} du test de Friedman est calculée de 76,68 (voir détail en annexe 2). Cette valeur est supérieure la valeur au seuil de 5% qui est de 19, 67. On peut donc conclure avec un risque d'erreur inférieur ou égal à 5% que les 12 échantillons ont été perçus comme différents. Les différentes moyennes des rangs montrent que globalement, Le classement du panel est cohérent avec celui dicté par la topographie. L'écart type du rang quant à lui donne des indications sur le consensus quant à la position de l'échantillon dans le classement pour l'ensemble du panel. Les codes couleurs (du vert au rouge) affectés aux différents écarts types permettent de classer les valeurs dans l'ordre croissant. Ainsi on peut donc remarquer que les rangs des échantillons P1, P2,P3 ont les écarts types les plus élevés. Ces échantillons ont fait le moins consensus au sein du panel. Par contre l'échantillons Pref est celui qui présente le moins de dispersion dans ses différents rangs, et par conséquent a fait le plus consensus au sein du panel.

4.3.2. Test avec le doigt artificiel

Cet équipement expérimental a permis de tester uniquement la série périodique. Etant donnée la configuration de l'équipement, les textures très « accrochantes » ne peuvent pas être testées, car la matière textile qui simule la pulpe du doigt se détériorerait lors du test. Sur ce dispositif, c'est l'échantillon qui se déplace tandis que le doigt reste fixe. Le doigt artificiel reste fixe. Le montage de l'échantillon sur le banc d'essai est présenté en Figure 4-4.

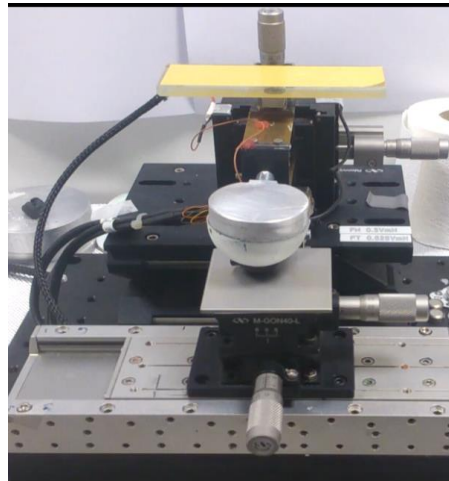


Figure 4-4 : Montage d'un échantillon périodique sur le doigt artificiel.

Les conditions d'essais étaient les suivantes :

- Course 20mm
- Effort normal : 0,1 N ; 0,2N
- Vitesse : 10mm/s, 20mm/s, 30mm/s
- Accélération: 50mm/s²
- Fréquence d'échantillonnage: 20000Hz
- 8 passages par échantillon (4 zones testées, 2 tests par zone et 5 allers-retours par test)
- Rugosité du doigt artificiel Ra = 2,4μm

Le doigt artificiel est un dispositif qui permet de mimer le comportement du doigt humain. Il permet de reproduire le toucher tangentiel et unidirectionnel du doigt lors du balayage d'une surface. Pour chaque échantillon, les paramètres tribologiques et vibratoires ont été collectés : coefficient de frottement μ , niveau vibratoire La (dB). Dans les plupart des études impliquant des dispositifs tribotactiles, les tests sont effectués à une vitesse de 20mm/s et des efforts compris entre 0,2 et 0,5N [143][134][132], ces conditions étant les plus proches de la perception humaine des objets de la vie quotidienne. Pour nos tests, nous avons entrepris de tester différentes conditions expérimentales. Ainsi, deux efforts normaux ont été utilisés lors des tests (0,1 et 0,2N), ainsi que 3 vitesses (10,20 et 30mm/s). L'évolution en fonction de la vitesse des différentes valeurs de niveau vibratoire La(dB) et de coefficient de friction μ enregistrés est présentée à la Figure 4-5.

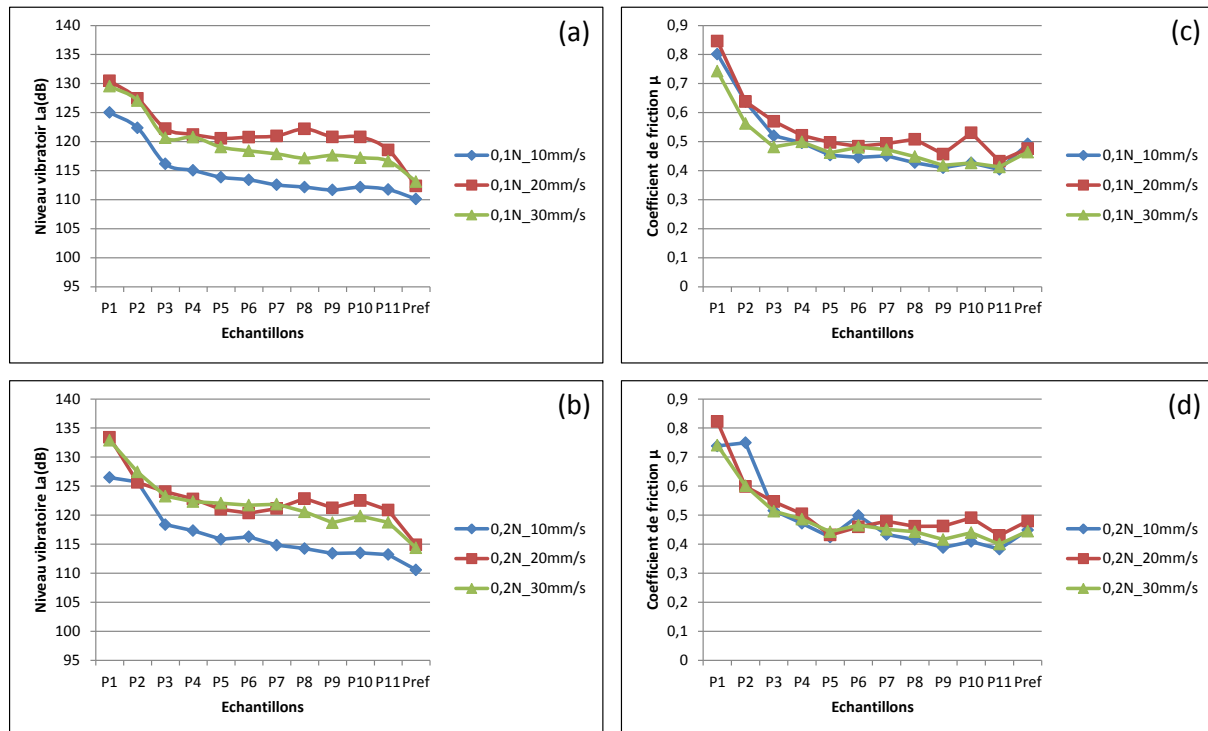


Figure 4-5 : Paramètres tribologiques et vibratoires enregistrés sur le doigt artificiel pour les textures périodiques (a) effet de la vitesse sur le niveau vibratoire à 0,1N (b) effet de la vitesse sur le niveau vibratoire à 0,2N (c) effet de la vitesse sur le coefficient de frottement à 0,1N (d) Effet de la vitesse sur le coefficient de frottement à 0,2N

Pour les différentes conditions de test utilisées, on se rend compte sans surprise que les valeurs de niveau vibratoire et de coefficient de frottement augmentent avec la longueur d'onde. On note un effet visible de la vitesse de test sur le niveau vibratoire. En effet, à 0,1N, on remarque que les niveaux vibratoires La (dB) à 20 et 30 mm/s sont très similaires, et tous les deux supérieurs au niveau vibratoire à 10mm/s. Le même comportement est observé à 0,2N. Pour ce qui est du coefficient de frottement, ni l'effort, ni la vitesse n'influence de manière significative les valeurs obtenues au doigt artificiel. Les valeurs de coefficient de frottement et de niveau vibratoire ont également été corrélées au paramètre topographique de rugosité (Ra). Les différentes valeurs de coefficient de corrélation pour les différentes conditions expérimentales sont relativement élevées. A titre d'exemple la Figure 4-6 présente les corrélations linéaires entre à 10 et 30mm/s pour un effort de 0,2N.

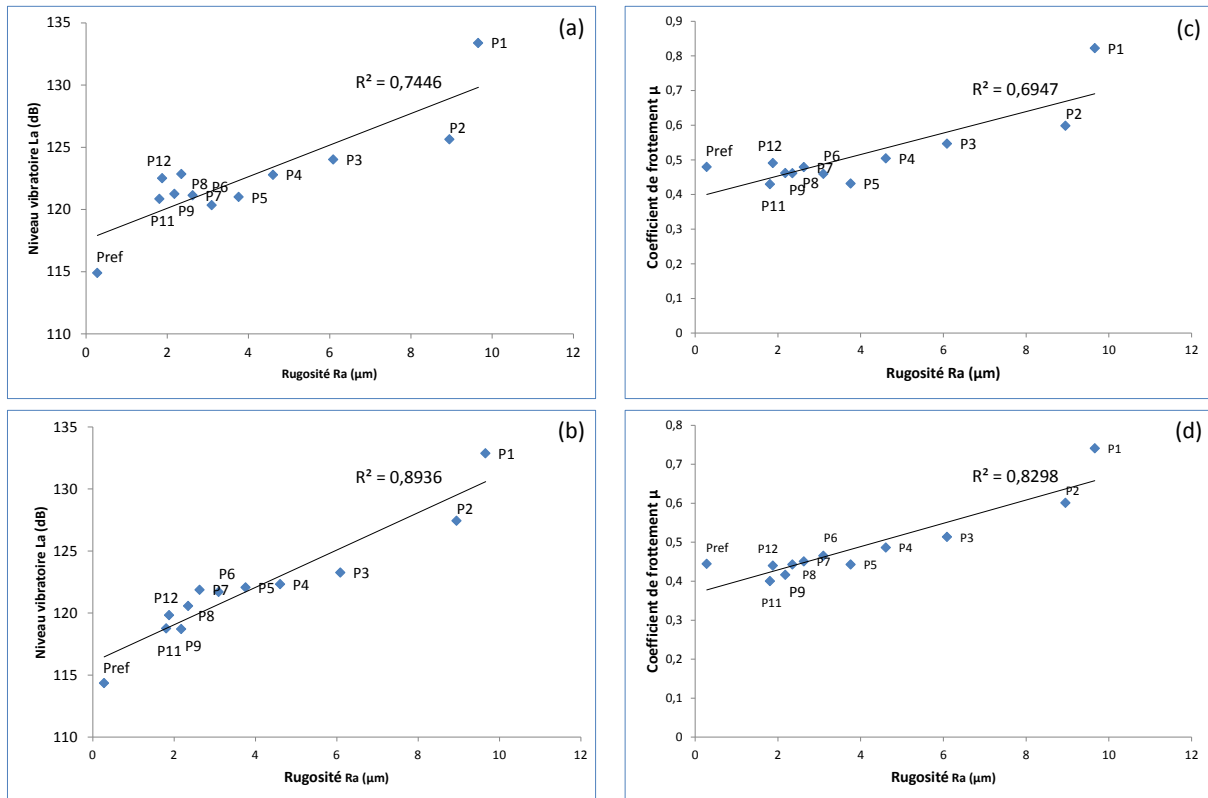


Figure 4-6 : Corrélation linéaire entre (a) La et Ra à 20mm/s et 0,2N (b) La et Ra à 30mm/s et 0,2N (c) μ et Ra à 20mm/s et 0,2N (d) μ et Ra à 30mm/s et 0,2N

Quelles que soient les conditions de test, le coefficient de frottement ainsi que le niveau vibratoire montrent une forte corrélation avec la rugosité Ra des échantillons. L'analyse de ces échantillons périodiques complète la littérature en termes de type de texture pouvant être analysées en utilisant le doigt artificiel. Les résultats obtenus confirment la relation linéaire entre le niveau vibratoire et la rugosité moyenne arithmétique Ra, et montrent la relation linéaire entre le coefficient de frottement et rugosité moyenne arithmétique Ra.

4.3.3. Le test tribo-tactile avec le Tribotouch

Le montage de l'échantillon sur le banc d'essai ainsi que la position du doigt sur l'échantillon est présenté en Figure 4-7.

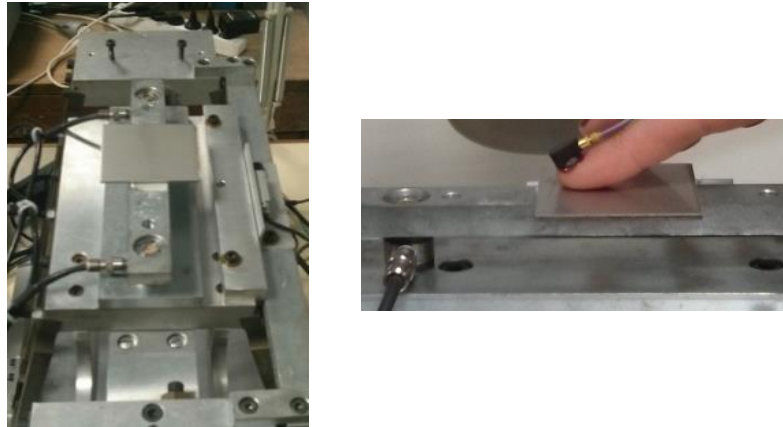


Figure 4-7 : Echantillon périodique sur le Tribotouch ainsi que la position du doigt avec son accéléromètre sur l'échantillon périodique

Sur ce dispositif, c'est l'échantillon qui se déplace. Le doigt humain quant à lui reste fixe. Les conditions d'essais pour les deux séries étaient les suivantes :

- Inclinaison du doigt $\approx 20^\circ$
- Période des empreintes du doigt 0,45mm
- Vitesse : 20mm/s
- Effort normal 0,5N
- Course 50mm
- 5 passages (aller-retour) par échantillons

Le Tribotouch permet de collecter des signaux vibratoires qui sont par la suite traités grâce à un programme Matlab afin d'extraire les paramètres d'intérêt en fonction du type de texture considéré. Les signaux d'accélération, d'efforts ainsi que le coefficient de frottement ont été enregistrés. L'analyse du signal d'accélération a permis d'extraire les valeurs d'AccRms et aussi les fréquences. En effet lorsqu'on a à faire à des textures périodiques, le spectre de vibration fait apparaître un pic de fréquence bien défini. Plus la période de l'échantillon est petite, mieux le pic de fréquence est défini. Pour chacun des échantillons, la fréquence théorique a été calculée grâce à la formule :

$$F = \frac{V}{\lambda}$$

Équation 4-1 : Expression de la fréquence théorique

Avec V = la vitesse de l'essai (20mm/s) et λ = longueur d'onde de l'échantillon en mm.

Les fréquences réelles ont été collectées après transformation du signal temporel en signal fréquentiel. Plus la longueur d'onde de l'échantillon augmente, plus le spectre de fréquence présente une large distribution dans la bande de fréquence. Ce phénomène est probablement dû à la rugosité de la surface entre deux rainures successives, qui donne une contribution majeure quand le nombre de rainures diminue. A titre d'exemple, les spectres de fréquence des échantillons P1 et P7 sont présentés en Figure 4-8

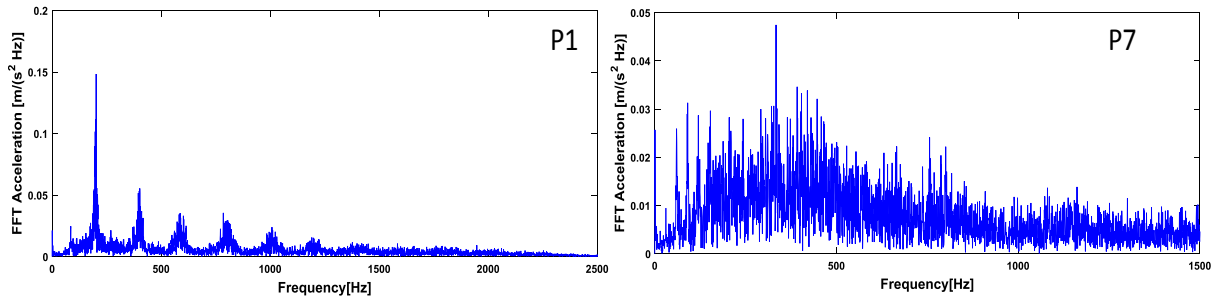


Figure 4-8 : Spectre de fréquences pour les échantillons P1 ($\lambda=100\mu\text{m}$) et P7 ($\lambda=650\mu\text{m}$)

Pour les échantillons rainurés, Les différentes valeurs de fréquences théoriques, fréquence réelles, d'accélération RMS (AccRMS) ainsi que l'écart type entre les valeurs de fréquence théorique et fréquence réelle sont reportée dans la Table 4-4.

Table 4-4 : Différents paramètres vibratoires pour la série périodique.

Echantillon	λ (mm)	Ra(μm)	Acc Rms (m/s^2)	V(mm/s)	F théorique (Hz)	F réelle (Hz)	Ecart type F
P1	0,1	9,66	0,463	20	200	201,9	1,34
P2	0,15	8,95	0,639	20	133	126,9	4,55
P3	0,25	6,09	0,368	20	80	74,1	4,17
P4	0,35	4,61	0,398	20	57	56,3	0,60
P5	0,45	3,76	0,342	20	44	43,1	0,95
P6	0,55	3,1	0,498	20	36	36,9	0,38
P7	0,65	2,63	0,347	20	31	30,6	0,12
P8	0,75	2,35	0,353	20	27	27,5	0,59
P9	0,85	2,18	0,283	20	24	46,9	16,53
P10	0,95	1,88	0,327	20	21	41,9	14,74
P11	0,105	1,81	0,289	20	190	42,5	104,63
Pref	0	0,28	0,144	20	----	----	----

Toutes les valeurs de fréquences réelles relevées se situent bien dans la gamme de fréquence d'activation des mécanorécepteurs sensibles aux vibrations qui varie entre 2 à 500Hz. Les valeurs de fréquence théoriques sont relativement proches des valeurs réelles sauf pour les échantillons P9, P10, P11. On peut remarquer que les valeurs des fréquences diminuent progressivement à mesure que la longueur d'onde des échantillons augmente jusqu'à l'échantillon P9 (750 μm), puis les valeurs sont quasiment constantes. Ces différentes valeurs sont en accord avec l'état de l'art [148][132][133]. En effet la fréquence des vibrations induites est affectée par la longueur d'onde lorsque la longueur d'onde de la texture considérée est inférieure ou comparable à celle du doigt. Sachant que la longueur d'onde du doigt est de 450 μm , ce qui correspond à une fréquence de 44,4 Hz. On distingue alors 3 zones :

- Zone I : pour les échantillons de longueur d'onde inférieure à celle du doigt (100, 150, 250, 350 μm), le pic de fréquence est fonction de la longueur d'onde de l'échantillon.
- Zone II : pour les textures de longueur d'onde comparable à celle du doigt (450, 550, 650, 750 μm), le pic de fréquence dépend d'une combinaison entre la longueur d'onde du doigt et celle de l'échantillon.

- Zone III : pour les textures dont la longueur d'onde est supérieure à celle du doigt (850, 950, 1050 μm), le pic de fréquence des vibrations induites dépend de la longueur d'onde du doigt et non de celle de l'échantillon.

Ainsi, pour les échantillons de la zone 3, les fréquences théoriques sont recalculées en prenant en compte non pas la longueur de l'échantillon, mais celle du doigt. On a donc pour les trois échantillons P9, P10 et P11 une même fréquence théorique qui est de 44,44Hz. Ces nouvelles valeurs de fréquences théoriques des échantillons de la zone III sont très proches des valeurs de fréquences réelles obtenues au Tribotouch. La Figure 4-9 montre l'évolution des fréquences des différents échantillons en fonction de la longueur d'onde.

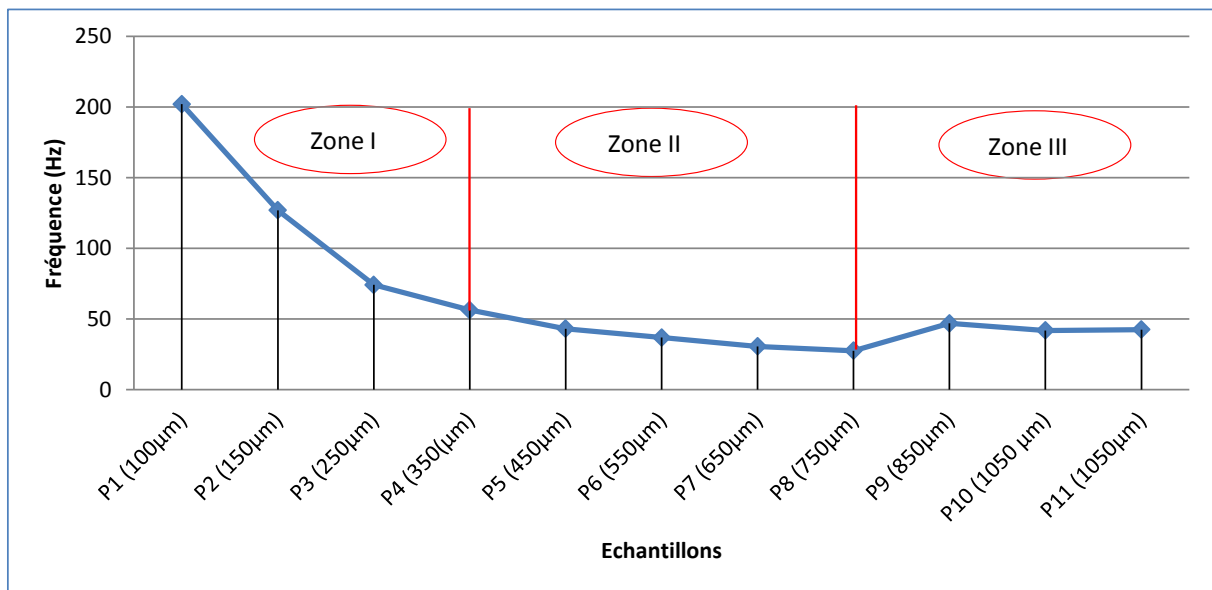


Figure 4-9 : Evolution de la fréquence des différents échantillons périodiques.

D'après la « Duplex theory » sur la perception tactile, pour des textures périodiques, la discrimination des textures fines est basée sur les vibrations, tandis que l'information vibratoire ne permet pas de discriminer des textures grossières. La perception des textures grossières est basée sur le contact statique. Globalement, les résultats de notre étude sont en accord avec l'état de l'art [163] en ce sens que l'information vibratoire est discriminant pour les longueurs d'onde jusqu'à 350 μm . Au-delà, cette information ne permet pas de différencier les échantillons.

L'état de l'art [148][132] a montré l'existence d'une corrélation entre l'AccRMS et la rugosité R_a sur des surfaces périodiques et isotropes. Pour nos échantillons, le coefficient de corrélation linéaire entre ces deux grandeurs est faible (0,61). Étant donné la faible relation linéaire, on utilise le coefficient de Spearman pour évaluer la corrélation entre ces deux paramètres. C'est un paramètre statistique dont la valeur est comprise entre +1 et -1 qu'on utilise lorsque la relation entre deux variables n'est pas linéaire, mais les variables semblent être corrélées. Il s'obtient grâce à la formule :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)}$$

Équation 4-2 : Formule de calcul du coefficient de rang de Spearman

Avec D = somme des différences des rangs ; n = taille de l'échantillon.

Pour notre série d'échantillons, on obtient un coefficient de Spearman entre l'AccRMS et la rugosité R_a de $\rho = -0,84$. Pour tester la significativité de la relation entre nos deux paramètres, on compare la valeur réelle obtenue aux valeurs théoriques à différents seuils de confiance. Les valeurs théoriques de ρ sont de 0,59 seuil de 5% et 0,75 au seuil de 1%. On peut donc affirmer qu'il existe bien une forte corrélation négative entre l'AccRMS et la rugosité R_a avec un risque de 1% que cette relation soit due au hasard.

4.3.4. Test par paires

Le test de classement montre que les échantillons sont effectivement perçus différents. Il s'agit d'une perception globale. Pour analyser en détail la nature des différences perçues, nous nous sommes posé la question de savoir si différents écarts de longueur d'onde conduisent à des performances de discrimination différentes. Par exemple, des écarts de longueur d'onde de 100 μ m et 500 μ m conduisent-ils à des performances en discrimination différentes ? Pour répondre à cette question, nous avons entrepris un test par paires.

Le paramètre physique unique qui est la longueur d'onde (ou rugosité car les deux paramètres évoluent dans le même sens) a permis de définir l'ordre croissant de rugosité qui correspond sans surprise à l'ordre décroissant de longueur d'onde. Dans notre traitement des données du test par paires, nous avons qualifié de « bonne réponse » les cas dans lesquels le sujet donne une réponse cohérente avec la rugosité physique. Et nous avons qualifié de « mauvaise réponse » les cas contraires. La question posée était « quel échantillon est le plus lisse ? ».

20 paires d'échantillons ont été présentées aux sujets, de manière à couvrir toute la variabilité de l'espace produit, tout en évitant la fatigue sensorielle. Les paires d'échantillons ont été constituées en se basant sur le critère d'écart de longueur d'onde entre eux (voir annexe 2). Pour éviter l'effet d'ordre, la présentation des échantillons s'est faite de manière aléatoire.

Deux types de panel ont été utilisés dans cette étude : un panel de personnes aveugles et un panel de personnes voyantes (voir annexe 2).

- Le panel aveugle : il se constitue de 11 personnes membres de l'association « voir ensemble » située à Saint-Etienne. Ce panel est constitué de 7 femmes et 4 hommes, recrutés sur la base du volontariat, et de profil divers (standardiste, retraité, magasinier, préparateur physique, secrétaire de direction...). L'âge moyen du panel est de 61,3 ans.
- Le panel voyant : il se constitue de 11 personnes voyantes de profils divers (doctorant, élève, technicien...). L'âge moyen du panel est de 34,5 ans.

Les résultats des panels voyant et aveugle en termes de bonnes (zones hachurées) et mauvaises réponses (zones grises) sont présentés dans les histogrammes de la Figure 4-10.

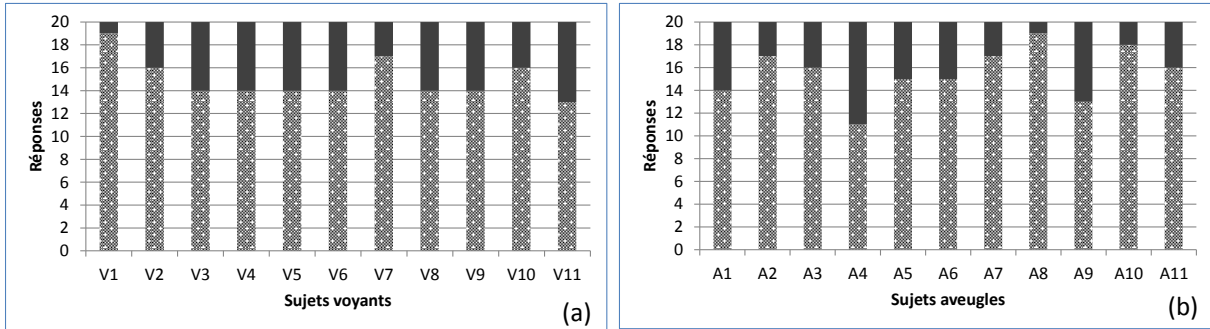


Figure 4-10 : Nombre de bonnes et de mauvaises réponses pour le panel voyant (a) et aveugle (b) pour les textures périodiques

Le panel voyant a un nombre moyen de bonnes réponses de 15 ($\pm 1,79$) tandis que le panel aveugle a un nombre moyen de bonnes réponses de 15,55 ($\pm 2,3$). En termes de nombre moyen de bonnes réponses, les deux panels présentent des performances équivalentes. L'écart type du panel aveugle est plus élevé que celui du panel voyant, ce qui traduit une plus grande variabilité dans les performances des sujets aveugles.

Au total, 67 paires différentes d'échantillons ont été proposées aux deux panels. 36 paires ont récolté 100% de bonnes réponses par le panel aveugle contre 33 paires pour le panel voyant. Par ailleurs, 18 paires (communes) ont récolté 100% de bonnes réponses par les deux panels. Les deux panels de manière consensuelle ont eu des difficultés à identifier 16 paires d'échantillons, avec des taux de mauvaises réponses variant de 8 à 100% (voir annexe 2), et des écarts de longueur d'onde étalés sur toute la gamme testée. Le diagramme à barre de la Figure 4-11 compare les performances des deux panels pour les différents écarts de longueur d'onde.

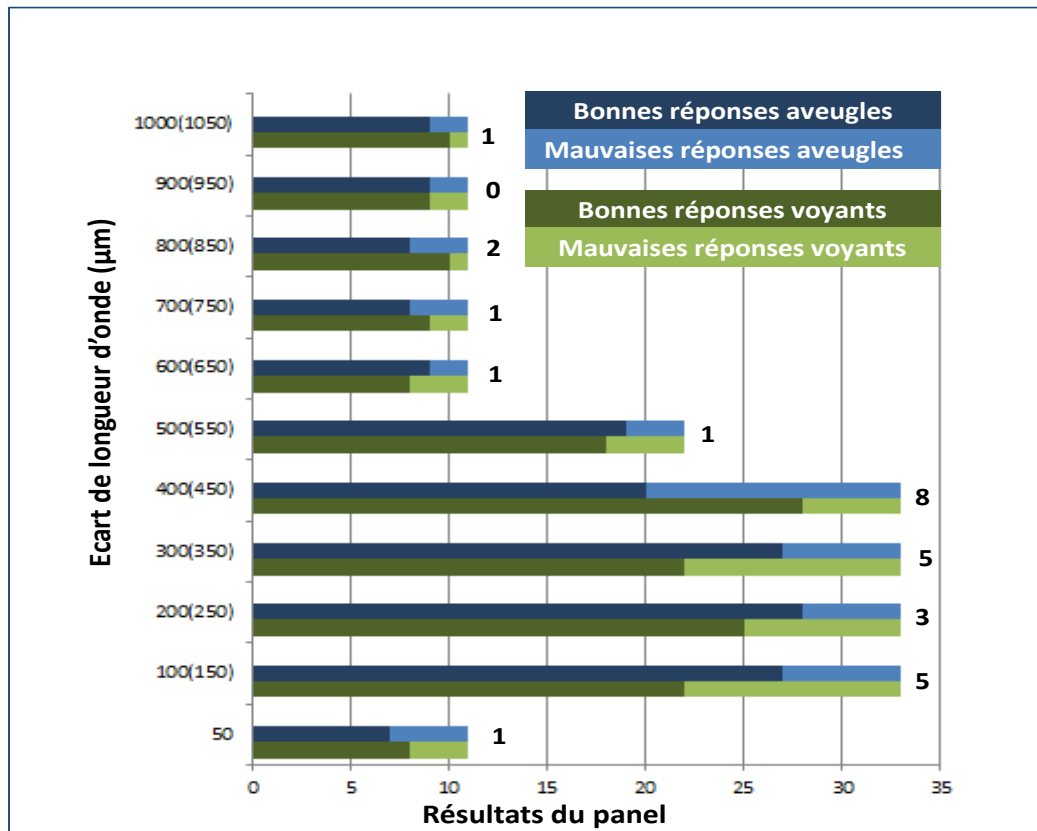


Figure 4-11: Comparaison des performances des panels aveugle et voyant pour les différents écarts de longueur d'onde

Les barres représentent respectivement les nombres de bonnes et de mauvaises réponses pour les panels aveugles et voyants. Sur l'axe des ordonnées figurent les différents écarts de longueur d'onde. Le chiffre en face des barres représente l'écart de performance entre les deux panels. Les performances des deux panels sont comparables pour les écarts de longueur d'onde 1000 (1050), 700 (750), 600 (650), 500 (550), 50. Par contre, pour les écarts 400 (450), 300 (350), 200 (250), 100 (150) les performances sont plus différentes, avec de meilleures performances pour le panel aveugle, en dehors de 400 (450) pour lequel le panel voyant montre de meilleures performances. Le nombre de bonnes réponses donne une bonne indication globale sur les performances des panels. Néanmoins, ce nombre est biaisé, car les différentes paires d'échantillons n'ont pas été présentées le même nombre de fois. Pour s'affranchir de ce nombre de présentation, nous avons considéré les pourcentages de bonnes et mauvaises réponses par écart de rugosité. Les différents pourcentages de bonnes et mauvaises réponses sont représentés dans le diagramme de la Figure 4-12.

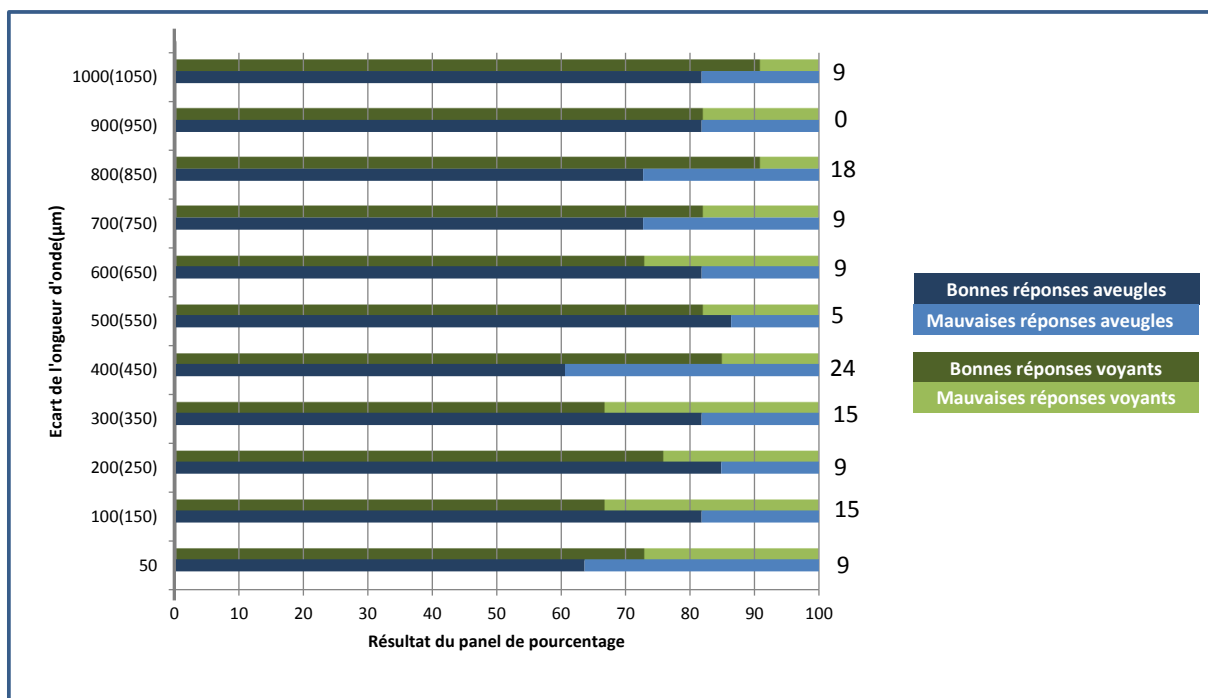


Figure 4-12 : Comparaison des performances (exprimées en pourcentage) des panels aveugle et voyant pour les différents écarts de longueur d'onde

Globalement dans l'intervalle 100 (150) – 400 (450) µm d'écart de longueur d'onde, on note un écart de performance entre les deux panels élevé. Pour les faibles écarts de longueur d'onde, en dehors de l'écart de 100 (150) µm, le panel aveugle montre de meilleures performances que le panel voyant. Pour les écarts les plus élevés, le panel voyant montre globalement des performances plus élevées.

Le test par paire a été envisagé pour savoir si les différents écarts de longueur d'onde conduisaient à des différences. Les résultats obtenus ne montrent pas de tendances claires dans ce sens. Nous avons également envisagé deux panels parce que nous voulions comparer les performances des aveugles et des voyants. Selon l'état de l'art [159][160], les aveugles possèderaient

des capacités de discrimination tactile plus élevées que les voyants. Notre étude sur les textures périodiques montre que le panel aveugle a plus de facilité à discriminer les textures fines par rapports aux textures grossières. Tandis que le panel voyant discrimine mieux les textures les plus grossières. Mais de manière générale, les deux panels ont présenté de très bon pourcentage de bonnes réponses (au minimum 64%).

4.4. Jeu d'échantillons « textures isotropes »

4.4.1. Test de perception tactile

Pour les échantillons de la série isotrope. Les échantillons ont été présentés aux sujets par groupe de 2, 3, 4 échantillons et il leur a été demandé respectivement de dire, après exploration lequel des échantillons ils percevaient le plus lisse, ou alors de faire un classement des échantillons du plus lisse au moins lisse.

16 groupes d'échantillons ont été présentés aux sujets. Ces groupes d'échantillons ont été constitués en tenant compte du nombre de feuilles constituant l'échantillon (1, 2, 4 feuilles laminées) et aussi de l'épaisseur de l'échantillon. Ceci signifie que, pour un nombre de feuilles constant, on compare deux ou plusieurs échantillons d'épaisseur différente. De même, à épaisseur constante, on compare deux ou plusieurs échantillons dont le nombre de feuilles de laminage est différent. Les groupes d'échantillons ont été présentés aux sujets de manière à couvrir toute la variabilité de l'espace produit sans engendrer de fatigue sensorielle (voir annexe 2). Les mêmes panels aveugle et voyant utilisés pour les textures périodiques ont été utilisés pour les textures isotropes.

Pour cette série d'échantillons, le paramètre physique unique qui est le pourcentage de phase a permis de définir l'ordre croissant de rugosité des échantillons. Tout comme pour la série périodique, nous avons donc qualifié de « bonne réponse » les cas dans lesquels les sujets donnaient une réponse qui allait dans le même sens que la rugosité physique, et de « mauvaise réponse » les cas contraire.

Les résultats des panels voyant et aveugle en termes de bonnes (zones hachurées) et mauvaise réponses (zones grises) sont présentés dans les histogrammes de la Figure 4-13.

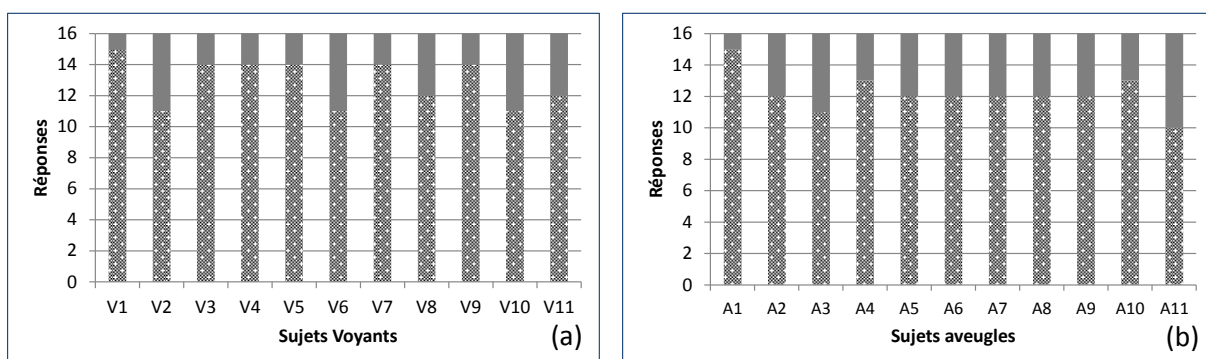


Figure 4-13 : Nombre de bonnes et de mauvaises réponses pour le panel voyant (a) et aveugle (b) pour les textures isotropes

Le panel voyant a un nombre moyen de bonnes réponses de 12,91 ($\pm 1,51$) tandis que le panel aveugle a un nombre moyen de bonnes réponses de 12,45 ($\pm 1,25$). En termes de nombre moyen de

bonnes réponses, les deux panels présentent des performances équivalentes. Contrairement aux textures périodiques, L'écart type du panel voyant est plus élevé que celui du panel aveugle, ce qui traduit une plus grande variabilité dans les performances des sujets voyants. De manière relative, les performances des deux panels sont équivalentes pour les textures périodiques et pour les textures isotropes. Pour les différents groupes d'échantillon présenté, le pourcentage d'erreur a été est présenté dans l'histogramme de la Figure 4-14.

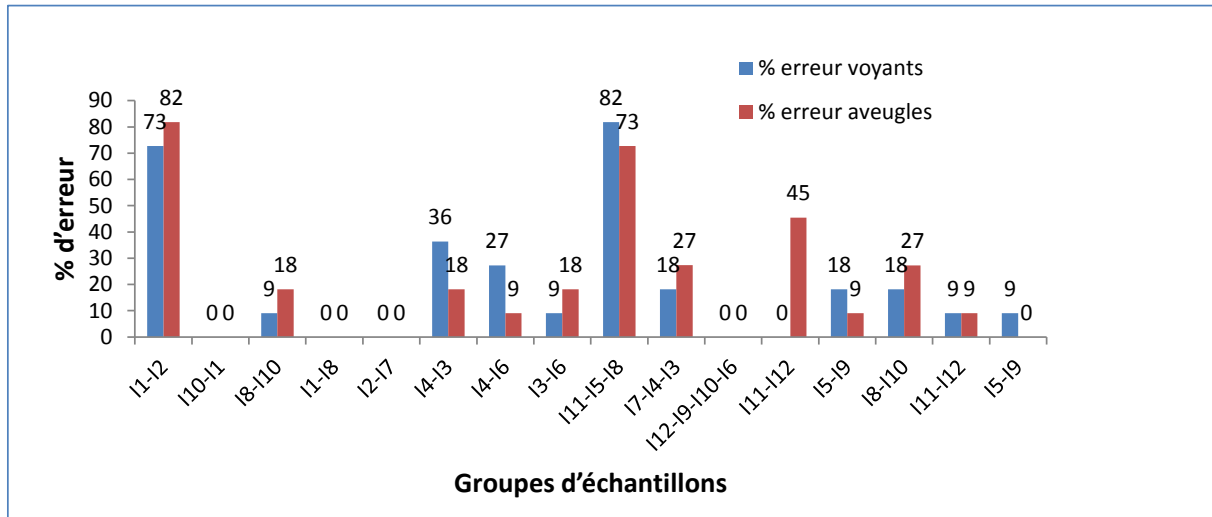


Figure 4-14 : Performance des deux panels pour les textures isotropes

Certains groupes d'échantillons ont été correctement identifiés dans les deux panels. Il s'agit des groupes I10-I11, I1-I8, I2-I7. À l'inverse, d'autres groupes présentent un taux d'erreur très élevé. Il s'agit des groupes I1-I2, I11-I5-I8, I12-I9-I10-I6, I7-I4-I3, avec globalement moins d'erreur pour le panel voyant que pour le panel aveugle.

4.4.2. Le test tribo-tactile avec le Tribotouch

Tout comme la série périodique, la série isotrope a été analysée au Tribotouch. La Figure 4-15 présente un échantillon isotrope sur le dispositif d'essai.

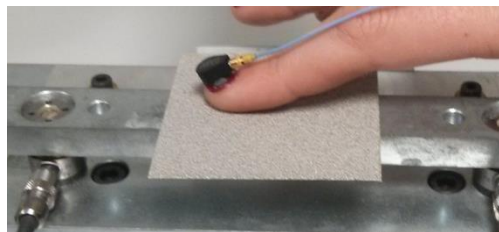


Figure 4-15 : La position du doigt avec son accéléromètre sur l'échantillon isotrope

A la différence des textures périodiques, le spectre des vibrations induites pour les textures isotropes ne présente pas de pic principal de fréquence, car la périodicité est absente. Le spectre de distribution des fréquences montre une large distribution sur la bande de fréquence. Des exemples de spectre de fréquence sont présentés en Figure 4-16.

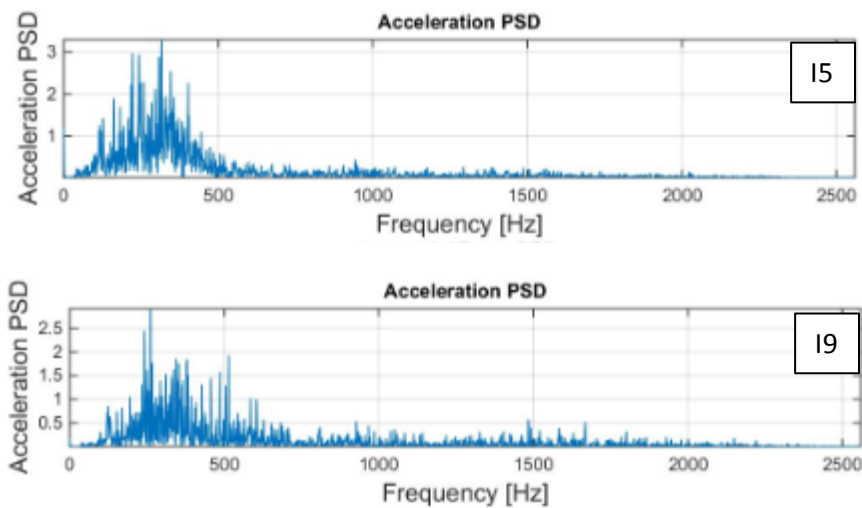


Figure 4-16: Exemple de spectre de distribution des fréquences pour des échantillons I4 et I10 de la série isotrope

Pour la série isotrope, les différents spectres de fréquence montrent qu'on se situe également dans la bande de fréquence d'activation des mécanorécepteurs. Les valeurs d'AccRms ont été collectées. Elles sont reportées dans la Table 4-5.

Table 4-5 : Valeur AccRMS et de coefficient de frottement (μ) pour les textures Isotrope.

Echantillon	Pourcentage de phase	μ	AccRMS(m/s ²)
I1	2,08	0,81	0,98
I2	2,71	0,77	0,93
I3	3,16	0,66	0,57
I4	3,34	0,65	0,65
I5	4,87	0,69	0,49
I6	5,18	0,53	0,59
I7	5,96	0,63	0,52
I8	6,78	0,67	0,48
I9	8,3	0,62	0,42
I10	8,3	0,61	0,56
I11	12,74	0,93	0,35
I12	24,12	0,83	0,44

La corrélation entre le pourcentage de phase et l'AccRMS est recherchée grâce au coefficient de Spearman. La valeur obtenue est de $\rho = -0.62$. Cette valeur est inférieure à la valeur théorique au seuil de confiance de 5% qui est de 0,59, et traduit une faible corrélation entre les deux variables.

4.5. Corrélation entre approches physique, sensorielle et tribotactile.

4.5.1. Pour les textures périodiques

- Corrélation entre paramètre physique de rugosité et test de classement

Le résultat du test de classement fourni par le panel a été comparé au classement issu du paramètre physique de rugosité Ra. Le coefficient de Spearman calculé à partir de ces deux résultats est de $\rho=0,98$. Cette valeur est inférieure à la valeur théorique au seuil de confiance de 5% qui est de 0,59 (0,75 à 1%). Il existe donc une très forte corrélation entre le test sensoriel issu du panel humain et le classement issu de la rugosité physique Ra, avec 5% de chance que cette relation entre les variables soit due au hasard.

- Corrélation entre le test de classement et le TRIBOTOUCH

Le résultat du test de classement fourni par le panel a été comparé avec le classement provenant de l'AccRMS obtenu à l'aide du Tribotouch. Le coefficient de Spearman calculé à partir de ces deux résultats est de $\rho=-0,83$. Cette valeur est inférieure à la valeur théorique au seuil de confiance de 5% qui est de 0,59 (0,75 à 1%). Il existe donc une très forte corrélation négative entre le test sensoriel issu du panel humain et le classement issu de la rugosité physique Ra, avec 5% de chance que cette relation entre les variables soit due au hasard.

- Corrélation entre le test de classement et le doigt artificiel

Le résultat du test de classement fourni par le panel a été comparé au classement issu du niveau vibratoire obtenu à l'aide du doigt artificiel à 20mm/s et 0,2N. Le coefficient de Spearman calculé à partir de ces deux résultats est de $\rho=0,62$. Cette valeur est inférieure à la valeur théorique au seuil de confiance de 5% qui est de 0,59, et traduit une faible corrélation. Par contre, pour la vitesse de 30mm/s à 0,2N on trouve un coefficient de Spearman $\rho=0,88$ (valeur significative aux seuils de 5 et 1%), ce qui traduit une corrélation élevée entre les deux classements. L'ambition du doigt artificiel est de permettre « l'objectivation » [143] du toucher des surfaces. L'existence de forte corrélation entre le résultat du panel humain et le résultat du doigt artificiel rassure dans l'idée qu'un tel dispositif pourrait effectivement se substituer dans certaines applications au toucher humain. Ceci pourrait donc permettre de s'affranchir des contraintes de variabilités liées au toucher humain, si l'on choisit bien sûr les bonnes conditions expérimentales.

4.5.2. Pour les textures isotropes

Pour faire le lien entre données sensorielles et senso-instrumentales, nous présentons pour les différents panels et les différents groupes d'échantillons les pourcentages d'erreur ainsi que les écarts types entre les valeurs d'AccRMS et de coefficient de friction.

Table 4-6 : Résultats des différents panels avec les écarts types de l'AccRMS et le coefficient de frottement

Groupe	% erreur voyants	% erreur aveugles	Ecart type AccRMS	Ecart type μ
I1-I2	72,7	81,8	0,04	0,03
I10-I1	0,0	0,0	0,30	0,14
I8-I10	9,1	18,2	0,06	0,04
I1-I8	0,0	0,0	0,36	0,10
I2-I7	0,0	0,0	0,29	0,10
I4-I3	36,4	18,2	0,06	0,01
I4-I6	27,3	9,1	0,04	0,08
I3-I6	9,1	18,2	0,01	0,09
I11-I5-I8	81,8	72,7	0,08	0,15
I7-I4-I3	18,2	27,3	0,06	0,02
I12-I9-I10-I6	0,0	0,0	0,09	0,13
I11-I12	0,0	45,5	0,06	0,07
I5-I9	18,2	0,0	0,05	0,05
I8-I10	18,2	27,3	0,06	0,04
I11-I12	9,1	9,1	0,05	0,07
I5-I9	9,1	0,0	0,06	0,05

Les capacités de discrimination des deux panels sont globalement comparables. En dehors de la paire I11-I12 pour laquelle au premier passage le panel voyant enregistre 0% d'erreur tandis que le panel aveugle enregistre 45% d'erreur. Plusieurs observations se dégagent de l'analyse des résultats des textures isotropes :

- Pour les groupes d'échantillons I10-I1, I1-I8, I2-I7 et I12-I9-I10-I6, les deux panels ont correctement discriminé les échantillons, avec un taux d'erreur de 0%. Pour les échantillons constituant ces différents groupes, en dehors du groupe I12-I9-I10-I6, les écarts types entre les valeurs d'AccRMS et de coefficient de frottement sont parmi les plus élevés. Cet écart de valeur entre les valeurs d'AccRMS traduit la différence d'amplitude des vibrations induites, et les échantillons sont donc plus facilement discriminables.
- Pour les échantillons avec des taux d'erreur les plus élevés : I1-I2, I11-I5-I8, I4-I3, I7-I4-I3, les écarts types entre les valeurs d'AccRMS et de coefficient de frottement sont parmi les plus faibles. De plus, lorsqu'on compare les valeurs individuelles d'AccRMS, on se rend compte que,
 - Pour le groupe I1-I2, les valeurs d'AccRMS des échantillons sont très proches, ce qui traduit des amplitudes similaires dans les spectres de vibration et pourrait donc expliquer la difficulté à discriminer ces deux échantillons.
 - Pour le groupe I11-I5-I8, pour les deux panels, toutes les erreurs proviennent de la discrimination des échantillons I8 et I5. Les valeurs d'AccRMS de ces échantillons sont très proches, ce qui traduit des amplitudes similaires des vibrations et pourrait donc expliquer la difficulté à discriminer ces deux échantillons.
- Pour le groupe I7-I4-I3, l'échantillon I7 a été perçu comme le plus lisse. Les deux panels ont eu des difficultés à discriminer les échantillons I4 et I3. Lorsqu'on s'intéresse aux valeurs

d'AccRMS de ces deux échantillons, on se rend compte que l'échantillon I4 a une valeur d'AccRMS plus élevée que celle de l'échantillon I3. L'amplitude des vibrations induites pour cet échantillon est donc plus élevée que celle de l'échantillon I3. Ceci pourrait expliquer la raison pour laquelle l'échantillon I4 soit globalement perçu plus lisse que l'échantillon I3.

- Pour les cas particuliers de groupe d'échantillons ayant été présentés deux fois aux panels (I8-I10, I5-I9, I11-I12) la paire I5-I9 a enregistré une amélioration de performance de discrimination à la deuxième présentation pour les deux panels. La paire I8-I10 au contraire a enregistré une dégradation de performance à la deuxième présentation. Quant à la paire I11-I12, le panel aveugle a montré une baisse de performance tandis que le panel voyant a montré une amélioration de performance.
- Le pourcentage de phase a une évolution inversement proportionnelle au paramètre AccRMS. En d'autres termes plus le pourcentage de phase augmente, plus l'AccRMS diminue. Selon ces paramètres « objectifs », un échantillon avec un pourcentage de phase élevé devrait être perçu plus lisse qu'un échantillon qui en a moins. Or les valeurs d'AccRMS montrent que deux échantillons ayant des pourcentages de phase différents peuvent émettre des vibrations d'amplitude similaire. La rugosité perçue résulte donc au final d'une superposition des paramètres physiques et des paramètres vibratoires, ce qui expliquerait pourquoi certains échantillons n'ont pas été correctement discriminés par rapport aux seules données de topographie. Les paramètres découlant des vibrations induites traduisent donc bien la rugosité perçue pour cette série de textures isotropes.

4.6. Conclusion

Cette étude s'intéresse aux corrélations entre les vibrations induites et la perception tactile. Deux types de textures sont étudiés : des textures périodiques et des textures isotropes. Pour discriminer ces textures, plusieurs approches ont été envisagées. Une approche sensorielle avec deux types de panel : un panel de personnes aveugles et un panel de personnes voyantes. Une approche senso-instrumentale à l'aide d'équipements permettant de déterminer des paramètres tribologiques et vibratoires caractéristiques de chaque texture. Pour des textures périodiques, les résultats ont montré une bonne corrélation entre paramètres physiques et tribo-tactiles ainsi que paramètres physiques et sensoriels. Le panel aveugle a montré de meilleures performances pour les textures fines par rapport aux textures grossières. Pour les textures isotropes, une faible corrélation a été trouvée entre paramètre physique et tribo-tactile. Les données tribologiques et vibratoires ont permis d'expliquer les difficultés de discrimination des échantillons par les différents panels. Les panels aveugles et voyants ont présenté des performances comparables.

5. Perception d'une texture familière

5.1. Introduction

Les facteurs psychologiques, physiologiques, et culturels sont des éléments fondamentaux à prendre en compte dans le processus de conception de tout produit manufacturé [164]. Un utilisateur qui découvre un produit pour la première fois formule intuitivement des attentes sur la perception de ce produit, en partie basées sur les propriétés sensorielles des matériaux qui le constituent (couleur, texture, son, odeur...). Le matériau est l'un des leviers qui permet d'améliorer la qualité perçue et l'image de marque d'un produit. Les acteurs de la conception de produits sont conscients de l'importance des matériaux en tant que canal permettant de catégoriser un produit. Mais il existe un manque de données scientifiques au sujet des propriétés sensorielles des matériaux. Comme mentionné dans la synthèse bibliographique, il existe une différence entre texture et texture perçue. La première est objective et s'appuie sur des propriétés physiques. La deuxième est subjective et résulte d'une combinaison entre paramètres physiologiques, psychologiques, et l'impression aux paramètres physiques de la texture. C'est la corrélation entre paramètres objectifs et paramètres subjectifs qui fournit un cadre approprié pour créer des textures qui correspondent le mieux aux attentes des utilisateurs. La perception de texture est un processus multisensoriel [79]. Vision et toucher peuvent évaluer les textures de matériaux, mêmes si les stratégies utilisées par ces deux modalités sont différentes. Whitaker [33] a relevé le fait que la perception est très influencée par les aptitudes cognitives. De même, Bushnell & Baxt [93] ont relevé que la familiarité affecte fortement l'identification d'objets. Bülthoff et Newell [92] ont travaillé sur la reconnaissance d'objets et de visages avec les modalités tactile et visuelle. Elles ont conclu que le fait d'être familier avec un objet peut drastiquement changer la manière dont on le perçoit. Elles ont montré dans leur étude que la familiarité avec un objet permet de construire une représentation plus robuste de ce dernier au niveau de la mémoire, conduisant ainsi à une reconnaissance plus efficace des objets. Ainsi, les matériaux familiers ou naturels entraîneraient de meilleure performance en discrimination que des matériaux artificiels et non familiers. Des matériaux traditionnels tels que le bois ou la pierre par exemple portent un poids culturel et une identité facilement reconnaissable. Etant donné la difficulté d'accès et surtout le coût élevé de ces matières naturelles et traditionnelles, les industriels sont obligés de trouver des alternatives. Il faut produire de nouveaux matériaux qui soient plus facile d'accès, qui ne posent pas les contraintes des matières naturelles, mais qui s'en inspirent de manière à induire une meilleure qualité perçue. C'est tout l'objet du contretypage. Toute la question est donc de savoir quels paramètres des matières naturelles doivent être imités et introduits dans les matières artificielles de manière à induire une valeur perçue plus élevée tout en maintenant un bon rapport qualité/prix. L'une des réponses à la question posée est l'étude des intermodalités dans la perception de texture. Elle permet de réfléchir à la manière la plus efficace pour distribuer les informations entre les différentes modalités sensorielles, par exemple vision et toucher, et de savoir si ces modalités fournissent les mêmes représentations lorsqu'elles évaluent les propriétés des objets.

Dans ce travail, la question centrale est de savoir si la familiarité affecte la perception de textures de matériaux, aussi bien en condition unimodale (tactile seul et visuel seul) que bimodale (visio-tactile). Pour répondre à cette question, deux séries d'échantillons sont utilisées : la première série

se compose d'échantillons de revêtement de sol imitation bois (WC). Ces échantillons sont considérés comme familiers à cause de leur forte référence à l'archétype du bois. La deuxième série d'échantillons a été produite en laboratoire par moulage de la première série de manière à supprimer toute référence familière (R). Nous commencerons par présenter les échantillons, puis suivra la caractérisation des textures visuelle et tactile. Enfin les données de perception seront analysées et commentées.

5.2. Les échantillons

L'espace produit « contretypage bois et répliques » est utilisé dans cette étude. Il se constitue de deux séries d'échantillon : les contretypes bois (WC) et les répliques (R). Pour une description détaillée des échantillons se rapporter au chapitre 2. Une illustration des échantillons de contretypage bois et réplique est présentée en Figure 5-1.

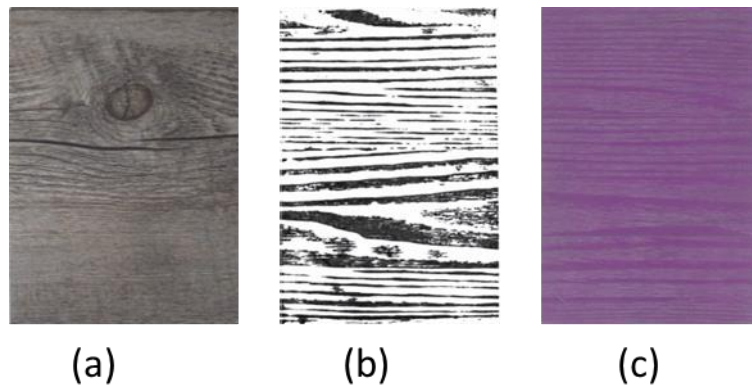


Figure 5-1 : Présentation des échantillons de (a) contretypage bois (b) empreinte tactile (c) réplique

5.2.1. Qualification de la texture visuelle à l'aide d'un panel humain

Pour qualifier la texture visuelle des échantillons WC, un panel de 7 personnes a été constitué. Tout d'abord, de manière individuelle, les personnes ont décrit la texture visuelle de chaque échantillon. Chacun a donc pu identifier les hétérogénéités présentes sur la texture de chaque échantillon. Il s'en est suivi un travail de groupe lors duquel toutes les descriptions individuelles ont été mises en commun de manière à décrire de manière consensuelle les échantillons. Ainsi, sur la série d'échantillons, différents détails ont pu être identifiés de manière consensuelle. Premièrement, tous les échantillons présentent un fond de couleur gris et marron, rappelant le bois vieilli, et montrant les veines et les fibres du bois. Sur ce fond, se superposent des hétérogénéités spécifiques au bois. Trois catégories d'hétérogénéités ont été identifiées. Premièrement, des traces transverses aux fibres de bois, constituées de lignes plus ou moins fines et noires. Ces détails représentent les défauts introduits par les outils de coupes tels que les traits de scie. Deuxièmement, des détails de forme elliptique, rappelant les nœuds du bois. Ces nœuds varient entre 5 et 21 mm et induisent une déformation des fibres et des veines du bois autour du nœud. Les nœuds sont représentés par un point noir entouré d'une zone marron. Troisièmement, des détails constitués de lignes fines et noires

orientées parallèlement aux fibres, rappelant les nervures/fissures du bois. Ces lignes s'étendent sur plus de la moitié de la largeur de l'échantillon, sachant que les plus petites ont été considérées comme faisant partie du fond. Finalement, une représentation graphique comportant 4 éléments a pu être proposée pour chaque échantillon. Ces éléments se constituent d'un fond, et 3 types d'hétérogénéités (trait de scie, nœud et nervure) tel que présentés en Figure 5-2.

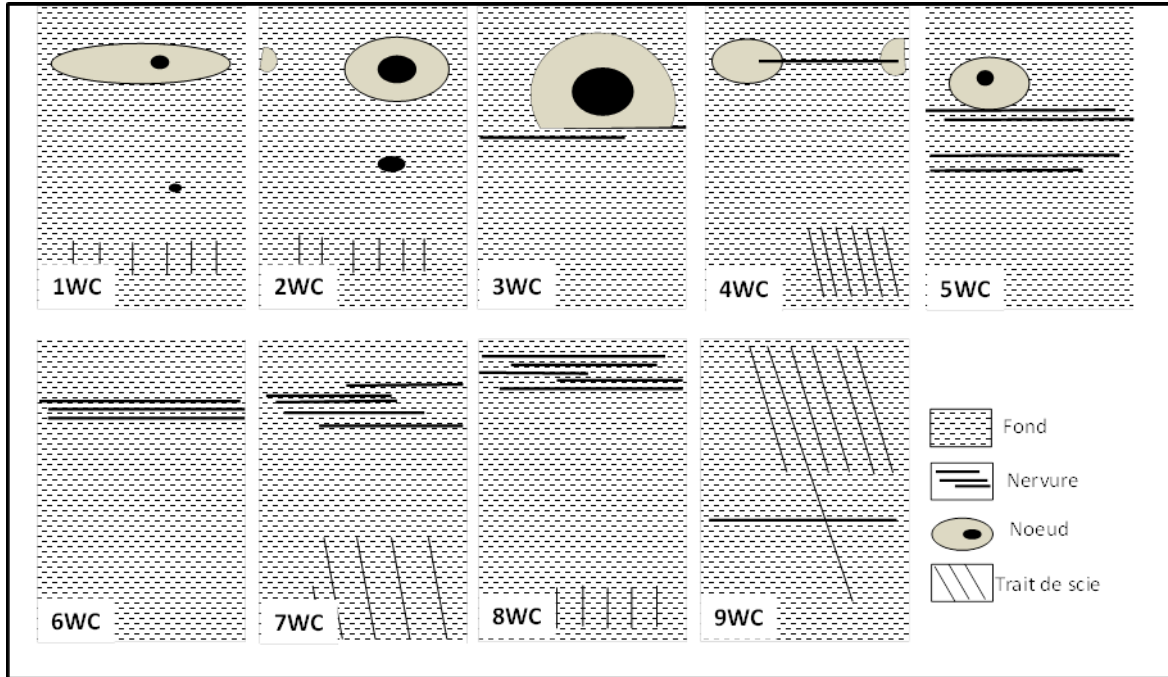


Figure 5-2 : Caractérisation de la texture visuelle des échantillons de contretypage bois

En fonction des hétérogénéités présentes, on peut remarquer des ressemblances entre échantillons. Ainsi, on peut voir sur la Figure 5-2 que les échantillons 1WC, 2WC, 3WC sont majoritairement caractérisés par les nœuds, l'échantillon 6WC est caractérisé par des nervures, l'échantillon 9WC est caractérisé par des traits de scie. Quant aux autres échantillons 4WC, 5WC, 7WC et 8WC, ils présentent un mélange d'hétérogénéités sur leur surface.

5.2.2. Caractérisation sensorielle de la texture tactile

De manière analogue à la caractérisation visuelle, une description qualitative de la topographie de surface a été effectuée par un groupe de 7 personnes. A partir de l'empreinte tactile et en explorant tactilement l'échantillon correspondant, il est demandé à chaque sujet d'identifier les différents types de patrons (rainures/ nervures) présentes sur la texture de l'échantillon. Les 7 personnes se sont ensuite réunies lors d'une séance de groupe pour mettre en commun les résultats individuels, afin de définir de manière consensuelle les différents « patrons » permettant de décrire les échantillons. A l'issue du travail de groupe, une représentation graphique de chacun des patrons a pu être obtenue. Ces représentations résultent d'un compromis entre l'aspect visuel et la perception tactile induite. 4 types de patrons ont pu être identifiés :

- Un premier patron C perçu le plus lisse, constitué de larges pics et vallées (largeur pic: $L_p > 4\text{mm}$ et/ou largeur vallée : $L_v \geq 4\text{mm}$).

- Un second patron A perçu le plus rugueux et caractérisé par une alternance de fine de pics et vallées (largeur vallée : $1 \text{ mm} \leq L_v < 2 \text{ mm}$) et large pic ($1 \text{ mm} \leq L_p < 2 \text{ mm}$).
- Un troisième patron A' également perçu comme rugueux, et caractérisé par des pics fins (largeur pics : $1 \text{ mm} \leq L_p < 2 \text{ mm}$) situé entre de larges vallées (largeur vallées : $4 \text{ mm} \leq L_v$).
- Enfin un quatrième patron B considéré comme le « fond » et caractérisé par des pics et vallées de largeur moyenne (largeur pics : $2 \text{ mm} \leq L_p < 4 \text{ mm}$; largeur vallées : $2 \text{ mm} \leq L_v < 4 \text{ mm}$).

Les différentes dimensions sont synthétisées dans la table 5-1.

Tableau 5-1 : Différents types de patron présents dans la texture tactile

Type	L _p (mm)		L _v (mm)	
	min	max	min	max
B	2	4	2	4
A	1	2	1	2
A'	1	2	4	-
C	4	-	4	-

Pour valider cette rugosité perçue ainsi que les différents patrons, un test de perception tactile a été effectué par un groupe de 11 personnes. Les zones correspondant aux différents patrons identifiés ont été isolées sur une série d'échantillons et soumises au panel (voir Figure 5-3). Durant un test de classement, le panel a reçu comme instruction de classer les différentes zones en fonction de la rugosité perçue, du plus rugueux au moins rugueux. La moyenne des rangs obtenus lors du test de classement a confirmé le classement fait lors de la séance de groupe de manière consensuelle.

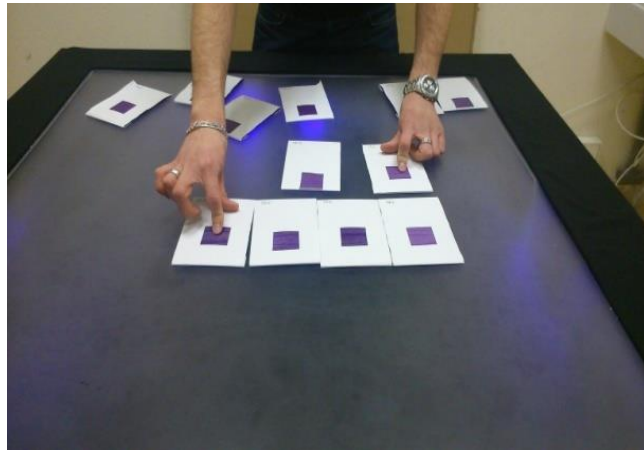


Figure 5-3 : Image prise lors du test de perception tactile sur les différentes zones de rugosité

La représentation suivante des différentes zones (types de patron) a donc été adoptée : couleur grise pour le fond (patron B), couleur rouge pour le patron A (le plus rugueux), couleur rouge avec des pointillés bleus pour le patron A', et enfin couleur bleue pour le patron C (le plus lisse). Les différents échantillons ont été représentés selon les différents patrons présents sur leur surface tels que présentés en Figure 5-4.

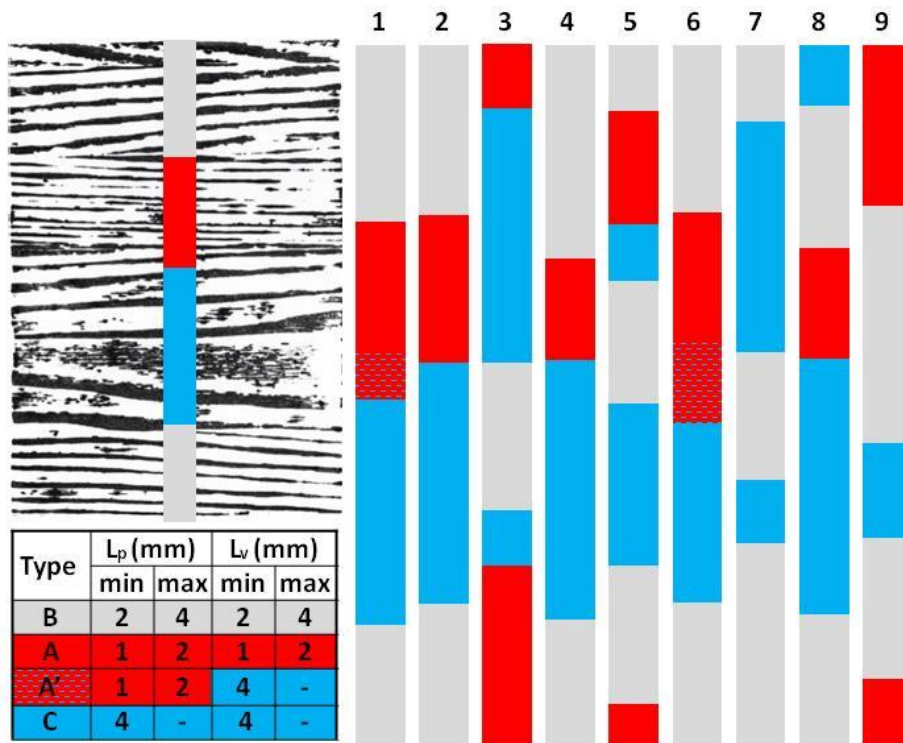


Figure 5-4 : Présentation des échantillons en fonction de la topographie de surface

Sur la Figure 5-4, on peut voir l'illustration d'une empreinte de texture tactile sur laquelle est superposée la traduction des différentes zones en termes de patron. Un tableau qui rappelle les différents patrons avec leur code couleur ainsi que leurs dimensions, et enfin chacun des 9 échantillons représentés en fonction des différents patrons présents dans sa texture. La représentation de la texture tactile montre des similarités pour certains échantillons. En effet, si on s'intéresse à la zone centrale de chaque échantillon, qui correspond aussi à la zone préférentiellement exploré lors du test de perception tactile, on se rend compte que les échantillons 3-5-7 présentent une alternance de zones grises et bleues (B et C). Cette succession de patrons (gris et bleu) est perçue comme la plus lisse. Les échantillons 2-4-8 présentent une succession de zones rouges et bleues (A et C). Les échantillons 1 et 6 présentent une succession de zones rouges, rouges pointillées et bleues (A, A' et C). Cette caractérisation de la texture de manière consensuelle donne un premier aperçu de la manière dont les échantillons ont été perçus. Ces résultats seront plus tard mis en relation avec les données collectées à l'issue du Napping®.

5.3. Caractérisation sensorielle de la texture : perceptions tactile, visuelle et visio-tactile par Napping®

Les deux séries d'échantillons WC et R ont été évaluées par la technique du Napping® grâce au dispositif expérimental NappOmatic (voir chapitre 1 pour la description détaillée du protocole). Deux campagnes de mesures ont été menées : une première campagne pour l'évaluation des échantillons contretypage bois, et deux mois plus tard, une seconde campagne dédiées aux échantillons de réplique. Les conditions d'essais sont présentées en Figure 5-5. Pour le test tactile, un éclairage UV permet au panéliste de manipuler les échantillons sans distinguer les détails de la texture. En condition visuelle

et visio-tactile, la salle de test est éclairée avec une lumière blanche afin que le panéliste puisse voir les échantillons qu'il manipule.

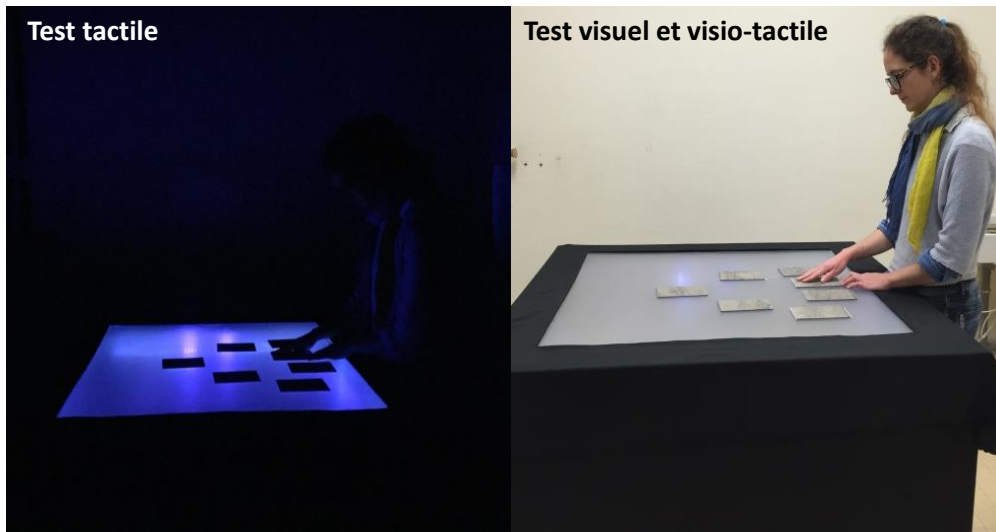


Figure 5-5: Conditions de test avec le NappOmatic

18 panélistes non entraînés ont participé à chacune des campagnes. Ces personnes étaient de profils divers (doctorants, enseignants, élèves, techniciens, staff administratif...). Les panélistes ont été recrutés sur la base du volontariat en répondant favorablement à un email qui leur avait été envoyé. Sur les 18 sujets, 7 d'entre eux étaient communs aux deux campagnes. La consigne de test donnée aux panélistes est présentée dans l'encadré de la Figure 5-6.

Le test se déroulera en 3 étapes : tactile, visuelle, visio-tactile.

- *Tactile : toucher la surface de l'échantillon à plat*
- *Visuel : regarder et ne pas toucher la surface de l'échantillon*
- *Visio-tactile : regarder et toucher les échantillons*

Une série de 9 échantillons vous sera donnée. Pour chacune des 3 conditions de test, vous aurez environ 10 minutes et vous devrez :

- *Disposer les échantillons sur toute la zone de travail, en mettant proches les échantillons que vous percevez similaires, et éloignés les échantillons que vous percevez différents*
- *Vous avez la possibilité de superposer des échantillons si selon vous ils sont identiques*
- *Pour chaque groupe formé, vous devrez attribuer des qualificatifs c'est-à-dire un ou plusieurs mots qui pour vous décrivent la texture des échantillons de ce groupe.*

Figure 5-6: Consigne de test lors du Napping®

5.3.1. La durée du test

Le premier élément analysé a été la durée du test. Etant donné que l'on se situe dans le cadre d'une procédure expérimentale, il a semblé important de chronométrer les différents tests, afin d'avoir une estimation des durées moyennes totale des tests, les durées moyennes de formation de la nappe, la durée moyenne nécessaire pour générer les attributs et aussi un ordre de grandeur par modalité. Les durées en secondes des différentes étapes sont présentées dans la Table 5-1.

Table 5-1 : Durées moyennes en seconde des différents tests pour les campagnes WC et R

Contretype bois (WC)									
	Tactile			Visuel			Visio-tactile		
	Disposition	Verbalisation	Total	Disposition	Verbalisation	Total	Disposition	Verbalisation	Total
Durée moyenne (s)	277,61	130,78	408,39	156,21	153,12	309,33	280,61	178,78	459,39
Ecart-type (s)	187,95	76,43	243,21	123,69	94,02	178,47	200,29	115,41	254,95
Min(s)	51	12	120	29	24	110	82	30	155
Max(s)	780	300	1080	480	329	650	697	507	859
Répliques (R)									
	Tactile			Visuel			Visio-tactile		
	Disposition	Verbalisation	Total	Disposition	Verbalisation	Total	Disposition	Verbalisation	Total
Durée moyenne (s)	217,94	120,44	338,39	199,83	138,67	338,50	233,22	138,28	371,5
Ecart-type (s)	120,11	54,22	144,51	107,92	78,38	130,56	98,53	64,93	127,13
Min(s)	78	53	150	50	57	118	111	45	190
Max(s)	516	246	650	447	387	554	521	314	678

Lors du test, il a été demandé aux panélistes de former la nappe (carte) dans un premier temps, puis de donner les attributs décrivant la texture. La durée totale du test a donc pu être obtenue par chronométrage direct de chaque test du début à la fin. La durée de formation de la nappe a été obtenue en relevant au chronomètre le temps au bout duquel les panélistes avaient fini de positionner les échantillons. Enfin, le temps nécessaire pour générer les attributs a été obtenu par soustraction entre la durée totale du test et la durée de formation de la carte.

Concernant la campagne WC, pour la **formation des cartes** (disposition), les sujets sont plus rapide en visuel, puis en tactile. En bimodale, les sujets prennent plus de temps. Pour la verbalisation, les sujets sont globalement plus rapide en tactile, suivit du visuel. Le visio-tactile comme précédemment requiert plus de temps. Quant à la **durée totale de séance**, les panélistes sont plus rapide en visuel, puis en tactile ce qui rejoint les informations obtenues pour la création des cartes. La durée moyenne en visio-tactile (verbalisation et durée total de séance) est la plus élevée. Lors du déroulement des séances, on s'est rendu compte que les sujets étaient quelque fois perturbés en bimodale. Par conséquent, l'exploration était plus longue probablement à cause de la confrontation entre visuel et tactile. D'après certains participants le fait d'être en bimodale n'apportait pas vraiment d'information supplémentaire alors que pour d'autres, l'incongruence des échantillons était détectée même si ceci était perturbant. Toute modalité confondue, la durée totale maximale de test de 1080s (18minutes) et une durée minimale de 110s (1mn50s).

Concernant la campagne R, pour la **formation des cartes** (disposition), la modalité visuelle est la plus rapide, suivie du tactile, puis du visio-tactile. Pour la **verbalisation**, la modalité tactile est la plus rapide, suivie du visuel, puis du visio-tactile. Quant à la **durée totale**, visuel et tactile sont du même ordre de grandeur, tandis que le visio-tactile est légèrement supérieur. Etant donné que les valeurs des moyennes sont très proches, une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée grâce au

logiciel R. La loi de Fisher permet d'interpréter les résultats de l'ANOVA. Lors d'une analyse de variance, on teste 2 hypothèses : H_0 correspond à l'hypothèse d'égalité des moyennes et H_1 correspond à l'hypothèse alternative selon laquelle il existe au moins une moyenne qui s'écarte des autres moyennes. $F_{\text{calculé}} = 2.015$, valeur seuil de F à 2 et 51 ddl = 3.183. $F_{\text{calculé}} < F_{\text{seuil}}$ donc on rejette l'hypothèse d'égalité des moyennes et on conclut que au moins une des trois moyennes est différente des deux autres. La différence entre les moyennes peut être considérée comme significative. Toute modalité confondue, on note une durée totale maximale de test de 11mn18s (678s) et une durée minimale de 1mn58s (118s).

5.3.2. Les groupes formés

Sur les cartes formées par les différents sujets, nous avons prêté attention à la manière dont les différents échantillons ont été disposés, c'est-à-dire le nombre de groupes formés et aussi le nombre d'éléments par groupe (voir Figure 5-7).

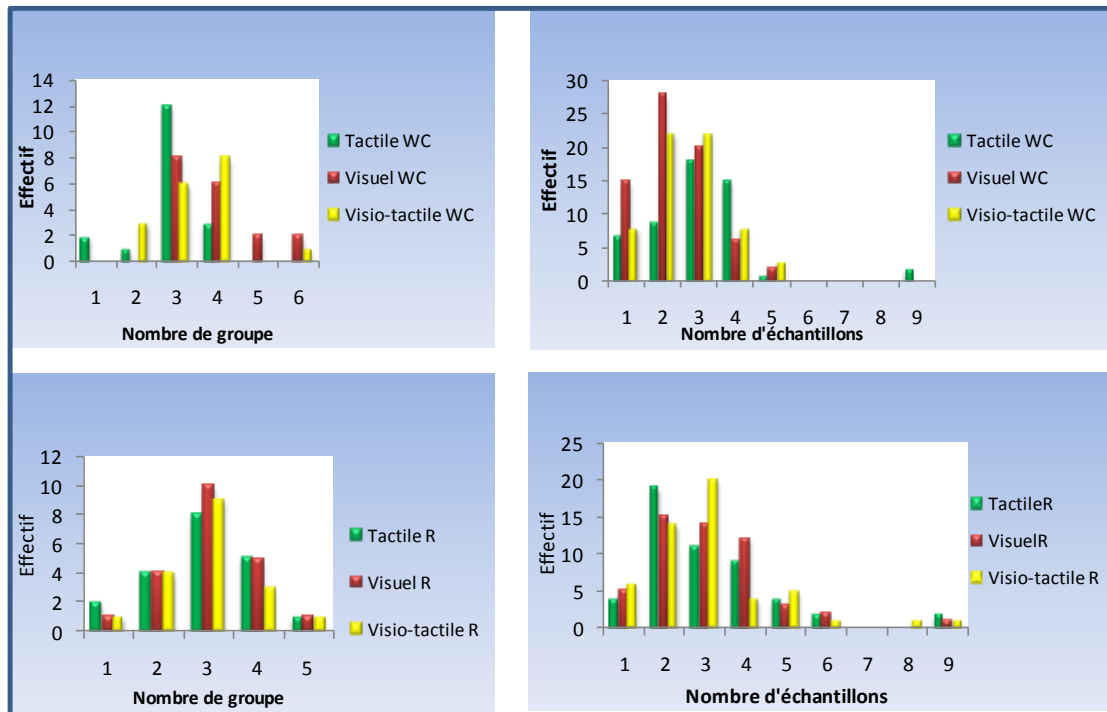


Figure 5-7 : Nombre de groupes et nombre d'éléments par groupe pour les campagnes WC et R

Pour la campagne WC on peut noter que les panélistes ont formé entre 1 et 4 groupes en tactile, entre 3 et 6 groupes en visuel, entre 2 et 6 groupes en visio-tactile, avec une moyenne globale entre 2 et 3 groupes. Concernant le nombre d'échantillons contenus dans ces groupes, on note entre 1 et 9 échantillons en tactile, entre 1 et 5 échantillons en visuel et visio-tactile.

Pour ce qui est de la campagne R, les panélistes ont formés entre 1 et 5 groupes d'échantillons, avec une moyenne à 3 groupes toutes modalités confondues. On note également que dans toutes les modalités, au moins un panéliste a trouvé les échantillons très similaires et n'a formé qu'un seul groupe. Le nombre d'échantillons dans ces groupes quant à lui varie entre 1 et 9, avec une moyenne entre 2 et 3 échantillons par groupe.

5.3.3. Les descripteurs

Lors du test de Napping®, les sujets ont eu une tâche de verbalisation. Après avoir construit la carte de perception, chaque sujet a donné des mots qui pour lui décrivaient la texture des groupes d'échantillons formés. Plusieurs termes ont été donnés. Le dictionnaire des mots du sensoriel [15] a été utilisé pour faire des rapprochements sémantiques entre les mots, afin de regrouper sous le même descripteur les termes de signification proche ou les termes synonymes. On a donc pu passer des mots aux descripteurs, qui doivent être des termes pertinents, qualificatifs, non hédoniques. Ce sont des données supplémentaires très importantes pour mieux comprendre les critères de différenciation utilisés par le panel, car ils permettent de nommer les différents axes ou dimensions principales de perception issues de l'AFM.

Pour la campagne WC, sur 66 mots collectés durant le test tactile, 13 descripteurs ont été définis ; sur 76 mots ou attributs collectés lors du test visuel, 11 descripteurs ont été définis ; sur 75 mots collectés durant le test visio-tactile, 14 descripteurs ont été définis. Pour ce qui est de la campagne R, sur 57 attributs collectés lors du test tactile, 10 descripteurs ont été définis ; sur 70 attributs collectés durant le test visuel, 11 descripteurs ont été définis. Sur 66 attributs collectés lors du test visio-tactile, 9 descripteurs ont été définis. La liste des différents descripteurs avec leurs fréquences d'occurrences dans chacune des modalités est présentée dans la Table 5-2.

Dans la liste de descripteurs obtenue, on peut se rendre compte que certains présentent de fortes occurrences quelle que soit la modalité sensorielle considérée. Ce sont des termes génériques qui sont utilisés dans la pratique pour décrire les matériaux de manière générale. Il s'agit par exemple des descripteurs rainuré, rugueux, lisse. A contrario, on trouve aussi des termes spécifiques. Dans la campagne WC, lorsque la modalité visuelle intervient, des descripteurs spécifiques au bois sont cités, tels que noueux, nœuds, bois... Ceci signifie que dans les conditions visuelles et visio-tactile, les échantillons sont directement reliés à l'archétype du bois. Dans la campagne R, les descripteurs sont très similaires dans les 3 modalités. On peut enfin remarquer que dans la modalité tactile, pour les 2 campagnes, les descripteurs sont très proches, les échantillons ont été globalement perçus comme rugueux, rainurés, avec du relief orienté. Ceci est cohérent avec les données morphologiques, car les échantillons des deux campagnes présentent la même texture tactile en termes de topographie.

Table 5-2: Liste des descripteurs pour les campagnes WC et R

Descripteurs	Termes associés	WC			R		
		Tactile	Visuel	Visio-tactile	Tactile	Visuel	Visio-tactile
Rugueux	rugueux, granuleux, non lisse	37	7	27	48	4	36
Rainuré	rainuré, strié, nervuré, ligneux, sillonné	46	42	44	52	55	33
Lisse	lisse, doux	67	25	30	46	47	81
Relief	relief, ondulé, bosses	15	8	11	41	29	39
Hétérogène	hétérogène, irrégulier, non uniforme	6	23	35	12	23	29
Homogène	homogène, régulier, uniforme	4	20	33		21	1
Accrochant	accrochant, agressif, brut	6		6	15		3
Grossier	grossier	3		2	3	1	4
Espacé	espacé	3			4	5	
Périodique	périodique	2			2		3
Apériodique	apériodique	7					
Caoutchouteux	caoutchouteux	1					
Marqué	marqué	5					
Nouveaux	nouveaux		27	14			
Pas de nœud	pas de nœud		4				
Bois (bois, veiné, veines)	bois, veiné, veines		33	18		15	
Abîmé (usé, cassé)	usé, cassé		1	6			
Peau de lézard (écaille)	peau de lézard, écaille		2	2			
Biphasé	biphasé			4			
Complexe	complexe			3			
Chargé	chargé					1	
Plastique	plastique				3	1	

5.3.4. Les cartes moyennes de perception

L'AFM sur les données collectées permet de construire les cartes moyennes de perception pour chaque modalité. Pour tenter de mieux comprendre les dimensions principales des cartes de perception issues de l'analyse factorielle multiple, nous avons projeté les descripteurs sur ces dernières. Chaque descripteur se situe au barycentre de ses différentes positions, en prenant bien sûr en compte l'occurrence totale ainsi que l'occurrence pour chaque échantillon. En d'autres termes, les coordonnées sur la carte de chaque descripteur sont celle de son barycentre. Pour mettre en évidence les fréquences d'occurrences sur la carte, la police a été modifiée en fonction de l'occurrence, c'est-à-dire que plus on a une forte occurrence, plus la police est grande. Plus un descripteur sera proche du centre de la carte moyenne de perception, plus il sera un terme générique (utilisé pour décrire la majorité des échantillons). A l'inverse, plus un descripteur sera éloigné du centre de la carte, plus il sera considéré comme spécifique (Figure 5-8, Figure 5-9, Figure 5-10, Figure 5-11, Figure 5-12, Figure 5-13).

5.3.4.1. Campagne WC

Les cartes moyennes de perception ont été construites pour les trois modalités.

- Pour la modalité tactile : les deux premières dimensions de l'AFM expriment 54,93 % de la variabilité de l'espace produit. La dimension 1 oppose les échantillons {**3, 5, 7**}WC aux échantillons {1, 2, 4, 6, 9}WC, tandis que la dimension 2 oppose les échantillons {1, 2, 5, 8}WC aux échantillons {3, 4, 6, 7, 9}WC. De plus, la projection des descripteurs montre que, selon la dimension 1 on a une opposition des échantillons «lisses » aux échantillons « à relief, « marqués »
- Pour la modalité visuelle : les deux premières dimensions de l'AFM expriment 62,78 % de la variabilité de l'espace produit. La dimension 1 oppose les échantillons {1, 2, 3, 5} WC aux échantillons {4, 6, 7, 8, 9} WC. De plus, cette dimension oppose les échantillons « Nouveaux », « hétérogènes » aux échantillons « pas de nouveaux », « homogènes », tandis que la dimension 2 oppose les échantillons {1, 2, 4, 6, 8} WC aux échantillons {**3, 5, 7, 9**} WC.
- Pour la modalité visio-tactile : les deux premières dimensions de l'AFM expriment 53,98% de la variabilité de l'espace produit. la dimension 1 oppose les échantillons {**3, 5, 7, 9**} WC aux échantillons {1, 2, 4, 6, 8} WC, tandis que la dimension 2 oppose les échantillons {6, 7, 8, and 9}WC aux échantillons {1, 2, 3, 4, 5} WC. Cette dernière dimension oppose les échantillons « Nouveaux », « hétérogènes » aux échantillons « homogènes ».

5.3.4.2. Campagne R

- Pour la modalité tactile : les deux premières dimensions de l'AFM expriment 47,47 % de la variabilité de l'espace produit. La dimension 1 oppose les échantillons {**1, 3, 5, 7, 2**} R aux échantillons {4, 6, 8, 9} R tandis que la dimension 2 oppose les échantillons {1, 3, 4, 8, 9} R aux échantillons {2, 5, 6, 7} R.
- Pour la modalité visuelle : les deux premières dimensions de l'AFM expriment 45,07 % de la variabilité de l'espace produit. La dimension 1 oppose les échantillons {2, 4, 6, 7, 9} R aux échantillons {1, 3, 5, 8} R, tandis que la dimension 2 oppose les échantillons {2, 4, 6, 8} R aux échantillons {**1, 3, 5, 7, 9**} R.
- Pour la modalité visio-tactile : les deux premières dimensions de l'AFM expriment 49,75 % de la variabilité de l'espace produit. La dimension 1 oppose les échantillons {**1, 3, 4, 5, 7**} R aux échantillons {2, 6, 8, 9} R, tandis que la dimension 2 oppose les échantillons {1, 4, 5, 6} R aux échantillons {2, 3, 7, 9} R.

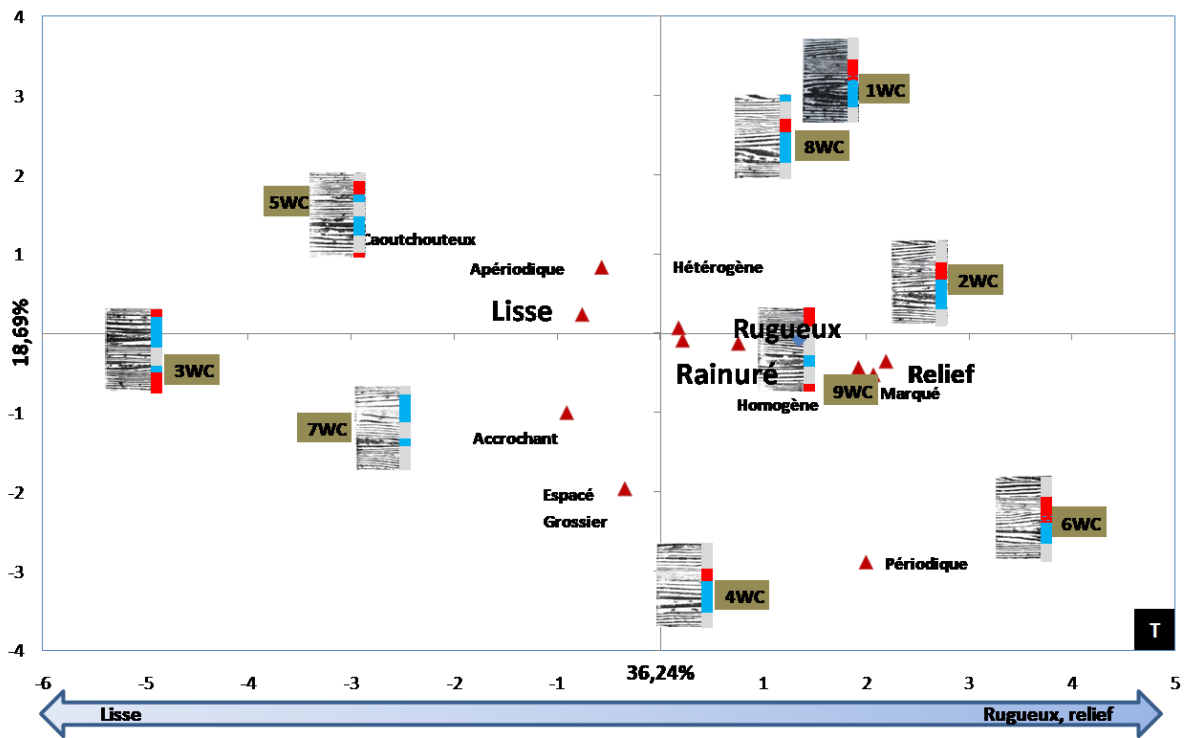


Figure 5-8: Carte moyenne de perception tactile contretypage bois

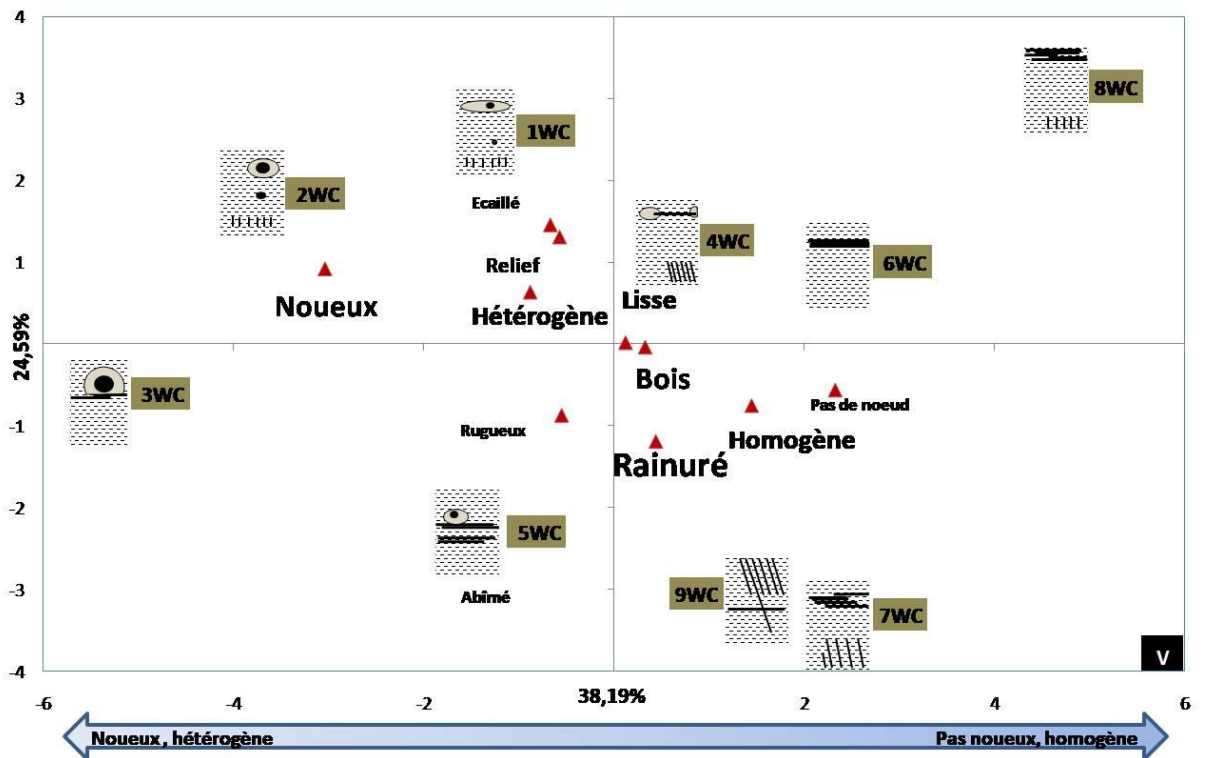


Figure 5-9: Carte moyenne de perception visuelle contretypage bois

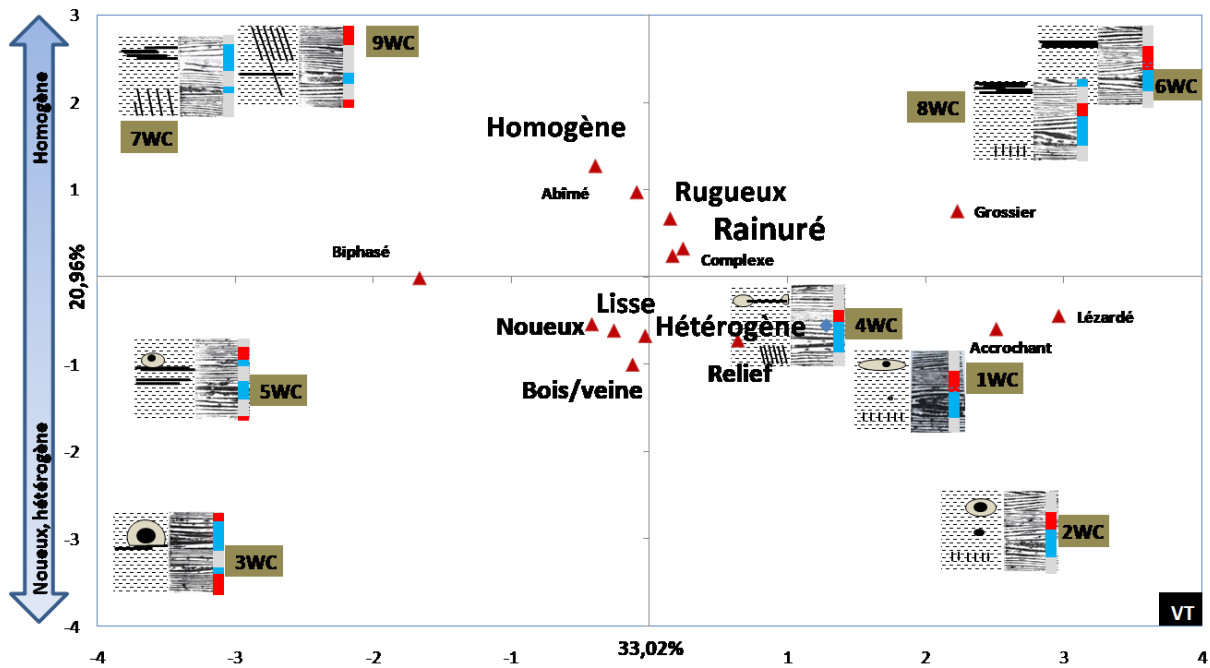


Figure 5-10: Carte moyenne de perception visio-tactile contretypage bois

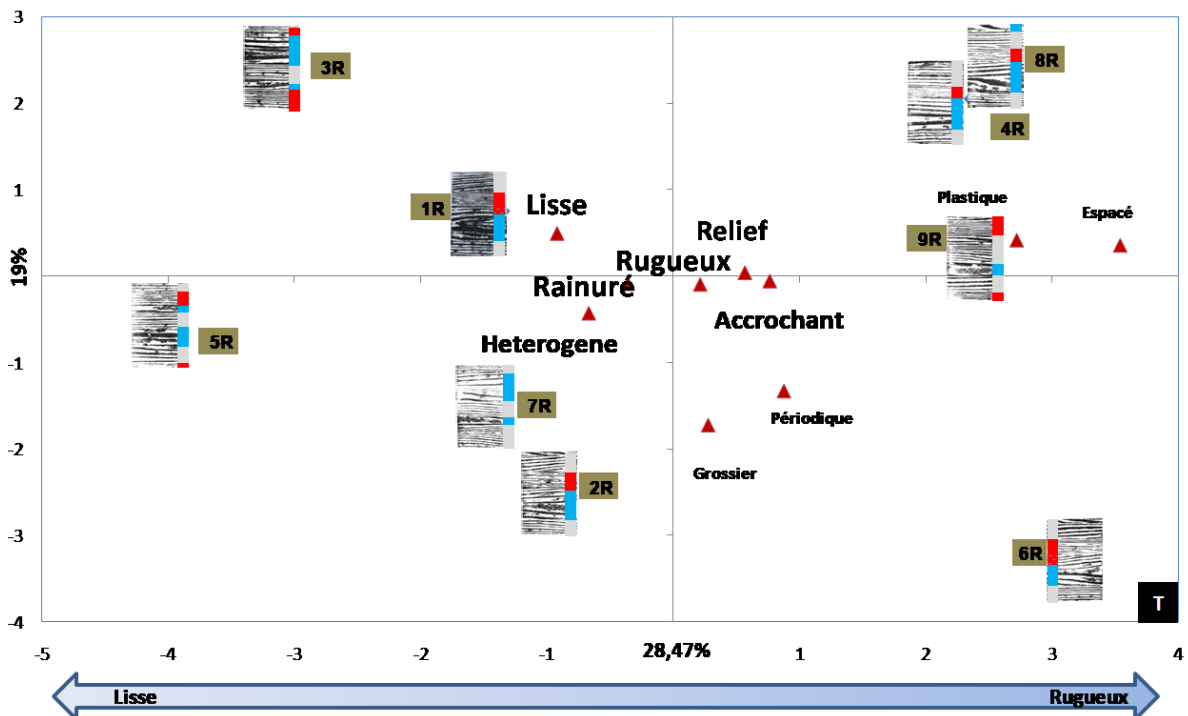


Figure 5-11: Carte moyenne de perception tactile réplique

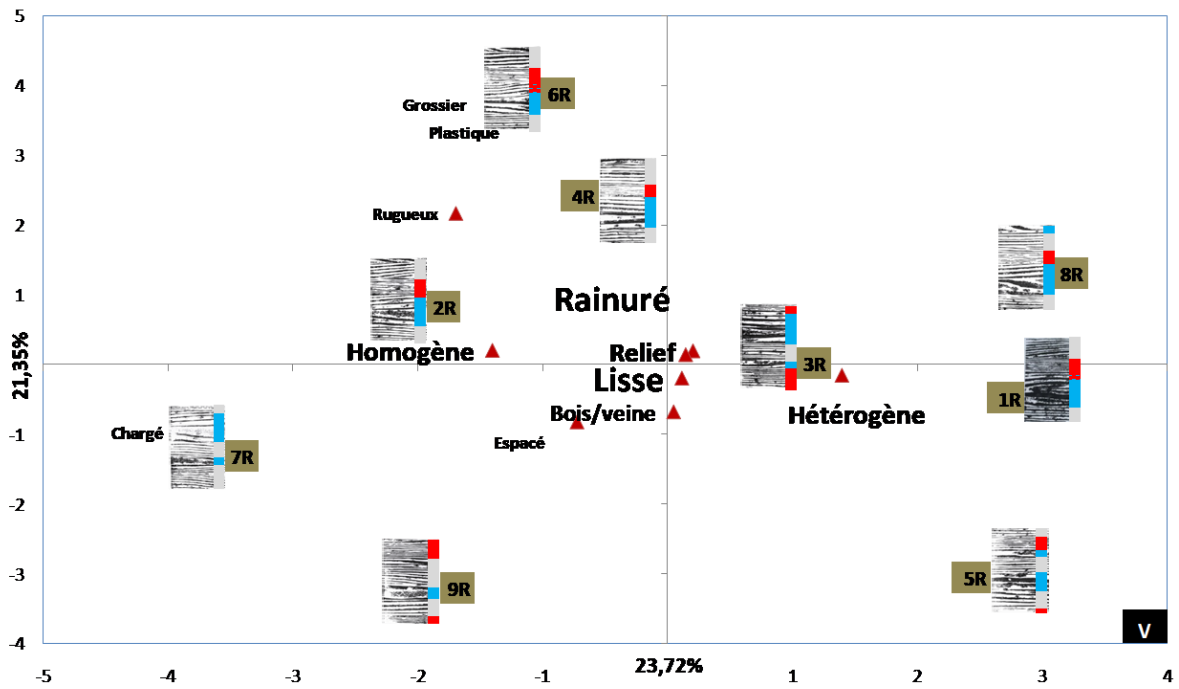


Figure 5-12 : Carte moyenne de perception visuelle réplique

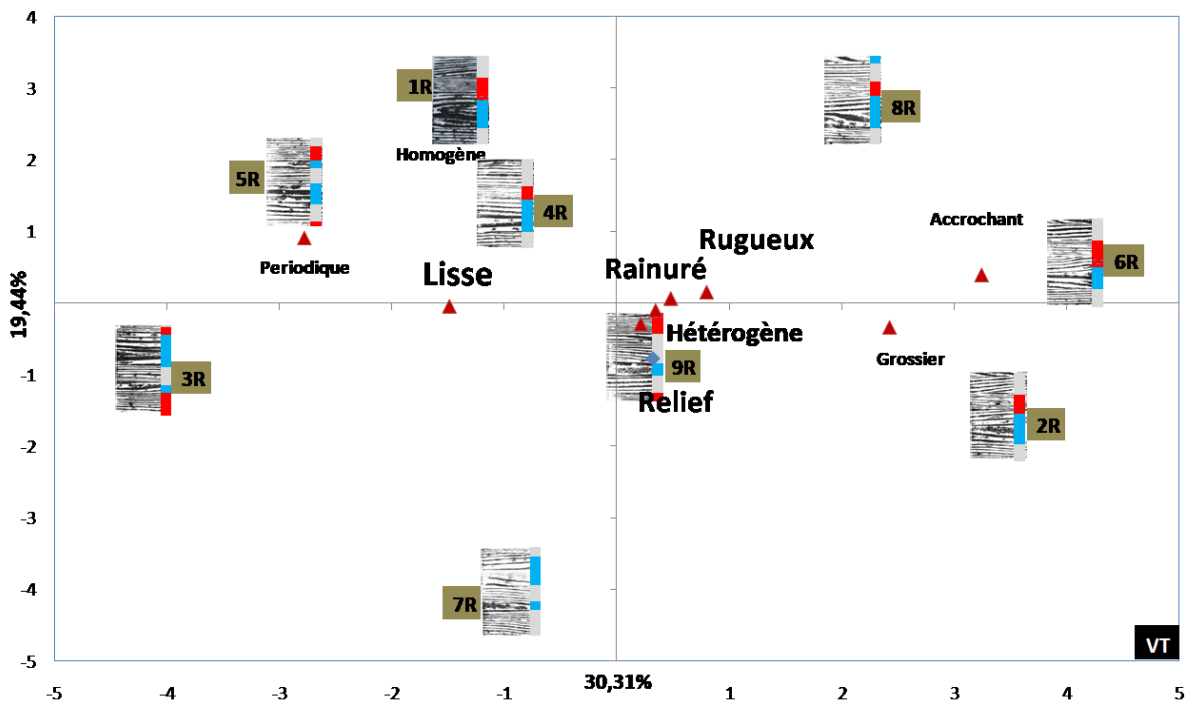


Figure 5-13 : Carte moyenne de perception visio-tactile réplique

5.3.5. Les ellipses de confiance

Les Figure 5-14, Figure 5-15, Figure 5-16, présentent les ellipses de confiance autour des positions des échantillons pour les campagnes WC et R.

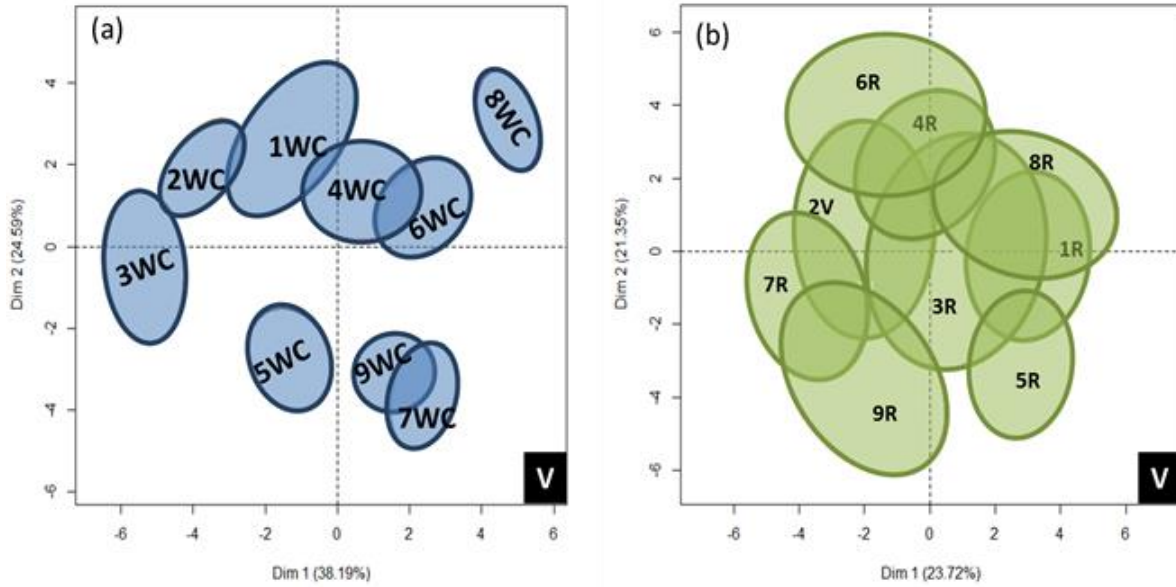


Figure 5-14: Ellipse de confiance pour les cartes tactiles WC et R

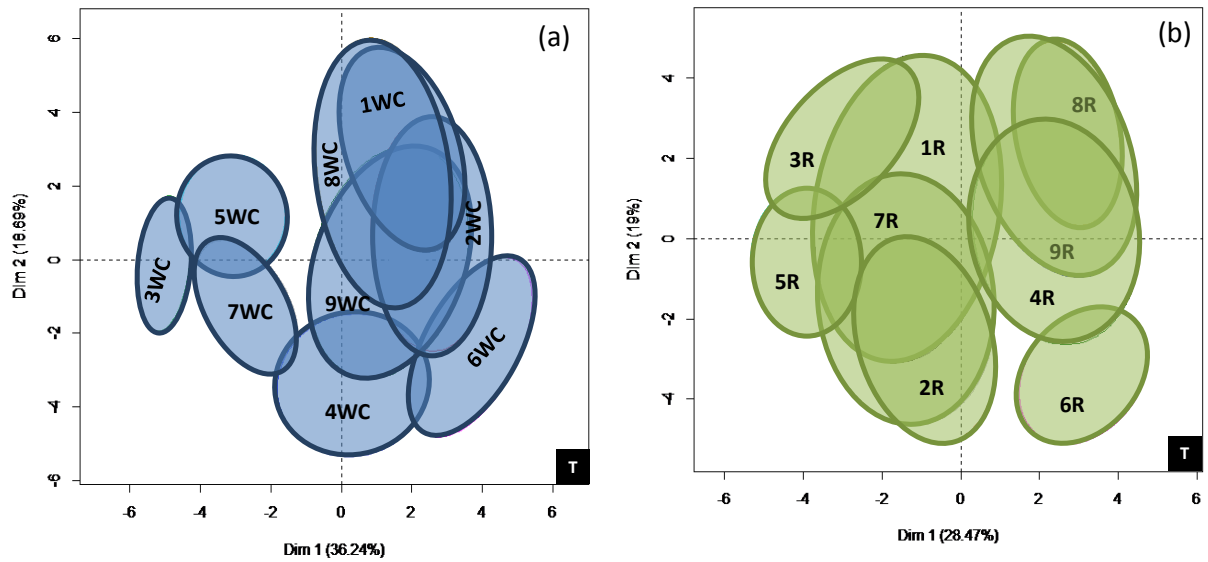


Figure 5-15: Ellipse de confiance pour les cartes visuelles WC et R

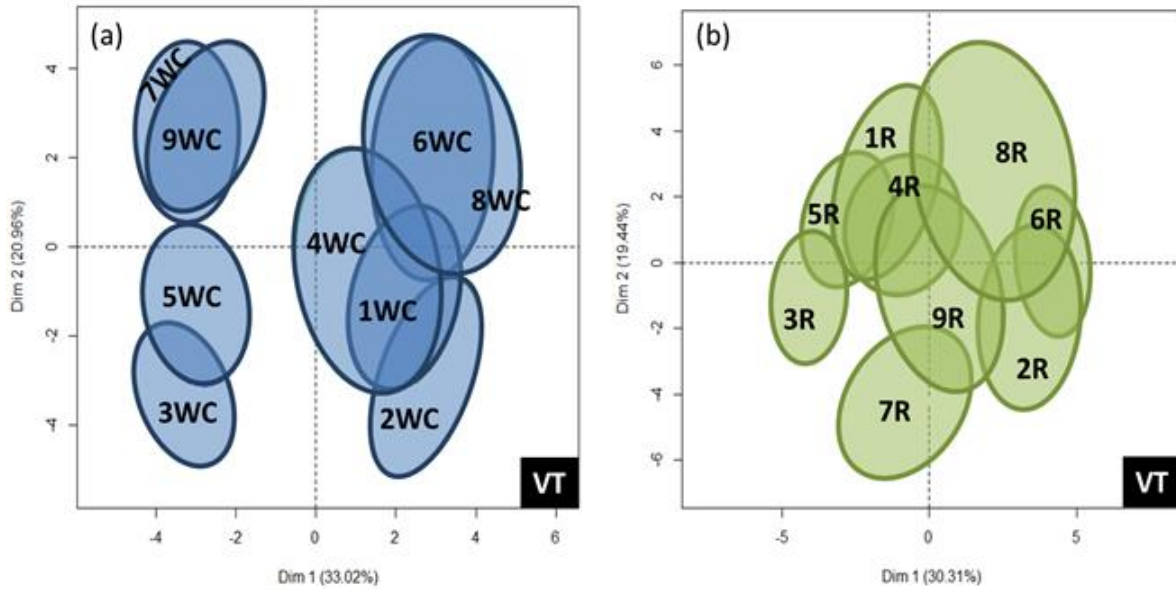


Figure 5-16: Ellipse de confiance pour les cartes visio-tactiles WC et R

Pour la campagne WC, on peut noter que la carte tactile présente de très grandes ellipses avec des recouvrements importants. On peut distinguer deux grands groupes d'échantillons : {3, 5, 7} WC d'une part de la dimension 1 et {1, 2, 4, 6, 9} WC de l'autre. La carte visuelle présente des ellipses plus petites avec des recouvrements moins importants. Les échantillons ont été mieux différenciés qu'en tactile. La carte visio-tactile quant à elle présente une taille d'ellipse intermédiaire entre le tactile et le visuel. Pour ce qui est de la campagne R, les trois cartes tactile, visuelle et visio-tactile présentent de grandes ellipses avec des recouvrements importants. La carte visio-tactile est celle qui présente les moins grandes ellipses des trois configurations.

Pour quantifier le recouvrement des ellipses qui est relatif à la fois à la taille de l'ellipse et à sa position, nous avons considéré la position des centres des ellipses, centres qui représentent les barycentres des différentes positions des échantillons. Un échantillon ayant son barycentre contenu dans l'ellipse d'un autre échantillon sera perçu relativement proche de ce dernier [130]. La Figure 5-17 présente un tableau qui comptabilise le nombre de barycentres présents dans chacune des ellipses de confiance pour les campagnes WC et R. Sur cette figure, la première ligne contient les différents échantillons. Une case grise foncée au croisement de la ligne X et de la colonne Y signifie que l'échantillon X a son barycentre présent dans l'ellipse de l'échantillon Y. Une case grise claire signifie que le barycentre de l'échantillon X n'est pas contenu dans l'ellipse de l'échantillon Y.

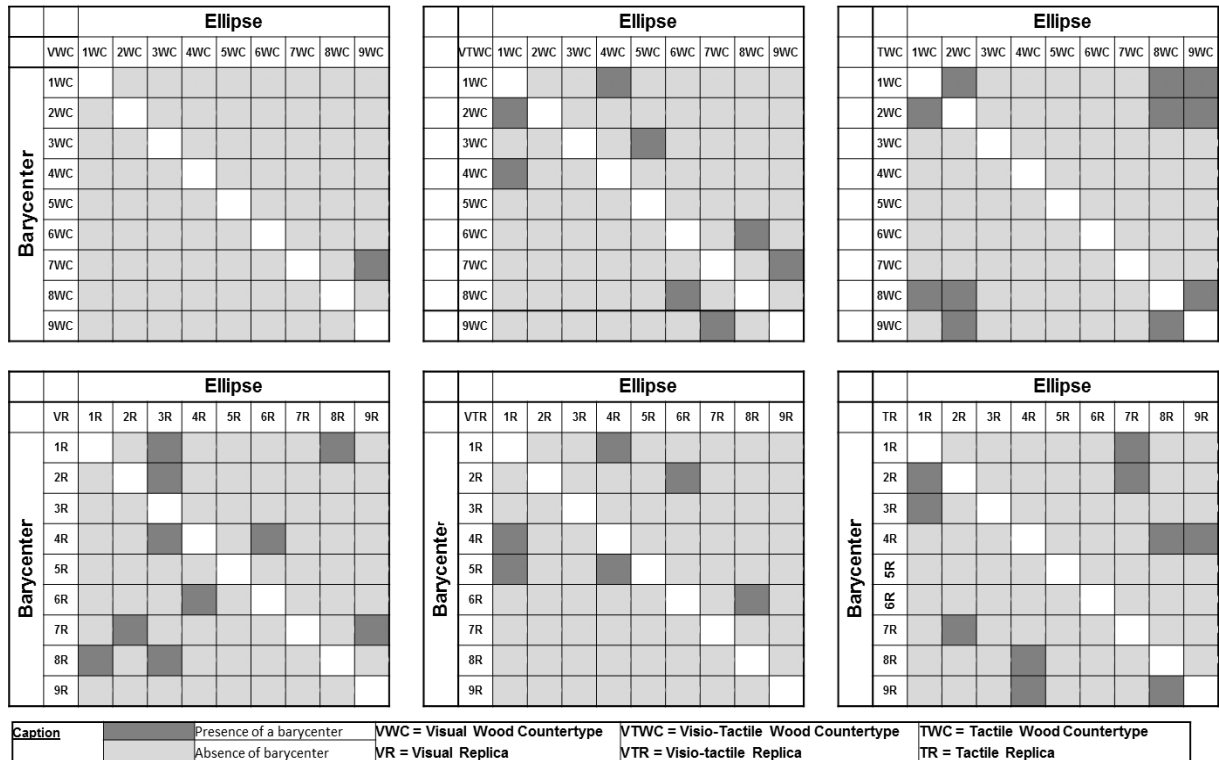


Figure 5-17 : Barycentre des échantillons contenus dans les ellipses pour les campagnes WC et R

Pour la campagne WC, dans le test tactile, 4 échantillons {1, 2, 8, 9} WC ont leurs barycentres contenus dans une autre ellipse. Dans le test visuel, seulement 1 échantillon 7WC a son barycentre contenu dans une autre ellipse. Dans le test visio-tactile, 6 échantillons {1, 3, 6, 7, 8, 9} WC ont leurs barycentres contenus dans d'autres ellipses. Pour ce qui est de la campagne R, dans le test tactile, 7 échantillons {1, 2, 3, 4, 7, 8, 9} R ont leurs barycentres contenus dans d'autres ellipses. Dans le test visuel, 6 échantillons {1, 2, 4, 6, 7, 8} R ont leurs barycentres contenus dans d'autres ellipses. Dans le test visio-tactile, 5 échantillons {1, 2, 4, 5, 6} R ont leurs barycentres contenus dans d'autres ellipses. Ces observations sont cohérentes avec ce qui a été observé sur la taille des ellipses ainsi que leur recouvrement, c'est-à-dire que pour la campagne WC les échantillons ont été le mieux discriminés dans la modalité visuelle (moins de barycentre contenus dans d'autres ellipses), alors que pour la campagne R, les échantillons ont été le mieux discriminés dans la modalité visio-tactile.

5.3.6. Discussion

Le Napping® est une technique de collecte de données sensorielles issue de l'agro-alimentaire. La méthode a été transposée pour l'évaluation des textures de matériaux. Globalement, l'épreuve de Napping® sur des matériaux est relativement rapide : 18 minutes pour les temps les plus longs et moins de 2 minutes pour les temps les plus courts. Les écart-types sont relativement importants. La modalité visuelle, sans surprise, est celle dans laquelle les sujets ont le plus de facilité à construire la carte de perception. La génération d'attributs est plus rapide en tactile, on a moins de termes. En visio-tactile, la combinaison des informations issues du visuel et du tactile a pour résultat de rallonger le temps de prise de décision, c'est la raison pour laquelle on observe des durées de test plus importantes dans les deux campagnes.

Le nombre de groupes formés ainsi que le nombre d'éléments par groupe donnent un premier aperçu du degré de discrimination des échantillons par les panélistes. Plus on a de groupes formés, plus on a de critères de discrimination des échantillons. En moyenne, les échantillons ont été répartis par 3 à 4 groupes de 2 à 3 éléments. Ainsi, pour la campagne WC on peut noter que les échantillons ont été le plus discriminés en visuel et visio-tactile, tandis que la campagne R présente un nombre de critères similaire en condition unimodale et bimodale. A ce premier stade d'analyse, on peut déduire que la discrimination des échantillons WC serait orientée par la modalité visuelle lorsque visuel et tactile sont sollicités. Ceci est moins le cas pour les échantillons R car toutes les modalités présentent un nombre de critères équivalent.

Pour les échantillons WC, sur les différentes cartes tactiles, visuelles et visio-tactiles, on peut remarquer que certains échantillons sont toujours situés les uns à côté des autres. Il s'agit des échantillons {3, 5, 7} WC. Les cartes visuelle et visio-tactile présentes encore plus de similitudes. La carte moyenne tactile oppose les échantillons « lisse » aux échantillons « relief » et « marqué ». Si l'on observe la topographie des échantillons, on se rend compte que les descripteurs sont cohérents avec cette dernière. En effet les échantillons {3, 5, 7} WC qualifiés de « lisse » sont ceux qui présentent les plus faibles rugosités moyennes dans la partie centrale, ces 3 échantillons ont une topographie composée de la combinaison perçue la plus lisse (type B et Type C, voir paragraphe 5.1.3). Il faut noter que lors de l'exploration des échantillons cette partie centrale est explorée de manière préférentielle, à la différence des bords des échantillons qui retiennent moins l'attention. On note également que l'opposition des échantillons selon la dimension 1 de la carte visuelle est très similaire à l'opposition des échantillons selon la dimension 2 de la carte visio-tactile. Les échantillons sont qualifiés de « noueux », « hétérogène » d'une part « homogène d'autre part. Ceci est cohérent avec la description visuelle des échantillons faite précédemment (voir paragraphe 5.1.2). Dans la perception visio-tactile, la modalité visuelle semble prendre le dessus sur la modalité tactile. La différenciation des échantillons en bimodale est donc pilotée par la modalité visuelle.

Pour les échantillons R, sur les cartes tactile, visuelle et visio-tactile, les échantillons {1, 3, 5, 7} R sont toujours situés les uns à côté des autres. La carte visio-tactile présente plus de similitudes avec la carte tactile. Or dans le cas de la campagne WC la carte visio-tactile était plus proche de la carte visuelle. L'analyse des descripteurs est plus confuse que pour la campagne précédente. On a majoritairement des termes génériques. Sur les différentes cartes tactile et visio-tactile on peut lire une opposition des échantillons « lisses » aux échantillons « relief », « rugueux ». La carte visuelle quant à elle ne livre pas d'information pertinente sur les dimensions principales. La modalité visuelle ne semble pas dominer la perception visio-tactile comme dans la campagne WC. Sur les échantillons R, les singularités visuelles des échantillons sont moins marquées que sur les échantillons WC. Il n'existe pas de référence à un matériau familier. La perception de la texture repose donc purement sur de l'encodage sensoriel lié à la topographie des échantillons.

L'analyse des ellipses de confiance montre que pour la campagne WC, les échantillons ont été le mieux différenciés dans la modalité visuelle. En tactile, ils ont été perçus très similaires. En visio-tactile, on a une perception qui semble intermédiaire entre le visuel et le tactile. Quant à la campagne R, la discrimination des échantillons est globalement très faible dans les trois modalités, même si le visio-tactile présente une moins mauvaise discrimination que les autres.

Parlant des descripteurs, on remarque que le terme « rugueux », qui est plutôt un terme générique, a une fréquence d'occurrence plus élevée en tactile, suivi du visio-tactile. La plupart des études issues de l'état de l'art montrent que la « rugosité » est une propriété qui s'évalue préférentiellement à l'aide de la modalité tactile. Ceci confirme donc la thèse selon laquelle l'évaluation de la rugosité est une tâche prioritairement tactile. En ce qui concerne le descripteur « noueux », il est sans surprise absent dans la modalité tactile, et a la fréquence d'occurrence la plus élevée dans la modalité visuelle. Si on le compare avec le descripteur « bois » par exemple, on se rend compte que le descripteur « bois » est sans surprise un terme générique dans la description visuelle des échantillons, tandis que le terme « noueux » est un descripteur plutôt spécifique, utilisé pour décrire un certain nombre d'échantillons. Dans la modalité visuelle, la stratégie adoptée pour décrire les échantillons et les regrouper semble être basée sur les singularités présentes dans la texture de l'échantillon. En visio-tactile, on observe une stratégie différente du visuel. Le descripteur « bois » par exemple est plus éloigné du centre que dans la carte visuelle. Ceci laisse penser que dans ce cas, le terme n'est pas générique comme précédemment, mais spécifique à un groupe d'échantillons. De plus, le descripteur « noueux » est associé au même groupe d'échantillons. Toutes ces observations suggèrent qu'en visio-tactile, la stratégie d'identification est orientée par l'identification à l'archétype du bois d'un groupe d'échantillons.

5.4. Perception tactile et vibrations induites pour des textures similaires

Plus récemment, différents descripteurs tactiles (fibreuse, relief, bloquant), ont été associées à des index objectifs issus de la mesure de vibrations induites et de coefficient de frottement[165].

La perception tactile de produits dérivés de bois a aussi été étudiée. Lindberg et al [166] ont fait une étude sémantique sur l'évaluation tactile de produit à base de bois et composite à base de bois. Ils ont trouvé que la différence la plus importante perçue sur ce type de produit était basée sur la rugosité et avec les descripteurs « *reliable, natural, solid* ».

Peu d'études ont jusqu'à présent exploré le lien avec l'approche sensorielle. Cette étude propose la mise en relation de plusieurs approches pour mettre en évidence les liens entre la perception tactile et les vibrations induites par la texture pour savoir, à termes, si les paramètres tribologiques permettent de discriminer les échantillons de manière analogue à la perception tactile. Les tests de perception tactile menés sur les échantillons de contretype bois et réplique ont montré une faible capacité du panel à discriminer les échantillons. La recherche de paramètres tribologiques et vibratoires sur cette série d'échantillon a pour objectif de savoir si ces derniers paramètres peuvent permettre d'apprécier la texture tactile de ces échantillons de manière comparable aux résultats des tests de perception tactile.

A partir des différentes approches utilisées pour caractériser les échantillons, différents paramètres ont été collectés. Tout d'abord, la caractérisation morphologique qui mesure la rugosité globale de chaque échantillon à travers le paramètre $\langle R_q \rangle$ (μm). Puis la description qualitative des détails morphologiques. Deuxièmement la carte moyenne de perception tactile, les descripteurs ainsi que les ellipses de confiance autour des positions de chaque échantillon, qui montrent la manière dont les échantillons ont été perçus par le panel (se reporter au paragraphe 2.1.3 pour la description topographique de la texture, au paragraphe 5.2.2 pour la caractérisation sensorielle de la texture

tactile, au paragraphe 5.3.4 pour les cartes moyennes de perception tactile WC et R et au paragraphe 5.3.5 pour les ellipses de confiance tactile WC et R). Enfin, l'analyse senso-instrumentale permet de ressortir les index tribologiques et vibrationnels de chaque échantillons.

5.4.1. Caractérisation morphologique

La Figure 5-18 présente les différents types de patrons identifiés dans les différents échantillons avec les lettres et les codes couleurs qui leurs sont associés ainsi que leurs spécifications en termes de dimensions. Chaque échantillon y est présenté en fonction des différents patrons trouvés dans le long de sa surface.

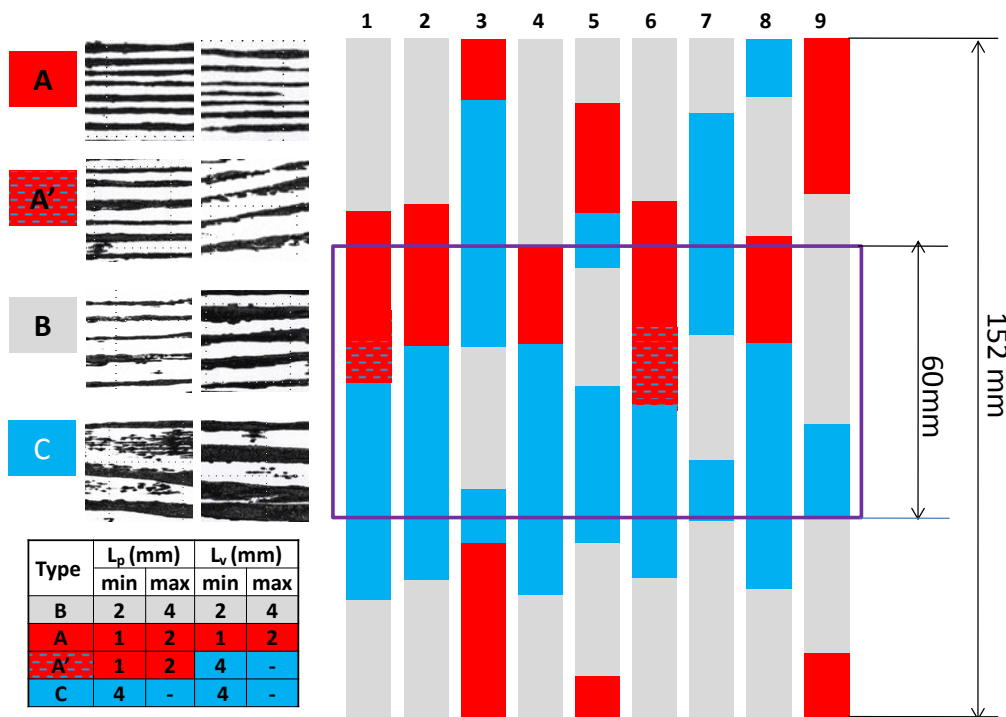


Figure 5-18 Description qualitative de chaque échantillon selon la rugosité perçue

Pour rappel, la représentation de la texture tactile montre des similarités pour certains échantillons. En effet, si on s'intéresse à la zone explorée au Tribotouch (encadré violet), qui correspond à la zone centrale de chaque échantillon préférentiellement explorée lors des tests, on se rend compte que les échantillons 3-5-7 présentent une alternance de zones grises et bleues (B et C) .Cette succession de patron (gris et bleu) est perçue comme la plus lisse. Les échantillons 2-4-8 présentent une succession de zones rouges et bleues (A et C). Les échantillons 1 et 6 présentent une succession de zones rouges, rouges pointillées et bleues (A, A'et C).

5.4.2. Caractérisation sensorielle tactile

L'analyse factorielle multiple sur les données de perception tactile a permis de ressortir les cartes moyennes de perception, les ellipses de confiance et l'analyse des descripteurs. La taille ainsi que le niveau de recouvrement des ellipses de confiance renseignent sur le degré de discrimination des échantillons. La Figure 5-15montre les ellipses de confiance autour des positions des différents échantillons. Globalement, pour les deux campagnes, on a des ellipses relativement grandes avec des

recouvrements importants. Néanmoins, on peut remarquer que la campagne WC montre des ellipses plus petites, avec moins de recouvrement que la campagne R. Selon la dimension 1, la carte WC laisse apparaître deux grands clusters : {3, 5,7} WC d'une part et les autres échantillons {1, 2, 4, 6, 8,9} WC d'autre part. Cette opposition d'échantillon est moins marquée dans les échantillons R, même si les échantillons {3, 5, 7} R sont toujours aussi proches. On peut donc faire trois principales observations :

- Premièrement, le niveau de discrimination des échantillons est faible pour les deux campagnes.
- La dimension 1 est la plus discriminante pour les échantillons WC. Elle oppose les échantillons 3, 5,7 WC aux autres échantillons.
- Le cluster 3, 5,7 est présent dans les deux campagnes.

la carte moyenne de perception tactile WC (Figure 5-8)montre que la dimension 1 oppose les échantillons {3, 5,7 } WC qualifiés de « lisses » aux autres échantillons {1,2,4,6,8,9}WC qualifiés de « rugueux , relief ». Ces trois échantillons dans l'analyse topographique présentent la séquence de patron perçue la plus lisse. Quant à la carte moyenne de perception tactile R (Figure 5-11), l'opposition des échantillons est moins évidente, mais les échantillons {3, 5,7} R sont toujours parmi les échantillons « lisses ».L'opposition des échantillons sur la carte de perception ainsi que les descripteurs est cohérente avec la description topographique de la rugosité perçue. Les résultats de l'analyse sensorielle font ressortir des dimensions perceptuelles en accord avec la revue de Okamoto et al [70] qui se sont intéressés aux dimensions perceptuelles de texture en modalité tactile. D'après leur revue, la dimension « roughness/smoothness » est l'une des principales dimensions qui structure la perception tactile de texture.

5.4.3. Caractérisation tribo-tactile.

Le dispositif expérimental TRIBOTOUCH permet de ressortir des index objectifs, tribologiques et dynamiques, caractéristiques de chaque échantillon. L'accéléromètre placé sur le doigt permet d'enregistrer les vibrations induites lors du contact entre le doigt et la texture de l'échantillon. L'échantillon se déplace et le doigt reste fixe. Le test a porté sur une zone de 60 mm située au milieu de l'échantillon. Cette zone de test a été choisie en adéquation avec le comportement des sujets lors des tests de perception tactile, qui exploraient préférentiellement le milieu de l'échantillon par rapport aux bords. Les conditions d'essai fixées conformément à l'état de l'art [148][132] étaient les suivantes : inclinaison du doigt environ 20°, effort normal appliqué 0,5N ±0,05, vitesse 20mm/s. Avant chaque essai, le doigt est nettoyé à l'aide d'une solution alcoolique, afin d'éviter tout dépôt parasite. La Figure 5-19 montre les échantillons des deux séries au moment du test.

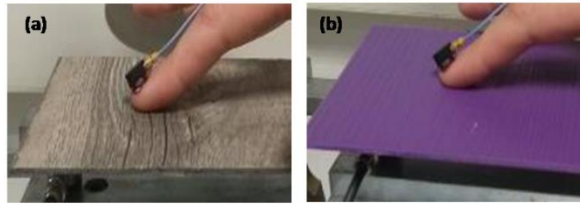


Figure 5-19: Echantillons fixés sur le Tribotouch en condition de test

Un cycle d'un aller-retour a été programmé sur le banc avec une accélération et une décélération constante au début et à la fin de l'essai, ainsi qu'une vitesse constante au milieu. Seuls les signaux allers acquis pendant la phase de vitesse constante ont été considérés pour l'analyse. Chaque échantillon a été testé 3 fois dans le but d'assurer une meilleure précision des résultats.

Les tests de perception tactile effectués précédemment ont montré une faible discrimination des échantillons aussi bien pour les échantillons WC que pour les échantillons R. Les descripteurs ont néanmoins permis de remarquer que les échantillons avaient été organisés en deux grands groupes : d'une part les échantillons « lisses » et d'autre part les échantillons « rugueux, relief ». Les échantillons ont donc essentiellement été caractérisés par le relief ainsi que la répartition de ce dernier sur leur texture. Les échantillons WC et R ont été testés au Tribotouch, afin de rechercher des indexes vibratoires et tribologiques objectifs pouvant discriminer les échantillons de manière comparable aux tests de perception tactile. Pour la discrimination des échantillons, les signaux collectés ont été analysés sur une période totale de 2 secondes. Nous nous sommes intéressés aux efforts et aux signaux d'accélération. Les efforts ont permis de calculer le coefficient global de frottement. La valeur moyenne du signal d'accélération (AccRMS) a été calculée toutes les 0.1 seconde et représentée en fonction du temps. La variation de la valeur AccRMS permet de percevoir la variation de la topographie de l'échantillon. La Figure 5-20 présente des exemples de signaux d'effort ainsi que celui du coefficient de friction résultant pour l'échantillon 9WC. On peut voir que ces signaux d'effort ainsi que celui du coefficient de friction résultant sont relativement constants.

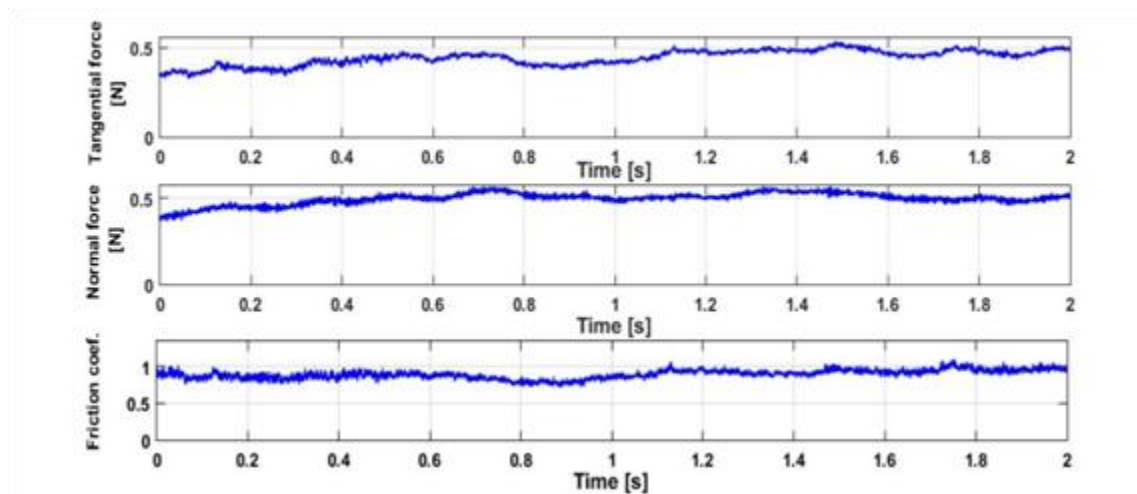


Figure 5-20 : Exemple de signaux d'efforts normaux et tangentiels mesurés durant le test ainsi que le coefficient de friction résultant pour l'échantillon 9 WC

Les différentes valeurs moyennes enregistrées sur les 3 essais effectués sur chaque échantillon sont présentées en annexe 3 pour les campagnes WC et R. Pour comparer plus aisément les valeurs de accRMS et coefficient de friction, on représente les données sous forme d'historgramme.

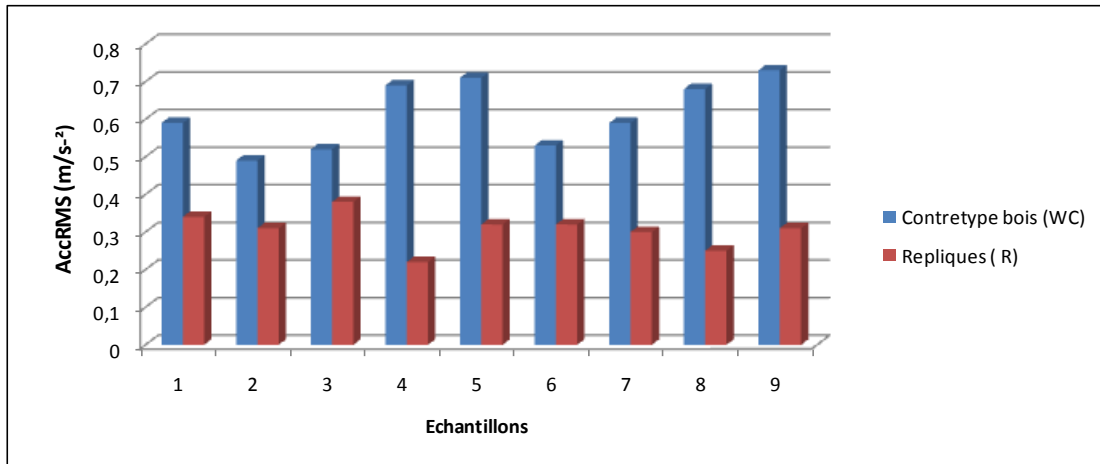


Figure 5-21: Comparaison des valeurs AccRMS pour les échantillons WC et R

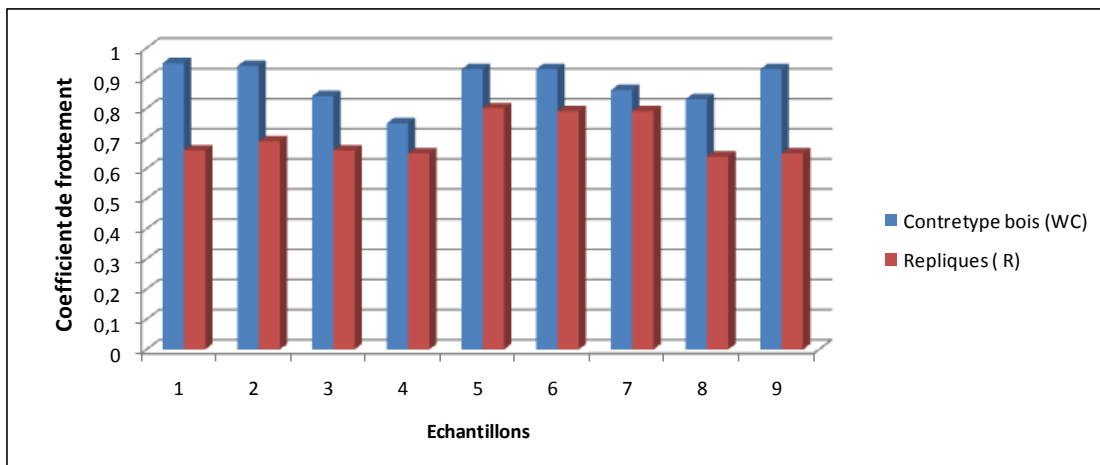


Figure 5-22 : Comparaison des valeurs de coefficient de friction pour les échantillons WC et R

On peut remarquer que les valeurs de la campagne réplique sont toujours inférieures à celles des contretypes bois. De même les vibrations induites des échantillons répliques ont une amplitude plus faible que celles de la campagne contretype bois comme le montre la Figure 5-23. En moyenne, il a été noté que les coefficients de frottement de la campagne R sont inférieurs de 20% par rapport à ceux de la campagne WC, et les valeurs d'accélération RMS sont inférieures d'environ 50% de celles de la campagne WC. A titre d'illustration nous présentons les échantillons 9 WC et R, cette évolution a été observée pour tous les échantillons sans exception. (Voir annexe3 pour les autres échantillons).

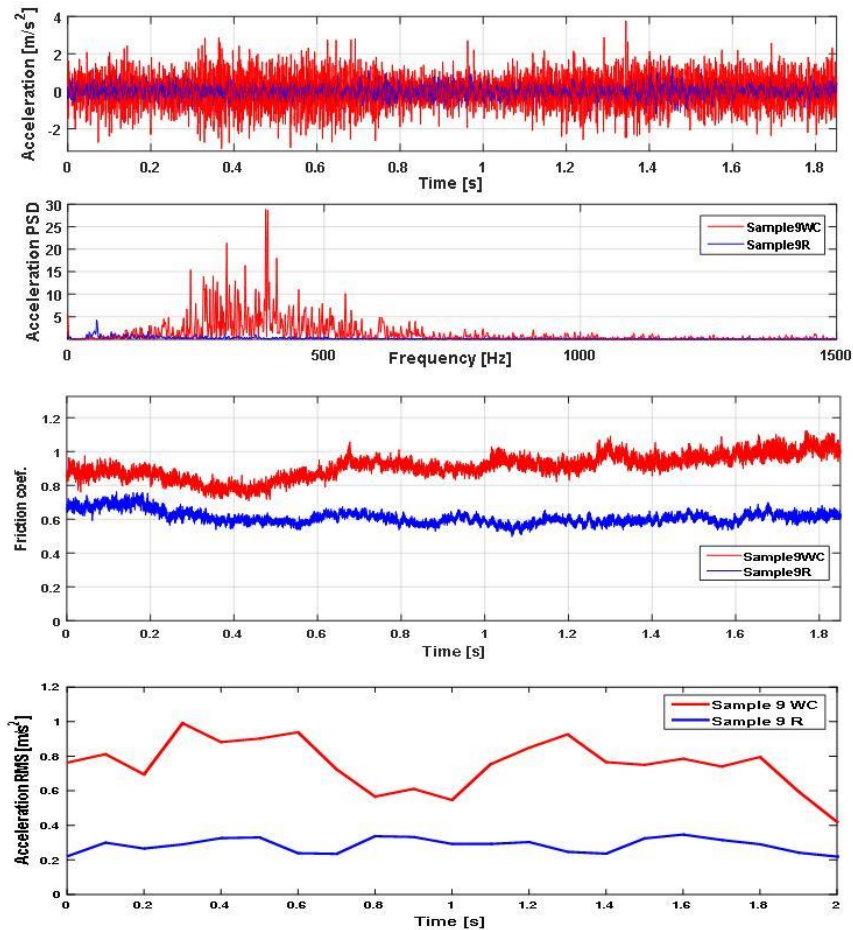


Figure 5-23: Comparaison des signaux et des spectres d'accélération pour les échantillons 9WCet R

5.4.4. Mise en relation des approches topographiques, sensorielle et tribo-tactile.

5.4.4.1. Effet du matériau

L'analyse topographique des échantillons a montré des valeurs de rugosité très proches d'un échantillon à l'autre. Au sein d'une même campagne, les valeurs de coefficient de friction sont très proches, avec un écart type relativement faible ($\mu_{WC} = 0,89 \pm 0,06$ et $\mu_R = 0,70 \pm 0,06$). La même observation est faite sur les valeurs d'accélération RMS ($AccRMS_{WC} = 0,61 \pm 0,08 m \cdot s^{-2}$ et $AccRMS_R = 0,31 \pm 0,04 m \cdot s^{-2}$). Toutes les observations qui précèdent permettent de relever l'effet du matériau sur la perception de texture. En effet, les 2 campagnes sont faites dans des matériaux différents, WC en PVC et R et polyuréthane. La différence de matériau induit un changement de coefficient de friction, de donc une différence de perception, même si les échantillons des deux campagnes ont la même topographie.

5.4.4.2. Corrélation avec la carte de perception tactile

Les cartes de perception tactiles ont montré de faible discrimination des échantillons par le panel, beaucoup plus pour les échantillons R que pour les échantillons WC. Il a été montré précédemment pour tous les échantillons R l'amplitude des vibrations induites est plus faible que

pour les échantillons WC. Nous avons donc recherché les corrélations entre les cartes de perception tactile et les résultats issus du Tribotouch uniquement pour la campagne WC. Deux principales corrélations sont ressorties de cette recherche selon les deux dimensions principales

- Selon la dimension 1

La dimension 1 porte 36% de la variabilité du groupe d'échantillons. L'analyse de la carte de perception tactile ainsi que des descripteurs ont montré que sur la carte de perception tactile, les échantillons ont été classés en deux grands groupes. D'une part les échantillons « lisses » que sont 3WC, 5WC, 7WC. Et d'autre part les échantillons « rugueux », « relief » que sont 1WC, 2WC, 4WC, 6WC, 8WC, et 9WC. La topographie de ces deux groupes d'échantillons était cohérente avec la perception de ces derniers. L'analyse de l'évolution en fonction du temps des vibrations induites (matérialisés l'accélération RMS) a été faite. 2 types d'allures ont pu être identifiés. D'une part, des surfaces à faible variation de valeur RMS (échantillons 3WC, 5WC, 7WC), et d'autre part, des surfaces à fortes variation de valeurs de RMS (échantillons 1WC, 2WC, 4WC, 6WC, 8WC, 9WC). Cette tendance a été confortée par le calcul de l'écart-type entre les différentes valeurs d'accélération RMS enregistrées pour chaque échantillon, qui a présenté des valeurs les plus faibles pour 3WC, 5WC, 7WC. La Figure 5-24 présente l'exemple des échantillons 7 WC et 6WC pour illustrer l'évolution de l'accélération RMS ainsi que les différents écarts types.

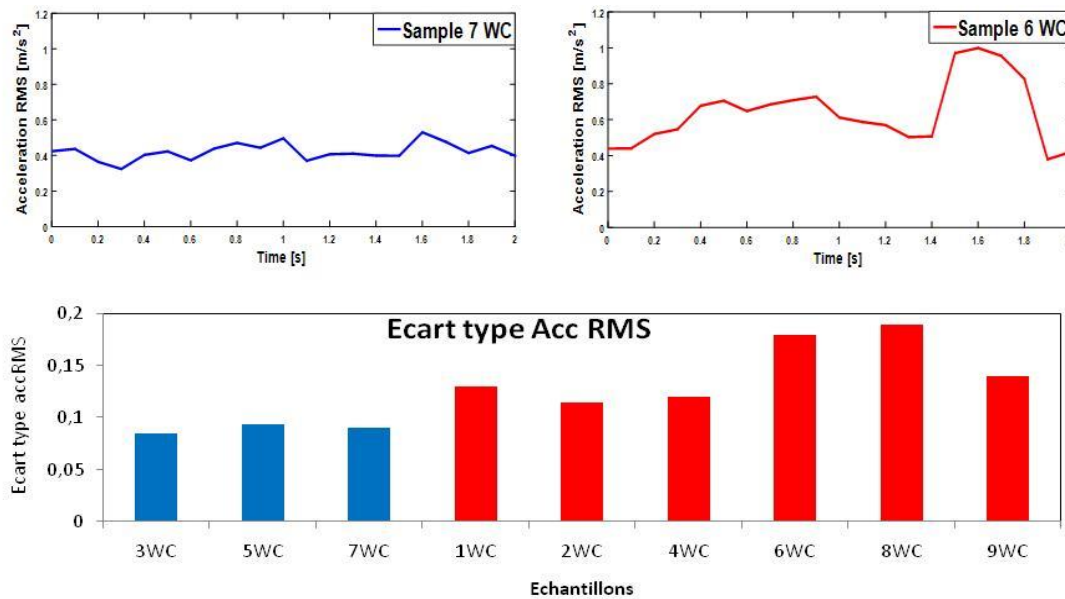


Figure 5-24 : Typologie des spectres d'accélération RMS

Ce résultat rend compte de la rugosité de surface. L'évolution temporelle de l'accélération RMS se révèle être un indicateur de la rugosité de surface. Pour les échantillons considérés, un faible écart type indique un faible contraste entre les différents patrons identifiés dans l'analyse topographique. En effet les échantillons 3WC, 5WC, 7WC rassemblés dans le groupe des échantillons « lisses » présentent dans la zone testée une alternance de gabarits de type B et C. Cette combinaison est celle perçue la plus lisse par le panel. Au contraire, un écart type de l'accélération RMS élevé indique un contraste de rugosité élevé entre les différents gabarits. Ceci est le cas des échantillons 1WC, 2WC, 4WC, 6WC, 8WC, qui présentent une alternance de patron A, A' et C, séquence visiblement perçue plus rugueuse.

- Selon la dimension 2

La dimension 2 porte 18% de la variabilité des échantillons. Dans la carte de perception tactile, les descripteurs n'ont pas permis de discriminer les échantillons. Nous nous sommes intéressés aux positions des échantillons ainsi qu'à leurs ellipses de confiance afin de montrer le lien avec le coefficient de frottement. Nous avons noté pour une partie des échantillons une évolution croissante du coefficient de friction en fonction de la position de l'échantillon sur la carte de perception moyenne tactile. Ce sont principalement les échantillons dont les ellipses sont les plus petites, et qui ont leur grand axe orienté selon la dimension 2. Il s'agit des échantillons 1 WC, 3WC, 4WC, 5 WC et 7 WC. Pour ce faire, nous avons exclu les échantillons avec les plus grandes ellipses. Nous avons tracé l'évolution du coefficient de friction en fonction de la position de ces échantillons selon la dimension 2. La Figure 5-25 présente les positions des échantillons selon la dimension 2, les valeurs de coefficient de friction ainsi que l'évolution du coefficient de friction en fonction de la position de l'échantillon.

Echantillons	Coordonnée selon l'axe Y (dim 2)	Coefficient de frottement
1 WC	2,97	0,954
3WC	-0,11	0,84
5WC	1,21	0,931
7WC	-1,27	0,864
4 WC	-3,40	0,754

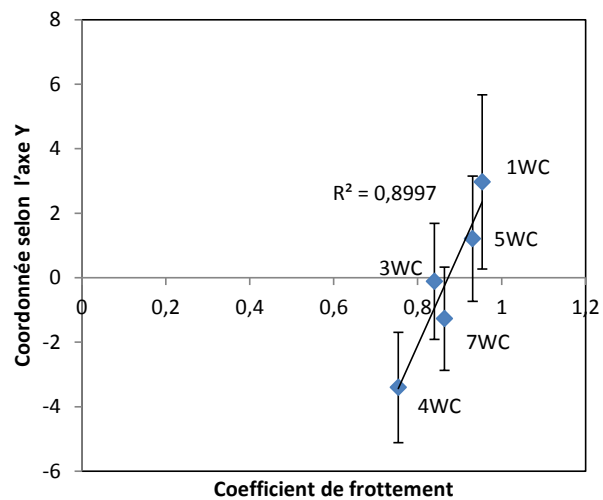


Figure 5-25: Evolution du coefficient de friction en fonction de la position de l'échantillon

Cette analyse révèle l'existence d'une corrélation linéaire entre le coefficient de frottement et la dimension 2 de la carte moyenne de perception tactile, avec un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,89$

Les échantillons des deux campagnes sont caractérisés par une signature tactile extrêmement similaire entre eux. Un indicateur sensoriel a été défini en calculant la valeur (moyenne au sens des moindres carrés) : RMS de l'accélération en fonction du temps. La variation de la valeur RMS de l'amplitude de vibration pendant le balayage de la surface permet de percevoir la variation de la topographie. Les résultats ont montré que l'amplitude du signal vibratoire demeure cohérente avec la topographie des échantillons. Pour la campagne contretypage bois (WC), les paramètres tribologiques ainsi que la carte de perception tactile ont permis de mettre en évidence 2 grands groupes d'échantillons : d'une part les échantillons « lisses » 3,5,7 ayant des AccRMS relativement constants avec peu de variation d'amplitude, et d'autre part les échantillons « rugueux » 1,2,4,6,8,9 dont la valeur RMS varie fortement pendant le balayage de la surface. En ce qui concerne le coefficient de frottement, une évolution croissante a été observée pour les échantillons « texturés », en lien avec les positions de ces échantillons sur la carte moyenne issue de la perception tactile. Il

ressort également de cette étude que la nature des matériaux influence grandement la perception tactile de la texture. En effet pour un matériau polymère à forte tendance autolubrifiante comme le polyuréthane (campagne réplique), la capacité à discriminer des échantillons de texture relativement proche est très faible, tant par l'approche sensorielle en perception tactile que par l'approche tribologique. Par contre, la discrimination de la même texture dans un matériau différent (campagne contretypage bois) est plus aisée.

5.5. Conclusion

Ce chapitre porte sur deux séries d'échantillons. La première série (WC), considérée comme familière, porte une forte référence à l'archétype du bois. La seconde série (R) quant à elle est considérée comme non familière. Pour étudier la perception de ces deux espaces produits, la technique du Napping® à travers un setup expérimental (NappOmatic) a été utilisée. Pour l'évaluation de texture de matériaux, le Napping®, tout comme pour des produits alimentaires s'est révélé rapide, intuitif, facile à mettre en œuvre pour collecter les données de perception de textures avec un panel non entraîné. Dans la première partie, il a été montré que, pour la campagne R, les modalités tactiles et visuelles montrent des aptitudes équivalentes dans la discrimination des échantillons. Ces observations sont cohérentes avec les conclusions de Jones et O'neil [28], Lederman et Abbott [29], Lederman et al[167], Picard [82] qui à leurs époques avaient trouvé des aptitudes équivalentes entre vision et toucher lors de l'évaluation de la rugosité de papier abrasif et de surfaces périodiques constituées de points en relief, surfaces textiles. Pour les échantillons de la campagne WC, la stratégie visuelle de discrimination est orientée par la détection des hétérogénéités de la texture (nœud, traits de scie..). Au vu de tous les principes sous-tendus par la Gestalt, les résultats obtenus dans la première partie ont confirmé que pour l'évaluation de texture, la modalité visuelle fera une évaluation en se focalisant d'abord sur les détails, puis reconstituera de manière globale la texture considérée. En condition visio-tactile, la stratégie d'identification semble orientée par l'identification à l'archétype du bois. La modalité visuelle a fourni des résultats très proches de la modalité visio-tactile, suggérant ainsi une dominance du visuel sur le tactile dans la perception globale visio-tactile. De plus, la modalité visio-tactile s'est révélée moins discriminante que la modalité visuelle. Ceci pourrait indiquer que, dans la construction de la perception visio-tactile de cette série d'échantillons familiers, les modalités tactile et visuelle encodent des informations qui ne sont pas forcément cohérentes, et donc la combinaison de ces dernières est dominée par la modalité jugée la plus performante. Finalement, les textures familières (WC) ont conduit à de meilleures performances en discrimination par rapport aux textures non familières. Ceci va dans le même sens que les conclusions issues de la littérature scientifique en sciences cognitives et comportementales, mais aussi en sciences de matériaux[93][89][92][90].

Partant du constat selon lequel les échantillons étaient difficilement discriminables du point de vue tactile, la deuxième partie de ce chapitre a présenté trois approches : topographie, analyse sensorielle et tribologie tactile complémentaires qui permettent de mieux comprendre des mécanismes de perception tactile de textures de matériaux. Les résultats ont permis de souligner le rôle fondamentale des vibrations induites dans la perception des textures de matériau, et la corrélation existante entre paramètres vibrationnels et tribologiques objectifs avec la perception tactile. Il faudrait tout de même préciser que, les textures évaluées dans cette étude étaient très similaires du point de vue topographie. Malgré la particularité de cet espace produit, les informations provenant des vibrations induites se sont montrées cohérentes avec la discrimination tactile des

échantillons. Ce type d'informations peut permettre d'améliorer les processus de conception des textures en fonction de la sensation que l'on souhaite obtenir. Le test de perception tactile réalisé avec un panel humain a montré une faible discrimination des échantillons. La topographie et les indexes vibratoires et tribologiques identifiés peuvent permettre de prédire la perception tactile des surfaces.

6. Perception et identification des matériaux et textures en design de produit

6.1. Introduction

Parmi tous les leviers dont disposent les différentes entreprises pour générer de la valeur, l'un d'entre eux est le design sensoriel. Alors que le design industriel participe à l'obtention d'un objet sériel, le design sensoriel, qui se positionne dans le prolongement du premier, s'attache à la perception que le consommateur aura de l'objet, du produit, de l'espace, et du procédé. Selon Bassereau et al [1], il constitue une étape fondamentale de la maîtrise des variables de la conception d'un produit qui sera perçu, depuis sa conception, son développement jusqu'à sa fin de vie. La matière ou matériau est au cœur de la conception d'un objet. Le choix d'un matériau peut influencer l'interaction entre l'utilisateur et l'objet produit [4]. Dans plusieurs domaines de l'industrie, à cause de contraintes d'ordre techniques, il n'est pas toujours possible d'effectuer des tests de perception des matériaux/textures sur les produits finis. On peut utiliser des objets miniatures lorsque cela est possible, des images, des formes anonymes qui se rapprochent de l'objet fini. Cette pratique s'observe dans plusieurs domaines de l'industrie tels que l'automobile, le packaging, le gros électroménager etc. Par exemple Picard [58] a travaillé sur la perception tactile des matériaux de siège automobile. Pour réaliser ce test, elle a utilisé des pièces de matériaux de dimension 20*25 cm, et non des sièges automobiles entiers. Faye[104] a également travaillé sur des matériaux de l'industrie automobile, et les échantillons ont été présentés non pas dans leur contexte d'utilisation, mais sous forme de pièces de 21*29,7 cm. Toujours dans le domaine automobile, dans le cadre de travaux de thèse avec un industriel, Passaro [110] a travaillé sur la perception de matériaux grainés utilisés dans les planches de bord de véhicule Dacia. L'objectif du test était d'évaluer la qualité perçue visuelle de matériaux injectés grainés. Étant donné qu'il n'est pas possible de soumettre aux panélistes des planches de bord pour effectuer les tests pour des raisons évidentes de coût de manipulation. Comme le veut l'usage dans cette entreprise, elle a donc utilisé des inserts galbés (voir Figure 6-1). Les inserts galbés ici permettraient non seulement d'avoir une grande surface grainée à tester, mais leur forme à double courbure permettrait de mieux percevoir le rendu esthétique et la pièce, leur forme se rapprocherait de celle d'un tableau de bord, permettant ainsi une meilleure mise en situation pour le testeur (panéliste).

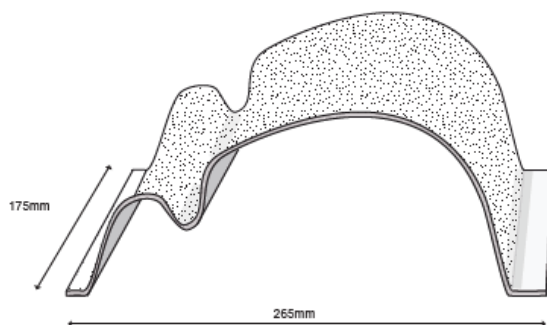


Figure 6-1 : Insert galbé utilisé pour le test de perception de texture de tableau de bord automobile[110]

De même, dans le domaine du packaging, on teste dans un premier temps des matières anonymes, puis on les met en forme dans un second temps pour remplir leur fonction d’emballage. Il est donc courant de réaliser des tests de perception sur des pièces de matériaux. Les conclusions issues de cet espace produit sont alors généralisées à l’objet dans son contexte d’application. On suppose que si la texture est perçue d’une certaine manière de façon anonyme, sa mise sous forme d’objet ne changera pas forcément la manière dont elle est perçue. Face à une telle hypothèse, la question du biais introduit par la mise en forme est toujours en suspens. Pour tenter répondre à cette question, notre étude a pour but de trouver un jeu d’échantillons pour étudier spécifiquement le biais introduit par la mise en forme. C’est pourquoi nous avons choisi un objet de petite taille, en interaction tactile directe dans la vie courante, de préférence simple voire mono matériaux et pour lequel on peut extraire facilement le matériau anonyme. Cette étude s’intéresse donc à l’influence du contexte d’identification d’objet sur la perception du matériau/texture, en d’autres termes, le contexte dans lequel le matériau est utilisé sous forme d’objet identifié ou alors le contexte dans lequel le matériau est présenté de manière anonyme. L’objectif de cette étude de comparer les perceptions de textures dans les contextes différents.

6.2. Matériels

12 coques de téléphones ont été utilisées pour former les 2 espaces produits analysés dans cette étude. Le premier espace produit est constitué des coques de téléphones de dimension 12*6 cm (série « O » pour objet). Le deuxième espace produit est constitué de 12 échantillons circulaires de diamètre 5cm, prélevés des précédentes coques de téléphones (série « A » pour anonyme). Pour une description détaillée des échantillons, se reporter au chapitre 2. La Figure 6-2 présente les textures analysées dans ce chapitre.

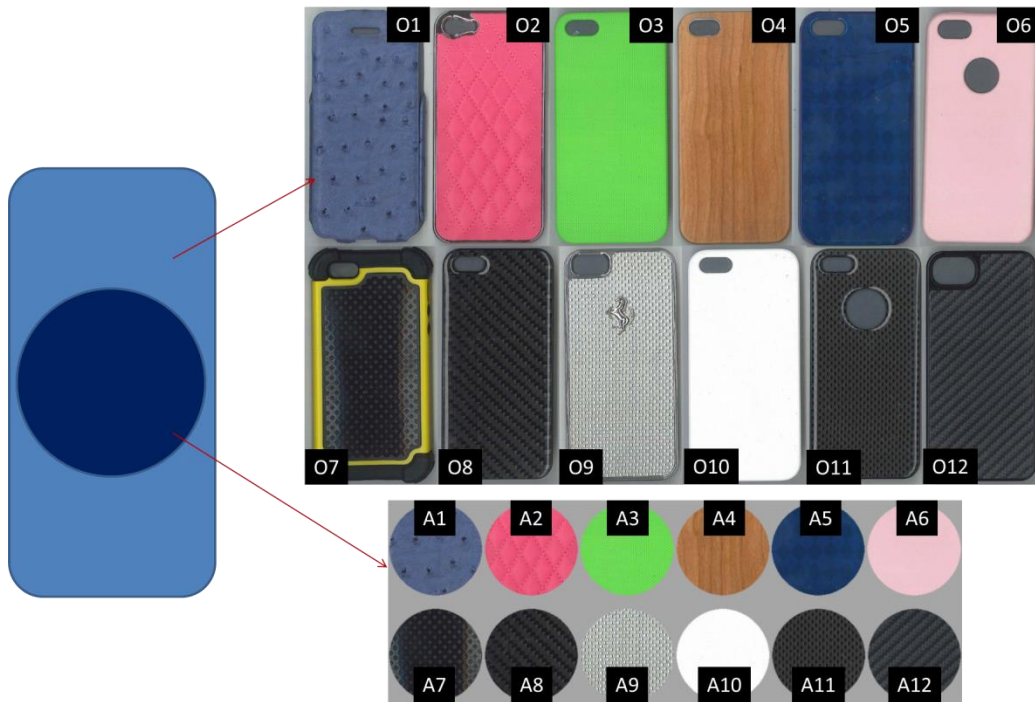


Figure 6-2 : Présentation des textures-objets et textures-anonymes

6.3. Méthodes

Pour recueillir les données de perception, la technique du Napping® a été utilisée. Le dispositif NappOmatic utilisé est présenté en Figure 6-3. Comme décrit précédemment, c'est une méthode d'évaluation sensorielle rapide et facile à mettre en œuvre qui permet de recueillir les similarités et les différences entre différents échantillons d'un espace produit.

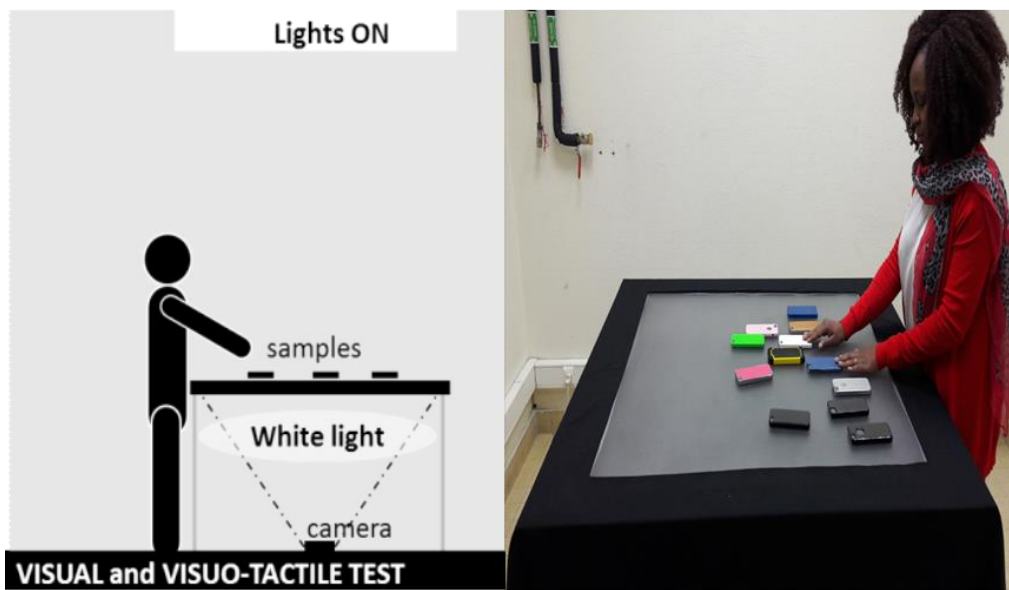


Figure 6-3 : NappOmatic utilisé pour le test en condition visio-tactile

Le test s'est fait en condition visio-tactile pour la simple raison que la perception humaine est multisensorielle, et nous voulions avoir des conditions le plus près possible du contexte de perception habituel. Lorsqu'on perçoit les objets du quotidien, tous les sens contribuent à la construction de l'image sensorielle. Pour les deux séries d'échantillons, instruction a été donnée aux sujets de disposer les échantillons sur la table de travail de manière à ce que les échantillons perçus similaires en termes de texture soient proches, et ceux perçus différents soient éloignés. Pour chaque « groupe » formé, il a également été demandé de donner des mots pour décrire la texture.

23 sujets ont participé à ce test. Les sujets ont été divisés en 2 groupes : un premier groupe avec pour séquence texture-objet en premier et texture-anonyme en second, et le deuxième groupe avec pour séquence texture-anonyme en premier et texture-objet en second. Ce choix a été fait afin de rechercher s'il existe une influence de l'ordre de présentation sur la perception de la texture. En d'autres termes, le fait de voir la texture sous forme d'objet en premier pourrait-elle modifier la manière dont on perçoit cette texture quand elle est présentée de manière anonyme et vice-versa.

Table 6-1 : Ordre de présentation des échantillons aux deux groupes de sujets

Ordre de présentation	Premier	Second
Groupe 1	A1	O2
Groupe 2	O1	A2

6.4. Résultats

6.4.1. Traitement des données numériques

Lors du test de perception, les échantillons ont été présentés aux sujets de 2 manières. Un premier groupe de 12 sujets a évalué les textures-anonymes avant les textures-objets, et le deuxième groupe de 11 sujets a fait le contraire, c'est-à-dire que les textures-objets leurs ont été présentées dans un premier temps, puis les textures-anonymes dans un second temps. Cette stratégie a été envisagée afin de savoir si l'ordre de présentation pourrait avoir une influence sur la manière dont les sujets perçoivent les textures de matériaux grâce notamment à l'effet de mémoire. Nous avons donc, dans un premier temps traité les données séparément pour chaque groupe, puis nous avons fusionné les jeux de données pour chaque contexte afin d'avoir une vue plus globale pour la comparaison des deux contextes.

6.4.1.1. Cartes moyennes de perception

Pour chaque sujet, une carte de perception a pu être collectée automatiquement grâce au dispositif NappOmatic. Cette carte, comme décrite précédemment, contient les positions des différents échantillons, ainsi que les « descripteurs » de texture donnés à chaque groupe formé. Par analyse factorielle multiple, les cartes moyennes de perception ainsi que les ellipses de confiance ont été construites (Figure 6-4, Figure 6-5). Pour toutes les configurations, le premier plan factoriel porte au moins 60% de la variabilité de l'espace produit.

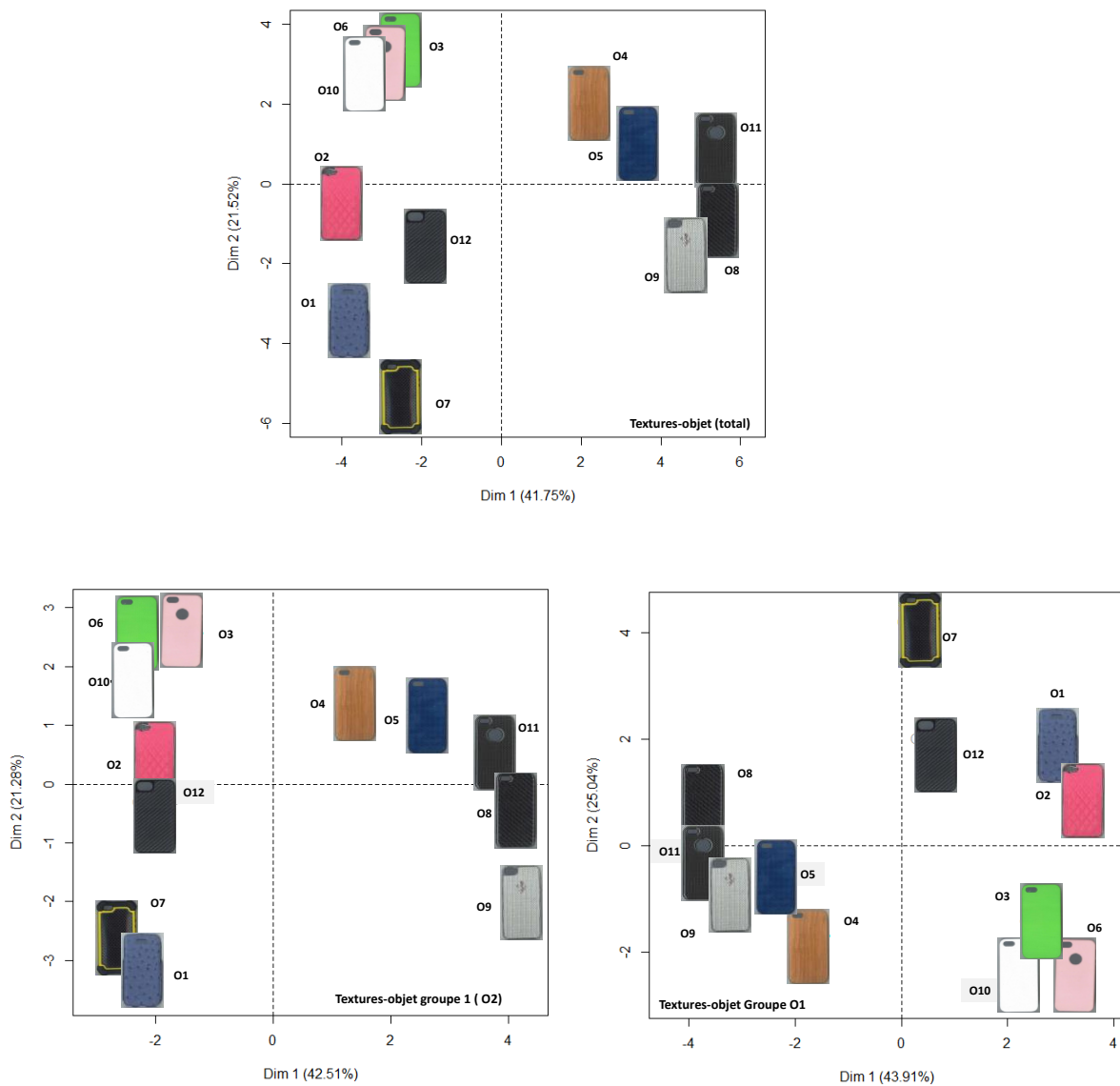


Figure 6-4 : Cartes moyennes de perception dans le contexte textures-objets. Pour l'ensemble du panel (total), pour le groupe 1 (O2) et pour le groupe 2 (O1)

Dans le contexte objet, les cartes moyennes de perception résultant des jeux de données partiels et du jeu de données global montrent de grandes similitudes plus dans la composition des différents clusters d'objets que dans leur position. Ainsi dans les trois configurations on peut voir apparaître les clusters suivants :

- (#1#2#7#12) ce cluster est divisé en 2 selon la configuration, mais les 4 éléments qui le compose sont relativement proches quelque soit la configuration.
- Ensuite les clusters (#3#6#10), et (#5#11#8#9).
- La texture #4 est quant à elle toujours très proche du cluster (#5#11#8#9).

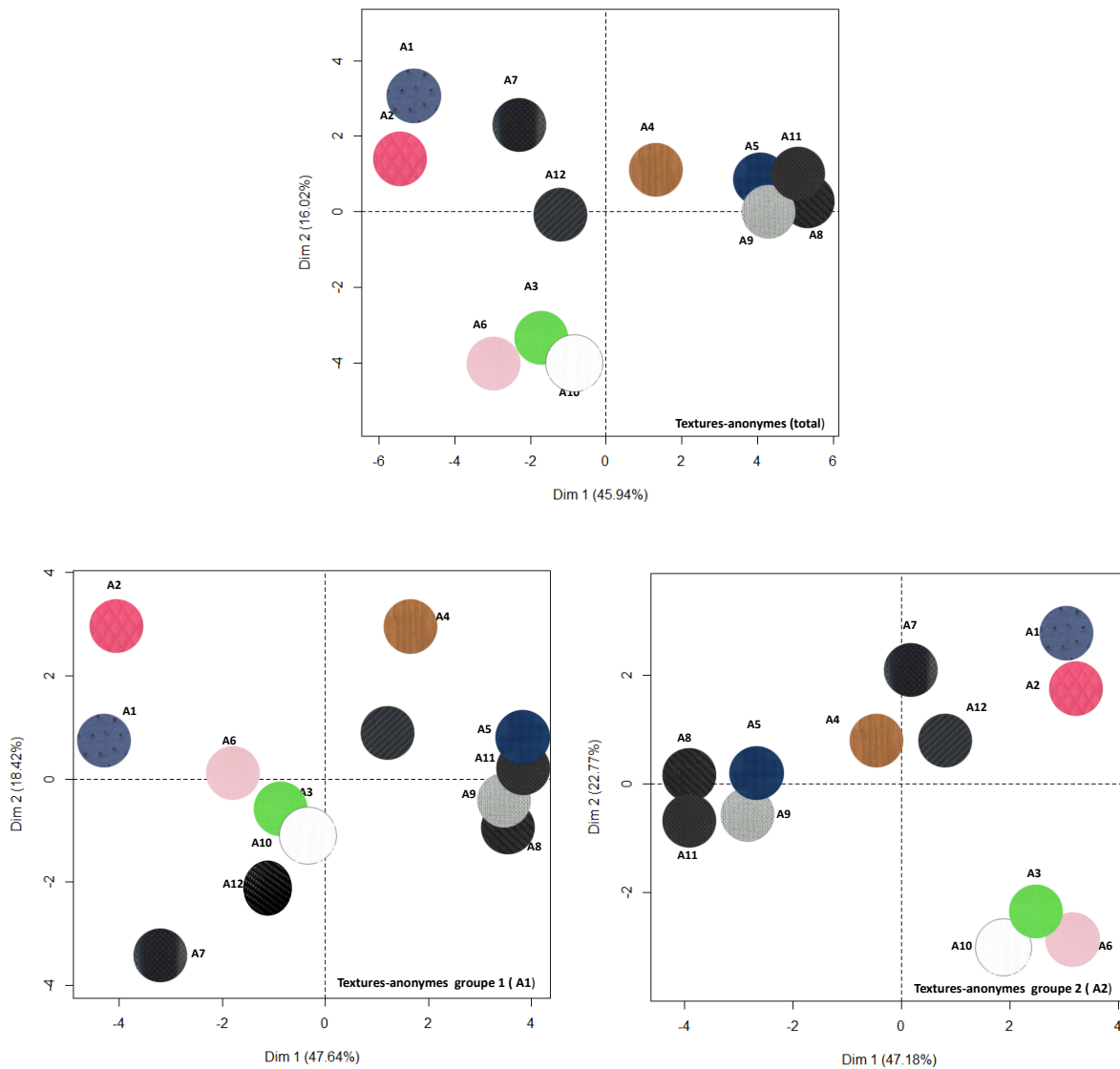


Figure 6-5 : Cartes moyennes de perception dans le contexte textures-anonymes. Pour l'ensemble du panel (total), pour le groupe 1 (A1) et pour le groupe 2 (A2)

Dans le contexte matériau anonyme, les cartes moyennes de perception résultant des jeux de données partiels et du jeu de données global montrent également de grandes similitudes plus dans la composition des différents clusters d'objets que dans leur position. Les compositions des clusters sont très proches du contexte texture-objet, mais la position de la texture # 4 varie d'une configuration à l'autre. Cette texture marque comme une séparation entre les textures « visuelles » et les textures « tactiles ».

6.4.1.2. La similitude entre les cartes moyennes de perception

Pour mesurer la similarité entre les différentes cartes de perception, les coefficients RV ont été calculés. Ces coefficients ont été calculés entre les cartes textures-objets groupe 1 et textures-objets total (O2 et O), textures-objets groupe 2 et textures-objets total (O1 et O), textures-anonymes groupe 1 et textures-anonymes total (A1 et A), textures-anonymes groupe 2 et textures-anonymes total (A2 et A), textures-anonymes groupe 1 et textures-objets groupe 2 (A1 et O1, effet de

mémoire), textures-anonymes groupe 2 et textures-objets groupe 2 (A2 et O1), enfin entre textures-anonymes total et textures-objets total (A et O). Les valeurs obtenues figurent en annexe 4 et sont présentées dans le Figure 6-6.

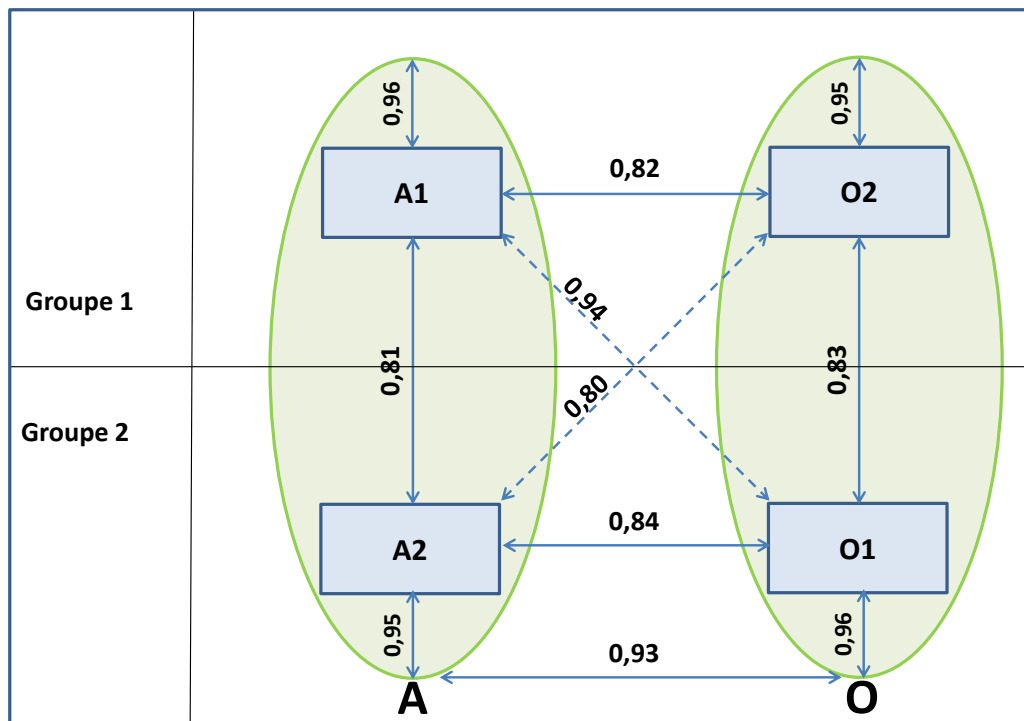


Figure 6-6 : Présentation des coefficients RV entre les différentes cartes moyennes de perception

Globalement, les différents coefficient RV sont de l'ordre de 0,80. On a donc des coefficient relativement élevés, ce qui traduit une grande similitude des différentes cartes de perception. Dans le contexte objet, les différents coefficients RV entre la carte globale et les cartes partielles sont élevés. La composition des différents clusters d'objets varie très peu dans les 3 configurations. De part et d'autre de la dimension 1, on a toujours d'une part les échantillons « lisse » sans relief tactile, et d'autre part les échantillons présentant du relief tactile. De plus la carte du groupe 1 affiche plus de similitude (valeur du coefficient RV plus élevée) par rapport à la carte moyenne globale aussi bien dans la position que dans la composition des clusters d'objet.

Lorsqu'on présente les textures - anonymes en premier, on considère qu'on fait un focus sur le matériau (groupe 1). A l'inverse, lorsqu'on présente les textures-objet en premier, on considère que l'on fait un focus sur l'objet (groupe 2). Ainsi lorsqu'on compare les cartes « focus objet » (groupe 2), on retrouve les mêmes clusters de texture, en dehors de la texture #4 (bois) dont la position varie quelque peu. Par contre, dans les cartes « focus matériau » (groupe 1), il apparait plus de différences dans les cartes textures-anonymes et textures-objets. La texture #4 est isolée en configuration anonyme, alors qu'elle se rapproche du cluster des textures « visuelles » (#5#11#8#9) en configuration objet. Les textures (#2,#1) forment un cluster de même que (#7,#12) en configuration textures-objets, et ces clusters ne se retrouvent pas en configuration textures-anonymes.

6.4.1.3. Les ellipses de confiances

Pour avoir plus d'information sur la discrimination des textures, les ellipses de confiances autour des positions des différentes textures ont été construites (Figure 6-7,

Figure 6-8).

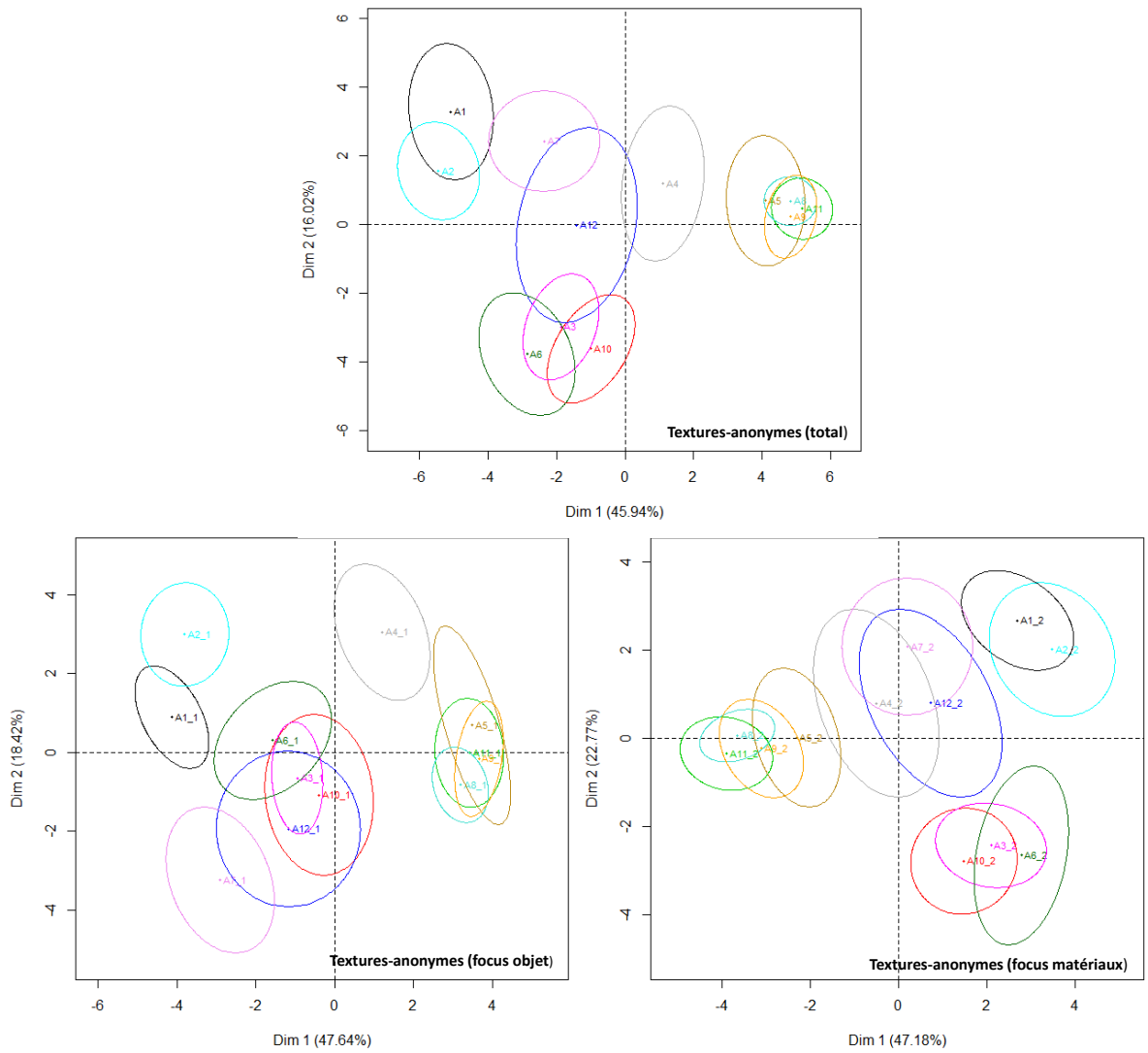


Figure 6-7 : Ellipses de confiance autour des positions des textures-anonymes en contexte global, focus objet et focus matériau

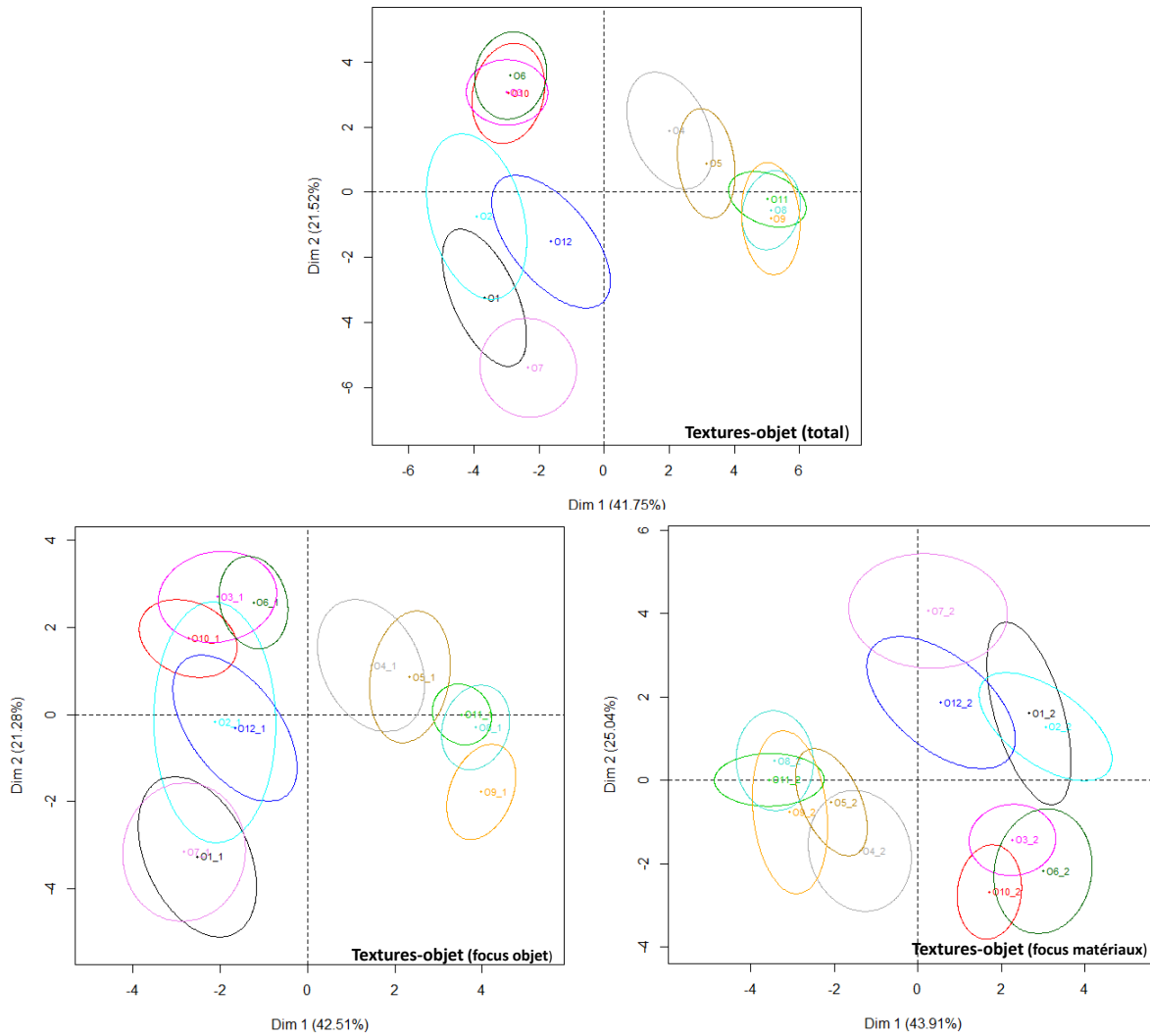


Figure 6-8: Ellipses de confiance autour des positions des textures-anonymes en contexte global, focus objet et focus matériau

Quelque soit la configuration considérée, le cluster formé des textures #5#8# #9#11 est celui qui présente les tailles d'ellipses les plus petites, et peut donc être considéré comme celui qui fait le plus l'unanimité au sein du panel. La texture #2 fait moins consensus en configuration objet car elle présente l'ellipse la plus grande sur la carte (texture objet focus objet). Ceci pourrait être dû à l'effet de surprise d'envisager une telle texture dans ce type d'objet. La texture #12 dans le contexte textures-anonymes présente l'ellipse la plus grande, de même que dans le contexte textures-objets sa taille est parmi les plus élevées. La perception de cette dernière ne fait pas consensus d'un sujet à l'autre, mais elle est cohérente d'un contexte à l'autre. Lorsqu'on fait un focus objet, la texture #4 en contexte textures-anonymes est la mieux discriminée, car elle est la seule à avoir son ellipse qui ne se chevauche avec aucune autre. Globalement, dans les configurations partielles, les tailles et chevauchement d'ellipses sont comparables à la configuration totale, mais pour les échantillons particuliers tels que #4, le focus objet permet de mieux visualiser la perception.

Etant donné que les différentes cartes sont relativement proches en termes de cluster, nous allons poursuivre l'analyse avec les jeux de données globaux anonymes (A) et objets (O).

En complément des premières analyses, nous nous sommes aussi intéressés à la durée du test, aux différents groupes formés dans les deux contextes anonymes et objets, aux classifications hiérarchique et aux ellipses de confiances.

6.4.1.4. La durée du test

Les différentes durées du test ont été enregistrées. Il s’agit du temps nécessaire pour disposer les échantillons et donc construire la carte, ainsi que le temps nécessaire à la production des descripteurs ou verbalisation. La Table 6-2 présente les différentes durées moyennes enregistrées en secondes.

Table 6-2 : Durée en secondes du test

	Textures- anonymes			Textures-objets		
	Disposition	Verbalisation	Total	Disposition	Verbalisation	Total
Moyenne(s)	133,59	195,81	329,40	133,59	133,59	133,59
Ecart type (s)	108,46	119,04	188,91	108,46	108,46	108,46
Min(s)	40	25,8	66	40	40	40
Max(s)	540	520,8	873,6	540	540	540

Dans la Table 6-2 on peut voir que la durée moyenne du test est légèrement inférieure pour les texture-objets. Les sujets mettent en moyenne moins de temps à construire les cartes et à générer les descripteurs lorsqu’ils ont en face d’eux les textures-objets. D’après l’analyse de variance, $F_{calculée} < F_{Seuil}$. L’analyse de variance sur la durée moyenne des tests pour les textures-anonymes et les textures-objets montre que la différence entre les deux durées moyennes est significative.

6.4.1.5. Le nombre de groupes formés

Nous avons porté un intérêt au nombre de groupes formés sur les cartes, ainsi qu’au nombre d’éléments contenus dans ces groupes. La Figure 6-9 présente des histogrammes de ces nombres d’éléments par groupe et du nombre de groupes formés par les sujets

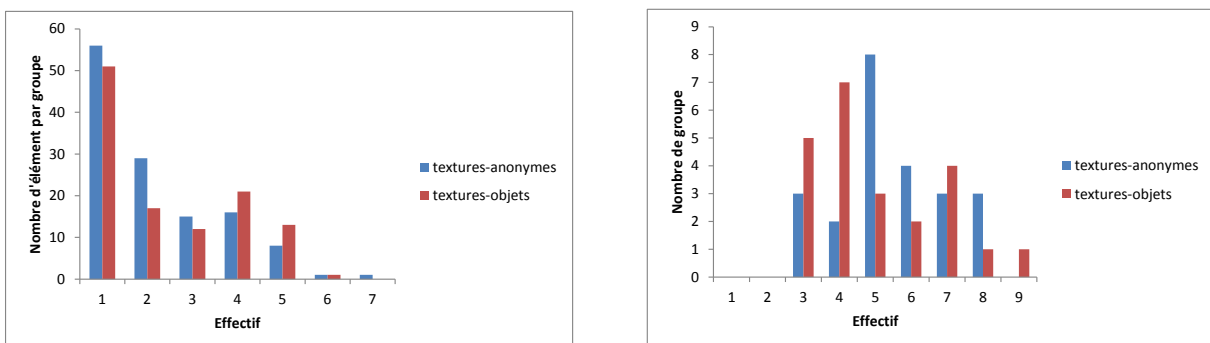


Figure 6-9 : Nombre d’éléments par groupe(a) et nombre de groupe par sujet (b)

Pour ce qui est du nombre d’éléments, on constate qu’on a jusqu’à 7 éléments par groupe pour les textures-anonyme et 6 éléments pour les textures-objets. Quant au nombre de groupe formé par les sujets, on constate que pour les échantillons, les sujets ont formé jusqu’à 8 groupes pour les

textures-anonymes, et 9 groupes pour les textures-objets. En moyenne on a 4 à 5 groupes pour les textures-anonymes et 3 à 4 groupes pour les textures-objets. Les valeurs sont relativement proches pour les 2 contextes.

6.4.1.6. La classification hiérarchique

La CAH représente de manière globale les différents clusters formés par les sujets sur l'ensemble du panel. La Figure 6-10 présente les dendrogrammes obtenus pour les deux contextes.

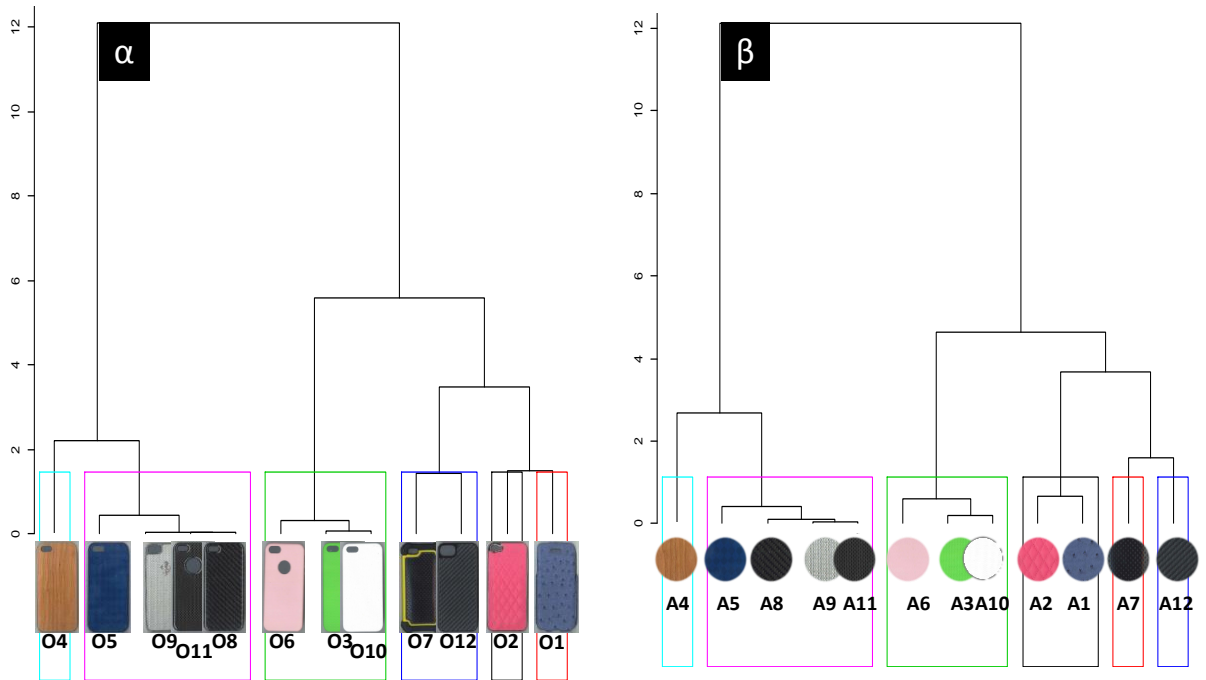


Figure 6-10 : Clustering hiérarchique pour les données numériques

Pour les deux contextes, on peut se rendre compte d'une grande similarité dans la position des échantillons. Les partitions finales sont quasiment identiques. En dehors des textures contenues dans le cluster #1#2 et #7#12 qui ont des positions inversées dans le dendrogramme, tous les autres clusters ont la même position.

6.4.1.7. Les ellipses de confiance sur les données globales

Les ellipses de confiance des deux contextes (Figure 6-7, figure6-8) sont relativement proches. On peut tout de même remarquer que les tailles des ellipses sont globalement plus importantes pour les textures-anonymes par rapport aux textures-objets. Ceci pourrait suggérer un consensus plus faible dans la perception des textures-anonymes par rapport aux textures-objets. Les différentes positions des barycentres ont été analysées afin d'avoir plus d'informations sur la discrimination des échantillons (voir Table 6-3).

Table 6-3 : Positions des barycentres et recouvrement des ellipses de confiance pour les textures-objets et les textures-anonymes.

Texture	Position des barycentre		Recouvrement	
	Texture-objet	Texture -anonyme	Texture-objet	Texture -anonyme
#1	1	0	2	2
#2	0	1	2	1
#3	1	1	2	2
#4	0	1	1	1
#5	1	3	2	3
#6	1	1	2	1
#7	0	0	1	2
#8	2	3	2	3
#9	2	3	2	3
#10	2	1	2	1
#11	2	3	3	3
#12	0	4	1	5
Total	12	21	22	27

Pour les textures-objets, les textures #2, #4, #7, #12 n'ont leur barycentre compris dans aucune autre ellipse. Pour textures-anonymes les échantillons #1 et #7 n'ont leur barycentres contenus dans aucune autre ellipse. On a plus de barycentres contenus dans d'autres ellipses pour textures-anonymes par rapport aux textures-objets. Quant aux recouvrements d'ellipses, on en a 22 pour les textures-objets contre 27 pour textures-anonymes. Ces observations suggèrent une meilleure discrimination des textures-objets par rapport aux textures-anonymes. La **mise en forme** suggérerait des dimensions supplémentaires qui permettent d'avoir plus de critères de discrimination des textures.

L'analyse des différentes cartes moyennes de perception, malgré leurs similitudes montre des différences induites par le contexte de perception. Pour analyser plus en détail ces différences nous allons à présent nous intéresser aux données textuelles fournies par les sujets pour décrire les différentes textures dans les deux contextes.

6.4.2. Traitement des données textuelles : discrimination des textures basées sur les mots : Usage des mots libres dans les expériences de Napping®

L'usage du Napping® pour collecter les données sur la perception des matériaux et des textures présente l'avantage de fournir des données à la fois numériques (sur les positions des échantillons) et textuelles (les descripteurs). Après avoir construit les cartes de perceptions, les sujets doivent donner des mots décrivant les différentes textures des groupes d'échantillons qu'ils ont formés. Les mots sont générés de manière totalement libre, et varient d'un utilisateur à l'autre. Le vocabulaire employé pour une texture n'est pas forcément le même que pour la seconde texture. L'usage des mots pourrait donc être envisagé comme une exploration complémentaire des expériences de type Napping®. Tel que le Napping® se conçoit, l'usage des mots permet à donner un sens aux principaux axes de discrimination fournie par l'AFM. Cette étude explore un autre usage possible des mots en utilisant des techniques de fouille de texte ou data mining. Ainsi l'exploration des données textuelles a été faite grâce au logiciel R, en utilisant les packages **wordcloud**, **string**, **textir**, **lsa**, **tm**.

Pour analyser les mots générés par les 23 sujets qui ont participé à l'étude, la démarche suivante a été adoptée :

- On récupère tous les mots générés pour les textures-objets et pour les textures-anonymes.
- On a donc 2 fichiers (2 corpus) : un pour les textures-objets et l'autre pour les textures-anonymes.
- On calcule la fréquence des mots et les concepts et représentations faciles à comprendre (nuages de mots, co-occurrence des mots).
- A chaque « matériau » ou « matière » on associe un vecteur avec la fréquence des mots qui le caractérisent.
- Grâce à ces aux vecteurs numériques, on peut alors calculer les distances entre les « matériaux » (euclidienne, binaire, cosinus).
- On fait le clustering hiérarchique à partir des distances calculées.
- On compare la classification hiérarchique obtenue à celle issue des données numériques. On identifie la distance qui se rapproche le plus de celle des données numériques. Elle est retenue pour la suite des calculs.
- On construit un grand corpus en fusionnant les deux corpus.
- On compare pour chaque matériau sa représentation en mots texture-objet et en mots texture-anonyme à travers un calcul de distance.

Les mots générés par les panélistes ont été collectés. Ce sont des mots simples (ex : lisse) ou des mots composés (ex : peu lisse). On appellera terme le mot et groupe de mots utilisé par un testeur pour caractériser un échantillon. Nous considérons par exemple que *lisse* est un terme et *peu_lisse* un autre terme, par contre *peu* n'est pas un terme car il n'est pas utilisé seul.

Contrairement à l'étude de Deneulin et al [168] aucun rapprochement sémantique, ni de substitution de synonyme n'a été opéré sur ces mots, à cause d'une volonté de ne pas modifier les données brutes, et de conserver les données « spontanées » générées par le panel. La liste des termes avec leurs différentes fréquences d'apparition est présentée en annexe 4. Deux grands corpus ont été construits. Le premier corpus contient pour chaque « matériau » tous mots générés par le panel pour les textures-objets (130 mots), et le deuxième corpus contient tous les mots générés pour les textures-anonymes (137 mots). On constate ainsi que les ensembles des termes pour les deux contextes ne se superposent pas, ils ont en commun un ensemble de 27 mots.

Dans second temps nous avons mis en place le calcul de fréquence des termes. Nous avons éliminé les termes qui apparaissent une seule fois car ces termes ne vont pas avoir une quelconque influence sur les résultats finaux. La Figure 6-11 présente les nuages de mots contenant les 100 premiers termes pour les textures-objets et les textures-anonymes.

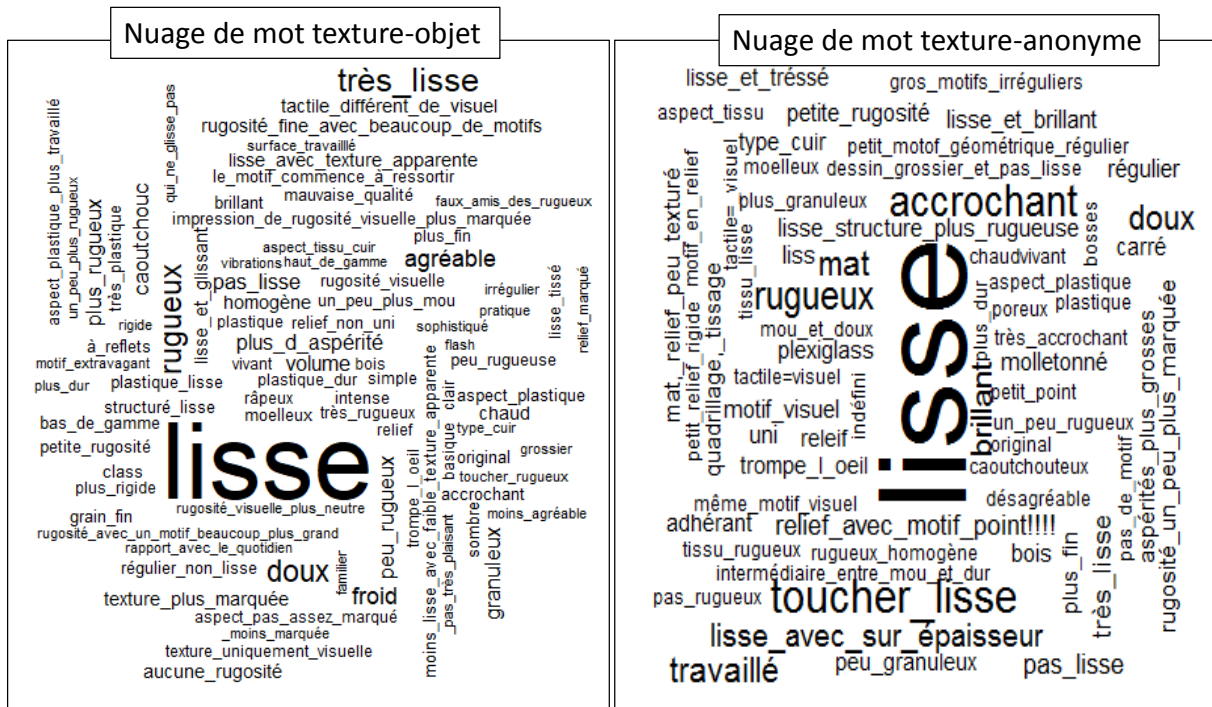


Figure 6-11 : Nuages de point des 100 premiers termes pour les textures-objet et les textures -anonymes

Le nuage de mots permet de visualiser directement l'ensemble des termes dans les deux contextes, tout en ressortant les termes les plus fréquents car la taille de police est proportionnelle à la fréquence du mot. Ainsi on peut par exemple voir que dans le contexte texture- objet, les mots doux, froid, pas_lisse sont parmi les plus cités, tandis que dans le contexte texture-anonyme, les mots lisse, toucher-lisse, accrochant sont parmi les plus cités. On peut également voir les différences dans les deux contextes car après les moins premiers qui sont communs, les deuxièmes sont déjà différents.

La matrice des descripteurs a été traitée dans les deux sens : par ligne pour avoir les descripteurs donnés pour un utilisateur et finalement mesurer la similarité de perception entre utilisateurs et par colonne pour repérer les matériaux similaires et se rendre compte des différences de perception. Nos deux corpus explorés ont chacun 12 documents, un document est rattaché à un matériau et est obtenu par la concaténation des termes qui lui sont associés par les 23 utilisateurs. Pour chaque jeu d'échantillons, nous avons relevé les termes les plus fréquents. Nous avons relevé les 10 premiers termes (voir Figure 6-12).

Figure 6-12: Liste des 10 premiers termes dans les deux contextes

N°	Mots textures-objets	Fréquences	Mots textures-anonymes	Fréquences
1	lisse	56	lisse	44
2	très_lisse	13	toucher_lisse	44
3	doux	12	accrochant	10
4	rugueux	12	mat	10
5	agréable	8	rugueux	8
6	froid	8	bas_de_gamme	7
7	caoutchouc	7	doux	7
8	Pas_lisse	7	travaillé	7
9	granuleux	6	brillant	6
10	peu_rugueux	6	Pas_lisse	5

Dans la liste des 10 premiers termes utilisés dans les deux contextes, seuls 4 sont communs : *lisse*, *doux*, *rugueux*, *pas-lisse*, mais avec des fréquences d'utilisation différentes. Ceci montre que les termes utilisés pour décrire les textures varient d'un contexte à l'autre. Pour illustrer cette différence, nous avons analysé l'association entre les mots (recherche des corrélations entre les termes) dans les deux contextes, et nous les avons comparés. La fonction ***findAssocs ()*** disponible dans le package ***tm*** de R permet de rechercher et retrouver les termes fréquemment associés à un autre. Cette fonction prend trois arguments :

- *TermDocumentMatrix* représentant le corpus exploré avec les documents et les termes contenus ;
- term qui correspond à un (ou plusieurs) terme source. C'est le terme pour lequel on va rechercher les mots qui lui sont associés ;
- corlimit : un vecteur numérique, comprenant une limite minimum (comprise entre 0 et 1) de corrélation entre le terme de *term* et les autres éléments du corpus. Par exemple un seuil de corrélation fixé à 0.5 va rechercher dans le corpus, tous les termes qui co-occurrent avec le terme source au moins à 50%. Nous avons donc effectué une recherche de corrélation

Pour les termes « *lisse* » et « *rugueux* » à un seuil de 0.5, l'ensemble des termes corrélés aux termes « *lisse* » et « *rugueux* » est présenté en annexe 4. Lorsqu'on compare la liste des termes corrélés aux termes « *lisse* » et « *rugueux* » dans les deux contextes, on se rend compte que la liste et les taux d'occurrence sont différents. Ceci montre que l'usage des mots dans les deux contextes est relativement différent.

Pour chaque texture, à partir du corpus considéré (textures-objets ou textures-anonymes), il est également possible de ressortir les mots qui caractérisent chaque échantillon grâce à la fonction ***summary***. Cette fonction retourne le résumé détaillé d'une analyse. Nous avons donc collecté pour chaque texture, dans les deux contextes les 4 premiers mots donnés par les panélistes (voir annexe 4). Les éléments du tableau en annexe 4 montrent comme les éléments précédents les différences de perception qui découlent du contexte. Pour une même texture, les termes utilisés dans le contexte objet et dans le contexte anonyme ne sont pas identiques.

La première exploration des mots générés par le panel montre de grandes différences dans les deux contextes. Pour analyser davantage les données textuelles, nous allons faire une analyse hiérarchique.

La classification ascendante des données numériques a été faite grâce aux distances euclidiennes avec la méthode de **Ward**. Pour les données textuelles, nous avons testé plusieurs

distances (binaire, euclidienne, cosinus), avec plusieurs méthodes (complète, médiane, Ward). Les dendrogrammes obtenus ont été comparés à ceux provenant des données numériques. Après comparaison, l'agrégation à partir de la distance basée sur une fonction cosinus avec la méthode de Ward s'est montrée très proche de celle des données numériques. De plus, la fonction cosinus est fréquemment utilisée en tant que mesure de ressemblance entre deux documents dans le domaine de la fouille de texte. On utilise ici la similarité cosinus qui permet de calculer la similarité entre deux vecteurs à n valeurs en déterminant le cosinus de l'angle entre eux. La mesure d'angle entre deux vecteurs ne pouvant être réalisée qu'avec des valeurs numériques. Pour convertir les mots d'un document en nombre, on part d'un index correspondant aux mots présents dans les documents puis on attribue à ces mots des valeurs. En règle générale, pour mesurer finement la similarité entre des séquences de texte, les vecteurs sont construits d'après un calcul de type TF-IDF (*termfrequency-inverse document frequency*) qui permet d'estimer l'importance d'un mot par rapport au document qui le contient, en tenant compte du poids (fréquence d'apparition) de ce mot dans le corpus complet. La distance cosinus s'écrit de la manière suivante :

$$dist(d1, d2) = 1 - \frac{\cos(d1, d2) + 1}{2}$$

Équation 6-1 : Formule de la distance cosinus entre les deux représentations $d1$ et $d2$

La valeur de cette fonction distance varie entre 0, pour les représentations similaires, et 0.5 pour des représentations qui sont très différentes. Une représentation peut concerner soit les termes sur un matériau dans une texture ou les deux à la fois, soit un utilisateur qui décrit tous les objets d'une texture ou tous les objets. On parlera par la suite des mots textures-objets ou mots textures-anonymes ou des mots utilisateur-textures-anonymes ou utilisateur-textures-objets.

A partir de la matrice de distance des mots texture-anonymes et de celle des mots texture-objet, on recherche les distances maximum et minimum entre les différentes textures. L'exploration de ces matrices donne les résultats suivants :

- Pour les textures-anonymes :
 - distance minimum = 0.015 entre les textures #11 et #9
 - distance maximum = 0.5 entre : #7 et #9 ; #7 et 4# ; #7 et #5 ; #7 et #11
- Pour les textures-objets :
 - distance minimum = 0 entre les textures #8 et #9
 - distance maximum = 0.49 entre les textures #4 et #7

Les matrices de distance cosinus permettent de construire la classification hiérarchique relative à la perception des différentes textures dans chacun des contextes. Les dendrogrammes obtenus à partir des deux corpus sont présentés ci-après.

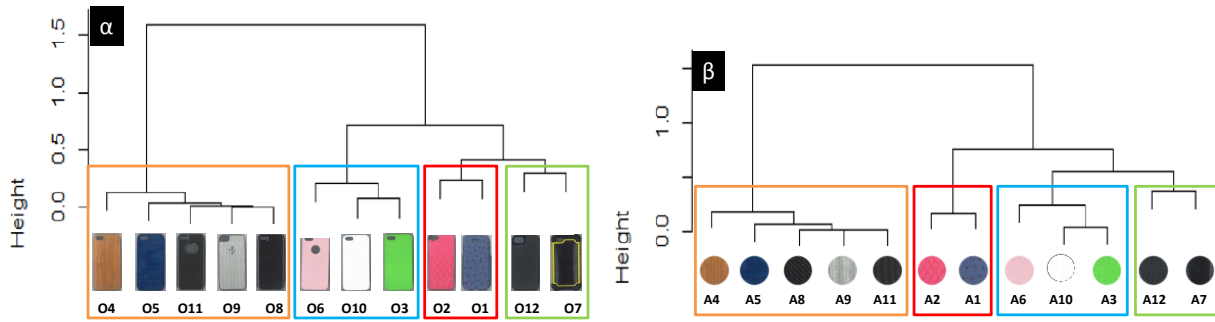


Figure 6-13 : Clustering hiérarchique pour les données textuelles

La classification hiérarchique montre une grande ressemblance dans les deux configurations. On a les mêmes clusters dans la partition finale, même si les positions varient quelque peu. Si l'on compare la classification hiérarchique des matières fournie par les données textuelles avec celle fournie par MFA sur les données numériques, on retrouve des représentations très proches (voir Figure 6-10 et Figure 6-13). Dans les deux cas (données textuelles et données numériques) les matières sont toujours positionnées dans les mêmes clusters. On a donc toujours, les matières à texture « visuelles » (#4, #5, #9, #8, #11), les matières à texture « tactile fines » (#6, #3, #10), les matières à textures « tactiles grossières » (#7, #12) et enfin les matières à textures tactiles particulières (#2, #1). Les distances maximums et minimums relevées lors de l'exploration des différentes matrices entre les différentes textures sont cohérentes avec la répartition des échantillons au sein des clusters dans les dendrogrammes. Dans le contexte textures-anonymes, la texture #7 est opposée au cluster formé des textures #4#5#8#9#11. Ces textures sont perçues comme extrêmes. Pour ce qui est du contexte textures-objets, la texture #7 est également opposée à la texture #4. Par contre, les textures #8 et #9 ainsi que #11 et #9 sont perçues très similaires respectivement dans les 2 contextes. Ces textures (#8, #9 et #11) font en réalité partir d'un même cluster. Il est donc normal que les distances soient faibles entre ces textures.

Pour analyser l'utilisation de ces mots dans les deux contextes, nous avons fusionné les 2 corpus. Sur les 130 mots du corpus textures-objets et les 137 mots du corpus textures-anonymes, nous avons obtenu un grand corpus de 240 mots. Pour une même matière, les termes donnés dans le contexte objet ne sont pas forcément les mêmes que dans le contexte anonyme. Pour analyser cette différence d'utilisation des mots dans les deux contextes, nous avons calculé la distance entre les 2 corpus rattachés à chaque matière. La fonction distance utilisée fournit des valeurs comprises entre 0 et 0.5. Plus la valeur de distance est proche de 0, plus les termes ont été utilisés de la même manière pour décrire la texture-objet et la texture-anonyme d'une matière. À l'inverse, plus la valeur est proche de 0.5, plus les mots employés pour décrire la matière dans les deux contextes est différente. Pour certaines matières, les distances sont relativement élevées, tandis que pour d'autres elles sont faibles. Ceci est d'autant plus visible lorsqu'on fait la projection de ces distances comme le montre la Figure 6-14.

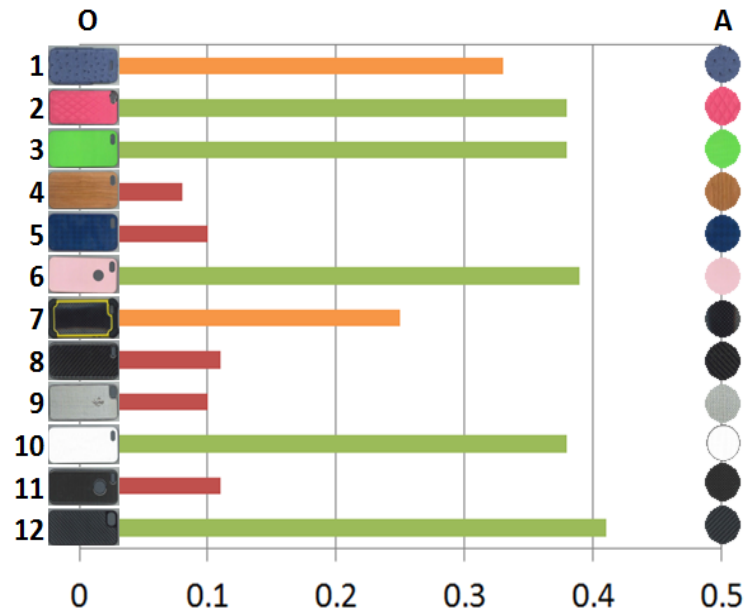


Figure 6-14 : Distance entre les mots obtenus à partir des deux corpus texture objet et texture anonyme

Une distance élevée pour une matière entre ses deux contextes d'utilisation souligne le fait que cette matière a été perçue différemment. Pour des matières plus familières telles que le bois #4, ou le carbon #8,#11 qui portent une forte identité, les distances sont parmi les plus faibles. Ces matières sont très peu sensible à la variation de contexte. On pourrait donc penser que sur des matières familières, le contexte n'influence que très peu la manière dont ces textures sont perçues et décrites de la texture. Au contraire, pour des matières ayant une faible identité, qui sont des matières perçues plus « artificielles » on remarque une grande sensibilité au contexte (#2, #3, #10).

6.5. Discussion

Une même série texture a été examinée dans deux contextes différents. D'une part, la texture sous forme d'objet (coques de téléphone) et d'autre part la texture sous forme de matériau anonyme (disques de matière). Les données collectées ont été analysées du point de vue numérique et du point de vue textuel. La perception de la texture dans ces deux contextes a montré beaucoup de similitudes. Dans toutes les configurations, la dimension 1 s'est montrée la plus discriminante pour les échantillons. Selon cette dimension, les textures ont été réparties premièrement en deux grands groupes, avec d'une part les textures « visuelles » qui sont lisses, sans relief de surface. Et d'autre part les textures « tactiles » qui présentent du relief en surface. Les textures « tactiles » ont quant à elles été divisées en deux groupes constitués de texture « à relief fin » et de texture « à relief grossier ». Les ellipses de confiances autour des positions des diverses texture ont montré une discrimination plus aisée dans le contexte texture-objet par rapport au contexte texture-anonyme. Malgré des coefficients RV relativement élevés entre les cartes de perception dans les différents contextes, l'ordre de présentation a une influence certaine sur la perception globale de la texture. En réalité, lorsqu'un sujet explore une texture de manière anonyme, il ne se projette pas forcément dans un contexte d'utilisation précis. Ceci ressort d'autant plus que dans la phase de débriefing après les différents tests avec chaque sujet, l'utilisation de certaines matières pour la fabrication d'une coque de téléphone n'était pas du tout envisagée. A l'inverse, dans le focus objet, on n'a pas ou très peu d'effet de surprise lorsqu'on explore la matière anonyme dans un second temps. Il y a donc plus

de chance que la perception et la description de la matière dans les deux contextes soit cohérente. Comme relevé plutôt, la mise en forme introduirait donc des critères de perception particuliers qui peuvent être cohérents ou alors contradictoires avec les informations de perception de la texture sans contexte défini d'utilisation. Le contexte a aussi montré une influence plus élevée sur les matières moins ou non familières par rapport aux matières familières. Ceci s'est traduit par exemple par la texture #4 qui est constituée de bois, pour laquelle la perception n'a pas (ou très peu) été influencée par le contexte de perception.

L'analyse textuelle est plus que complémentaire au traitement de données numériques. L'usage traditionnel des mots dans les expériences de Napping, se limite généralement à permettre d'attribuer des significations aux axes principaux de discrimination. Ici, nous avons considéré les données textuelles à part entière, non pas comme des données supplémentaires, mais comme des données de base pour comprendre la discrimination des échantillons. Les résultats obtenus en analyse textuelle ont montré de grandes similitudes avec ceux issus de l'analyse la MFA sur les données numériques. De plus l'analyse des mots a montré que les termes utilisés pour décrire une même texture varient fortement d'un contexte à l'autre en fonction du type de matériau.

6.2. Conclusion

Dans cette étude, nous avons voulu analyser le biais que pourrait introduire le contexte dans la perception d'une texture. Nous avons choisi un objet de petite dimension duquel on pouvait facilement extraire le matériau constituant. Il ressort de notre analyse que le contexte est une donnée fondamentale dans les études de perceptions. Le type de matériau influence aussi la sensibilité au contexte. Pour des matières à forte identité (matières naturelles, familières), le contexte le contexte n'influence que très peu la perception de la textures. Par contre, les matières « artificielles » sont davantage sensibles au contexte de perception. Même si l'usage est de transposer les résultats de perception de textures d'un contexte « anonyme » ou proche du contexte de l'objet fini, à celui du contexte objet, il faudrait garder à l'esprit que la mise en forme introduit des dimensions de perception particulières qui sont spécifiques à chaque objet. Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé des objets de petite dimension. Malgré de grandes similitudes, nous avons tout de même remarqué des différences de perception dans les deux contextes. La généralisation de la perception de la texture anonyme à la texture objet pourrait s'envisager dans notre cas. Les risques d'écart de perception existent, mais peuvent être maîtrisés assez facilement. Par contre, sur des objets de plus grande taille, le risque est d'autant majeur. Il faudrait donc autant que faire se peut mener des études conjointes non seulement pour avoir la perception de la texture dans un contexte global, mais aussi dans son contexte d'utilisation, afin d'avoir des données plus précises sur la perception de la texture, et savoir sur quels leviers agir pour améliorer la perception globale de l'objet. Ceci est l'un des enjeux fondamentaux du design sensoriel, qui correspond au volet design de produit relatif à maîtriser les aspects perceptifs d'un produit aussi bien en amont qu'en aval du processus de conception de produit.

Conclusion générale et perspectives

Les problématiques liées aux propriétés sensorielles des matériaux et des produits manufacturés se développent fortement dans la conception de nouveaux produits, car celles-ci peuvent constituer un élément important de la valeur perçue. Le choix des matériaux et des finis de surfaces a une influence sur l'expérience utilisateur du produit. Ce travail de recherche s'est inscrit dans une démarche pluridisciplinaire. Différentes disciplines telles que les sciences cognitives et comportementales (étude de la perception des matériaux), évaluation sensorielle (collecte de données de perception des matériaux), sciences des matériaux (fabrication et caractérisation des matériaux) ont permis d'établir l'état de l'art et de collecter les données nécessaires à la perception des textures et des matériaux étudiés dans ce travail.

L'objectif de ce travail est de mieux comprendre l'interaction sensorielle d'un utilisateur avec un produit, en analysant des facteurs pouvant influencer cette interaction, en se limitant aux modalités visuelle et tactile. Pour ce faire, nous avons abordé 3 questions principales :

- Quels liens entre caractéristiques de surface et texture perçue ? : corrélations entre paramètres physiques de la texture (topographie), vibrations induites et données sensorielles.
- Pour des textures familières, observe-t-on des performances en discrimination différentes des textures non-familières ?
- Une même texture présentée sous forme d'objet défini est-elle perçue de la même manière que si elle est présentée sous forme anonyme ?

Les réponses aux différentes questions ont été présentées sous forme d'études de cas indépendantes.

Le Napping® est une méthode développée initialement pour l'évaluation de produits alimentaires et cosmétiques. Cette méthode s'est avérée rapide, intuitive et facile à mettre en place. En ce qui concerne les matériaux, cette technique a été très peu appliquée. Ainsi, nous avons, dans le cadre de ce travail, transposé cette méthode pour l'évaluation visuelle et tactile de textures de matériaux. Dans un premier temps, nous pouvons recommander un nombre minimum de panelistes compris entre 10 et 12 pour les dispositifs d'études que nous avons réalisés. Pour cet effectif de panelistes, une représentation stable des cartes de perception moyenne et un équilibre de la contribution de chaque paneliste sont obtenus.

Lors d'une interaction tactile avec une surface, en particulier lors du balayage d'une surface par le doigt, des vibrations sont générées à l'interface de contact et se propagent dans la peau, activant ainsi les mécanorécepteurs responsables de la perception tactile. Les caractéristiques des signaux vibratoires donnent des informations sur la texture de la surface, affectant ainsi la perception tactile. Des textures périodiques, des textures non-périodiques isotropes et des textures non-périodiques anisotropes ont été étudiées à la fois en faisant appel à des évaluations sensorielles par des panelistes et en utilisant des instruments de tribométrie tactile. Les résultats ont montré une bonne corrélation entre les paramètres physiques, sensoriels et senso-instrumentales. En particulier pour les textures périodiques le paramètre de rugosité Ra a montré une forte corrélation avec le

paramètre AccRMS. Le classement des échantillons fourni par le panel a également montré une forte corrélation avec celui fourni par l'AccRMS. Pour les textures non-périodiques anisotropes, les paramètres d'AccRMS et de coefficient de friction ont montré une forte corrélation avec la carte moyenne de perception tactile, discriminant ainsi les échantillons de manière très similaire.

Dans l'état de l'art, il est souligné que, pour des « textures familières » la perception en situation multisensorielle pourrait conduire à de meilleures performances de discrimination probablement dues à des aspects cognitifs plutôt que purement sensoriel. Ainsi, notre étude sur les textures familières et non-familières (échantillons faisant référence au bois) a montré que, d'une part, lorsque la texture visuelle fait référence à un matériau familier, ce dernier est immédiatement reconnu, et la modalité visuelle domine la perception visio-tactile. Lorsqu'on supprime toute référence à un matériau familier, on perd cette dominance visuelle sur la perception visio-tactile. D'autre part, la discrimination est facilitée par des données d'ordre cognitif liées à l'expérience passée du consommateur.

Dans le contexte industriel lié aux produits manufacturés, les textures des matériaux sont appelées à être appliquées sur des objets de complexité diverse. Nous avons comparé la perception de textures identiques présentées sous forme d'un objet simple (coque de téléphone) et sous forme d'un disque de matière. Nous avons conclu que les perceptions des textures étaient très similaires dans les deux contextes de présentations. Cependant le verbatim utilisé pour décrire les textures étaient différents dans les deux contextes. Pour des matières à forte identité (matières naturelles, familières), le contexte ne n'influence que très peu la perception de la textures. Par contre, les matières « artificielles » sont davantage sensibles au contexte de perception

Ce travail a donc permis d'explorer différents aspects de la perception des matériaux et des textures. Comme souvent dans les études comportementales, les résultats sont très dépendants des espaces produits étudiés. Néanmoins ces résultats donnent des pistes de réflexion qui pourront être comparées à d'autres études appliquées à des textures différentes. Ceci est donc un pas de plus qui permet de compléter la littérature dans le domaine de la perception des matériaux et des textures. Pour un développement futur, nous pouvons proposer les pistes d'amélioration suivantes :

- le NappOmatic étant un premier pas dans l'amélioration de l'acquisition et du traitement de données issues des tests de Napping®. Il serait souhaitable de continuer d'améliorer cet outil d'acquisition de manière à pouvoir suivre en temps réel la construction des cartes individuelles de perception, et ainsi repérer les échantillons qui ont du mal à trouver leur place sur la carte. Ce type de données pourra ensuite être mis en relation avec les résultats statistiques provenant de l'analyse des données.
- Le nombre de sujets impliqués influence grandement les résultats des études sensorielles. Nous avons recommandé un nombre de sujet compris entre 10 et 12 sujets pour les expériences de Napping®. Pour valider nos recommandations, il serait souhaitable de reconduire des tests avec un nombre de sujets plus important (jusqu'à 50 ou 100 sujets), en utilisant l'algorithme de calcul du nombre de sujet idéal.
- Les différentes modalités impliquées dans nos tests de perception étaient les modalités tactile, visuelles, visio-tactile. Il serait intéressant d'analyser la question de l'influence de l'ordre des modalités dans la perception des textures. C'est -à-dire un test de perception

impliquant les trois modalités conduit-il à des perceptions différentes en fonction de l'ordre d'utilisation des modalités pour un même sujet.

- Enfin, la modalité auditive aussi étant très présente dans les interactions avec les matériaux il serait intéressant d'envisager des tests en condition unimodale, bimodale et même trimodale incluant l'audition

Références bibliographiques

- [1] J.-F. BASSEREAU, R. CHARVET-PELLO, and L. BONNAMY, "Design sensoriel," *Tech. l'ingénieur. L'Entreprise Ind.*, no. AG2310, 2009.
- [2] O. Eterradosi, "Une approche cartographique des propriétés d'aspect des matériaux." Université Jean Monnet-Saint-Etienne, 2011.
- [3] A. Boutin, "Pourquoi le besoin de sensoriel dans les nouveaux produits," in *Acte de conférence Journée du sensoriel*, 2007.
- [4] J. Faucheu, "Intégrer les propriétés sensorielles des matériaux dans un cahier des charges-le cas de l'aspect métallique," *Matériaux Tech.*, vol. 98, no. 2, pp. 106–109, 2010.
- [5] "Initiation à la psychologie." [Online]. Available: http://initpsy.cdubuc.profweb.ca/dos_sens_pcpt/pcpt_mini_t_a_t.htm.
- [6] Wikipédia, "Perception," *psychologie*, 2017. [Online]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Perception>.
- [7] J.-F. Dortier, *Le cerveau et la pensée: la révolution des sciences cognitives*. Ed. Sciences humaines, 1999.
- [8] R. L. Klatzky and S. J. Lederman, "Multisensory Texture Perception," in *Multisensory Object Perception in the Primate Brain*, 2010, pp. 211–230.
- [9] N. Bhushan, A. Rao, and G. Lohse, "The texture lexicon: Understanding the categorization of visual texture terms and their relationship to texture images," *Cogn. Sci.*, vol. 21, no. 2, pp. 219–246, 1997.
- [10] M. S. Landy and N. Graham, "Visual Perception of Texture," *Vis. Neurosci.*, vol. 10003, no. 212, pp. 1106–1118, 2004.
- [11] H. Zuo, T. Hope, P. Castle, and M. Jones, "An investigation into the sensory properties of materials," *2nd Int. Conf. Affect. Hum. Factors Des.*, pp. 500–507, 2001.
- [12] A. S. Szczesniak, "Texture is a sensory property," vol. 13, pp. 215–225, 2002.
- [13] J. . Brennan, "Texture perception and measurement," in *Sensory analysis of foods*, Piggot, J., J. Piggot, Ed. Elsevier, 1989, pp. 69–101.
- [14] F. Depledt, *Évaluation sensorielle: manuel méthodologique*. Lavoisier Tec & Doc, 1998.
- [15] Bassereau Jean-François and C.-P. Régine, *Dictionnaire des mots du sensoriel*. Lavoisier, 2011.
- [16] H. N. J. Schifferstein and M. P. H. D. Cleiren, "Capturing product experiences: A split-modality approach," *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 118, no. 3, pp. 293–318, 2005.
- [17] H. N. J. Schifferstein, "The perceived importance of sensory modalities in product usage: A study of self-reports," *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 121, no. 1, pp. 41–64, 2006.
- [18] J. J. Gibson, "Adaptation, after-effect and contrast in the perception of curved lines.," *J. Exp. Psychol.*, vol. 16, no. 1, p. 1, 1933.
- [19] J. J. Gibson and M. Radner, "Adaptation, after-effect and contrast in the perception of tilted lines. I. Quantitative studies.," *J. Exp. Psychol.*, vol. 20, no. 5, p. 453, 1937.
- [20] D. J. Bartram, "The role of visual and semantic codes in object naming," *Cogn. Psychol.*, vol. 6, no. 3, pp. 325–356, 1974.
- [21] F. N. Newell and J. M. Findlay, "The effect of depth rotation on object identification," *Perception*, vol. 26, no. 10, pp. 1231–1257, 1997.
- [22] R. L. Klatzky, S. J. Lederman, and V. a Metzger, "Identifying objects by touch: an 'expert system'.," *Percept. Psychophys.*, vol. 37, no. 4, pp. 299–302, 1985.
- [23] R. L. Klatzky, J. M. Loomis, S. J. Lederman, H. Wake, and N. Fujita, "Haptic identification of objects and their depictions," *Attention, Perception, Psychophys.*, vol. 54, no. 2, pp. 170–178, 1993.
- [24] R. Y. Cho, V. Yang, and P. E. Hallett, "Reliability and dimensionality of judgments of visually textured materials.," *Percept. Psychophys.*, vol. 62, no. 4, pp. 735–752, 2000.

- [25] M. Amadasun and R. King, "Textural features corresponding to textural properties," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 19, no. 5, pp. 1264–1273, 1989.
- [26] H. Tamura, S. Mori, and T. Yamawaki, "Textural Features Corresponding to Visual Perception VL -, SMC-8," *Ieee*, vol. 75, no. 6, pp. 460–473, 1978.
- [27] M. Hanada, "Using Japanese Onomatopoeias to Explore Perceptual Dimensions in Visual Material Perception," *Perception*, vol. 45, no. 5, pp. 568–587, 2016.
- [28] B. Jones and S. O'Neil, "Combining vision and touch in texture perception," *Percept. Psychophys.*, vol. 37, no. 1, pp. 66–72, 1985.
- [29] S. J. Lederman and S. G. Abbott, "Texture perception: studies of intersensory organization using a discrepancy paradigm, and visual versus tactual psychophysics.," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, vol. 7, no. 4, pp. 902–15, 1981.
- [30] Loomis and Lederman, "Tactual Perception," *Handb. Percept. Hum. Perform.*, vol. 2, pp. 1–41, 1986.
- [31] V. Rosenthal and Y. Visetti, "Sens et temps de la Gestalt," *Intellectica*, vol. 28, pp. 147–227, 1999.
- [32] Wikipédia, "Psychologie de la forme," 2017. [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Psychologie_de_la_forme.
- [33] T. A. Whitaker, C. Simões-Franklin, and F. N. Newell, "Vision and touch: Independent or integrated systems for the perception of texture?," *Brain Res.*, vol. 1242, pp. 59–72, 2008.
- [34] W. M. Bergmann Tiest, "Tactual perception of material properties," *Vision Research*, vol. 50, no. 24, pp. 2775–2782, 2010.
- [35] T. Ramanantoandro, "Implications tactiles et visuelles de la rugosité du bois et des matériaux dérivés du pin maritime." Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet-Saint-Etienne, 2005.
- [36] K. O. Johnson, "The roles and functions of cutaneous mechanoreceptors," *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 11, no. 4, pp. 455–461, 2001.
- [37] C. Breugnot, "Contribution à la caractérisation mécanique du toucher des surfaces textiles à partir de critères neurosensoriels." Mulhouse, 2005.
- [38] S. J. Lederman and R. L. Klatzky, "Hand movements: A window into haptic object recognition," *Cogn. Psychol.*, vol. 19, pp. 342–368, 1987.
- [39] S. J. Lederman, "Skin and touch," *Encycl. Hum. Biol.*, vol. 7, pp. 51–63, 1991.
- [40] A. M. Fernandes and P. B. Albuquerque, "Tactual perception: A review of experimental variables and procedures," *Cognitive Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 285–301, 2012.
- [41] J. C. Bliss, H. D. Crane, P. K. Mansfield, and J. T. Townsend, "Information available in brief tactile presentations," *Attention, Perception, Psychophys.*, vol. 1, no. 4, pp. 273–283, 1966.
- [42] A. Gallace, H. Z. Tan, P. Haggard, and C. Spence, "Short term memory for tactile stimuli," *Brain Res.*, vol. 1190, pp. 132–142, 2008.
- [43] V. Cronin, "Active and passive touch at four age levels.," *Dev. Psychol.*, vol. 13, no. 3, p. 253, 1977.
- [44] W. M. Bergmann Tiest and A. M. L. Kappers, "Haptic and visual perception of roughness.," *Acta Psychol. (Amst)*, vol. 124, no. 2, pp. 177–89, 2007.
- [45] R. L. Klatzky and S. J. Lederman, "Identifying objects from a haptic glance.," *Percept. Psychophys.*, vol. 57, no. 8, pp. 1111–1123, 1995.
- [46] L. Skedung, M. Arvidsson, J. Y. Chung, C. M. Stafford, B. Berglund, and M. W. Rutland, "Feeling small: exploring the tactile perception limits.," *Sci. Rep.*, vol. 3, p. 2617, 2013.
- [47] R. L. Klatzky and S. J. Lederman, "Stages of manual exploration in haptic object identification," *Percept. Psychophys.*, vol. 52, no. 6, pp. 661–670, 1992.
- [48] S. J. Lederman, "Tactile roughness of grooved surfaces: The touching process and effects of macro-and microsurface structure*," *Percept. Psychophys.*, vol. 16, no. 2, pp. 385–395, 1974.
- [49] M. Hollins and S. R. Risner, "Evidence for the duplex theory of tactile texture perception," *Percept. Psychophys.*, vol. 62, no. 4, pp. 695–705, 2000.
- [50] B. Hughes and G. Jansson, "Texture perception via active touch," *Hum. Mov. Sci.*, vol. 13, no.

- 3–4, pp. 301–333, 1994.
- [51] C. Simões-Franklin, T. A. Whitaker, and F. N. Newell, “Active and passive touch differentially activate somatosensory cortex in texture perception,” *Hum. Brain Mapp.*, vol. 32, no. 7, pp. 1067–1080, 2011.
- [52] S. J. Lederman, J. M. Loomis, and D. A. Williams, “The role of vibration in the tactual perception of roughness.,” *Percept. Psychophys.*, vol. 32, no. 2, pp. 109–116, 1982.
- [53] M. Hollins, S. J. Bensmaa, and E. A. Roy, “Vibrotaction and texture perception,” in *Behavioural Brain Research*, 2002, vol. 135, no. 1–2, pp. 51–56.
- [54] M. YOSHIDA, “Dimensions of tactual impressions (1),” *Jpn. Psychol. Res.*, vol. 10, no. 3, pp. 123–137, 1968.
- [55] M. B. Lyne, A. Whiteman, and D. C. Donderi, “MULTIDIMENSIONAL SCALING OF TISSUE QUALITY.,” *Pulp and Paper Canada*, vol. 85, no. 10. pp. 43–46, 48, 1984.
- [56] M. Hollins, R. Faldowski, S. Rao, and F. Young, “Perceptual dimensions of tactile surface texture: a multidimensional scaling analysis.,” *Percept. Psychophys.*, vol. 54, no. 6, pp. 697–705, 1993.
- [57] M. Hollins, S. Bensmaïa, K. Karlof, and F. Young, “Individual differences in perceptual space for tactile textures: evidence from multidimensional scaling.,” *Percept. Psychophys.*, vol. 62, no. 8, pp. 1534–1544, 2000.
- [58] D. Picard, C. Dacremont, D. Valentin, and A. Giboreau, “Perceptual dimensions of tactile textures.,” *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 114, no. 2, pp. 165–184, 2003.
- [59] D. Picard, C. Dacremont, D. Valentin, and A. Giboreau, “About the salient perceptual dimensions of tactile texture space,” *Touch, Blind. Neurosci. Eds S Ballesteros, M Heller (Varia UNED Ediciones) pp*, pp. 165–174, 2004.
- [60] I. Soufflet, M. Calonnier, and C. Dacremont, “A comparison between industrial experts’ and novices’ haptic perceptual organization: A tool to identify descriptors of the handle of fabrics,” *Food Qual. Prefer.*, vol. 15, no. 7–8 SPEC.ISS., pp. 689–699, 2004.
- [61] H. Shirado and T. Maeno, “Modeling of Texture Perception Mechanism for Tactile Display and Sensor,” *日本バーチャルリアリティー学会論文誌*, vol. 9, no. 3, pp. 235–240, 2004.
- [62] G. a Gescheider, S. J. Bolanowski, T. C. Greenfield, and K. E. Brunette, “Perception of the tactile texture of raised-dot patterns: a multidimensional analysis.,” *Somatosens. Mot. Res.*, vol. 22, no. 3, pp. 127–140, 2005.
- [63] S. Ballesteros, J. M. Reales, L. P. De Leon, and B. Garcia, “The perception of ecological textures by touch: Does the perceptual space change under bimodal visual and haptic exploration?,” in *Proceedings - 1st Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems; World Haptics Conference, WHC 2005*, 2005, pp. 635–638.
- [64] W. M. Bergmann Tiest and A. M. L. Kappers, “Analysis of haptic perception of materials by multidimensional scaling and physical measurements of roughness and compressibility,” *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 121, no. 1, pp. 1–20, 2006.
- [65] Y. Tanaka, M. Tanaka, and S. Chonan, “Development of a sensor system for measuring tactile sensation,” in *Proceedings of IEEE Sensors*, 2006, pp. 554–557.
- [66] T. Yoshioka, S. J. Bensmaïa, J. C. Craig, and S. S. Hsiao, “Texture perception through direct and indirect touch: an analysis of perceptual space for tactile textures in two modes of exploration.,” *Somat. Mot Res*, vol. 24, no. 1–2, pp. 53–70, 2007.
- [67] A. C. B. I.R. Summers, R.J. Irwin, “Haptic Discrimination of Paper,” in *Human Haptic Perception: Basics and Applications, first ed*, M. Grunwald, Ed. Springer, 2008, pp. 525–535.
- [68] S. Guest, J. M. Dessirier, A. Mehrabyan, F. McGlone, G. Essick, G. Gescheider, A. Fontana, R. Xiong, R. Ackerley, and K. Blot, “The development and validation of sensory and emotional scales of touch perception.,” *Atten. Percept. Psychophys.*, vol. 73, no. 2, pp. 531–50, 2011.
- [69] S. Guest, A. Mehrabyan, G. Essick, N. Phillips, A. Hopkinson, and F. McGlone, “Physics and tactile perception of fluid-covered surfaces,” *J. Texture Stud.*, vol. 43, no. 1, pp. 77–93, 2012.
- [70] S. Okamoto, H. Nagano, and Y. Yamada, “Psychophysical dimensions of tactile perception of

- textures," *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 6, no. 1. pp. 81–93, 2013.
- [71] J. Faucheu, A. Caroli, B. Del Curto, and D. Delafosse, "Experimental setup for visual and tactile evaluation of materials and products through Napping® procedure," in *International Conference on Engineering Design 2015 (ICED 2015)*, 2015, vol. in press.
- [72] G. C. Burdea, "Force and touch feedback for virtual reality," 1996.
- [73] S. Guest and C. Spence, "What role does multisensory integration play in the visuotactile perception of texture?," *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 50, pp. 63–80, 2003.
- [74] S. J. Bensmala and M. Hollins, "The vibrations of texture.," *Somatosens. Mot. Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 33–43, 2003.
- [75] K. Drewing, M. O. Ernst, S. J. Lederman, and R. Klatzky, "Roughness and spatial density judgments on visual and haptic textures using virtual reality," *Proc. EuroHaptics 2004*, pp. 203–206, 2004.
- [76] D. Kornbrot, P. Penn, H. Petrie, S. Furner, and A. Hardwick, "Roughness perception in haptic virtual reality for sighted and blind people.," *Percept. Psychophys.*, vol. 69, no. 4, pp. 502–12, 2007.
- [77] S. J. Lederman, "Tactual roughness perception: Spatial and temporal determinants.," *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, vol. 37, no. 4. pp. 498–511, 1983.
- [78] G. Ekman, J. Hosman, and B. Lindstrom, "Roughness, smoothness, and preference: A study of quantitative relations in individual subjects.," *J. Exp. Psychol.*, vol. 70, no. 1, p. 18, 1965.
- [79] S. J. Lederman and R. L. Klatzky, "Haptic identification of common objects: effects of constraining the manual exploration process.," *Percept. Psychophys.*, vol. 66, no. 4, pp. 618–628, 2004.
- [80] J. M. Loomis, R. L. Klatzky, and S. J. Lederman, "Similarity of tactual and visual picture recognition with limited field of view.," *Perception*, vol. 20, no. 2, pp. 167–177, 1991.
- [81] H. Binns, "Visual and tactual 'judgement' as illustrated in a practical experiment," *Br. J. Psychol.*, vol. 27, no. 4, pp. 404–410, 1937.
- [82] D. Picard, "Partial perceptual equivalence between vision and touch for texture information," *Acta Psychol. (Amst.)*, vol. 121, no. 3, pp. 227–248, 2006.
- [83] M. A. Heller, "Visual and tactual texture perception: Intersensory cooperation," *Percept. Psychophys.*, vol. 31, no. 4, pp. 339–344, 1982.
- [84] H. B. Helbig and M. O. Ernst, "Optimal integration of shape information from vision and touch," *Exp. Brain Res.*, vol. 179, no. 4, pp. 595–606, 2007.
- [85] J. Burge, A. R. Girshick, and M. S. Banks, "Visual-haptic adaptation is determined by relative reliability.," *J. Neurosci.*, vol. 30, no. 22, pp. 7714–21, 2010.
- [86] I. Rock and J. Victor, "Vision and Touch: An Experimentally Created Conflict between the Two Senses," *Science (80-.)*, vol. 143, no. 3606, pp. 594–596, 1964.
- [87] M. O. Ernst and M. S. Banks, "Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion.," *Nature*, vol. 415, no. 6870, pp. 429–433, 2002.
- [88] H. B. Helbig and M. O. Ernst, "Visual-haptic cue weighting is independent of modality-specific attention.," *J. Vis.*, vol. 8, p. 21.1-16, 2008.
- [89] M. O. Ernst and H. H. Bühlhoff, "Merging the senses into a robust percept," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, no. 4. pp. 162–169, 2004.
- [90] S. Crochemore and D. Nesa, "Analyse sensorielle des matériaux de l'habitable automobile: toucher – vision," *Tech. l'Ingénieur*, vol. AM3292, p. 16, 2004.
- [91] Y. Hatwell, "Toucher l'espace. La main et la perception tactile de l'espace," 1986.
- [92] I. Bühlhoff and F. N. Newell, "Chapter 17 The role of familiarity in the recognition of static and dynamic objects," *Progress in Brain Research*, vol. 154. pp. 315–325, 2006.
- [93] E. W. Bushnell and C. Baxt, "Children's haptic and cross-modal recognition with familiar and unfamiliar objects.," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, vol. 25, no. 6, pp. 1867–1881, 1999.
- [94] "Hexiial technologies." .

- [95] N. Mammasse, "Le nombre de sujets dans les panels d'analyse sensorielle: une approche base de données." Université de Bourgogne, 2012.
- [96] A. de C. T. pour l'Industrie Agro-alimentaire, L. Aron, and C. Broussard, *Évaluation sensorielle: guide de bonnes pratiques*. Actia, 1999.
- [97] F. Depledt, F. Strigler, and Société scientifique d'hygiène alimentaire (France), *Évaluation sensorielle : manuel méthodologique*. Tec & doc, 2009.
- [98] P. Varela and G. Ares, "Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization," *Food Res. Int.*, vol. 48, no. 2, pp. 893–908, 2012.
- [99] P. Varela and G. Ares, *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*. CRC Press, 2014.
- [100] H. Hopfer and H. Heymann, "A summary of projective mapping observations – The effect of replicates and shape, and individual performance measurements," *Food Qual. Prefer.*, vol. 28, no. 1, pp. 164–181, 2013.
- [101] D. Valentin, S. Chollet, M. Lelièvre, and H. Abdi, "Quick and dirty but still pretty good: a review of new descriptive methods in food science," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 47, no. 8, pp. 1563–1578, 2012.
- [102] P. Faye, D. Bremaud, M. Durand Daubin, P. Courcoux, A. Giboreau, and H. Nicod, "Perceptive free sorting and verbalization tasks with naive subjects: An alternative to descriptive mappings," *Food Qual. Prefer.*, vol. 15, no. 7–8 SPEC.ISS., pp. 781–791, 2004.
- [103] B. H.-M. Eloy F., Bassereau J. F. and et al, "Application de l'analyse sensorielle à l'Évaluation du 'toucher' de planches de bord," in *Colloque Confere . Tours, France* , 1994, pp. 117–122.
- [104] A. Giboreau, S. Navarro, P. Faye, and J. Dumortier, "Sensory evaluation of automotive fabrics: The contribution of categorization tasks and non verbal information to set-up a descriptive method of tactile properties," *Food Qual. Prefer.*, vol. 12, no. 5–7, pp. 311–322, 2001.
- [105] M. A. Heller, "Visual and tactual texture perception: Intersensory cooperation," *Percept. Psychophys.*, vol. 31, no. 4, pp. 339–344, 1982.
- [106] J. D. Ndengue, B. I. Cesini, C. J. Faucheu, D. E. Chatelet, E. H. Zahouani, F. D. Delafosse, and G. F. Massi, "Tactile perception and Friction-induced Vibrations: Discrimination of similarly patterned wood-like surfaces," *IEEE Trans. Haptics*, 2016.
- [107] H. Stone, J. Sidel, S. Oliver, A. Woolsey, and R. C. Singleton, "Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis," *Food Technol.*, vol. 28, no. 11, pp. 24–34, 1974.
- [108] P. Faye, P. Courcoux, M. Qannari, and A. Giboreau, "Methodes de traitement statistique des donnees issues d'une epreuve de tri libre," *Rev. Modul.*, 2011.
- [109] Deneulin pascale et Pfisher richard, "Méthodologie en analyse sensorielle," 2013. [Online]. Available: <http://www.oenoflair.ch/pdf/ArticleObjectif2013.pdf>.
- [110] C. Passaro, "Du couple matériau-procédé à la qualité perçue: élaboration d'un outil prédictif de la perception visuelle des pièces en injection de polypropylène d'intérieur du véhicule." Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2014.
- [111] C. Marine, "Analyse factorielle de données de catégorisation: Application aux données sensorielles." 2010.
- [112] O. I. de Normalisation, "Analyse sensorielle. Méthodologie. Essai de comparaison par paires," 2016.
- [113] E. N. ISO, "Sensory analysis–Methodology–Ranking," *EN ISO*, vol. 8587, p. 2006, 2006.
- [114] XLSTAT, "Test non-paramétrique sur k échantillons appariés : test de Friedman," 2017. [Online]. Available: <https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/test-non-parametrique-sur-k-echantillons-apparies-test-de-friedman>.
- [115] E. Risvik, E. Risvik, J. a McEwan, J. a McEwan, J. S. Colwill, J. S. Colwill, R. Rogers, R. Rogers, D. H. Lyon, and D. H. Lyon, "Projective mapping: A tool for sensory analysis and consumer research," *Food Qual. Prefer.*, vol. 5, pp. 263–269, 1994.
- [116] D. Valentin, S. Cholet, A. Hervé, and M. Nestrud, "Projective Mapping and Sorting Tasks," in *Descriptive analysis in sensory evaluation*, 2016, pp. 1–19.

- [117] J. Pagès, "Recueil direct de distances sensorielles : application à l'évaluation de dix vins blancs du Val-de-Loire," *Sci. Aliments*, vol. 23, no. 5–6, pp. 679–688, 2003.
- [118] J. Pagès, M. Cadoret, and S. Lê, "The sorted napping: A new holistic approach in sensory evaluation," *J. Sens. Stud.*, vol. 25, no. 5, pp. 637–658, 2010.
- [119] E. Risvik, J. A. McEwan, and M. Rødbotten, "Evaluation of sensory profiling and projective mapping data," *Food Qual. Prefer.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–71, 1997.
- [120] J. Kennedy and H. Heymann, "Projective mapping and descriptive analysis of milk and dark chocolates," *J. Sens. Stud.*, vol. 24, no. 2, pp. 220–233, 2009.
- [121] C. Dehlholm, "Descriptive sensory evaluations: Comparison and applicability of novel rapid methodologies." Department of Food Science, University of Copenhagen, 2012.
- [122] J. Pagès and F. Husson, "Multiple factor analysis with confidence ellipses: A methodology to study the relationships between sensory and instrumental data," *J. Chemom.*, vol. 19, no. 3, pp. 138–144, 2005.
- [123] C. Dehlholm, P. B. Brockhoff, L. Meinert, M. D. Aaslyng, and W. L. P. Bredie, "Rapid descriptive sensory methods – Comparison of Free Multiple Sorting, Partial Napping, Napping, Flash Profiling and conventional profiling," *Food Qual. Prefer.*, vol. 26, no. 2, pp. 267–277, 2012.
- [124] M. C. King, M. A. Cliff, M. C. King, J. W. Hall, M. A. Cliff, and J. W. Hall, "Comparison of projective mapping and sorting data collection and multivariate methodologies for identification of similarity-of-use of snack bars," *J. Sens. Stud.*, vol. 13, no. 3, pp. 347–358, 1998.
- [125] J. C. Pfeiffer and C. C. Gilbert, "Napping by modality: A happy medium between analytic and holistic approaches," *Proc. 9th Sensometrics*, pp. 20–23, 2008.
- [126] M. T. Le, "Réflexions méthodologiques autour du Napping: vers une intégration du comportement du sujet dans l'analyse des données de Napping." Rennes, Agrocampus Ouest, 2015.
- [127] P. D. Olivo, B. D. E. L. Curto, J. Faucheu, and D. Lafon, "Sensory Metrology : When Emotions and Experiences Contribute To Design .," *ICED13 19th Int. Conf. Eng. Des.*, no. August, pp. 1–10, 2013.
- [128] S. Le and F. Husson, "Sensominer: A package for sensory data analysis," *J. Sens. Stud.*, vol. 23, no. 1, pp. 14–25, 2008.
- [129] S. Lê, J. Josse, and F. Husson, "FactoMineR : An R package for multivariate analysis," *J Stat Softw*, vol. 25, no. 1, pp. 1–18, 2008.
- [130] M. Cadoret and F. Husson, "Construction and evaluation of confidence ellipses applied at sensory data," *Food Qual. Prefer.*, vol. 28, no. 1, pp. 106–115, 2013.
- [131] T. J. et D. A. . Chessel D, "Introduction à la classification hiérarchique," *Fiche de Biostatistique*, 2004. [Online]. Available: <https://pbil.univ-lyon1.fr/R/pdf/stage7.pdf>.
- [132] R. Fagiani, F. Massi, E. Chatelet, J. P. Costes, and Y. Berthier, "Contact of a finger on rigid surfaces and textiles: Friction coefficient and induced vibrations," *Tribol. Lett.*, vol. 48, no. 2, pp. 145–158, 2012.
- [133] F. Massi, E. Vittecoq, E. Chatelet, A. Saulot, and Y. Berthier, "Design of a tribometer for investigating tactile perception," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, 2014.
- [134] R. Fagiani, F. Massi, E. Chatelet, Y. Berthier, and A. Akay, "Tactile perception by friction induced vibrations," *Tribol. Int.*, vol. 44, no. 10, pp. 1100–1110, 2011.
- [135] S. J. Lederman and M. M. Taylor, "Fingertip force, surface geometry, and the perception of roughness by active touch," *Percept. Psychophys.*, vol. 12, no. 5, pp. 401–408, 1972.
- [136] M. Hollins and S. R. Risner, "Evidence for the duplex theory of tactile texture perception.," *Percept. Psychophys.*, vol. 62, no. 4, pp. 695–705, 2000.
- [137] J. Asserin, H. Zahouani, P. Humbert, V. Couturaud, and D. Mougin, "Measurement of the friction coefficient of the human skin in vivo: quantification of the cutaneous smoothness," *Colloids surfaces B Biointerfaces*, vol. 19, no. 1, pp. 1–12, 2000.
- [138] W. Tang, S. Ge, H. Zhu, X. Cao, and N. Li, "The influence of normal load and sliding speed on frictional properties of skin," *J. Bionic Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 33–38, 2008.

- [139] J. Scheibert, S. Leurent, A. Prevost, and G. Debrégeas, "The role of fingerprints in the coding of tactile information probed with a biomimetic sensor," *Science* (80-.), vol. 323, no. 5920, pp. 1503–1506, 2009.
- [140] İ. M. Koç and C. Aksu, "Tactile sensing of constructional differences in fabrics with a polymeric finger tip," *Tribol. Int.*, vol. 59, pp. 339–349, 2013.
- [141] H. Zahouani, S. Mezghani, R. Vargiolu, T. Hoc, and M. El Mansori, "Effect of roughness on vibration of human finger during a friction test," *Wear*, vol. 301, no. 1–2, pp. 343–352, 2013.
- [142] Thieulin Coralie, "caractérisation des mécanismes d'endommagement du Stratum Corneum induit par le frottement répété de papiers en cellulose," Ecole centrale de Lyon, 2017.
- [143] C. Thieulin, C. Pailler-Mattei, R. Vargiolu, S. Lancelot, and H. Zahouani, "Study of the tactile perception of bathroom tissues: Comparison between the sensory evaluation by a handfeel panel and a tribo-acoustic artificial finger," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 150, pp. 417–425, 2017.
- [144] Y. Escoufier, "Le Traitement des Variables Vectorielles," *Biometrics*, vol. 29, no. 4, pp. 751–760, 1973.
- [145] P. Robert and Y. Escoufier, "A Unifying Tool for Linear Multivariate Statistical Methods: The RV-Coefficient," *Source J. R. Stat. Soc. Ser. C (Applied Stat. Appl. Stat.*, vol. 25, no. 3, pp. 257–265, 1976.
- [146] H. Abdi, "RV Coefficient and Congruence Coefficient," *Encycl. Meas. Stat.*, pp. 849–853, 2007.
- [147] J. Josse, J. Pagès, and F. Husson, "Testing the significance of the RV coefficient," *Comput. Stat. Data Anal.*, vol. 53, no. 1, pp. 82–91, 2008.
- [148] R. Fagiani, F. Massi, E. Chatelet, Y. Berthier, and A. Akay, "Tactile perception by friction induced vibrations," *Tribol. Int.*, vol. 44, no. 10, pp. 1100–1110, 2011.
- [149] S. J. Bolanowski, G. a Gescheider, R. T. Verrillo, and C. M. Checkosky, "Four channels mediate the mechanical aspects of touch.," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 84, no. 5, pp. 1680–1694, 1988.
- [150] Y. Shao, V. Hayward, and Y. Visell, "Spatial patterns of cutaneous vibration during whole-hand haptic interactions.," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, p. 201520866, 2016.
- [151] R. Fagiani, F. Massi, E. Chatelet, Y. Berthier, and A. Sestieri, "Experimental analysis of friction-induced vibrations at the finger contact surface," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, vol. 224, no. 9, pp. 1027–1035, 2010.
- [152] R. Fagiana, F. Massia, E. Chateleta, and Y. Berthiera, "Dynamic analysis of surface scanning for tactile perception," *ASME 2010 10th Bienn. Conf. Eng. Syst. Des. Anal. ESDA2010*, vol. 2, no. November, pp. 365–373, 2010.
- [153] F. Martinot, "The Influence of Surface Commensurability on Roughness Perception With a Bare Finger, in" Eurohaptics 2006," 2006.
- [154] M. A. Heller, "Texture perception in sighted and blind observers.," *Percept. Psychophys.*, vol. 45, no. 1, pp. 49–54, 1989.
- [155] M. A. Heller and S. Ballesteros, *Touch and Blindness: Psychology and Neuroscience*. 2005.
- [156] M. A. Heller, "Tactile memory in sighted and blind observers: The influence of orientation and rate of presentation," *Perception*, vol. 18, no. 1, pp. 121–133, 1989.
- [157] M. A. Heller, "Picture and pattern perception in the sighted and the blind: The advantage of the late blind," *Perception*, vol. 18, no. 3, pp. 379–389, 1989.
- [158] C. Y. Wan, A. G. Wood, D. C. Reutens, and S. J. Wilson, "Congenital blindness leads to enhanced vibrotactile perception," *Neuropsychologia*, vol. 48, no. 2, pp. 631–635, 2010.
- [159] D. Goldreich and I. M. Kanics, "Performance of blind and sighted humans on a tactile grating detection task.," *Percept. Psychophys.*, vol. 68, no. 8, pp. 1363–1371, 2006.
- [160] F. Alary, M. Duquette, R. Goldstein, C. Elaine Chapman, P. Voss, V. La Buissonnière-Ariza, and F. Lepore, "Tactile acuity in the blind: A closer look reveals superiority over the sighted in some but not all cutaneous tasks," *Neuropsychologia*, vol. 47, no. 10, pp. 2037–2043, 2009.
- [161] K. Hötting and B. Röder, "Hearing cheats touch, but less in congenitally blind than in sighted individuals.," *Psychol. Sci. a J. Am. Psychol. Soc. / APS*, vol. 15, no. 1, pp. 60–64, 2004.
- [162] R. W. Van Boven, R. H. Hamilton, T. Kauffman, J. P. Keenan, and a Pascual-Leone, "Tactile

- spatial resolution in blind braille readers.," *Neurology*, vol. 54, no. 12, pp. 2230–2236, 2000.
- [163] R. Fagiani and M. Barbieri, "A contact mechanics interpretation of the duplex theory of tactile texture perception," *Tribol. Int.*, vol. 101, pp. 49–58, 2016.
- [164] N. Bhushan, A. R. Rao, and G. L. Lohse, "The texture lexicon: Understanding the categorization of visual texture terms and their relationship to texture images," *Cogn. Sci.*, vol. 21, no. 2, pp. 219–246, 1997.
- [165] M. A. Bueno, M. Crest, G. Monteil, Y. Berthier, B. Lemaire-Semail, F. Massi, A. Vinter, J. M. Aimonetti, L. Carpentier, and P. H. Cornuault, "COSTaM: Tool Design for a Controlled Tactile Stimulation," *AMSE Journals-AMSE IFRATH Publ. _ Model. C*, vol. 75, pp. 31–42, 2015.
- [166] S. Lindberg, A. Roos, A. Kihlstedt, and M. Lindström, "A product semantic study of the influence of the sense of touch on the evaluation of wood-based materials," *Mater. Des.*, vol. 52, pp. 300–307, 2013.
- [167] S. J. Lederman, G. Thorne, and B. Jones, "Perception of texture by vision and touch: multidimensionality and intersensory integration.," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, vol. 12, no. 2, pp. 169–80, 1986.
- [168] P. Deneulin, C. Asselin, and J. Pagès, "Éléments pour une analyse de la variabilité sensorielle des vins rouges du val de Loire," *Rev. française d'Oenologie*, no. 221, p. nc, 2006.

Annexe1:Le nombre de sujets idéal dans les expériences de Napping® ?

Codes pour influence d'un sujet sur la carte de perception moyenne

Contretype bois et répliques

Tactile WC

- Library (SensoMineR) #on charge les package
- setwd ("d:/jessica.dacleu.SMS2000/Desktop/fichierWC") # on sélectionne le répertoire où se trouve le jeu de données
- nappe <- read.table ("resultstactile contretypebois.csv", sep=";", dec=".", header=TRUE, row.names=1) # on lit le fichier qui représente en fait la carte de perception
- nappe.MFA<-nappe[,
c("x_1AR","y_1AR","x_1CF","y_1CF","x_1CG","y_1CG","x_1CN","y_1CN","x_1CNE","y_1CNE",
,"x_1LG","y_1LG","x_1LR","y_1LR","x_1MB","y_1MB","x_1QC","y_1QC","x_1RC","y_1RC","x_1TD",
,"y_1TD","x_1AZ","y_1AZ","x_1CP","y_1CP","x_1GD","y_1GD","x_1JF","y_1JF","x_1VH",
,"y_1VH","x_1AH","y_1AH","x_1JV","y_1JV")]

```
nom_grs=
c("1AR","1CF","1CG","1CN","1CNE","1LG","1LR","1MB","1QC","1RC","1TD","1AZ","1CP","1GD","1JF",
"1VH","1AH","1JV")
  • res.mfatot<-MFA(nappe.MFA,
    group=c(2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2),
    type=c("c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c"),
ncp=5, name.group=nom_grs,
graph=FALSE) # on lance l'AFM sur les données
  • plot.MFA(res.mfatot, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE, habillage="ind",
    title="Avec tous les utilisateurs") # on affiche la carte moyenne de perception
  • nu <- floor(length(names(nappe.MFA))/2)
  • cf <- data.frame(); # Cf est un tableau qui va contenir les valeurs de coefficient RV entre la
    carte sans l'utilisateur i et la carte sans l'utilisateur i+1 ( ceci sert juste n'est pas forcément
    utile, ceci permet juste de comparer les cartes de sans un sujet i les unes aux autres)
  • cftot <- data.frame(); # Cftot un tableau qui va contenir les différents coefficients RV entre la
    carte globale moyenne de perception et la carte de perception sans l'utilisateur i. (c'est le
    tableau le plus utile)
  • indice <- 1
  • for (i in 1:nu)
{ XX<- nappe.MFA[, -c(indice, indice+1)];
xng<- nom_grs[-i];
```

```

res.mfa1<-MFA(XX,group=c(2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2),
type=c("c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c"), ncp=5,
name.group=xng, graph=FALSE)
plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE, habillage="ind",
title=paste("Sans l'utilisateur ", nom_grs[i]))
if (indice > 1)
{ cf<- rbind(cf,coeffRV(XX,Xp));
}
cftot<- rbind(cftot, coeffRV(nappe.MFA, XX));
indice<- indice + 2;
Xp <- XX;
}

```

- cf
- cftot

Tactile R

- library(SensoMineR)
- setwd("d:/jessica.dacleu.SMS2000/Desktop/fichierR/")
- nappe <- read.table("resultstactilereplica.csv", sep=";", dec=".", header=TRUE, row.names=1)
- nappe.MFA<-nappe[,
c("x_1CB","y_1CB","x_1CG","y_1CG","x_1FA","y_1FA","x_1FD","y_1FD","x_1GB","y_1GB","x_1JoV","y_1JoV","x_1JV","y_1JV","x_1LG","y_1LG","x_1LR","y_1LR","x_1MaB","y_1MaB","x_1MB","y_1MB","x_1MBo","y_1MBo","x_1MJI","y_1MJI","x_1NH","y_1NH","x_1QC","y_1QC","x_1RC","y_1RC","x_1SB","y_1SB","x_1YG","y_1YG")]
- res.mfa1<-MFA(nappe.MFA, group=c(2,2),
type=c("c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c"), ncp=5,
name.group=c("1CB","1CG","1FA","1FD","1GB","1JoV","1JV","1LG","1LR","1MaB","1MB","1MBo","1MJI","1NH","1QC","1RC","1SB","1YG"), graph=FALSE)
- nom_grs=
c("1CB","1CG","1FA","1FD","1GB","1JoV","1JV","1LG","1LR","1MaB","1MB","1MBo","1MJI","1NH","1QC","1RC","1SB","1YG")
- res.mfatot<-MFA(nappe.MFA, group=c(2,2),
type=c("c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c"), ncp=5,
name.group=nom_grs, graph=FALSE)
- plot.MFA(res.mfatot, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title="Avec tous les utilisateurs")
 - nu <- floor(length(names(nappe.MFA))/2)
- cf <- data.frame();
- cftot <- data.frame();
- indice <- 1
- for (i in 1:nu)
{
XX <- nappe.MFA[, -c(indice, indice+1)];
xng<- nom_grs[-i];

res.mfa1<-MFA(XX,
group=c(2,2),


```
TD","y_1TD","x_1AZ","y_1AZ","x_1CP","y_1CP","x_1GD","y_1GD","x_1JF","y_1JF","x_1VH","y_1VH",
"x_1AH","y_1AH","x_1JV","y_1JV"]], method = "napping", axes = 1:2, ncp=3, scale = FALSE, group =
c(rep(2,18)),nbsim = 200,level.conf = 0.95,new.plot=TRUE,
color=c("limegreen","darkgoldenrod","chocolate1","darkgray","deepskyblue3","darkmagenta","deep
pink2","brown1","black"))
###influence du nombre de sujet
```

```
# une petite fonction capable de trouver les colonnes qui vont bien
```

```
expand<- fonction (x){
taille<- length(x);
y<- rep(taille*2,0);
for (i in 1:taille)
{
y[2*i-1] <- 2*x[i] - 1;
y[2*i] <- 2*x[i];
}
return(y)
}
```

```
res.mfa<-MFA(nappe.MFA,
group=rep(2,nu),
type=rep("c", nu),
ncp=5,
name.group=nom_grs,
graph=FALSE)toto <- data.frame();
for (n1 in 2:(nu-1))
{
indices<- 1:nu;
ii<- sample(1:nu, n1);
ll<- indices;
```

```
xng1 <- nom_grs[ii];
XX1 <- nappe.MFA[,expand(ii)];
```

```
res.mfa1<-MFA(XX1,
group=rep(2,n1),
type=rep("c", n1),
ncp=5,
name.group=xng1,
graph=FALSE);
plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title=paste("Pour ",n1, "Sujets"));
```

```
toto<- rbind(toto, coeffRV(XX1,nappe.MFA));
}
```

```
plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title="Pour tous les Sujets")
```

```
toto
```

```

# sensibilité du tirage
# structure de données pour garde les stats
cfois<- data.frame();
for (n1 in 2:(nu -1)) {
fois<- nu

for (f in 1:fois)
{
indices<- 1:nu;
ii <- sample(1:nu, n1);

xng1 <- nom_grs[ii];
XX1 <- nappe.MFA[,expand(ii)];

res.mfa1<-MFA(XX1,
group=rep(2,n1),
type=rep("c", n1),
ncp=5,
name.group=xng1,
graph=FALSE);

cfois <- rbind(cfois, cbind(c(n1), t(coeffRV(XX1,nappe.MFA))));
}
}
Cfois
# cfois a été sauvegarder avec

write.table(as.matrix(cfois), file="cfoisTR.csv", sep="," , row.names=FALSE, col.names=TRUE)

#cfois<- read.csv("d:/jessica.dacleu.SMS2000/Desktop/travail avec Mihaela/cfois.csv")

>View(cfois)
> cc=cfois
# pour explorer les données relatives à une nombre particulier de sujet exemple 2 sujets

k<- 2 # je regarde ce qui se passe avec 2 utilisateurs

indice<- (cc[,1] == k)
indice
xx<- cc[indice,]
summary(xx)

```

Tactile R

```

library(SensoMineR)
setwd("d:/jessica.dacleu.SMS2000/Desktop/fichierR/")
nappe<- read.table("resultstactilereplica.csv", sep=";", dec=".", header=TRUE, row.names=1)
nappe.MFA<-nappe[,
c("x_1CB","y_1CB","x_1CG","y_1CG","x_1FA","y_1FA","x_1FD","y_1FD","x_1GB","y_1GB","x_1JoV","
y_1JoV","x_1JV","y_1JV","x_1LG","y_1LG","x_1LR","y_1LR","x_1MaB","y_1MaB","x_1MB","y_1MB",
"x_1MBo","y_1MBo","x_1MJl","y_1MJl","x_1NH","y_1NH","x_1QC","y_1QC","x_1RC","y_1RC","x_1S
B","y_1SB","x_1YG","y_1YG")]

```

```

res.mfa1<-MFA(nappe.MFA, group=c(2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2),
type=c("c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c","c"), ncp=5,
name.group=c("1CB","1CG","1FA","1FD","1GB","1JoV","1JV","1LG","1LR","1MaB","1MB","1MBo","1
MJJ","1NH","1QC","1RC","1SB","1YG"), graph=FALSE)
nom_grs=
c("1CB","1CG","1FA","1FD","1GB","1JoV","1JV","1LG","1LR","1MaB","1MB","1MBo","1MJJ","1NH","1
QC","1RC","1SB","1YG")
nu<- floor(length(names(nappe.MFA))/2)

```

une petite fonction capable de trouver les colonnes qui vont bien

```

expand<- fonction (x){
taille<- length(x);
y<- rep(taille*2,0);
for (i in 1:taille)
{
y[2*i-1] <- 2*x[i] - 1;
y[2*i] <- 2*x[i];
}
return(y)
}

```

```

res.mfa<-MFA(nappe.MFA,
group=rep(2,nu),
type=rep("c", nu),
ncp=5,
name.group=nom_grs,
graph=FALSE)toto <- data.frame();
for (n1 in 2:(nu-1))
{
indices<- 1:nu;
ii<- sample(1:nu, n1);
ll<- indices;

```

```

xng1 <- nom_grs[ii];
XX1 <- nappe.MFA[,expand(ii)];

```

```

res.mfa1<-MFA(XX1,
group=rep(2,n1),
type=rep("c", n1),
ncp=5,
name.group=xng1,
graph=FALSE);
plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title=paste("Pour ",n1, "Sujets"));

```

```

toto<- rbind(toto, coeffRV(XX1,nappe.MFA));
}

```

```

plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title="Pour tous les Sujets")

```

```

toto
# sensibilité du tirage

# structure de données pour garde les stats
cfois<- data.frame();
for (n1 in 2:(nu -1)) {
fois<- nu

for (f in 1:fois)
{
indices<- 1:nu;
ii <- sample(1:nu, n1);

xng1 <- nom_grs[ii];
XX1 <- nappe.MFA[,expand(ii)];

res.mfa1<-MFA(XX1,
group=rep(2,n1),
type=rep("c", n1),
ncp=5,
name.group=xng1,
graph=FALSE);

cfois <- rbind(cfois, cbind(c(n1), t(coeffRV(XX1,nappe.MFA))));
}
}
Cfois

```

Textures-anonymes et textures-objets

Texture-objet

```

library(SensoMineR)

setwd("d:/jessica.dacleu.SMS2000/Desktop/travail avec Mihaela/")
coques<- read.table("coord-coques.csv", sep=";", dec=".", header=TRUE, row.names=1)
summary(coques)
coques.MFA<-coques[,
c("x_2RC","y_2RC","x_2AH","y_2AH","x_2CN","y_2CN","x_2CP","y_2CP","x_2DF","y_2DF","x_2DG","
y_2DG","x_2DV","y_2DV","x_2LG","y_2LG","x_2LM","y_2LM","x_2MBa","y_2MBa","x_2SB","y_2SB",
"x_2VH","y_2VH","x_2AE","y_2AE","x_2DJ","y_2DJ","x_2GB","y_2GB","x_2GS","y_2GS","x_2HP","y_
2HP","x_2JV","y_2JV","x_2MBo","y_2MBo","x_2MC","y_2MC","x_2MD","y_2MD","x_2NP","y_2NP",
"x_2QC","y_2QC")]
nom_grs <-
c("2RC","2AH","2CN","2CP","2DF","2DG","2DV","2LG","2LM","2MBa","2SB","2VH","2AE","2DJ","2GB
","2GS","2HP","2JV","2MBo","2MC","2MD","2NP","2QC")
nu<- floor(length(names(coques.MFA))/2)
# une petite fonction capable de trouver les colonnes qui vont bien
expand<- fonction (x){
taille<- length(x);

```

```

y<- rep(taille*2,0);
for (i in 1:taille)
{
y[2*i-1] <- 2*x[i] - 1;
y[2*i] <- 2*x[i];
}
return(y)
}
res.mfa<-MFA(nappe.MFA,
group=rep(2,nu),
type=rep("c", nu),
ncp=5,
      name.group=nom_grs,
graph=FALSE)
toto<- data.frame();
for (n1 in 2:(nu-1))
{
indices<- 1:nu;
ii<- sample(1:nu, n1);
ll<- indices;

  xng1 <- nom_grs[ii];
  XX1 <- nappe.MFA[,expand(ii)];
  res.mfa1<-MFA(XX1,
group=rep(2,n1),
type=rep("c", n1),
ncp=5,
      name.group=xng1,
graph=FALSE);
plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title=paste("Pour ",n1, "Sujets"));
toto<- rbind(toto, coeffRV(XX1,nappe.MFA));
}
plot.MFA(res.mfa1, axes=c(1, 2), choix="ind", lab.ind=TRUE, lab.par=TRUE,
habillage="ind", title="Pour tous les Sujets")
toto
# sensibilité du tirage
# structure de données pour garde les stats
cfois<- data.frame();
for (n1 in 2:(nu -1)) {
fois<- nu

for (f in 1:fois)
{
indices<- 1:nu;
  ii <- sample(1:nu, n1);

xng1 <- nom_grs[ii];
XX1 <- nappe.MFA[,expand(ii)];

  res.mfa1<-MFA(XX1,

```

```
group=rep(2,n1),
type=rep("c", n1),
ncp=5,
      name.group=xng1,
graph=FALSE);

cfois <- rbind(cfois, cbind(c(n1), t(coeffRV(XX1,nappe.MFA))));
}
}
cfois
```

Annexe 2 : Perception tactile et vibrations induites : cas des des textures périodiques et des textures isotropes

Textures périodiques

- Test de classement pour les textures périodiques

Textures périodiques												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Pref
	100	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050	ref
Sujets	+lisse	←—————→										+rugueux
A	550	ref	100	850	750	150	1050	950	450	650	350	250
B	ref	150	850	1050	250	350	950	450	750	550	650	100
C	ref	850	950	1050	750	650	550	150	350	100	450	250
D	ref	750	250	950	650	550	100	1050	450	850	350	150
E	950	ref	550	750	250	350	850	650	1050	450	150	100
F	ref	250	750	1050	100	650	550	450	950	850	350	150
G	100	ref	150	450	950	1050	850	350	550	750	250	650
H	ref	650	850	1050	950	550	250	750	350	450	150	100
I	ref	650	950	750	250	850	550	450	350	1050	150	100
J	ref	850	150	1050	950	750	100	650	350	550	450	250
K	ref	1050	950	850	750	650	550	450	350	250	150	100
L	ref	1050	950	850	750	650	550	450	350	250	150	100
M	ref	1050	950	850	750	650	550	450	350	250	150	100
N	ref	1050	950	850	750	650	550	450	350	250	100	150
O	1050	ref	950	850	750	650	550	450	350	250	150	100

Calcul de la statistique de Friedman

J=15 ; P= 12

$$F = \frac{12}{15 \times 15 \times (12+1)} (140^2 + 135^2 + 124^2 + 134^2 + 128^2 + 101^2 + 100^2 + 81^2 + 74^2 + 65^2 + 68^2 + 20^2) - 3 \times 15 \times (12 + 1) = 76.68$$

- Test par paire
 - Les paires d'échantillon présentées aux sujets

Périodique	sujet1	sujet2	sujet3	sujet4	sujet5	sujet6	sujet7	sujet8	sujet9	sujet10	sujet11	écart (µm)
paire1	1-2	2-1	1-2	2-1	1-2	2-1	1-2	2-1	2-1	1-2	2-1	50
paire2	11-12	12-11	11-12	12-11	11-12	12-11	11-12	12-11	12-11	11-12	12-11	1000(1050)
paire3	1-11	2-11	10-12	2-11	1-11	10-12	10-12	2-11	1-11	2-11	10-12	900(950)
paire4	1-10	2-10	3-11	9-12	2-10	1-10	9-12	3-11	3-11	1-10	2-10	800(850)
paire5	1-9	2-9	3-10	4-11	8-12	3-10	2-9	1-9	8-12	1-9	3-10	700(750)
paire6	1-8	2-8	3-9	4-10	5-11	7-12	7-12	4-10	2-8	3-9	5-11	600(650)
paire7	1-7	7-1	1-7	7-1	1-7	7-1	1-7	7-1	7-1	1-7	7-1	500(550)
paire8	2-7	3-8	4-9	5-10	6-11	6-12	4-9	2-7	6-12	5-10	6-11	
paire9	1-6	11-7	1-6	11-7	1-6	11-7	1-6	11-7	11-7	1-6	11-7	
paire10	7-11	6-1	7-11	6-1	7-11	6-1	7-11	6-1	6-1	7-11	6-1	400(450)
paire11	2-6	3-7	4-8	5-9	6-10	5-12	5-12	4-8	2-6	3-7	6-10	
paire12	1-5	2-5	3-6	3-6	1-5	2-5	2-5	3-6	1-5	2-5	3-6	
paire13	4-7	5-8	6-9	5-8	4-7	6-9	5-8	4-7	4-7	5-8	6-9	300(350)
paire14	7-10	8-11	4-12	8-11	4-12	7-10	4-12	7-10	7-10	8-11	4-12	
paire15	1-4	4-1	1-4	4-1	1-4	4-1	1-4	4-1	4-1	1-4	4-1	
paire16	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	2-4	3-5	3-12	9-11	8-10	200(250)
paire17	5-7	6-8	7-9	8-10	9-11	3-12	8-10	9-11	2-4	3-5	4-6	
paire18	1-3	2-3	3-4	4-5	4-5	3-4	2-3	1-3	2-3	1-3	3-4	
paire19	5-6	6-7	7-8	8-9	8-9	7-8	6-7	5-6	6-7	5-6	7-8	100(150)
paire20	9-10	10-11	1-12	2-12	2-12	1-12	10-11	9-10	10-11	9-10	1-12	

○ Les panels

Aveugles

Aveugles	Sexe	Age	Type de cécité	Fumeur	Vision
A1	F	53	Congénitale	non	non voyant
A2	F	60	Tardive	non	non voyant
A3	M	66	Congénitale	non(depuis 2009)	mal voyant, champs de vision tubulaire avec 1 œil à 1/20e
A4	F	72	Congénitale	non	mal voyant, vision centrale avec 1 œil à 1/10e, couleur claire et foncées, silhouette, halo, flou
A5	M	59	Congénitale	non(depuis 1990)	mal voyant, peut se diriger facilement, voit de l'œil droit, voit les couleurs
A6	F	78	Tardive	non	mal voyant, voit de l'œil droit à 1/20e, visio périphérique, distingue les couleurs
A7	F	71	Précoce	non	non voyant (depuis l'âge de 35 ans)
A8	F	46	Congénitale	non	non voyante
A9	M	67	Précoce	non	non voyant
A10	F	44	Précoce	non	non voyante
A11	M	59	Précoce	non	non voyante

Voyants

Voyant	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
Sexe	M	M	M	F	F	M	M	M	M	M	F
Age	51	25	23	27	24	26	67	39	36	28	38

○ Les résultats des panels

Sujets aveugles			Sujets voyants		
Sujets	Bonnes réponses	Mauvaises réponses	Sujets	Bonnes réponses	Mauvaises réponses
A1	14	6	V1	19	1
A2	17	3	V2	16	4
A3	16	4	V3	14	6
A4	11	9	V4	14	6
A5	15	5	V5	14	6
A6	15	5	V6	14	6
A7	17	3	V7	17	3
A8	19	1	V8	14	6
A9	13	7	V9	14	6
A10	18	2	V10	16	4
A11	16	4	V11	13	7
Moyenne	15,55	4,45	Moyenne	15	5
Ecart type	2,30	2,30	Ecart type	1,79	1,79

- 18 Paires communes correctement identifiées par les 2 panels avec un taux de bonne réponse de 100%

Paires avec 100% de bonnes réponses	
P4-P5	100(150)
P6-P7	
P1-Pref	
P2-Pref	
P6-P8	200(250)
P2-P7	
P3-Pref	
P4-Pref	300(350)
P4-P8	400(450)
P6-P10	
P5-Pref	
P6-Pref	500(550)
P5-P11	600(650)
P1-P8	
P2-P9	700(750)
P8-Pref	
P1-P10	800(850)
P1-P11	900(950)

- 16 paires communes mal identifiées avec des taux de mauvaises réponse variant de 8 à 100%

	Paires avec des mauvaises réponses		
	% Voyants	% Aveugles	Ecart de longueur d'onde
P1-P2	37	37	50 μ m
P5-P6	33	67	100(150) μ m
P8-P9	50	67	
P2-P4	33	67	200(250) μ m
P3-P5	100	33	
P8-P11	67	25	
P3-P6	25	33	300(350) μ m
P6-P9	33	33	
P7-P10	50	25	
P7-P11	17	55	400(450) μ m
P1-P6	27	27	
P1-P7	18	8	550 μ m
P4-P10	50	50	600(650) μ m
P3-P10	50	100	700(750) μ m
P10-Pref	25	67	900(950) μ m
P11-Pref	8	18	100(1050) μ m

- Pourcentage de bonnes réponses des panels pour les écarts de longueur d'onde

Ecart de longueur d'onde (μ m)	Nombre de présentation	% bonnes réponses voyants	% bonnes réponses aveugles
50	11	73	64
100(150)	33	67	82
200(250)	33	76	85
300(350)	33	67	82
400(450)	33	85	61
500(550)	22	82	86
600(650)	11	73	82
700(750)	11	82	73
800(850)	11	91	73
900(950)	11	82	82
1000(1050)	11	91	82

Texture isotropes

- Les groupes d'échantillon présentés aux sujets

Isotrope	sujet1	sujet2	sujet3	sujet4	sujet5	sujet6	sujet7	sujet8	sujet9	sujet10	sujet11
paire1	1-2	2-1	1-2	2-1	1-2	2-1	1-2	2-1	1-2	2-1	1-2
paire2	3-4-5	4-5-3	5-3-4	5-4-3	3-5-4	3-4-5	4-5-3	5-3-4	5-4-3	3-5-4	3-4-5
paire3	6-7-8	7-8-6	8-6-7	8-7-8	6-8-7	6-7-8	7-8-6	8-6-7	8-7-8	6-8-7	6-7-8
paire4	9-10-11-12	10-11-9-12	12-9-10-11	9-10-12-11	10-9-12-11	11-12-9-10	9-11-12-10	10-9-11-12	12-11-10-9	10-11-12-9	9-11-10-12
paire5	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9
paire6	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10
paire7	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11
paire8	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9	9-3	3-9
paire9	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10	10-4	4-10
paire10	11-1	1-11	11-1	1-11	11-1	1-11	11-1	1-11	11-1	1-11	11-1
paire11	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11	11-5	5-11
paire12	1-5	5-1	1-5	5-1	1-5	5-1	1-5	5-1	1-5	5-1	1-5
paire13	2-6	6-2	2-6	6-2	2-6	6-2	2-6	6-2	2-6	6-2	2-6
paire14	7-8	8-7	7-8	8-7	7-8	8-7	7-8	8-7	7-8	8-7	7-8
paire15	7-12	12-7	7-12	12-7	7-12	12-7	7-12	12-7	7-12	12-7	7-12
paire16	8-12	12-8	8-12	12-8	8-12	12-8	8-12	12-8	8-12	12-8	8-12

- Nombre de bonnes et de mauvaises réponses données par les deux panels pour la série périodique

Sujets	Sujets aveugles		Sujets voyants		
	Bonnes reponses	Mauvaises réponses	Sujets	Bonnes réponses	Mauvaises réponses
A1	15	1	V1	15	1
A2	12	4	V2	11	5
A3	11	5	V3	14	2
A4	13	3	V4	14	2
A5	12	4	V5	14	2
A6	12	4	V6	11	5
A7	12	4	V7	14	2
A8	12	4	V8	12	4
A9	12	4	V9	14	2
A10	13	3	V10	11	5
A11	10	6	V11	12	4
Moyenne	12,45	3,55	Moyenne	12,91	3,09
Ecart-type	1,25	1,29	Ecart-type	1,51	1,51

Annexe 3 : Perception d'une texture familière

- Durée des tests de Napping pour les campagnes contretypage bois (WC) et réplique (R)

CampagneWC	Panélistes	Tactile			Visuel			Visio-tactile		
		Disposition(S)	Verbalisation(S)	Total(S)	Disposition(S)	Verbalisation(S)	Total(S)	Disposition(S)	Verbalisation(S)	Total(S)
1	GD	51	136	187	51	122	173	120	102	222
2	VH	205	125	330	75	164	239	145	166	311
3	AZ	264	86	350	270	43	313	155	218	373
4	CP	459	85	544	52,8	100,2	153	316	159	475
5	JF	102	35	137	60	110	170	160	64	224
6	AH	274	252	526	110	250	360	318	168	486
7	JV	250	145	395	144	269	413	697	162	859
8	MB	300	216	516	360	289	649	356	268	624
9	QC	600	191	791	210	236	446	480	328	808
10	LG	93	78	171	62	111	173	92	83	175
11	RC	780	300	1080	300	240	540	600	240	840
12	CNE	210	150	360	120	24	144	82	73	155
13	CN	300	90	390	128	112	240	200	231	431
14	CF	180	12	192	170	46	216	180	30	210
15	AR	239	60	299	130	329	459	213	507	720
16	CG	210	171	381	60	60	120	180	50	230
17	TD	60	60	120	29	81	110	97	210	307
18	LR	420	162	582	480	170	650	660	159	819
Moyenne		277,61	130,78	408,39	156,21	153,12	309,33	280,61	178,78	459,39
Ecart-type		187,95	76,43	243,21	123,69	94,02	178,47	200,29	115,41	254,95
Min		51	12	120	29	24	110	82	30	155
Max		780	300	1080	480	329	650	697	507	859

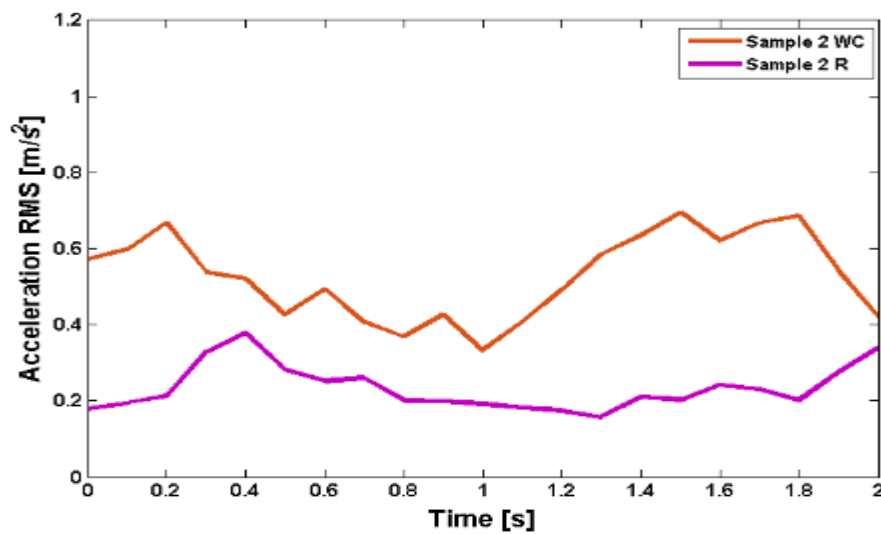
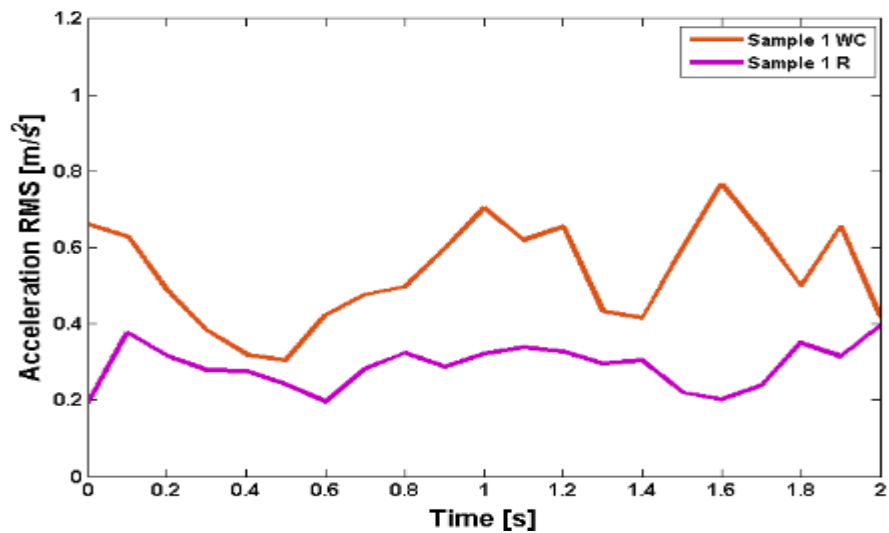
CampagneR	Panélistes	Tactile			Visuel			Visio-tactile		
		Disposition(S)	Verbalisation(S)	Total(S)	Disposition(S)	Verbalisation(S)	Total(S)	Disposition(S)	Verbalisation(S)	Total(S)
1	CB	131	85	216	167	387	554	206	118	324
2	CG	301	53	354	447	88	535	521	157	678
3	FA	219	246	465	145	85	230	178	225	403
4	FD	135	135	270	230	182	412	299	314	613
5	GB	516	134	650	387	63	450	374	124	498
6	JoV	166	160	326	144	160	304	339	103	442
7	JV	166	74	240	178	211	389	163	211	374
8	LG	81	83	164	77	57	134	152	45	197
9	LR	133	139	272	120	98	218	196	84	280
10	MB	89	118	207	50	68	118	111	137	248
11	MaB	320	100	420	176	105	281	191	139	330
12	MBo	308	146	454	257	139	396	182	164	346
13	MJI	174	63	237	88	139	227	132	58	190
14	NH	208	77	285	122	127	249	216	77	293
15	QC	78	72	150	172	117	289	238	127	365
16	RC	369	237	606	325	86	411	240	162	402
17	SB	165	136	301	302	208	510	240	90	330
18	YG	364	110	474	210	176	386	220	154	374
Moyenne		217,94	120,44	338,39	199,83	138,67	338,50	233,22	138,28	371,50
ecart type		120,11	54,22	144,51	107,92	78,38	130,56	98,53	64,93	127,13
Min		78	53	150	50	57	118	111	45	190
Max		516	246	650	447	387	554	521	314	678

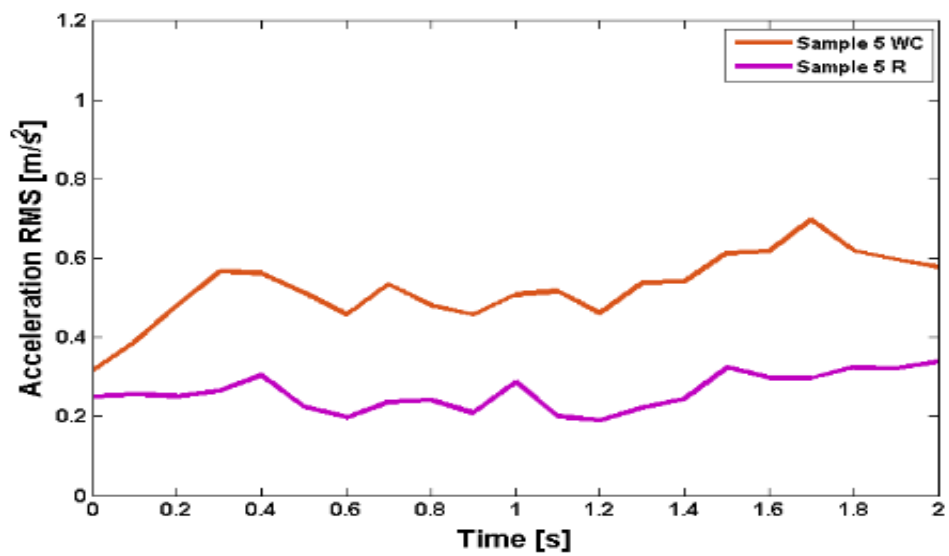
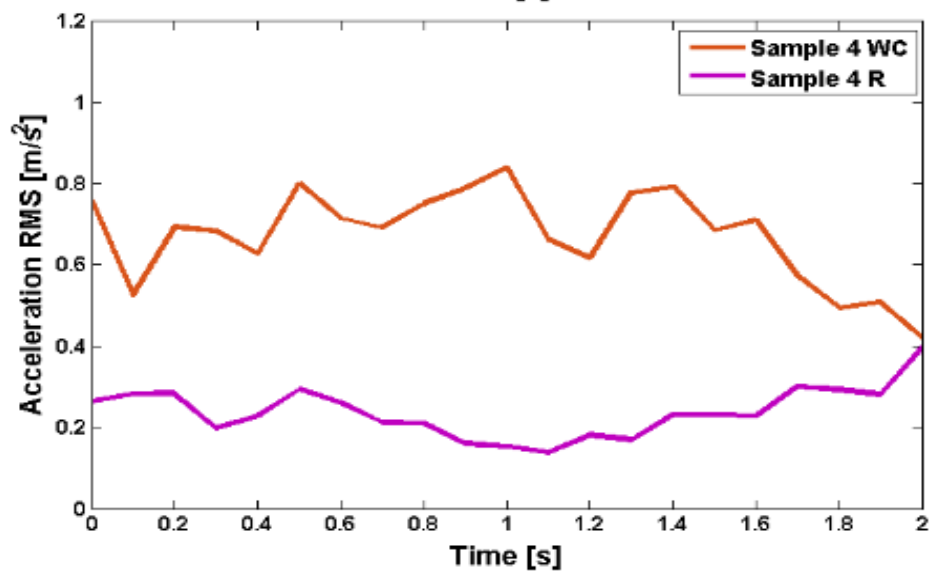
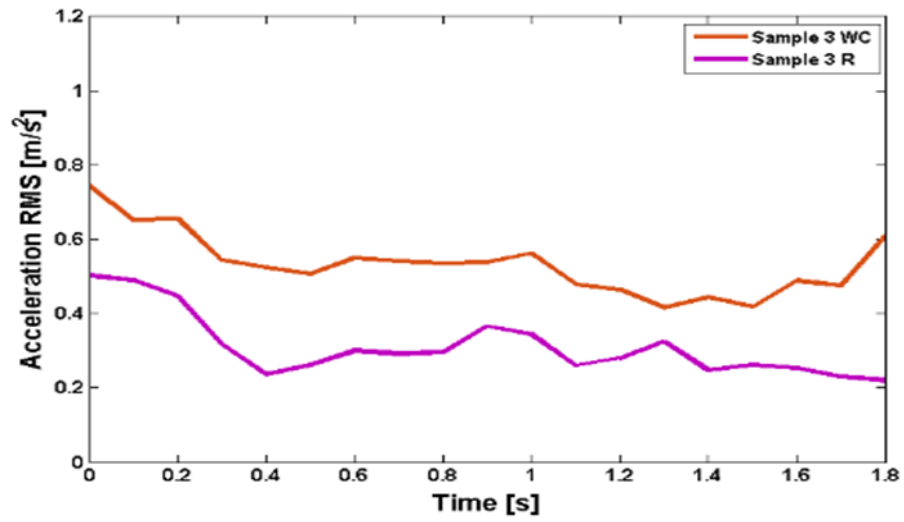
- Valeurs moyennes de coefficient de friction et d'accélération RMS pour les campagnes WC et R

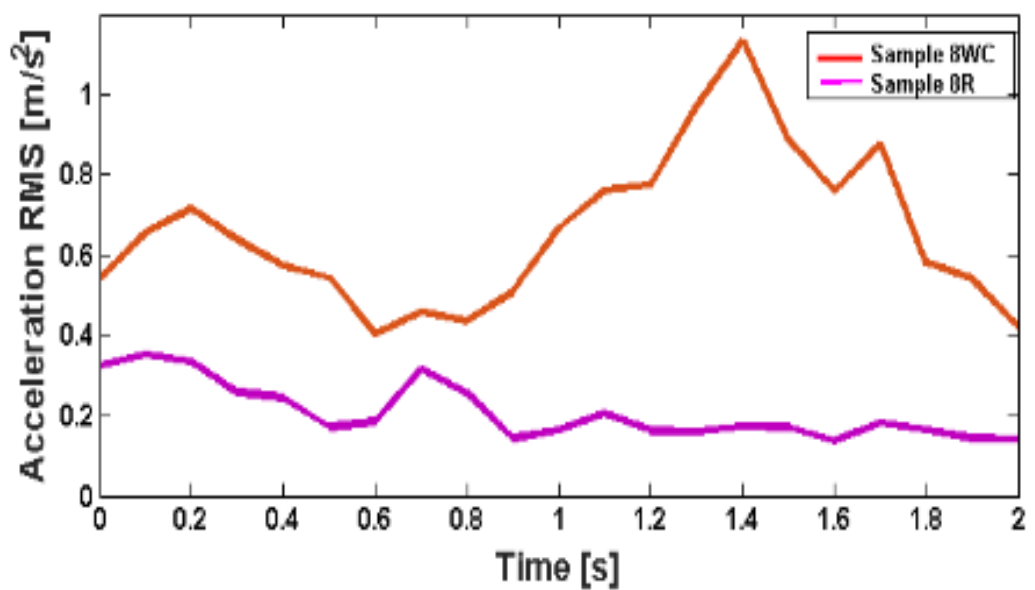
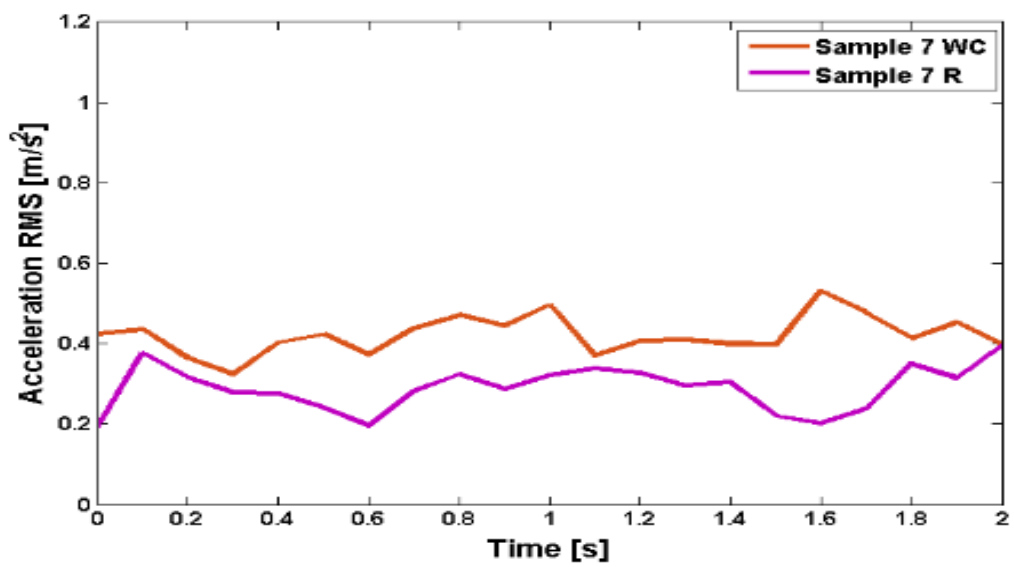
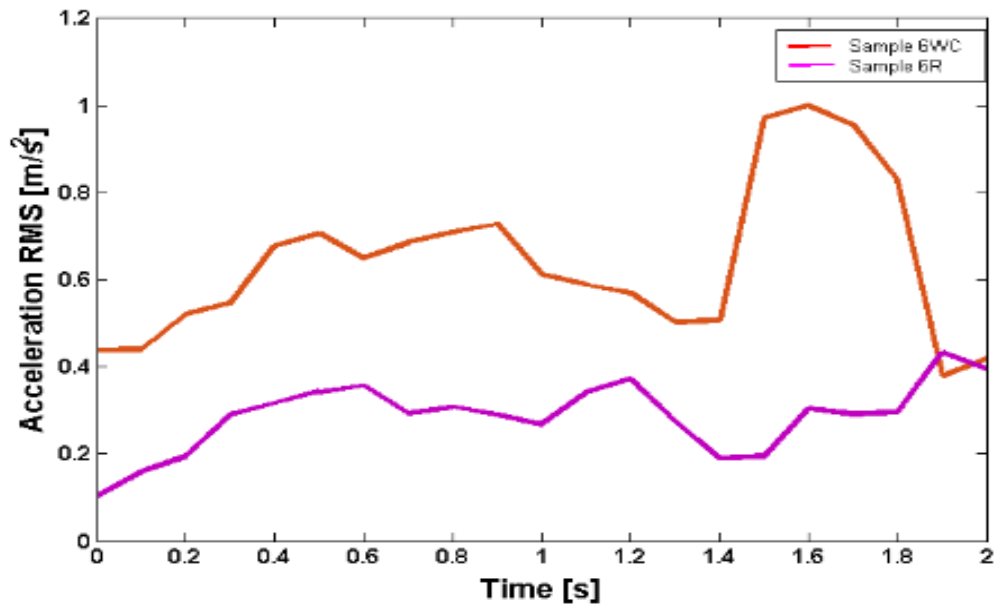
Echantillons	Contretypagebois (WC)		Repliques (R)	
	Coefficient de friction	Acceleration Rms	Coefficient de friction	Acceleration Rms
1	0,95	0,59	0,66	0,34

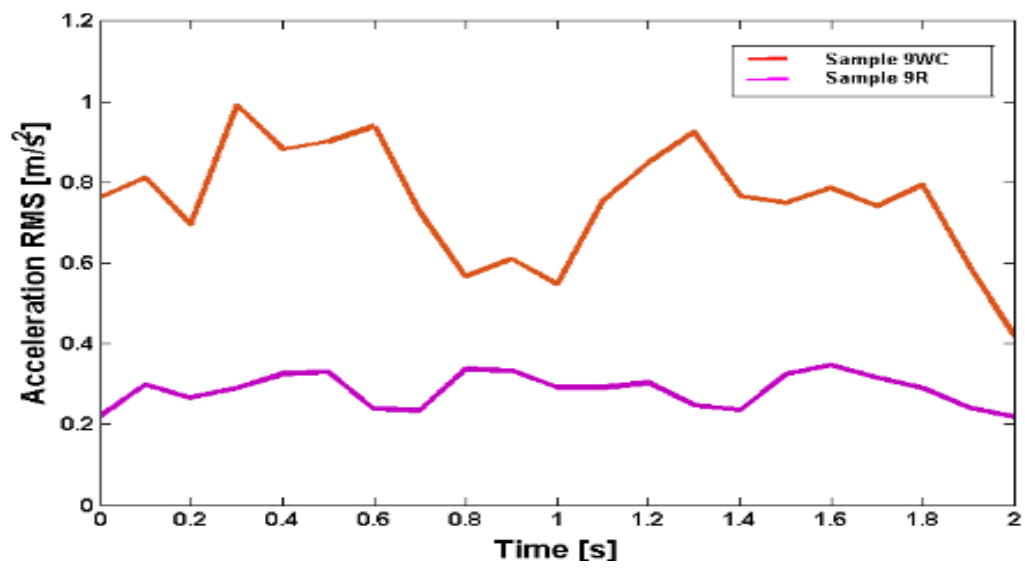
2	0,94	0,49	0,69	0,31
3	0,84	0,52	0,66	0,38
4	0,75	0,69	0,65	0,22
5	0,93	0,71	0,80	0,32
6	0,93	0,53	0,79	0,32
7	0,86	0,59	0,79	0,30
8	0,83	0,68	0,64	0,25
9	0,93	0,73	0,65	0,31
Moyenne	0,886	0,612	0,702	0,306
Ecart type	0,068	0,088	0,068	0,046

- Spectre d'AccRMS des différents échantillons WC et R : Comparaison des deux spectres (WC et R) pour chaque échantillon









Annexe 4 : Perception et identification des matériaux et textures en design de produit

- Les différents coefficients RV entre les cartes de perception

Coeff RV	O2	O1	A1	A2	O	A
O2	1	0,83 (p= 0,00011)	0,82 (p= 0,00018)	0,94 (p= 1,72e-05)	0,95 (p=1,652e-05)	0,91 (p=4,42e-05)
O1	0,83 (p= 0,00011)	1	0,80 (p=0,00015)	0,84(p=0,00011)	0,96 (p=1,201e-05)	0,87(p=8.73e-05)
A1	0,82 (p= 0,00018)	0,80 (p=0,00015)	1	0,81 (p=0,00023)	0,86 (p=0,00010)	0,96 (P= 3,486e-05)
A2	0,94 (p= 1,72e-05)	0,84(p=0,00011)	0,81 (p=0,00023)	1	0,92 (p=2,79e-05)	0,95 (p=1,65e-05)
O	0,95 (p=1,652e-05)	0,96 (p=1,201e-05)	0,86 (p=0,00010)	0,92 (p=2,79e-05)	1	0,93 (P=3.79x10-5)
A	0,91 (p=4,42e-05)	0,87(p=8.73e-05)	0,96 (P= 3,486e-05)	0,95 (p=1,65e-05)	0,93 (P=3.79x10-5)	1

- Comparaison entre les termes corrélés au terme « lisse » dans les contextes texture-anonyme et texture-objet

Lisse (texture-anonyme)		Lisse (texture-objet)	
> findAssocs(Atdm, "lisse", 0.5)		> findAssocs(Otdm, "lisse", 0.5)	
\$lisse		\$lisse	
texture_apparente_non_perceptible_au_toucher	0,97	aucune_rugosité	0,98
très_lisse	0,97	lisse_avec_texture_apparente	0,98
toucher_lisse	0,92	actile_différent_de_visuel	0,98
lisse_et_brillant	0,80	très_lisse	0,88
lisse_structure_plus_rugueuse	0,80	aspect_plastique	0,78
motif_visuel	0,80	class	0,78
non_rugueux_à_motif	0,80	froid	0,78
plexiglass	0,80	original	0,78
tactile_différent_de_visuel	0,80	plastique_lisse	0,78
tissage	0,70	structuré_lisse	0,78
carré	0,70	très_plastique	0,78
lisse_et_tréssé	0,70	un_peu_plus_mou	0,78
quadrillage	0,70	lisse_tissé	0,54
relief_impression_3d_original	0,70	texture_uniquement_visuelle	0,54
répétitif_et_lisse	0,70	trompe_l_oeil	0,54
trompe_l_oeil	0,70		
travaillé	0,63		
relief_avec_motif_point	0,60		
plastique_mou_très_lisse	0,59		
lisse_avec_surépaisseur	0,54		
lisse_avec_sur_épaisseur	0,51		

- Comparaison entre les termes corrélés au terme « rugueux » dans les contextes texture-anonyme et texture-objet

findAssocs(Atdm, "rugueux", 0.5)		findAssocs(Otdm, "rugueux", 0.5)	
\$rugueux		\$rugueux	
désagréable	0,8	pas_très_plaisant	0,88
un_peu_rugueux	0,8	toucher_rugueux	0,88
aspérités_plus_grosses	0,77	intense	0,81
_effet_peau	0,54	sombre	0,81
accrochant_avec_aspérité	0,54	antidérapant	0,79
adhérent	0,54	grossier	0,79
chaud	0,54	pas_agréable	0,79
dur	0,54	pratique	0,79
grille	0,54	solide	0,79
hybride	0,54	technique	0,79
motif_continu	0,54	texturé_dur	0,79
mou	0,54	très_accrochant	0,79
pas_agréable_au_toucher	0,54	très_agressif	0,79
peau_cuir	0,54	très_rugueux	0,79
plastique	0,54	relief	0,76
plus_rugueux	0,54	plus_d_aspérité	0,65
points	0,54	plus_rugueux	0,65
relief	0,54	volume	0,64
relief_formé_de_points_visibles	0,54	plastique	0,63
rugueux_agressif	0,54	surface_travaillé	0,59
sableux	0,54		
tactile	0,54		
texturé_doux_et_dur	0,54		
texture_visuelle	0,54		
très_accrochant	0,54		
très_rugueux	0,54		
un_peu_moelleux	0,54		
mou_et_doux	0,52		
type_cuir	0,52		
aspect_tissu	0,5		
bosses	0,5		
chaud_vivant	0,5		
dessin_grossier_et_pas_lisse	0,5		
gros_motifs_irréguliers	0,5		
irrégulier	0,5		
moelleux	0,5		
motif_plus_grand	0,5		
original	0,5		
plus_granuleux	0,5		
tissu_rugueux	0,5		

- 4 premiers termes pour chaque texture dans les 2 contextes

	Texture	Texture -objet	Texture-anonyme
#1		rugueux agréable lisse aspect_tissu_cuir chaud doux vivant	accrochant_avec_aspérité aspect_géométrique texture_visuelle brillant aspect_tissu
#2		moelleux agréable amortissant moelleux chaud rétro agréable lisse aspect_tissu_cuir	doux accrochant aspect_tissu coussin_molletonné
#3		peu_rugueux aspect_palstique_plus_travaillé aspect_pas_assez_marqué caoutchouc_plus_dur_plus_rigide accrochant qui_ne_glisse_pas	accrochant adhérant bas_de_gamme bas_de_gamme_pas_travaillé
#4		lisse agréable lisse agréable lisse bois aspect_bois	lisse toucher_lisse aspect_bois aspect_plus_naturel bois
#5		lisse agréable lisse aspect_plastique_froid aucune_rugosité	lisse toucher_lisse brillant dessin_grossier_et_lisse
#6		agréable lisse aspect_faux_cuir aspect_pas_assez_marqué chaud doux vivant	accrochant adhérant bas_de_gamme bas_de_gamme_pas_travaillé
#7		rugueux très_rugueux accrochant rugueux grossier	très_rugueux accrochant dur hybride
#8		lisse aspect_plastique_froid aucune_rugosité class original lisse	lisse toucher_lisse brillant carré
#9		lisse aspect_plastique_froid aucune_rugosité class original lisse	lisse toucher_lisse brillant carré
#10		peu_rugueux aspect_palstique_plus_travaillé aspect_pas_assez_marqué caoutchouc_plus_dur_plus_rigide accrochant qui_ne_glisse_pas	accrochant bas_de_gamme bas_de_gamme_pas_travaillé effet_peau_de_serpent
#11		lisse aspect_plastique_froid aucune_rugosité class original lisse	lisse toucher_lisse brillant carré
#12		aspect_palstique_plus_travaillé class_avec_relief_travaillé doux doux brillant à_reflets effet_plus_marqué	accrochant adhérant aspect_géométrique texturé_visuel brillant assez_lisse glissant plus_caoutchouteux

NNT : 2017LYSEM031

Jessica DACLEU NDENGUE

TACTILE AND VISUAL SENSATIONS AND PERCEPTIONS OF TEXTURED MATERIALS

Speciality: Material science

Keywords: texture, materials, sensory evaluation, perception, perceived quality.

Abstract:

The sensory properties of material provide leverage of perceived value. The challenge is to relate 3 spaces of material characterization: a physical space describe by measurable data using instruments, a psychophysical space describes by measurable data collected with the human perceptive system, and a semantical space which represent a more global perception of the material. Sensory evaluation methods are used to collect data of visual, tactile and visio-tactile perception. In parallel, the tactile sensation is studied more in detail using tribo-tactile instruments. The different sets of samples allow the exploration of the 3 characterization spaces. The analysis of friction induced vibrations when the finger is scanning periodic and isotropic surfaces reveal that the root mean square value of the acceleration spectra as well as the friction coefficient are coherent with the tactile perception test results. The study of wood archetype texture shows that samples discrimination is based on two main criteria: the roughness and the heterogeneousness, the latter referring to the presence or not of characteristic peculiarities of the wood. Besides, the analysis of friction induced vibrations is also coherent with the results of the tactile perception test. Finally, the study of same set of textures presented in the form of piece of material and in the form of an identified object shows that, contrary to the artificial textures, the natural or familiar textures are perceived in a similar way in both contexts of presentation.

NNT : 2017LYSEM031

Jessica DACLEU NDENGUE

SENSATIONS ET PERCEPTIONS VISUELLES ET TACTILES DES MATERIAUX TEXTURES

Spécialité: Sciences des matériaux

Mots clefs : textures, matériaux ; évaluation sensorielle, perception, qualité perçue

Résumé :

Les propriétés sensorielles des matériaux constituent un élément important de la valeur perçue. L'enjeu est de mettre en relation 3 espaces de caractérisation des matériaux : un espace physique décrit par des données mesurables par des instruments, un espace psychophysique décrit par des données mesurables par l'appareil perceptif humain, un espace sémantique qui traduit une perception plus globale du matériau. Des méthodes de l'analyse sensorielle sont utilisées pour collecter des données de perception visuelle, tactile et visio-tactile. En parallèle, la sensation tactile est étudiée plus en détail à l'aide d'instruments de tribologie tactile. Les différents jeux d'échantillons sélectionnés permettent d'explorer les 3 espaces de caractérisation. L'analyse des vibrations induites par le contact entre le doigt et des textures artificielles, périodiques et isotropes, montre que la valeur efficace du signal d'accélération ainsi que le coefficient de frottement sont cohérents avec les résultats des tests de perception tactile. En étudiant des archétypes du bois, il apparaît que les échantillons sont différenciés selon deux critères principaux : la rugosité et l'hétérogénéité. Ce dernier faisant référence à la présence ou non de singularités caractéristiques du bois. Par ailleurs, l'analyse des vibrations induites est cohérente avec les résultats des tests de perception tactile. Enfin, l'étude d'un même ensemble de textures présentées sous forme d'un disque de matière et sous forme d'un objet identifié a permis de montrer que, contrairement aux textures artificielles, les textures naturelles ou identifiables sont perçues de manière similaire dans les deux contextes de présentation.