

UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE BELFORT MONTBELIARD
UNIVERSITE DE FRANCHE COMTE
Ecole doctorale Sciences Pour l'Ingénieur et Microtechnique (S.P.I.M.)
En Cotutelle avec UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BUCAREST
Année 2013

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR

Spécialité : Sciences pour l'ingénieur

Présentée et soutenue publiquement par :

Ana-Maria AVRAMESCU

Le 13.12.2013

à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

**APPROCHE DE L'IMPACT DES MATERIAUX BIO-SOURCES
SUR LA QUALITE PERÇUE DES PRODUITS :
CAS DE LA FIBRE DE LIN**

Jury

Hamadi **BOUABID**, Professeur des Universités, Université de La Manouba, (Tunisie), Rapporteur
Anne-Marie **LHERITIER**, Enseignant chercheur HDR, Ecole de Biologie Industrielle, Rapporteur
Patrick **TRUCHOT**, Professeur des Universités, INPL, Examineur
Jean-Claude **SAGOT**, Professeur des Universités, IRTES-SeT, UTBM, Directeur de thèse (France)
Morad **MAHDJOUR**, Maître de Conférences, IRTES-SeT, UTBM, Co-directeur de thèse (France)
Ionel **SIMION**, Professeur des Universités, UPB, Directeur de thèse (Roumanie)

A mes parents...

Remerciements

Savoir qui remercier est facile...

Savoir ordonner les remerciements l'est moins !

Je tiens tout d'abord à remercier le professeur **Jean-Claude Sagot**, responsable de l'équipe SeT – ERCOS, pour avoir dirigé mes travaux de thèse, pour la dynamique qu'il a donnée à ce travail et pour les conditions de travail exceptionnelles qu'il m'a offert. Je lui prie d'accepter à cette occasion le témoignage de ma profonde gratitude pour m'avoir accueillie au sein du département Ergonomie, Design et Ingénierie Mécanique de l'UTBM. Je lui suis particulièrement reconnaissante pour ses conseils sans lesquels ce travail n'aurait jamais pu être réalisé dans les délais. Je tiens également à le remercier pour ses qualités scientifiques et humaines. Je suis infiniment heureuse et honorée d'avoir fait ma thèse sous sa direction.

Je suis très sensible à l'honneur que m'a fait la professeure **Anne-Marie Lhéritier** en acceptant d'être rapporteuse de cette thèse, malgré ma demande tardive. Je suis particulièrement honorée d'avoir fait sa connaissance dans le cadre de cette thèse, tant que pour sa gentillesse. Je remercie aussi le professeur **Hamadi Bouabid**, de l'Ecole Supérieure des Sciences et Technologie de Design, Université de La Manouba, Tunisie, qui m'a fait l'honneur d'être rapporteur de mes travaux de thèse.

Je remercie aussi le professeur **Patrick Truchot**, de l'INPL (Nancy) qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Ces travaux, financés par l'Union Européenne [POS DRU/107/1.5/S/76813] et par l'Equipe ERCOS, ont été effectués dans le cadre d'une convention de cotutelle de thèse entre l'Université de Technologie de Belfort – Montbéliard, France et l'Université Polytechnique de Bucarest, Roumanie.

Je tiens à exprimer mon profond sentiment de reconnaissance à mon co-directeur de thèse, **Morad Mahdjoub** – Maître de conférences à l'UTBM, pour l'intérêt constant qu'il a porté à cette étude, pour ses précieux conseils prodigués, pour l'attention avec laquelle il a suivi mes travaux, pour m'avoir fait confiance, pour m'avoir encouragé, pour l'excellent point de départ qu'il m'a donné dans la vie professionnelle. Je mesure toute la chance que j'ai eu de travailler sur un tel sujet, très innovateur à mon goût, et sur les opportunités de développement qui m'ont été offertes. Je le remercie également pour son soutien dans les moments difficiles, et ils ont été nombreux, pour ses observations qui m'ont permis d'évaluer. C'est grâce à lui, à sa manière d'aider, à sa façon d'expliquer et de se faire comprendre par les autres, que j'ai réussi à reprendre confiance en moi-même et à faire au mieux pour atteindre mes objectifs de recherche. Il me faudrait mille pages de plus pour lui adresser mes remerciements et ma reconnaissance... [Mais Morrrrrraaaaad, je veux finir cette thèse !!!]

Je remercie tout particulièrement le professeur **Ionel Simion**, directeur du département Génie Graphique et Design Industriel de l'UPB, qui a encadré ce travail en Roumanie, pour son rôle en tant que directeur de thèse, pour sa gentillesse et pour toutes les discussions, scientifiques ou non. Merci aussi pour sa sévérité et pour m'avoir souvent remonté le moral... Un chaleureux merci de m'avoir supporté, dans les deux sens du terme... pour la confiance qu'il m'a accordé et la sympathie qu'il m'a témoigné au cours de ces années.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à **Florence Bazzaro** – Maître de conférences à l'UTBM, pour la grande contribution tant scientifique qu'humaine qu'elle a réussi à m'apporter dans les moments peut-être les plus difficiles de la thèse et de la vie, et aussi pour avoir été cette source de connaissances et d'idées, qui m'ont permis de trouver la voie dans ce sujet. Sa gentillesse et sa patience, ainsi que ses conseils, ont été déterminants dans la réalisation de ce travail. Les discussions que nous avons pu avoir à plusieurs reprises ont toujours été très instructives et bénéfiques pour l'avancée de mes travaux. Je suis très heureuse d'avoir pu échanger des idées sur les méthodologies statistiques avec elle. Je la remercie sincèrement pour sa grande implication et ses conseils avisés en matière d'analyse sensorielle et d'analyse statistique et pour toutes les expérimentations faites à ma place. Tout mon respect et mon amitié pour une telle personne !

Quant à vous, famille Charrier... Un immense merci à **Marjorie, Damien, ma P'tite Jadounette**... pour m'avoir continuellement encouragé, pour m'avoir toujours soutenue moralement ! Je vous souhaite tous mes vœux de bonheur. Je ne peux pas exprimer ma reconnaissance en quelques lignes, tout simplement MERCI pour tous les instants magiques, les moments de détente, les discussions et leur compréhension. Je les remercie pour les week-ends « en famille » chaque dimanche. Je remercie également à **Marie-Jeanne et Walter** pour m'avoir accueillie chez eux. Merci pour le gâteau magnifique et pour le barbecue délicieux. Je vous remercie du fond du cœur pour la bonne humeur qui est tellement contagieuse, que même la journée la plus terne avec vous devient radieuse...

Je souhaite tout particulièrement remercier à mon colocataire de bureau et ami, **Damien Fleche**, pour avoir supporté mes phases d'espoir et de désespoir, et avec qui j'ai partagé des tendres moments de complicité. Merci pour les plaisanteries, pour son motivation, pour m'avoir aidé lors des expérimentations, pour ses qualités humaines et ses encouragements. Merci d'avoir répondu patiemment à mes questions et d'avoir pris le temps de relire mes articles, à la recherche des nombreuses fautes perdues. Toujours à l'écoute et prêt à donner un coup de main, merci pour toute ta gentillesse et bon courage pour la suite ! [Ça me fait beaucoup rire !!!]

Merci également à **Emmanuelle, Lionel et François** avec qui j'ai lié une profonde amitié, qui je l'espère, durera. Merci à toi, **Manue**... pour tout ton soutien dans les moments les plus difficiles de ma vie, merci de ta disponibilité, de l'accueil et d'avoir toujours été là...

Je n'oublie pas **Thierry Rouxel**, toujours prêt à m'aider sans qui une partie de ce travail n'aurait pu être réalisée. Merci beaucoup pour son aide précieuse pour la fabrication des échantillons et produits, merci pour tout.

Je tiens à remercier **Jean-Bernard** pour sa continuelle bonne humeur qui m'a fait sourire même les jours les moins drôles. Je l'admire pour sa qualité d'écoute dans les périodes difficiles. Merci pour son soutien permanent, ainsi que pour son aide, pour tous les moments de partage qui ont été précieux dans la réalisation de ce travail. Je te remercie, **J. – B.** !

Merci à ceux qui ont toujours été mes amis, **Morgane, Jérôme et Maxime**, qui au fil de ces deux années, sont devenus des amis chers. Ils m'ont aussi transmis ce goût de thé qui revient inéluctablement tous les jours vers 16h. Je vous remercie pour la sympathie et pour la présence amicale au long de ces deux années.

Je tiens à remercier **Ahmad** pour l'aide qui m'a offert pendant mon séjour en France, pour son soutien et pour les blagues en roumain. « Franchement, Ahmad! Ce n'est pas vrai! »

Merci à **Bordas** pour les grandes pauses « détente », pour son aide discrète mais efficace dans les périodes de stress. Merci pour toutes les discussions que nous avons partagées dans notre « chambre de filles ». [T'es trop la top, Ma Bordas à moi !!!]

Je remercie particulièrement **Sylvie, Sébastien et Maxime** qui ont souvent su me communiquer la force. Je remercie également, pour leur aide, leur gentillesse et pour tous les bons moments que nous avons pu passer ensemble, les autres membres de l'équipe, des plus anciens aux derniers arrivés. Merci pour les échanges et les discussions agréables que nous avons partagés. Merci donc à **Régis, Antoine, Amir, Gérard, Hugues, Laurence, Essolé, Bernard**. Merci à vous tous !

D'autre part, je tiens à remercier tout l'ensemble des participants aux différents panels d'analyse sensorielle qui ont participé à nos recherches. Les résultats issus de cette thèse ont été en grande partie obtenus grâce à la persévérance et l'assiduité des **étudiants EDIM**. Merci encore pour leur enthousiasme, leur grande sympathie et leur disponibilité.

Eloignée de vous, mais sans vous oublier. Tout mon respect et mes remerciements à mes anciennes professeurs et collègues de l'Université Polytechnique de Bucarest. Merci de m'avoir encouragé à aller encore « plus haut », encore « plus loin » ! Merci donc à **Mirela, Mme. Ionita, Mme. Duca, Mme. Valter, Mme. Tapu, M. Raicu, M. Dobre, M. Adîr, Nicoleta, Milica, Jenny, Gaby, Florina...**

Merci infiniment à tous mes ami(e)s roumain(e)s qui ont réussi à me supporter et à me comprendre à tout moment ! Ils ont tous « leurs places » dans un « endroit spéciale »... Merci et bisous à vous tous : **Emilia, Mihaela (Maimuuu !!!), Claudia (Maimutzyca !!!), Larisa (Mitza !!!), Mirela (Matzonc !!!), Florin (Misulache !!!), Roxana (Zuzica !!!), Georgeta, Alexandru, Sorin (Giovany)...** Merci spécialement à toi, **Emy...** pour ta gentillesse, ta bonne humeur, ta bienveillance, ton positivisme, ton soutien, ta confiance, ta pertinence, ton enthousiasme et ton sourire... et la liste peut continuer... « Ti pup, fata !!! »

Je remercie chaleureusement mes filles du Cluj-Napoca, **Alina, Oana et Ancuta**, pour leurs précieux encouragements, leur patience et leur optimisme qui m'ont permis, à chaque passage difficile, de poursuivre un peu plus avant.

Je tiens à remercier spécialement à **M. Dumitru Cătoi** qui m'a aidé, à sa manière... pour ses conseils, l'attention et les discussions qu'il m'a accordés.

J'exprime enfin ma profonde gratitude avec tout le respect et l'amour du monde à **mes parents, à ma sœur et à mon frère**, toujours présents malgré la distance. A ma sœur et ses deux petits fils, **Eric et David** – mes petits rayons de soleil !!! A ma maman qui m'a toujours encouragé et qui a toujours été là dans tous ces moments de la vie de bonheur ou d'épreuve. On ne choisit pas ses parents mais pour moi le hasard a bien fait les choses. Merci de m'avoir ouvert l'esprit et d'avoir attisé ma curiosité depuis ma plus jeune enfance. Tout ceci n'aurait jamais été possible sans vous. Je vous laisse maintenant contempler votre travail. Vous pouvez être fiers de vous !

Cette thèse m'a permis d'aller à la rencontre de moi-même, de prendre confiance en moi, de découvrir la force du travail en équipe...

Bref, si c'était à refaire... Je la referai volontiers cette thèse...

Sommaire

CHAPITRE I	21
INTRODUCTION	21
1 Introduction générale	22
1.1 Contexte général.....	23
1.2 L'intérêt pour les matériaux bio-sourcés et problématique générale associée	24
1.3 Plan de la thèse	25
CHAPITRE II	27
ETAT DE L'ART	27
1 Introduction.....	28
2 De la conception de produits à l'éco-conception	29
2.1 Conception et processus de conception de produits.....	29
2.1.1 Conception pluridisciplinaire et intégration des métiers	32
2.1.2 L'innovation en conception par l'intégration du facteur environnemental	35
2.2 L'éco-conception de produits.....	36
2.2.1 L'éco-conception – minimiser l'impact environnemental.....	36
2.2.2 Les méthodologies et stratégies en éco-conception.....	38
2.2.3 Cas du choix des matériaux en éco-conception	40
3 Innovation par les matériaux, cas des matériaux bio-sourcés	42
3.1 Définition des matériaux bio-sourcés.....	42
3.2 Fibre de lin	44
3.2.1 Le besoin en conception de produits	46
3.2.1.1 Nécessités d'ordres techniques	48

3.2.1.2 Besoins d'usage et d'estime	48
3.3 La qualité perçue	51
3.3.1 Définition de la qualité	51
3.3.2 La qualité perçue et la satisfaction du consommateur	52
4 La prise en compte des aspects sensoriels du produit	53
4.1 Du design industriel au design sensoriel	54
4.2 La métrologie sensorielle	55
4.2.1 De la sensation à la perception	55
4.2.2 Définition de la métrologie sensorielle	56
4.2.3 Les méthodes de la métrologie sensorielle	58
4.2.4 Les instruments de la métrologie sensorielle : définitions, exemples	59
4.2.5 Les outils de la métrologie sensorielle	60
4.3. Un instrument méthodologique de la métrologie sensorielle : l'évaluation sensorielle	62
4.3.1 Principales définitions de l'évaluation sensorielle	62
4.3.2 Les applications de l'évaluation sensorielle	63
4.3.3 Méthodologie de l'évaluation sensorielle	65
4.3.3.1 Méthodes sensorielles : discriminatives, descriptives et hédoniques	66
4.3.3.2 La constitution des panels de sujet	67
4.4 Un cas particulier : la prise en compte des sensations liées au toucher des produits	69
4.4.1 Le toucher	70
4.4.2 L'évaluation sensorielle liée au toucher des produits	71
4.5 Evaluation sensorielle vs. Propriétés physiques mesurables des produits	73
4.6 Synthèse	73
5 Problématique et hypothèses	74

CHAPITRE III	78
EXPERIMENTATIONS	78
1 Introduction	79
2 Identification d'une liste de descripteurs communs.....	80
2.1 Identification d'une liste de descripteurs communs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes	80
2.1.1 Matériel utilisé.....	81
2.1.1.1 Construction des échantillons de matériaux.....	81
2.1.1.2 Tests aveugles – construction des boîtes	83
2.1.1.3 Construction de la liste de descripteurs	84
2.1.2 Sujets	85
2.1.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons	86
2.1.4 Déroulement de l'expérimentation	87
2.1.5 Méthode d'analyse des résultats	89
2.1.6 Résultats.....	89
2.1.7 Synthèse.....	91
2.2 Identification d'une liste de descripteurs communs pour les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces finies.....	92
2.2.1 Matériel utilisé.....	93
2.2.2 Sujets	93
2.2.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons	94
2.2.4 Déroulement de l'expérimentation	94
2.2.5 Méthode d'analyse des résultats	94
2.2.6 Résultats.....	94
2.2.7 Synthèse.....	96
2.3 Synthèse sur l'identification de descripteurs communs	97

3 Ressenti des consommateurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes.....	98
3.1 Matériel utilisé.....	98
3.2 Sujets.....	99
3.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons.....	99
3.4 Déroulement de l'expérimentation.....	100
3.5 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés.....	101
3.6 Résultats.....	102
3.7 Synthèses : Mesures subjectives pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surface brutes.....	106
4 Ressenti des consommateurs pour les produits en matériaux bio-sourcés FL20 et les produits en matériaux synthétiques FV20.....	106
4.1 Matériel utilisé.....	107
4.1.1 Construction des produits.....	107
4.1.1.2 Tests aveugles – construction des boîtes.....	108
4.1.2 Construction de la liste de descripteurs et de la feuille de passation.....	108
4.2 Sujets.....	109
4.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons.....	109
4.4 Déroulement de l'expérimentation.....	109
4.5 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés.....	110
4.6 Résultats.....	110
4.7 Synthèse : Mesures subjectives d'un produit bio-sourcé FL20 et d'un produit synthétique FV20.....	113
5 Evaluation objective et subjective de la dureté et de la rugosité des matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20.....	113
5.1 Mesures de dureté sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes.....	114
5.1.1 Matériel utilisé.....	114

5.1.2 Appareil instrumental	114
5.1.3 Déroulement de l'expérimentation	116
5.1.3.1 Mesures instrumentales.....	116
5.1.3.2 Mesures sensorielles	116
5.1.4 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés	116
5.1.5 Résultats.....	119
5.1.6 Synthèse : Mesures de dureté sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes	119
5.2 Mesures de rugosité sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes	120
5.2.1 Matériel utilisé.....	120
5.2.2 Appareil instrumental	120
5.2.3 Déroulement de l'expérimentation	121
5.2.3.1 Mesures instrumentales.....	121
5.2.3.2 Mesures sensorielles	122
5.2.4 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés	122
5.2.5 Résultats.....	122
5.2.6 Synthèse : Mesures de rugosité sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes	123
5.3 Synthèse sur les évaluations objectives et subjectives selon la dureté et la rugosité des matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20.....	123
6 Synthèse des résultats obtenus	124
CHAPITRE IV	128
DISCUSSIONS	128
1 Introduction.....	129
2 Evaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés FL20: Apports et limites.....	130

3 Mise en perspectives des travaux par rapport au processus d'éco-conception : approche sur le choix des matériaux.....	133
3.1 De la place du design sensoriel dans le choix des matériaux dans une démarche d'éco-conception	133
3.2 De l'intégration du design sensoriel dans un modèle multi-vue pour le domaine du choix des matériaux.....	136
3.3 De la nécessité d'un indicateur de choix intégrant le sensoriel.....	141
CHAPITRE V	145
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	145
1 Conclusion	146
2 Perspectives.....	148
2.1 Améliorations et compléments des protocoles d'évaluations sensorielles.....	148
2.2 Intégration des résultats de l'analyse sensorielle dans le processus de conception de produits.....	150
CHAPITRE VI	153
BIBLIOGRAPHIE	153
CHAPITRE VII	174
ANNEXES	174
Annexe 1	175
Grille d'évaluation – Descripteurs	175
Annexe 2	177
Fiche de renseignements généraux.....	177
Annexe 3	178
Grille d'évaluation – Descripteurs communs retenus pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 avec les surfaces brutes	178
Annexe 4	179

Les résultats de dureté pour le Matériau Bio-Sourcé FL _S 20	179
Annexe 5	181
Les résultats de dureté pour le Matériau Bio-Sourcé FL _U 20.....	181
Annexe 6	183
Les résultats de dureté pour le Matériau Synthétique FV20	183
Annexe 7	185
Les résultats de rugosité pour les Matériaux Bio-Sourcés FL _S 20	185
Annexe 8	187
Les résultats de rugosité pour les Matériaux Bio-Sourcés FL _U 20.....	187
Annexe 9	189
Les résultats de rugosité pour les Matériaux Bio-Sourcés FV20	189
Annexe 10	191
Grille d'évaluation – Descripteurs communs retenus pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 avec les surfaces finies	191

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison domaine subjectif – Répondant mesurable	60
Tableau 2 : Synthèse des récepteurs extéroceptifs [Giboreau, 2009]	70
Tableau 3 : Principaux types de procédures exploratoire [d'après Lederman et al., 1987] .	72
Tableau 4 : Liste des échantillons surface brute.....	83
Tableau 5 : Moyenne sur l'ensemble des descripteurs pour chaque type de matériaux.....	90
Tableau 6 : Liste des échantillons surface finie	93
Tableau 7 : Moyenne sur l'ensemble des descripteurs pour chaque type de matériaux.....	94
Tableau 8 : Résultats échantillons – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20.....	103
Tableau 9 : Résultats échantillons – Matériaux Bio-Sourcés FL _S 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20.....	104
Tableau 10 : Résultats échantillons – Matériaux Bio-Sourcés FL _U 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20.....	105
Tableau 11 : Liste des produits surface finie (souris).....	107
Tableau 12 : Résultats produits – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20.....	111
Tableau 13 : Résultats produits – Matériaux Bio-Sourcés FL _S 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20.....	112
Tableau 14 : Résultats produits – Matériaux Bio-Sourcés FL _U 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20.....	112
Tableau 15 : Synthèse des hypothèses de travail dans le cadre de notre étude.....	125

Liste des illustrations

Figure 1. Processus de conception défini par Pahl et Beitz [Pahl et Beitz, 1986]	30
Figure 2. L'intégration du choix matériaux et les outils de conception dans le processus de conception d'après [Ashby, 2005]	31
Figure 3. La conception mécanique d'après [Pahl et Beitz, 1996].....	32
Figure 4. Processus de conception de produits intégrant l'ergonome défini par [Sagot et al., 2003].....	34
Figure 5. Typologie des innovations selon [Markides et Geroski, 2004]	35
Figure 6. Roue des stratégies dans les entreprises [d'après Hemel et al., 2002].....	40
Figure 7. Eco-stratégies dans la phase de sélection des matériaux	41
Figure 8. Cycle de vie des débouchés des fibres végétales et des granulats végétaux.....	44
Figure 9. Fleur de lin [Basse-Normandie, 2012].....	45
Figure 10. Analyse cycle de vie – fibre de lin / fibre de verre [Padayodi, 2013].....	45
Figure 11. Niveau de maturité des domaines d'applications de la fibre de lin	46
Figure 12. Exemple de données techniques sur divers matériaux [Mohanty et al., 2002].....	48
Figure 13. Etapes physiologiques de la sensation puis de la perception [Bassereau, Lefebvre, 2004].....	55
Figure 14. La décomposition des dimensions du toucher selon Sensotact [Crochemore et al., 2004].....	61
Figure 15. Sphère d'application de l'évaluation sensorielle	64
Figure 16. Les différents types de sujets [ISO 8586-2, 1994].....	68
Figure 17. Test d'analyse sensorielle dans l'automobile	71
Figure 18. Positionnement de la recherche	75
Figure 19. La mise en forme du Sergé	81
Figure 20. Protocole préparation échantillons / produits	82
Figure 21. Présentation des échantillons	82

Figure 22. Boîtes construites pour l'expérimentation	84
Figure 23. Le toucher tangentiel.....	86
Figure 24. Le toucher orthogonal	87
Figure 25. Le toucher statique	87
Figure 26. Déroulement des expérimentations.....	88
Figure 27. Extrait d'une feuille de passation.....	88
Figure 28. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux bio-sourcés FL20	90
Figure 29. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux synthétiques FV20.....	90
Figure 30. Listes de descripteurs par type de matériau	91
Figure 31. Liste de descripteurs communs aux matériaux bio-sourcés FL20 et aux matériaux synthétiques FV20.....	92
Figure 32. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux bio-sourcés FL20	95
Figure 33. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux synthétiques FV20.....	95
Figure 34. Les listes de descripteurs par type de matériau.....	95
Figure 35. Liste de descripteurs communs pour tous les types de matériau	96
Figure 36. Bilan : listes des descripteurs communs en fonction du type de surface.....	97
Figure 37. Feuille passation – Echelle ordinale.....	99
Figure 38. Déroulement des entretiens.....	100
Figure 39. Résultats intervalles de confiance – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20	104
Figure 40. Synthèse des différences significatives de ressenti subjectif sur les matériaux bruts	105
Figure 41. Présentation d'une boîte utilisée pour l'expérimentation sur les produits.....	108

Figure 42. Résultats intervalles de confiance – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20	110
Figure 43. Synthèse des différences significatives de ressenti subjectif sur les produits.....	112
Figure 44. Le Duromètre Modell HD 3000.....	115
Figure 45. Profils sensoriels des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 – surface brute	126
Figure 46. Profils sensoriels des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 – surface finie.....	127
Figure 47. Choix des matériaux en conception adapté de Michael F. Ashby, 2005	134
Figure 48. L'alimentation des bases de données matériaux à l'aide de l'évaluation sensorielle	136
Figure 49. Modèle multi-vue du domaine du choix des matériaux détaillé selon Ashby, 2005	137
Figure 50. Modèle multi-vue du domaine du choix des matériaux adapté de Michael F. Ashby, 2005 pour les vues « fonction » et « géométrie »	138
Figure 51. Vision globale de l'intégration de l'estime dans la stratégie de choix de matériaux, les lignes en pointillés représentent les liens possibles mais non étudiés dans nos travaux de recherche	139
Figure 52. Profil sensoriel d'un matériau bio-sourcé de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin– surface finie	140
Figure 53. Profil sensoriel d'un matériau bio-sourcé de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin – surface brute	140
Figure 54. Indice de performance des matériaux intégrant l'indicateur lié à l'estime du produit à concevoir.....	142
Figure 55. Position des familles des matériaux bio-sourcés FL20 selon la qualité perçue et les aspects techniques	144

Résumé

Nos travaux de thèse menés au sein du laboratoire Systèmes et Transports (SeT) de l'Institut de Recherche sur les Transports, l'Energie et la Société (IRTES, E. A. n° 7274, traitent de l'évaluation sensorielle de matériaux bio-sourcés à base de fibres de lin.

En effet, notre étude de la littérature, nous a permis de mettre en évidence, que le ressenti subjectif du consommateur est déterminant dans son acceptation ou son rejet d'un produit. Nous avons souligné que la prise en compte de la perception du consommateur est l'un des objectifs fondamentaux du contrôle qualité centré sur le facteur humain, paradigme dans lequel nous inscrivons notre recherche. De plus, les démarches d'éco-conception visent une amélioration environnementale radicale et se focalisent sur le service que doit fournir le produit au consommateur avec des améliorations sur la qualité, l'équité, l'harmonie environnementale au sein de l'entreprise. Ce sont des enjeux et des défis constants qui amènent les entreprises à se moderniser. Et moderniser aujourd'hui les entreprises, qui se doivent d'être de plus en plus compétitives, va dans le sens de remplacer les matériaux synthétiques avec des nouveaux matériaux bio-sourcés. Notre travail doit donc permettre de favoriser une meilleure intégration des caractéristiques sensorielles tactiles dans une démarche d'éco-conception de produits. Pour y parvenir, il est nécessaire de caractériser le ressenti du consommateur dans le but de construire, à l'aide d'un ensemble de descripteurs quantifiés, le profil d'un matériau / produit bio-sourcé (dans notre cas à base de fibres de lin).

Nous pouvons observer de nombreux travaux traitant des caractéristiques techniques des matériaux bio-sourcés, la question qui reste posée aujourd'hui porte sur les aspects sensoriels qui sont peu traités dans la littérature. Plus précisément, notre problématique est de savoir « Comment démontrer que d'un point de vue sensoriel, les produits fabriqués avec des matériaux bio-sourcés sont au moins équivalents aux produits fabriqués avec des matériaux synthétiques ? ». D'une autre manière, « Est-ce que ces matériaux bio-sourcés remplacent aussi bien voire mieux les matériaux synthétiques dans la conception de produits ? ». Cette problématique pose le besoin opérationnel de la caractérisation sensorielle des produits fabriqués en matériaux bio-sourcés, puis leur comparaison avec des produits fabriqués en matériaux classiques. Pour y parvenir, nous proposons dans un premier temps de nous focaliser sur la caractérisation sensorielle des matériaux, présentés sous forme d'échantillons, qu'ils soient bio-sourcés ou classiques. Puis dans un deuxième temps, d'étendre cette caractérisation sensorielle aux produits fabriqués avec ces matériaux. Enfin, pour approfondir

cette approche sensorielle, nous proposons également d'effectuer une caractérisation instrumentale des matériaux bio-sourcés afin d'identifier le degré des relations existantes entre le ressenti des consommateurs et les mesures instrumentales. Dans le cadre de nos travaux, nous proposons de traiter ces questions pour le cas particulier des matériaux bio-sourcés à base de fibres de lin et des matériaux à base de fibres de verre (considérées comme synthétique en opposition aux fibres végétales). Nous étudierons plus particulièrement des matériaux bio-sourcés de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin (FL20) et un matériau synthétique de type composite renforcé de 20 % de fibres de verre (FV20). A noter que, nous approfondirons l'étude des matériaux bio-sourcés en nous intéressant à deux types de matériaux : un matériau bio-sourcé de type éco-composite unidirectionnel renforcé de 20 % de fibres de lin (FL_U20) et un matériau bio-sourcé de type éco-composite sergé renforcé de 20 % de fibres de lin (FL_S20).

En conséquence, pour répondre à cette problématique par l'intermédiaire des méthodes et outils d'analyse sensorielle, nous proposons plusieurs hypothèses de recherche. Pour aboutir à une caractérisation sensorielle, les méthodes et outils d'analyse sensorielle [Lhéritier, 2013 ; Depledt, 2009 ; Lefebvre et al., 2009 ; Romon et al., 2010 ; Rouvray et al., 2012 ; Rouvray, 2006] préconisent en premier lieu de construire une liste de descripteurs permettant de caractériser le matériau. Ce constat nous amène à notre première hypothèse sur la possibilité de construire une liste de descripteurs communs aux différents types de matériaux étudiés. Cette hypothèse peut se décomposer en deux sous hypothèses, en fonction du type de surfaces étudiées : surface brute vs. surface finie. Pour la finition, nous avons appliqué une couche de vernis pour obtenir un rendu au plus près du rendu final de ce type de matériaux. Notons que, les résultats de l'hypothèse 1.1 seront exploités pour répondre à l'hypothèse 2. De même, les résultats de l'hypothèse 1.2 seront utilisés pour l'hypothèse 3.

Hypothèse 1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques.

Hypothèse 1.1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces brutes

Hypothèse 1.2 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces finies

Suite à l'identification de cette liste de descripteurs communs, nous pouvons nous focaliser sur la caractérisation sensorielle des matériaux bio-sourcés de type éco-composite

renforcé de 20 % de fibres de lin (FL20) et un matériau synthétique de type composite renforcé de 20 % de fibres de verre (FV20), et à leurs similitudes ou différences. Nous proposons une deuxième hypothèse sur les comparaisons entre le ressenti subjectif lors du toucher des deux types de matériaux. Dans le cadre de cette hypothèse, nous nous focalisons uniquement sur des échantillons de matériaux ayant un état de surface brute.

Hypothèse 2 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique pour les surfaces brutes.

Notre objectif étant d'effectuer une caractérisation sensorielle de produits en matériaux bio-sourcés, et sachant que pour des produits ces matériaux sont rarement utilisés sous leur forme brute, nous nous focaliserons donc sur des produits à base de matériaux bio-sourcés avec surface finie. Pour cela, nous proposons de compléter notre réflexion en nous focalisant sur l'étude du ressenti lors du toucher entre un produit en matériaux bio-sourcés et un produit en matériaux synthétiques. De même, que précédemment, nous nous intéresserons à deux types de matériaux bio-sourcés. Il en résulte notre troisième hypothèse de travail.

Hypothèse 3 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau synthétique.

Pour compléter notre approche sensorielle, nous proposons également d'étudier les corrélations entre la mesure instrumentale et le ressenti subjectif. Nous en déduisons ainsi notre quatrième hypothèse qui se décompose en deux sous-hypothèses en fonction des critères choisis : dureté d'un matériau bio-sourcé et d'un matériau synthétique et rugosité d'un matériau bio-sourcé et d'un matériau synthétique.

Hypothèse 4 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher devrait être corrélé avec la mesure objective sur un matériau bio-sourcé / synthétique.

Hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté.

Hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité.

Notre contribution finale, basée sur le retour d'expérience de l'ensemble des expérimentations présentées, introduit donc une méthodologie originale d'évaluation sensorielle où l'Homme est utilisé comme instrument de mesure avec le développement d'une caractérisation instrumentale. Enfin, les produits de notre étude, les matériaux bio-sourcés (composés de fibres de lin) et les matériaux classiques (composés de fibres de verre), sont potentiellement un espace-produit intéressant, tant que pour la partie d'un ressenti subjectif que pour la partie corrélation sensoriel/instrumental.

La première originalité de nos travaux est de proposer l'application de notre approche pour l'évaluation sensorielle d'un matériau bio-sourcé. L'objectif est de rechercher un minimum de descripteurs (listes communes pour les matériaux étudiés), qui permettront de donner le maximum d'information sur les propriétés sensorielles du matériau bio-sourcé à analyser. Lors de la conception du protocole d'expérimentation, nous avons cherché à vérifier si des consommateurs non entraînés peuvent parler des sensations de manière utile et cohérente pour notre étude. La seconde originalité de nos travaux est de mesurer l'intensité de la sensation perçue d'un matériau bio-sourcé pour chacun des descripteurs choisis. La troisième originalité de nos travaux est de construire, à l'aide de l'ensemble des descripteurs, le profil sensoriel d'un matériau bio-sourcé à base de fibre de lin.

Nous avons finalement discuté de nos résultats. Ainsi, cette discussion propose de revenir sur l'approche expérimentale mis en œuvre dans le cadre de l'évaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés à base de fibre de lin. Nous évoquons notamment la nécessité d'approfondir nos études à l'aide de panels entraînés comme évoqué dans la littérature du domaine. Ensuite, la discussion traite du positionnement du design sensoriel et de méthodes associées (évaluation sensorielle) dans une approche de choix de matériaux dans le processus de conception de produits. Nous considérons que le design sensoriel peut être vu comme une discipline source pour supporter en partie le choix des matériaux avec l'aide de profils sensoriels. Nous mettons aussi en évidence la nécessité d'adopter un formalisme commun afin de représenter les données techniques et sensoriel. Pour cela, nous avons proposé une approche multi-vue du domaine du choix des matériaux adapté de la littérature actuelle. Enfin, nous discutons de la nécessité pour les concepteurs d'avoir un indicateur de performance global qui intègre dans son calcul les aspects sensoriels au même titre que les autres aspects évoqués dans la littérature.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1 Introduction générale

Cette partie propose d'introduire nos travaux de thèse menés au sein du laboratoire Systèmes et Transports (SeT) de l'Institut de Recherche sur les Transports, l'Energie et la Société (IRTES, E. A. n° 7274), de l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard (U.T.B.M.) en cotutelle avec l'Université Polytechnique du Bucarest (U.P.B.). Positionnée dans le domaine du Génie Industriel, notre recherche présentée dans ce mémoire porte sur l'évaluation sensorielle de matériaux bio-sourcés dans un contexte de conception de produits et plus largement dans le domaine de l'éco-conception. Elle s'appuie à la fois sur des connaissances, des méthodes et des outils spécifiques issues des disciplines Sciences pour l'Ingénieur, mais également sur ceux issus des Sciences Humaines et Sociales.

Nous présentons, dans une première partie, le contexte général dans lequel se déroule notre recherche. Nous montrons que ce contexte pousse les entreprises à intégrer de plus en plus la qualité perçue du produit et par ce biais l'appréciation des consommateurs. En effet, les entreprises ont besoin d'innover constamment pour répondre de mieux en mieux aux besoins des utilisateurs. Nous voyons ainsi que l'innovation technique a imposé sur le marché le développement des nouveaux matériaux qui ont pour but de remplacer les matériaux existants classiques. Cependant, certains de ces matériaux, dits écologiques, doivent répondre aussi bien que les anciens aux fonctions techniques, aux contraintes d'aspect et de qualité perçue. Cela nous permet d'introduire notre problématique générale qui est pour les industriels de pouvoir concevoir des produits nouveaux respectueux de l'environnement à l'aide de nouveaux matériaux écologiques qui apportent une qualité au moins identique à celle rencontrée sur des matériaux synthétiques classiques. Cependant, même si la qualité service (mesurée de manière objective) est primordiale, il est également important pour le concepteur de pouvoir anticiper/prévoir du mieux possible la qualité (ou valeur) perçue du produit (mesure subjective).

La prise en compte des facteurs humains, en particulier la connaissance de ressenti subjectif des consommateurs, devient fondamentale. Dans ce contexte, l'intégration du facteur humain au cœur d'une approche de l'évaluation sensorielle des produits devient une priorité en processus d'éco-conception.

Sur la base de ce contexte, nous définirons notre problématique de recherche avant de présenter dans une dernière partie, le plan de la thèse.

1.1 Contexte général

Face à une concurrence accrue et à la saturation de l'offre en termes de produits, les entreprises doivent de plus en plus travailler sur la manière de se différencier vis-à-vis des concurrents lors du choix du consommateur [Balin, Giard, 2007]. Pour cela, les entreprises tentent notamment d'intégrer, dans leur processus de conception de produits, les notions de plaisir ou d'estime. L'intégration des aspects qualitatifs et des souhaits du consommateur est devenue indispensable [Lhéritier, 2013]. Cette intégration doit dépasser la simple volonté et nécessite l'acquisition puis l'appropriation de méthodes particulières à conformer au contexte industriel donné.

Concernant l'acte d'achat, l'un des éléments qui peut différencier deux produits, similaires d'un point de vue technique, est le ressenti en termes de qualité perçue qu'aura le consommateur vis-à-vis de ces produits. La prise en compte des ressenti subjectif des consommateurs est devenue fondamentale. La relation au produit est toujours plus empreinte d'affectivité, de sensorialité et de plaisir. Pour mieux agir sur le comportement du consommateur, il est nécessaire de comprendre quelle est la nature de son processus de perception. Pour aider les concepteurs dans leur travail sur la qualité perçue, le design sensoriel peut être une réponse. Cette discipline, qui est intégrée au processus de conception de produits, participe avec d'autres métiers à l'élaboration de la fonction d'estime ou esthétique du produit au même titre que la fonction technique du produit garantira son bon fonctionnement.

Le design sensoriel ne se limite pas à l'aspect décoratif et agréable pour l'œil. Il traite de l'ensemble des sens du consommateur et de l'utilisateur final du produit. Cette discipline dispose ainsi d'outils et de méthodes d'évaluation sensorielle. Le design sensoriel aide à concevoir, développer et fabriquer des produits nouveaux. Et ces nouveaux produits doivent combiner fonctionnalité, méthodes de fabrication censées, utilisation de matériaux naturels.

Cette nécessité d'intégrer les aspects sensoriels dans la conception de produits prend toute sa dimension dans le contexte actuel de l'innovation technique qui impose sur le marché le développement de nouveaux matériaux. En effet, ces matériaux doivent répondre à de nombreuses caractéristiques telles que la sécurité, la résistance, la flexibilité, la fonctionnalité, la durabilité et la propriété éco-friendly. Dans certains cas, il s'agit de promouvoir le développement de matériaux et de produits capables de contribuer à une meilleure satisfaction

des besoins réels des consommateurs en terme de qualité perçue mais aussi à un respect des exigences vis-à-vis de l'environnement.

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés aux matériaux dits écologiques et à leurs caractéristiques sensorielles. Dans, la partie suivante, nous proposons de présenter rapidement le cas des matériaux bio-sourcés de la famille des éco-matériaux et la problématique que nous avons traitée en lien avec l'analyse sensorielle.

1.2 L'intérêt pour les matériaux bio-sourcés et problématique générale associée

Dans une optique d'enrichissement des politiques de développement durable, la maîtrise de l'environnement tend à devenir une préoccupation pour la société. L'évolution vers un développement durable nécessite, en raison de leur rôle dans notre société, que les entreprises contribuent à élaborer des systèmes plus respectueux de l'environnement : production plus propre, produits à qualité écologique, valorisation des produits en fin de vie.

Dans ce contexte, l'une des problématiques actuelles pour les industriels est de pouvoir développer de nouveaux matériaux dits écologiques. La réponse s'est traduite par le développement de matériaux « bio-sourcés ». La notion de matériaux « bio-sourcés », qui sera développée par la suite, désigne les matériaux à base de matière végétale ou animale [Padayodi, 2013]. A l'aide des matériaux bio-sourcés, le concepteur est capable de mettre au point de nouvelles stratégies, de nouveaux concepts et de nouveaux produits avec un impact sur l'environnement diminué.

Ces matériaux font l'objet de caractérisations de différents types afin d'évaluer leurs capacités à être des substituts convenables aux matériaux classiques. Dans notre cas, au sein des matériaux classiques, nous nous sommes intéressés aux matériaux synthétiques (les plus polluants).

- Ainsi, des travaux concernant les caractérisations mécaniques, physico-chimiques existent dans la littérature pour les matériaux bio-sourcés. Au niveau des contraintes techniques, les concepteurs ont donc accès à des informations qui leur permettent de choisir ces matériaux en tout état de fait.

- Cependant même si l'application des méthodes d'analyse sensorielle sur les matériaux synthétiques tend à devenir usuelle dans de nombreux domaines industriels, elle reste en revanche très rarement abordée pour les matériaux écologiques ou encore les matériaux bio-sourcés. Ce manque de connaissances théoriques limite les concepteurs dans le choix de ces matériaux vis-à-vis des caractéristiques sensorielles et de la qualité perçue associée.

Partant de ce constat, nous définissons une problématique générale qui est :

Au niveau sensoriel, dans quelle mesure les matériaux bio-sourcés peuvent-ils remplacer progressivement les matériaux synthétiques dans la conception de certains produits ?

Pour répondre à cette problématique, nous proposons d'utiliser les méthodes d'évaluation sensorielles. Parmi les thèmes qui seront traités, le principal réside dans la caractérisation et l'évaluation des qualités sensorielles des matériaux bio-sourcés en comparaison avec des matériaux synthétiques.

La partie suivante permet de présenter le plan qui nous a permis de répondre à cette problématique générale.

1.3 Plan de la thèse

Le premier chapitre de cette thèse, nous a permis de présenter le contexte général de nos travaux de recherche, l'intérêt pour les matériaux bio-sourcés et notre problématique générale vis-à-vis de leur caractérisation sensorielle. Nous le finalisons par la présentation du plan de la thèse.

Le deuxième chapitre de cette thèse présente une revue bibliographique sur différents domaines afin de préciser notre problématique de recherche et les hypothèses associées. Ainsi, nous évoquons la conception de produits en montrant qu'elle se doit d'être pluridisciplinaire en intégrant de plus en plus de métiers dans ses phases amont. Nous montrons que, dans un souci d'innovation, les industriels s'intéressent notamment à l'intégration du facteur environnemental.

Cela nous conduit à définir le domaine de l'éco-conception comme une solution permettant de concevoir des produits respectueux de l'environnement. Nous définissons l'éco-

conception à travers ses méthodologies et stratégies associées. Nous évoquons plus en détail la stratégie qui consiste à développer des matériaux ayant un impact minimum sur l'environnement.

Cette réflexion nous amène à traiter le cas des matériaux bio-sourcés qui font partie de la famille des éco-matériaux. Ensuite, nous réalisons une présentation de la fibre de lin qui est traitée dans nos travaux. Nous présentons ses caractéristiques générales ainsi que quelques domaines industriels qui l'utilisent. Afin de déterminer les besoins auxquels ces fibres doivent répondre, nous développons la notion de besoin en conception de produits. Nous définissons ainsi les notions de « nécessités d'ordre technique » et de « besoins d'usage et d'estime ». Nous traitons la question des besoins d'estime en évoquant la notion de « qualité perçue » qui est très peu traitée, dans la littérature, au niveau des matériaux bio-sourcés (et encore moins pour la fibre de lin). Nous réalisons le lien entre qualité perçue et aspects sensoriels du produit. Nous montrons que pour traiter des aspects sensoriels du produit, le design sensoriel semble être l'une des solutions. Après une définition de cette discipline en lien avec le design industriel, nous présentons la métrologie sensorielle et les méthodes d'évaluation sensorielle. Parmi les 5 sens concernés, nous approfondissons le sens du toucher. Nous montrons finalement que l'évaluation sensorielle subjective peut être étudiée en parallèle d'analyses instrumentales objectives. A la suite de cet état de la littérature, nous proposons notre problématique de thèse ainsi que les hypothèses de travail associées.

Le troisième chapitre propose de présenter les différentes expérimentations mises en place permettant de répondre à nos hypothèses de recherche. Ainsi, ce chapitre propose de vérifier et de valider nos hypothèses en menant des expérimentations comparatives entre matériaux/produits bio-sourcés de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin (FL20) et matériaux/produits synthétiques de type composite renforcé de 20 % de fibres de verre (FV20). Ce chapitre est conclu par une synthèse de résultats qui nous permet d'introduire le chapitre suivant de discussions.

Le quatrième chapitre propose donc de discuter des résultats obtenus. Ainsi, il s'agit de mettre en perspective les résultats par rapport aux méthodes et outils de l'évaluation sensorielle. De plus, nous discutons de la place du design sensoriel et des méthodes associées (évaluation sensorielle) pour le choix des matériaux bio-sourcés dans une démarche d'éco-conception de produits.

Le cinquième chapitre propose une conclusion des travaux de thèses présentés mais aussi de discuter des limites et des perspectives de cette recherche.

CHAPITRE II

ETAT DE L'ART

1 Introduction

Après une première partie d'introduction, dans ce chapitre, nous abordons un état de l'art de la littérature qui recense différents aspects de l'interface des trois grands domaines : l'éco-conception, le design industriel et la qualité perçue.

Cette partie définit tout d'abord le processus de conception puis ses évolutions et l'état de l'art dans ce domaine. Nous analysons ensuite la manière dont l'environnement, contrainte tout particulièrement concernée par la caractéristique écologique, peut intervenir dans le processus d'éco-conception de produits innovants.

Après un état de la littérature sur cette question, une troisième partie nous permet de définir les matériaux bio-sourcés et les termes qui lui sont associés.

Au cours du quatrième chapitre, nous nous intéressons à la définition du domaine de l'évaluation sensorielle et les différents domaines qui nous ont permis de cerner la problématique de la perception tactile d'une surface d'un matériau bio-sourcé. Cette partie s'attache à référencer différents aspects de la métrologie sensorielle. Nous nous intéressons ensuite aux domaines auxquels la compréhension du sens du toucher fait appel. Nous verrons notamment que l'évaluation des surfaces nécessite une exploration sensorielle et aussi une exploration instrumentale.

Notre étude de la littérature, nous a permis de mettre en évidence une synthèse sur l'état de l'art et de formuler un constat : il n'existe pas à ce jour, des études sur les aspects sensoriels des matériaux bio-sourcés. L'objectif de nos travaux a donc été d'apporter des réponses à ce manque dans ce contexte de recherche en plein essor. Sur la base de ce constat, nous positionnons notre recherche et nous définissons nos hypothèses de recherche.

2 De la conception de produits à l'éco-conception

Nos travaux étant positionnés dans un contexte général d'éco-conception, il est nécessaire de définir ce domaine de recherche. Pour cela, nous avons décidé de présenter la conception de produits puis de détailler l'éco-conception en tant que réponse à une nécessaire intégration du facteur environnemental.

2.1 Conception et processus de conception de produits

Avant de présenter l'évolution de la recherche dans le domaine de la conception de produits, il est nécessaire de définir le terme « conception ». Pahl et Beitz définissent la conception comme « une notion de transformation de l'abstrait au concret, d'une idée à un produit, d'un problème à une solution, du fonctionnel au structurel » [Pahl et Beitz, 1992]. Janin quant à lui considère que la conception consiste à définir simultanément le problème et la solution [Janin, 2000]. Parmi les nombreuses définitions de la conception, nous retenons celle proposée par Bocquet qui considère que l'objet de la conception de produits, du point de vue industriel, est de satisfaire les besoins des consommateurs et usagers, tout en garantissant le respect de l'environnement de la législation et de la rentabilité de l'entreprise [Bocquet, 1998].

Historiquement, l'émergence de la conception correspond aux années 1960 avec la création d'une conférence sur les méthodologies de conception (« Conference on design methodology », London, 1962) ainsi que les premiers modèles de conception. Choulier (2008) fait ainsi référence à un grand nombre d'auteurs tels qu'Asimov (1962), Hall (1962) et Simon (1969). Simon (1969) dans son approche présente la notion d'artificiel qui se pose comme la base de l'activité de conception. L'artificiel est ainsi ce qui va être créé par la main de l'homme en opposition avec le naturel. Il présente ainsi une activité cognitive liée à la conception ainsi que les premières notions d'un processus de conception par la résolution de problèmes.

Suite à cette première approche, le processus de conception subit une réelle rationalisation au cours des années 1980. La conception de produits exprimée par les

ingénieurs se développe et de nombreuses conférences et travaux voient le jour : [Pahl et Beitz, 1986 ; Pugh, 1991 ; French, 1998 ; Purcell, 1998 ; Cross, 2000]. Encore aujourd'hui, l'ouvrage de Pahl et Beitz, *Engineering design*, est une référence pour un grand nombre de travaux de recherche. Au sein de cet ouvrage, le processus de conception est donc décomposé en quatre étapes (Figure 1), qui sont les suivantes :

- la planification et la formalisation de la tâche : le cahier des charges est établi ainsi que les spécifications techniques à atteindre ;
- la conception préliminaire : le choix du concept final est réalisé ;
- la conception technique : les formes et les dimensions du concept sont déterminées ;
- la conception détaillée : les documents liés aux achats et à la fabrication sont générés.

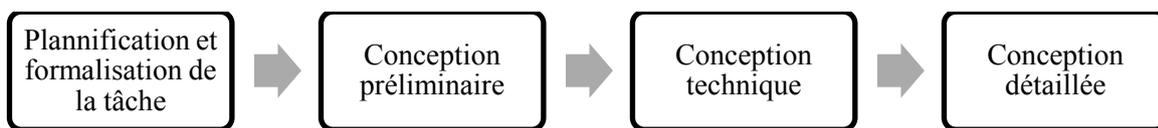


Figure 1. Processus de conception défini par Pahl et Beitz [Pahl et Beitz, 1986]

Le processus est représenté de manière séquentielle et chaque étape commence uniquement si l'étape précédente a été réalisée. Par exemple, la conception technique peut avoir lieu uniquement si le concept a été choisi au cours de l'étape de conception préliminaire. Cet enchaînement de tâches introduit la notion de cycle de vie de la donnée. Cette définition du processus de conception reste cependant propre à un métier. De part l'augmentation des exigences clients en termes de qualité et de réactivité, les processus de conception séquentiels ont été remis en cause [Song et al., 2005]. La tendance dès lors, est de définir un processus de conception intégré dans lequel les acteurs métiers vont spécifier des recommandations spécifiques à leurs métiers.

A ce titre, nous pouvons entre autre citer l'intégration des matériaux dans le processus de conception [Ashby, 2005]. Ce dernier montre qu'au cours du processus de conception défini par Pahl et Beitz [1996], le concepteur est amené à prendre un grand nombre de choix de matériaux dans une gamme plus ou moins importante dépendant de l'étape du processus de conception. Cette gamme de données de matériaux est donc affinée au cours des choix effectués pendant la conception.

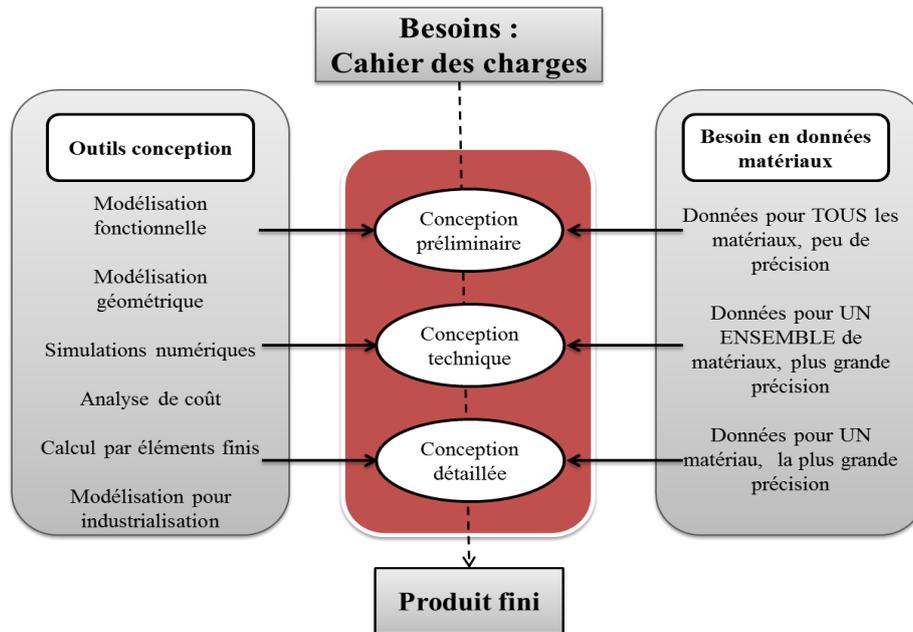


Figure 2. L'intégration du choix matériaux et les outils de conception dans le processus de conception d'après [Ashby, 2005]

Par exemple, nous pouvons voir sur la Figure 2 que ce choix a lieu tout au long du processus de conception. Ainsi dans un premier temps, dans la phase de conception préliminaire lors de la modélisation fonctionnelle, il doit pouvoir choisir entre un polymère ou un métal pour répondre à une fonction donnée. Le concepteur doit donc s'appuyer sur un large choix de matériaux mais peut se contenter d'une des valeurs approximatives concernant leurs caractéristiques et faire un choix de concept. Suite à cela, lors de la phase de conception technique, le concept est développé et le choix des matériaux doit être restreint, c'est pourquoi leurs caractéristiques sont plus précises. Un ensemble de matériaux est ainsi défini en fonction du besoin de l'utilisateur et de l'évolution du projet. Enfin, lors de la phase de conception détaillée, seulement un matériau est décrit et il comprend un haut niveau de détail et de précision concernant ses caractéristiques.

L'approche « technocentrée » de la conception tend désormais à évoluer vers une multidisciplinarité combinant les sciences sociales et les sciences de l'ingénieur. En accord avec Marsot, nous considérons que le processus de conception peut être assimilé à une démarche qui réunit un ensemble d'activités, d'acteurs et de tâches, à organiser au mieux pour transformer un concept en un produit [Marsot, 2002]. La réalisation de ces différentes activités implique donc l'utilisation de différentes techniques et différents outils, tels que des normes, des questionnaires, des logiciels, des outils d'analyse etc. Cette approche nous mène donc à l'intégration de plus en plus systématique de l'ensemble des acteurs métiers au

processus de conception. Le processus devient donc un processus multi métier. Le besoin de réunir en ensemble d'acteurs de métiers et de disciplines différents est l'une des problématiques actuelles de recherche dans ce domaine. En effet, il est nécessaire de développer des méthodes et des outils qui permettent à chaque concepteur de s'intégrer au mieux dans ces processus [Mahdjoub, 2007 ; Bluntzer, 2009]. Nous proposons donc de présenter dans la partie suivante les thèmes de conception pluridisciplinaire et d'intégration des métiers.

2.1.1 Conception pluridisciplinaire et intégration des métiers

Les entreprises qui sont de plus en plus préoccupées par l'optimisation en termes de qualité, coûts, délais, et aussi de valeur d'usage et d'estime des produits qu'elles offrent sur marché, doivent s'intéresser à tous les éléments qui peuvent participer et contribuer à ces objectifs. Nous définirons par la suite les notions d'usage et d'estime. Le processus de développement devient ainsi le résultat d'interactions et d'itérations entre plusieurs processus de conception : conception de produits, conception de processus de production, conception des activités [Duchamp, 1999 ; Truchot et al., 1997 ; Aoussat et Le Coq, 1998 ; Perrin, 2001].

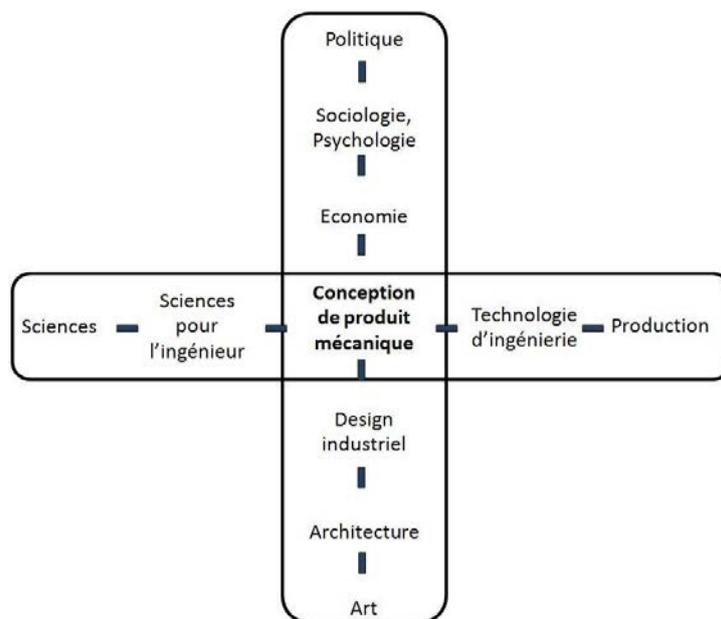


Figure 3. La conception mécanique d'après [Pahl et Beitz, 1996]

La conception de produits mécanique devient ainsi la discipline carrefour (Figure 3) [Pahl et Beitz, 1996]. Sous l'effet de l'augmentation croissante de la qualité des produits et

des exigences de consommation, l'acte de conception ne peut plus être le fait d'une seule personne isolée. Ullman appuie cette définition en décrivant l'activité de conception comme une évolution technique et sociale de l'information qui est ponctuée par des prises de décisions [Ullman, 2009].

Le processus de conception devient de plus en plus pluridisciplinaire, car de nouveaux acteurs qui intervenaient jusque-là dans les phases en aval de la conception sont aujourd'hui sollicités en amont du processus. Des équipes – projet réunissent ainsi différents acteurs métiers présents en interne (spécialistes en ingénierie, design, représentants de la fabrication, de la maintenance, du marketing, de l'économie, de l'ergonomie, de la qualité...) et parfois même en externe (partenaires, prestataires, fournisseurs, clients...) [Duchamp, 1988 ; Aoussat et Le Coq, 1998 ; Ngassa et Truchot, 1999 ; Hauschild et al., 2004 ; Detienne et al., 2006 ; Pei, 2010]. Cette nouvelle organisation a permis l'apparition de l'ingénierie collaborative qui a eu pour conséquence de modifier la manière de concevoir des produits. Ainsi, sous cette nouvelle ère, un processus de conception doit permettre l'intégration de plusieurs dimensions de natures très différentes : humaines, techniques, organisationnelles, socio-économiques...

A l'origine, la production de biens était liée à une activité d'artisanat, les activités de conception et de fabrication étaient le fait de la même ou du même groupe de personnes. La conception est donc aujourd'hui l'œuvre de plusieurs acteurs différents, issus de différents métiers. Ce partage des tâches entre plusieurs métiers est décrit par Midler dans le modèle d'ingénierie [Midler, 1994]. Ces acteurs contribuent ensemble à la résolution du problème de conception, ils partagent un but commun qui est celui d'aboutir à la définition d'un produit satisfaisant pour tous. Cela implique donc une collaboration étroite des métiers de la conception [Prud et al., 2003]. Duchamp décrit ces métiers en évoquant les expressions de disciplines « classiques », « nouvelles » et « carrefours », à savoir des disciplines spécialisées dans un domaine précis, mais intervenant dans un processus transversal de conception [Duchamp, 1999]. Les disciplines classiques concernent l'ensemble des sciences de l'ingénieur (la mécanique, l'électronique, l'informatique, les sciences des matériaux, etc.). Les disciplines nouvelles sont des disciplines enseignées dans le cadre de formation d'ingénieur, et relative à la sécurité, la qualité ou la fiabilité, et plus récemment à l'agréable. Duchamp cite notamment les sciences du comportement, le marketing, le design, la créativité, l'ergonomie, etc. Il est donc admis que plusieurs acteurs de disciplines et / ou de métiers différents doivent participer à la conception de produits nouveaux.

La difficulté est que ces disciplines très éloignées viennent, au cours des projets de conception de produits mécaniques, à se croiser avec un objectif commun : aboutir à un produit unique satisfaisant pour tous. Ainsi cette définition d'un objectif commun a lieu au cours de phases de divergences et convergences [Cross, 2000]. Durant les phases de convergences, les acteurs multiplient les échanges afin d'atteindre une décision satisfaisante [Mahdjoub et al., 2013].

Afin de favoriser la prise de décision au cours de ces phases, les acteurs sont amenés à faire des consensus [Ostrosi et al., 2012]. Ainsi, ces rencontres de cultures et de métiers différents permettent de répondre à des besoins d'ordre technique, mais aussi et surtout de répondre aux besoins de l'Homme qui utilisera le produit. Sagot et al., formalise ces rencontres selon la schématisation présentée sur la Figure 4 [Sagot et al., 2003]. Nous reviendrons à ces notions de besoin dans un chapitre dédié.

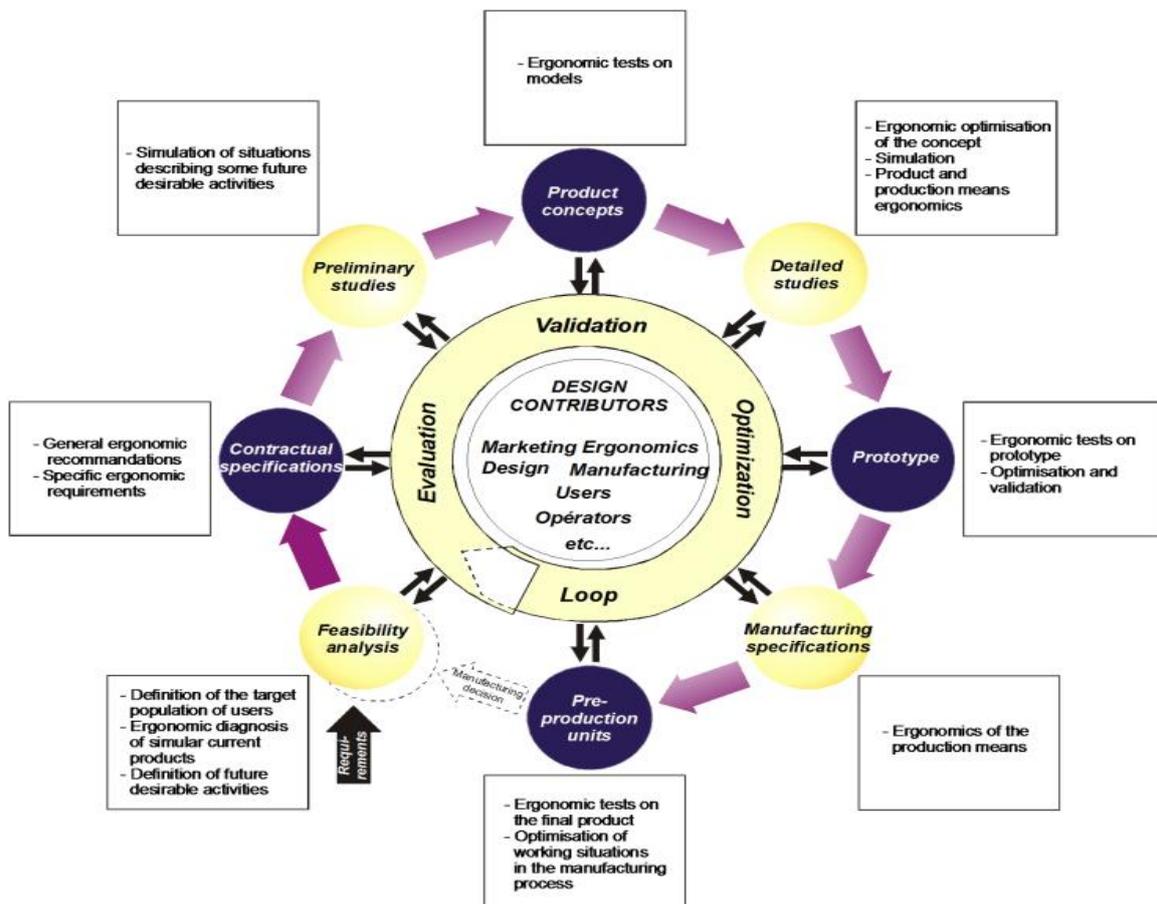


Figure 4. Processus de conception de produits intégrant l'ergonomie défini par [Sagot et al., 2003]

De par sa nature, la conception nécessite de la créativité afin de pouvoir proposer un produit compétitif. Industriellement, cette créativité doit être portée au stade d'innovation. Ainsi, aujourd'hui, la prise en compte de l'environnement dans la conception de produits est,

une nouvelle exigence de la stratégie des entreprises au même titre que les disciplines carrefour citées précédemment. Cette exigence est intégrée soit comme une contrainte supplémentaire, soit comme un avantage concurrentiel par anticipation sur l'évolution du marché et de la pression de la société.

Pour mieux comprendre ces aspects d'intégration, nous proposons de les décrire dans le paragraphe suivant.

2.1.2 L'innovation en conception par l'intégration du facteur environnemental

Comme nous l'avons évoqué précédemment, un des principaux objectifs dans le processus de conception est de concevoir des produits performants et de qualité, satisfaisants pour le client. Ces exigences entraînent le plus souvent des modifications dans les stratégies des entreprises. Elles peuvent adopter des chartes respectant l'environnement, mais, au-delà d'une dimension de communication, elles peuvent par exemple également mettre en place des processus de production moins polluants et plus respectueux de l'environnement. On retrouve donc quatre types d'innovations : L'innovation incrémentale, innovation stratégique, l'innovation majeure et l'innovation radicale [Markides et Geroski, 2004].

	Améliore la position des entreprises en place	Détérioré la position des entreprises en place
Impact mineur sur les habitudes de consommation	Innovation incrémentale (amélioration de l'existant)	Innovation stratégique (technologique)
Impact majeur sur les habitudes de consommation	Innovation majeure (comportementale)	Innovation radicale (rupture)

Figure 5. Typologie des innovations selon [Markides et Geroski, 2004]

La typologie ainsi présentée permet aux industriels de définir les stratégies à mettre en place afin de s'implanter ou se maintenir sur le marché face à la concurrence. [Bluntzer, 2009]. Ainsi, afin d'innover, les entreprises doivent mettre en place des stratégies d'innovations telles que : l'innovation par l'usage [Buisine et Roussel, 2008 ; Sagot et al, 2003 ; Mahdjoub, 2007 ; Mahdjoub et al., 2013], l'innovation par l'estime [Quarante, 2001], ou encore, l'innovation par l'écologie [Devalan, 2007].

L'innovation par l'usage est un levier important puisque l'observation et l'analyse des utilisateurs donnent aux concepteurs une nouvelle source d'innovation [Roussel et al., 2008].

Ainsi, la prise en compte de l'usage permet d'éviter de concevoir des produits avec de multiples fonctionnalités, mais compliqués à utiliser, et peu commode [Brangier, 2003].

L'innovation par l'estime est un facteur comprenant par exemple les désirs et les attentes de l'utilisateur [Guerlesquin, 2012]. Norman présente aussi la notion de plaisir que peut dégager un produit vis-à-vis de l'utilisateur [Norman, 2003]. Des disciplines telles que le marketing, le design industriel ou la psychologie vont participer à créer les conditions nécessaires à l'innovation sur cet aspect du produit.

L'innovation par l'écologie est un facteur de plus en plus pris en considération par les entreprises. Il est vu comme une opportunité pour accroître l'efficacité des entreprises, réduire les coûts, améliorer le positionnement de marque et améliorer les communications [Santolaria et al., 2011]. L'environnement est considéré comme une opportunité et sans aucun doute un moteur d'innovation dans le sens où il va nécessiter de repenser parfois autrement les produits en améliorant également leur qualité pour un coût moindre et pour des modes de vie plus durables [Ormetzeder et al., 2007].

L'objet d'une telle démarche est la réduction des impacts d'un produit sur l'environnement tout au long de son cycle de vie depuis l'extraction de ses matériaux constitutifs jusqu'à son élimination en fin de vie. Il est à noter néanmoins qu'un « produit vert » n'est pas forcément un produit de qualité. Un moindre impact sur l'environnement ne garantit pas en effet la qualité.

Cette prise en compte de l'environnement dès la conception du produit est en plein essor aujourd'hui, et les entreprises perçoivent de plus en plus cette forme intégrative comme un enjeu concurrentiel et une source d'innovation. On parle ainsi d'éco-conception ou de processus d'éco-conception. Pour mieux comprendre ce domaine, nous proposons dans le chapitre suivant de développer et de définir l'éco-conception et les processus associés.

2.2 L'éco-conception de produits

2.2.1 L'éco-conception – minimiser l'impact environnemental

L'éco-conception correspond à une abréviation de l'expression « conception écologique ». Le précurseur du concept d'éco-conception, est Victor Papanek dans les années 70 [Kazazian, 2003].

Diverses définitions peuvent être rencontrées dans la littérature. Conny Bakker propose deux définitions de l'éco-conception faisant appel à des visions différentes de la production industrielle, l'une axée sur l'amélioration technologique des produits pour les rendre plus respectueux de l'environnement et la seconde sur l'amélioration même du mode de vie en concevant des produits dans un objectif de développement durable. [Bakker, 1995].

L'éco-conception est définie dans la norme ISO 14062 [ISO/TR 14062, 2002] comme une approche de la conception qui vise à réduire les impacts environnementaux d'un produit (ou d'un service) durant tout le cycle de vie de ce produit en assurant la satisfaction des besoins des utilisateurs. L'idée est de satisfaire les besoins des utilisateurs, mais de manière durable [Crul et Diehl, 2009].

D'autres définitions intègrent aussi la réduction des coûts [Luttropp, 2006]. Brezet et Van Hemel ont défini l'éco-conception comme une solution durable qui implique de trouver un équilibre parfait entre les exigences écologiques et économiques dans la conception des produits [Brezet et Van Hemmel, 1997]. L'éco-conception apparaît comme une solution pour que les entreprises puissent intégrer les priorités des individus vis-à-vis du développement durable en lien avec les intérêts commerciaux [Karlsson et Luttropp, 2006].

Vis-à-vis de ces définitions, il est important de noter que les contraintes environnementales sont une partie des contraintes plus vastes qui doivent être prises en compte dans le processus de conception du produit. Donc, l'éco-conception doit trouver un équilibre entre les contraintes environnementales et les autres contraintes de différents domaines.

Ainsi, certains chercheurs proposent de partager la problématique environnementale au sein de l'équipe de conception tout en répartissant l'intervention environnementale sur l'ensemble du processus de conception [Puyou, 1999 ; Millet, 2003 ; Millet et al., 2003]. Ils supposent qu'en ajoutant un complément méthodologique environnemental global à chaque étape de la conception, une intégration plus performante peut être obtenue. Cela se matérialise par des processus d'éco-conception. Le niveau d'intégration évolue selon la profondeur du changement souhaitée par la Direction [Perrin, 2005].

S'appuyant sur les démarches de conception prenant en compte l'environnement, Millet construit trois groupes :

- les démarches d'éco-conception partielles telles que le Design for Recycling [Beitz, 1993 ; Perry, 2012 ; Santini, 2010], Design for Disassembly [Harjula et al. 1996], Design for

Remanufacturing [Amezquita et al., 1995 ; Ijomah et al., 2007 ; Pigosso, 2010 ; Gunasekaran, 2012; Xiaoyan, 2012] :

- l'aspect environnemental est géré comme la définition de contraintes supplémentaires à intégrer au cahier des charges du produit.

- les démarches d'éco-conception classiques telles que le Green Design, Design for Environnement, Design for Lyfe Cycle, Environnementally conscious design and manufacture [Gungor et Gupta, 1999 ; Besseris, 2012 ; Hernandez, 2012] :
 - la prise en compte du produit comme un système, permet de comprendre les impacts de la conception sur l'ensemble du cycle de vie du produit et de mieux appréhender la notion d'environnement.

- les démarches d'éco-conception innovantes [Kobayashi, 2006 ; Carrillo-Hermosilla, 2010 ; Jung, 2011 ; Ferrer et al., 2012] :
 - encore peu développées, elles visent une amélioration environnementale radicale et se focalisent sur le service que doit fournir le produit au consommateur avec l'amélioration de la qualité, l'équité, l'harmonie environnementale au sein de la société [Perrin, 2005].

Le paragraphe suivant s'intéresse plus particulièrement aux méthodologies et stratégies sur lesquels les industriels peuvent mettre en œuvre pour réduire l'impact environnemental de leurs produits.

2.2.2 Les méthodologies et stratégies en éco-conception

Aujourd'hui, la méthodologie d'analyse du cycle de vie de produit (ACV) ou encore Life Cycle Assessment (LCA) est une des méthodologies les plus répandues pour mesurer la performance environnementale d'un produit ou d'un matériau [ISO 14040, 1997]. L'ACV aide à identifier des opportunités pour améliorer les aspects environnementaux du produit, la

sélection des indicateurs pour la performance environnementale et le marketing. Cette méthodologie est basée sur 3 phases principales :

- Une compilation des entrées et des sorties pertinentes du produit ;
- Evaluer les impacts environnementaux potentiels associés à ces entrées et sorties ;
- Interpréter les résultats de l'analyse de l'inventaire et l'impact des phases d'évaluation.

Au niveau stratégique, Cross a défini une stratégie intégrée à la démarche de conception traditionnelle sous la forme d'un plan général d'action qui doit être mis en œuvre par l'équipe de conception [Cross, 2008].

Dans la démarche d'éco-conception, une stratégie environnementale contient différents chemins qui peuvent être suivis par l'équipe de conception pour réduire l'impact de leurs produits sur l'environnement [Brezet et Van Hemel, 1997]. En effet, les entreprises adoptent souvent une combinaison de stratégies d'éco-conception dépendant de leurs produits, leurs projets et leurs situations.

Brezet et Van Hemel ont défini sept stratégies d'éco-conception durant le cycle de vie du produit :

- matériaux avec un impact environnemental minimal ;
- réduction des matériaux utilisés ;
- optimisation des techniques de production ;
- optimisation du système de distribution ;
- réduction de l'impact durant l'utilisation ;
- optimisation de la vie du produit ;
- optimisation de la fin de vie du système.

Hemel et al. (2002) ont défini la roue des stratégies d'éco-conception avec huit stratégies et 33 principes de solutions pour aider les moyennes et les petites entreprises à améliorer leurs profils environnementaux, Figure 6. Cette roue définit la priorité de ces principes qui peut être différente si le produit est existant ou non. Allione et al., intègre un champ plus vaste des stratégies et directives d'éco-conception [Allione et al., 2012]. Plus spécifiquement, des nouvelles stratégies sont proposées comme l'expérience d'utilisateur, nouvelles identités des matériaux, l'éco-compatibilité, l'éthiques, etc. Des stratégies plus récentes focalisent sur le comportement des utilisateurs pour diminuer la consommation lors de l'utilisation du produit [Sauer et al., 2002].

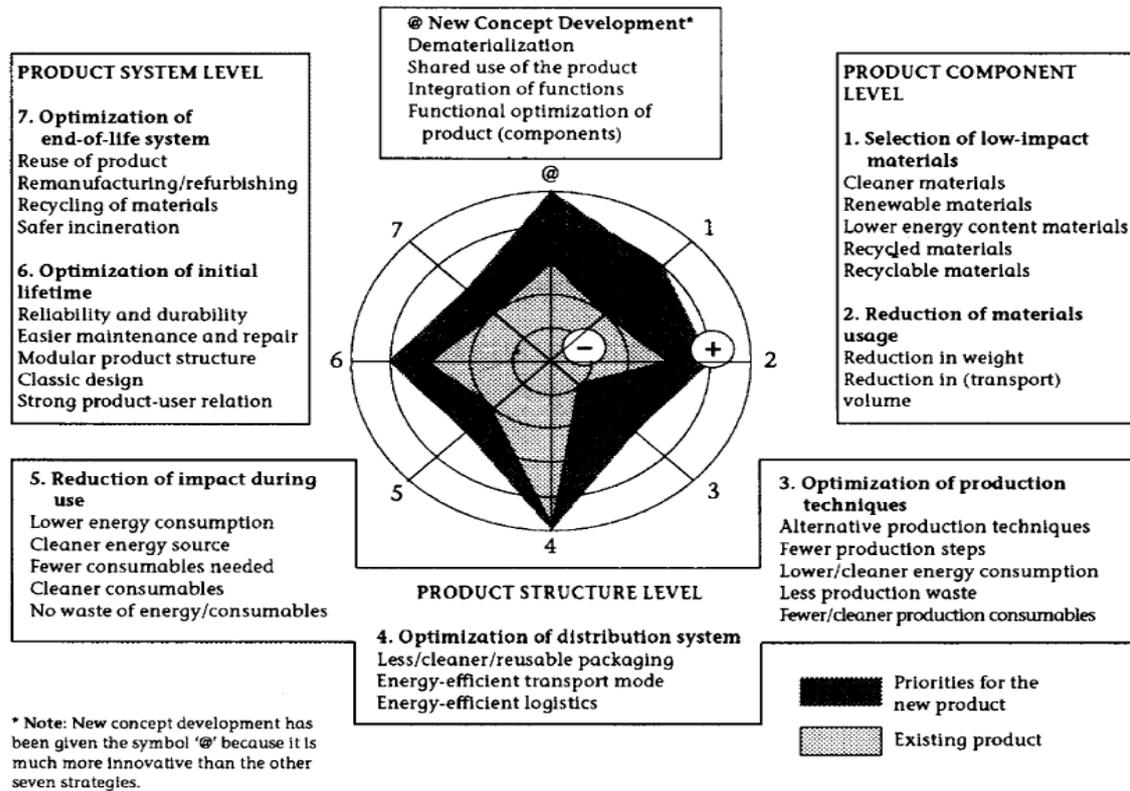


Figure 6. Roue des stratégies dans les entreprises [d'après Hemel et al., 2002]

Nous avons constaté que les leviers d'actions disponibles pour les entreprises sont multiples. Cependant dans le cadre de nos travaux, nous nous intéressons aux stratégies liées aux matériaux. Ainsi le paragraphe suivant propose de développer le thème du choix des matériaux en éco-conception.

2.2.3 Cas du choix des matériaux en éco-conception

D'après les travaux de L. Hollaway, qui cite K. Jakobsen [Jakobsen, 1987], il apparaît que l'harmonie idéale d'un produit réside dans la prise en compte du choix des matériaux et des méthodes de production avant même de déterminer la forme finale du produit. Selon l'auteur, ceci conduit à la conclusion que c'est à ce niveau de la conception que l'introduction des préoccupations environnementales peut se faire.

Concernant le choix des matériaux en éco-conception, Allione et al. (2012) ont classé les directives en trois éco-stratégies principales pour aider les concepteurs à faire le bon choix de matériaux, Figure 7:

- La première stratégie est l'utilisation des matériaux avec un impact minimal sur l'environnement :
 - Cette stratégie a pour objectif de réduire les ressources utilisées tout au long du cycle de vie du produit. Elle contient des directives comme : l'efficacité des matériaux, une chaîne courte de distribution, des ressources renouvelables, etc.
- La deuxième stratégie est la durée de vie des matériaux :
 - elle comprend la durabilité des matériaux, la biodégradabilité, la recyclabilité, etc.
- La troisième stratégie est liée à l'éthique et aux politiques :
 - l'objectif de cette stratégie est de créer une attention et des responsabilités des équipes de conception.

Il est clair que certaines stratégies ou directives peuvent être appliquées en synergie, mais d'autres peuvent mettre les concepteurs dans des cas contradictoires (i.e. comment peut-on assurer des matériaux biodégradables et avec une longue durabilité).

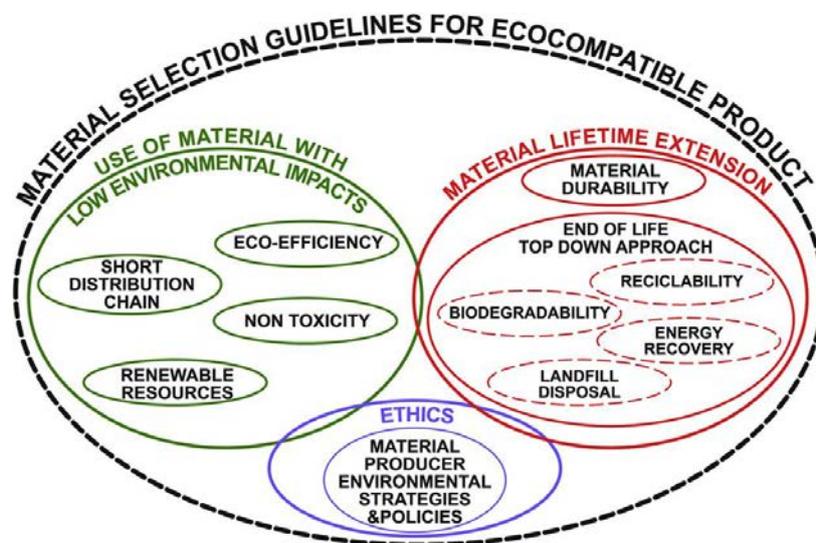


Figure 7. Eco-stratégies dans la phase de sélection des matériaux

L'ensemble de ces stratégies ont amené sur le marché des nouveaux matériaux que l'on nomme éco-matériaux. Ce concept d'éco-matériaux a été défini au début des années 90 sur la base de trois indices [Halada, 1992 ; Halada, 2003] :

- La performance – pour développer des matériaux à performances plus élevées.
- L'environnement – pour minimiser l'impact négatif sur l'environnement.

- La satisfaction – pour créer des conditions de vie confortables en synergie avec la nature.

Halada et Yamamoto [Halada et Yamamoto, 2001] ont classé les éco-matériaux en quatre catégories :

- Matériaux contenant des substances moins dangereuses (Pb-free materials, Halogen-free materials, Chromate-free materials, etc.).
- Matériaux avec un profil environnemental vert (matériaux issus des ressources renouvelables, matériaux sans déchets, matériaux avec un processus d'obtention vert, etc.).
- Matériaux à haute recyclabilité (Recyclable alloys, Recyclable composite, Materials for design for recycling (DfR)).
- Matériaux à haute productivité (Matériaux à haute résistance à la chaleur dans les turbines pour par exemple éviter des remplacements trop fréquents).

Parmi les trois stratégies évoquées pour le choix des matériaux, la première a retenu notre attention car elle propose le développement de nouveaux matériaux innovants par leur impact sur l'environnement. Il s'agit des éco-matériaux de la famille des matériaux avec un profil environnemental vert qui contient les matériaux bio-sourcés. Dans le cadre de nos travaux, nous avons choisi de développer plus en détails le cas de ces matériaux. Nous les définissons donc dans la partie suivante et présentons les besoins auxquels ils doivent répondre.

3 Innovation par les matériaux, cas des matériaux bio-sourcés

3.1 Définition des matériaux bio-sourcés

La notion de matériaux « bio-sourcés » désigne les matériaux d'origine végétale ou animale. Les matériaux bio-sourcés les plus connus sont ceux à base de cellulose issue du bois, de chanvre, de lin, de liège, de paille, de coton, de laine de mouton, de plumes d'oies, etc. [Mohanty et al., 2002]. Un matériau bio-sourcé est issu d'une ressource renouvelable, il est recyclable et son cycle de vie est plus long. Utiliser ces matériaux équivaut aujourd'hui à atteindre une haute performance sur plusieurs cibles touchant à l'environnement, au confort et

la santé de l'Homme, et en particulier la préservation des ressources énergétiques (matières premières, eau).

Un produit bio-sourcé repose sur trois principes : la performance thermique (résistance, capacité thermique,...), l'empreinte environnementale (énergie grise, cycle de vie du produit), le respect de la santé (absence de composés organiques volatils, de poussières ultrafines,...).

La famille des matériaux bio-sourcés regroupe [Mohanty et al., 2002]:

➤ Les matériaux fibreux : d'origine végétale (lin, chanvre, kenaf, coton, jute, coco, sisal, soja, laine et fibre de bois) ; d'origine animale (laine, plume, soie) ; obtenus par recyclage (fibres textiles recyclées, cellulose recyclée).

➤ Les matériaux à structure complexe : d'origine végétale (copeaux de bois, paille, maïs, ajoncs, aiguilles de pin, roseaux déchiquetés, liège) ; obtenus par recyclage (ouate de cellulose).

Grâce à leurs propriétés de biodégradabilité, les matériaux bio-sourcés constituent une solution aux problèmes environnementaux engendrés par les importants tonnages de déchets [Rabetafika et al., 2006]. Le plus souvent, c'est cette propriété qui est mise en avant dans la littérature pour les matériaux bio-sourcés [Chandra et Rustgi, 1998 ; Lorcks, 1998 ; Scott, 2000 ; Gross et Kalra, 2002 ; Tharanathan, 2003 ; Auras et al., 2004]. Le terme « biodégradabilité » suscite beaucoup de discussions. La définition émergente proposée par de nombreux auteurs de la biodégradabilité se traduit par une dégradation du matériau par les microorganismes comme les bactéries, les champignons et les algues [Plastics Europe, 2001 ; De Wilde, 2003 ; Xiu-Li et al., 2003 ; Rutot et Dubois, 2004].

Nous avons observé, à travers la littérature, de nombreux travaux sur les matériaux bio-sourcés dans le domaine de l'automobile [Maeder, 1995 ; Maeder, 1998 ; Bledzki, Gassan, 1999 ; Magurno, 1999 ; Germain, 2010 ; Oumarou, 2013], dans le domaine des emballages biodégradables [Davis, 2003 ; De Wilde, 2003 ; Klauss et Bidlingmaier, 2004 ; Davis, Song, 2006], dans le domaine médical [Martin et Williams, 2003 ; Middleton et Tipton, 1998], dans le domaine de la construction civile et du bâtiment [Basse-Normandie, 2012]. Le schéma de la Figure 8, pour le cas particulier des fibres, les domaines d'application industrielle concernés ainsi que leur positionnement par rapport au cycle de vie. Nous remarquons d'ailleurs que le domaine des sports et loisirs en phase d'émergence et que le domaine automobile est pour sa part en période de croissance.

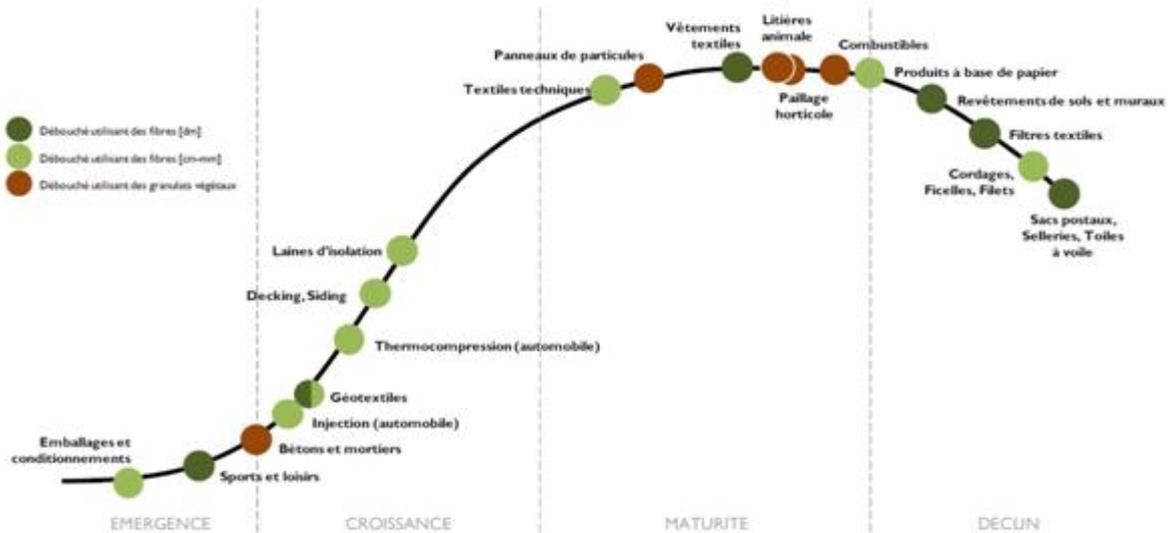


Figure 8. Cycle de vie des débouchés des fibres végétales et des granulats végétaux

Dans le cadre de nos travaux, nous avons décidé de focaliser notre attention sur les matériaux bio-sourcés de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin (FL20) car ils ont un potentiel dans de domaines d'application élevé et que ces fibres sont non alimentaires. De plus, ces matériaux font l'objet de travaux au sein de l'équipe IRTES-SeT\ERCOS [Padayodi et al., 2011 ; Soulama et al., 2011 ; Oumarou, 2013 ; Padayodi, 2013] dans le domaine de leurs caractérisations thermique, mécanique et physico-chimique. La partie suivante développe donc le cas particulier de la fibre de lin.

3.2 Fibre de lin

La sévérité de la législation environnementale et l'intérêt des consommateurs pour la question écologique accélèrent la transition vers les modèles du développement durable, ouvrant ainsi de riches perspectives aux marchés des fibres naturelles. Dans le cas des fibres végétales, nous pouvons dire qu'elles présentent de nombreux atouts : ressources renouvelables, abondantes, bon marché, aux propriétés mécaniques spécifiques élevées..., justifiant leur utilisation dans la fabrication de composites [Baley et al., 2004 ; Yu et al., 2006 ; Goda et Cao, 2007 ; John et Thomas, 2008]. D'ailleurs, les matériaux composites dont le renfort est constitué de fibres végétales font actuellement l'objet de nombreuses recherches en raison de leurs atouts environnementaux et de leur capacité à se substituer aux composites renforcés par des fibres de verre.

Intéressons-nous maintenant au cas de la fibre de lin. Le lin est une plante herbacée annuelle poussant dans les régions tempérées, à croissance rapide et reconnaissable par ses fleurs bleues, Figure 9. C'est une ressource renouvelable d'avenir, sans conséquence néfaste sur l'environnement et la santé [Ei Hajj et al., 2009]. Etant une plante craignant les fortes chaleurs et le manque d'eau, les cultures françaises se trouvent essentiellement en bordure maritime, dans la région du « grand Nord ».



Figure 9. Fleur de lin [Basse-Normandie, 2012]

La fibre de lin est considérée comme une ressource renouvelable d'avenir, sans conséquence néfaste sur l'environnement et la santé (Figure 10). Avec 56% de la production mondiale, la France est de loin le plus gros pays producteur de lin [Lacheray et al., 2007 ; Basse-Normandie, 2012].

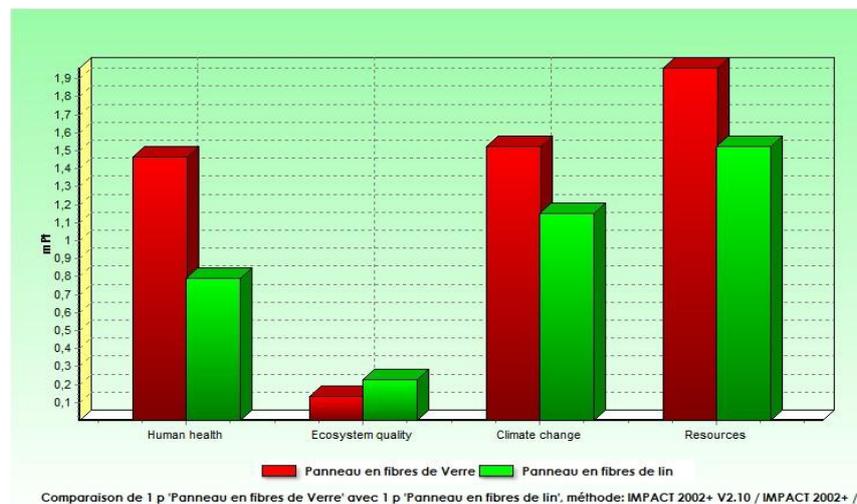


Figure 10. Analyse cycle de vie – fibre de lin / fibre de verre [Padayodi, 2013]

Cette fibre est utilisée depuis des milliers d'années dans la création de textiles. Cependant aujourd'hui, les utilisations du lin sont très variées, allant ainsi de l'industrie textile, aux plastiques composites, en passant par le bâtiment, le mobilier (rembourrage de sièges), la plasturgie (en remplacement de la fibre de verre) et même la papeterie etc. [Basse-Normandie, 2012]. La Figure 11 présente notamment le niveau de maturité des domaines

d'applications de la fibre de lin. On remarque bien que la filière du textile est arrivée à maturité alors que des filières comme celle de l'automobile (injection, thermocompression) sont en pleine phase de croissance.

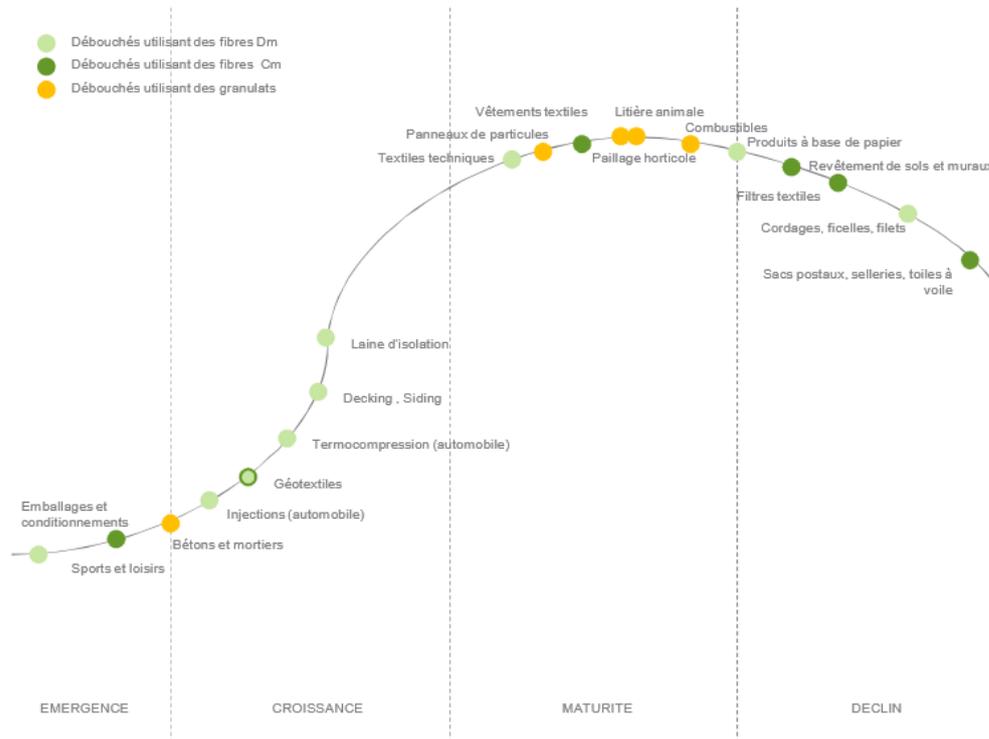


Figure 11. Niveau de maturité des domaines d'applications de la fibre de lin

Maintenant que nous avons défini les matériaux bio-sourcés, leurs applications ainsi que le cas particulier de la fibre de lin, il est nécessaire de s'intéresser aux besoins auxquels ils doivent répondre dans un contexte de conception de produits. Cela fait l'objet du paragraphe suivant.

3.2.1 Le besoin en conception de produits

L'Association Française pour l'Analyse de la Valeur (AFAV) définit un besoin de la façon suivante : « Le besoin correspond à un sentiment de manque, dont la satisfaction est nécessaire, au moins utile ou agréable. Il est le plus souvent associé à une activité, il n'est pas toujours exprimé par celui ou ceux auquel on l'attribue. Le besoin peut apparaître, subsister, évoluer, disparaître suivant les conditions qui se présentent. Ces conditions dépendent du

contexte et de la période considérée. Il est souvent mal ou insuffisamment exprimé par manque d'expertise et de critères objectifs » [AFAV, 1998].

Dans la littérature, il existe plusieurs typologies de besoins du consommateur [Kano et al., 1984 ; McInnis et Joworski, 1989 ; Tiger, 1992 ; Jordon, 2000]. Dans le cadre de notre recherche et en accord avec De La Bretesche [De La Bretesche, 2000] et Quarante [Quarante, 2001], en appuyant les travaux de notre équipe [Sagot, 1996 ; Sagot, 1999 ; Mahdjoub, 2007 ; Bluntzer, 2009 ; Guerlesquin, 2012], nous définissons les besoins selon deux terminologies : les besoins d'usage et d'estime. Il faut ici définir les notions d'usage et d'estime.

L'usage est défini par Brangier comme la mise en activité effective d'un objet dans un contexte social. L'utilisateur, les tâches qui lui incombent, et l'environnement dans lequel il évolue, constitue le contexte social et impliquera divers usages du produit [Brangier, 2003].

L'estime, en accord avec Guerlesquin (2012) est définie comme le jugement, à connotation affective, que l'utilisateur attache au produit.

Les besoins d'usage et d'estime donnent naissance, lors de la conception de produits, à des nécessités d'ordre technique qu'il ne faut pas non plus négliger car elles détermineront en partie ou totalement de la faisabilité du futur produit. Pour cette raison, nous donnons ci-dessous la définition des besoins d'usage et d'estime et des nécessités d'ordre technique :

Besoins d'usage : En accord avec Brangier, l'ensemble des besoins permettant à l'utilisateur d'accomplir un objectif au travers d'une activité réelle dans un contexte donné [Brangier, 2003].

Besoin d'estime : les besoins relatifs à la valeur d'estime à savoir la considération affective que l'utilisateur attache au produit lors de son achat ou de son utilisation [Guerlesquin, 2012].

Nécessité d'ordre technique : (ou contraintes techniques) ensemble d'éléments techniques indispensables à la mise au point d'un produit industrialisable, découlant directement des besoins d'usage et d'estime.

Dans les parties suivantes, nous mettrons en perspective les notions de nécessité d'ordre technique et de besoins auxquelles doivent répondre les matériaux en général et les matériaux bio-sourcés plus particulièrement.

3.2.1.1 Nécessités d'ordres techniques

Divers travaux traitent, de manière usuelle, de la caractérisation ou de la comparaison des matériaux classiques entre eux au niveau technique (résistance mécanique, propriétés thermo-physiques...) pour assurer aux concepteurs des caractéristiques adéquates [SSHA, 1998 ; Crochemore et al., 2004 ; Poilâne et al., 2008].

Dans le même contexte technique, d'autres études s'intéressent à comparer les matériaux bio-sourcés aux matériaux classiques tels que ceux à base de fibres de verre. Ainsi, plusieurs auteurs démontrent que les performances mécaniques des matériaux composites à fibres naturelles rapportées aux densités de ces dernières sont comparables à celles des composites à fibres de verre [Wambua et al., 2003 ; Biagotti et al., 2004 ; Julian et al., 2012]. Par exemple, certains travaux établissent une comparaison entre le module de Young de la fibre de verre et celui de la fibre de chanvre.

Plus spécifiquement, le potentiel de la fibre de lin a été étudié pour remplacer des fibres de verre comme renfort dans une matrice [Heijenrath et Peijs, 1996 ; Marsh 2003 ; Soulama et al., 2011 ; Padayodi, 2013 ; Oumarou, 2013 ; Loudjon et al., 2013]. Comme présenté en Figure 12, certains travaux traitent par exemple de la comparaison du module de Young de la fibre de verre avec les fibres de lin et de chanvre, Figure 12. On peut noter que les fibres longues de lin, réputées de très bonne qualité, sont aussi étudiées pour remplacer les fibres de carbone [Basse-Normandie, 2012].

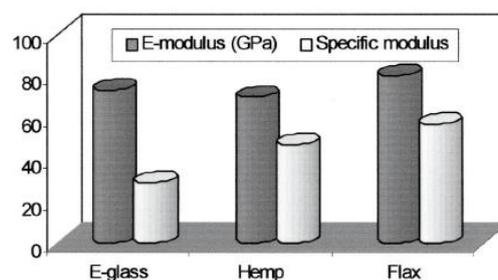


Figure 12. Exemple de données techniques sur divers matériaux [Mohanty et al., 2002]

3.2.1.2 Besoins d'usage et d'estime

Face à l'importance de la prise en compte des besoins d'estime et d'usage des consommateurs vis-à-vis du succès commercial des produits, il devient nécessaire pour les

concepteurs de construire des référentiels communs permettant de formaliser au mieux le besoin. Ces référentiels, appelés cahiers des charges, permettent notamment l'évaluation, le classement des concepts, des produits tout au long du processus de conception et de développement de produits. Ces évaluations et classement sont réalisés par rapport à la notion de valeur qui peut être définie par le ratio entre la satisfaction du consommateur et les coûts engagés pour ce niveau de satisfaction. Diverses méthodes existent pour définir la valeur du produit, nous pouvons citer par exemple les travaux précurseurs de Miles sur l'analyse de la valeur [Miles, 1954].

Si l'on relie la notion de valeur aux besoins d'estime et d'usage, nous pouvons en déduire deux types de valeurs associées au produit qui sont la valeur d'usage et la valeur d'estime. La **valeur d'usage** correspond au degré avec lequel un produit répond à l'ensemble des besoins permettant au consommateur d'accomplir un objectif à travers une activité réelle dans un contexte donnée [Brangier et Barcenilla, 2003]. La **Valeur d'estime** correspond au degré avec lequel un produit contribue à créer une considération affective que l'utilisateur va lui porter lors de son achat ou de son utilisation [Guerlesquin, 2012]. Selon la norme FD X 150-101, elle traduit la partie subjective du besoin [FD X 150-101, 2007].

Comme pour les nécessités d'ordre technique, les concepteurs ont dans leur panel de méthodes et d'outils des moyens qui permettent de caractériser le besoin du consommateur et la valeur associée. L'une des méthodes reconnues dans le domaine est l'analyse fonctionnelle. L'analyse fonctionnelle « consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur » [Tassinari, 2006]. L'AF qui est une étape clé a ainsi pour objet la traduction du besoin utilisateur en fonction. A cet égard, l'Analyse Fonctionnelle Externe (AFE) permet de définir différents types de fonctions. Selon Tassinari, on peut trouver des fonctions principales de service, des fonctions complémentaires de service et des fonctions contraintes. Les fonctions de service (principales et complémentaires) sont celles qui représentent le service attendu par l'utilisateur en termes d'usage et d'estime. On parle ainsi de fonction d'usage et de fonction d'estime.

Les concepteurs qui participent à ces étapes de définition, de caractérisation et d'évaluation des fonctions d'usage et d'estime peuvent être l'ergonome et le designer industriel. La majeure partie des activités de l'ergonome constitue ce qu'on appelle l'ergonomie de correction et qui consiste à détecter un problème sur un produit existant ou une situation existante. Dans un contexte de conception, l'ergonome peut s'orienter vers une ergonomie de conception, dont l'objectif est d'intégrer durant le processus de conception et de

développement du produit, la composante humaine. En accord avec Paternotte, nous considérons le designer dit industriel, au croisement des aspects esthétiques du produit et de son caractère industrialisable. En accord avec Guerlesquin, le designer industriel, avec l'aide du concepteur mécanicien, sera chargé d'atteindre un résultat attractif pour l'utilisateur, touchant à ses émotions et son plaisir [Guerlesquin, 2012].

Etant donné, notre problématique générale évoquée au chapitre 1.2, nous nous focalisons sur la fonction d'estime et son évaluation. Ainsi peuvent être considérées dans cette évaluation des notions telles que la qualité perçue, les modes et tendances, la valeur sentimentale ou encore l'esthétique [Loewy, 1990]. L'approche est complexe car s'emmêlent des concepts tels que la perception multi-sensorielle, l'image de marque, les stratégies commerciales, et nécessite l'intervention de métiers spécialisés dans les relations produits-humains. Ainsi, des disciplines telles que le marketing, la sociologie, la psychologie, viennent appuyer le travail des concepteurs.

Cependant, la prise en compte des besoins d'estime du consommateur débute par une compréhension de la façon dont il perçoit le produit. Ceci positionne la qualité perçue et l'analyse sensorielle au centre de notre recherche bibliographique. Pourtant, dans la littérature, nous avons remarqué que peu ou pas de travaux traitaient de ces domaines pour les matériaux bio-sourcés. Nous pouvons citer les travaux d'Allione (2012) qui propose une première approche. En effet Allione et al. (2012) introduisent une méthodologie pour construire une bibliothèque des profils de nouveaux matériaux (MATto). Ce profil de matériau est ainsi défini par sa performance environnementale et ses caractéristiques sensorielles comme le toucher (froid, chaud, rigide, etc.), l'odeur, etc. L'originalité de ces travaux est de prendre en compte les contraintes d'usage des matériaux et la satisfaction des utilisateurs dans la démarche d'éco-conception. Cependant, nous n'avons pas trouvé d'application concrète de cette méthodologie au niveau de l'analyse sensorielle ou de la qualité perçue. Au-delà de ces travaux, nous pouvons dire qu'il y a un réel manque des études en ce qui concerne l'évaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés.

En synthèse, tout comme la recherche des performances primaires d'un produit va définir ses capacités technologiques, la recherche de la qualité perçue va signer ses caractéristiques poly-sensorielles. Ces deux démarches doivent être menées simultanément dès la phase de conception du produit, et s'inscrire dans le cahier des charges, pour une adaptation optimale du produit à son marché [Lhéritier, 2013]. Ainsi, tout comme pour les

aspects techniques, les concepteurs ont besoin de savoir si ces nouveaux matériaux, plus respectueux de l'environnement, seront tout aussi convenables du point de vue sensoriel.

Avant de traiter de la question de l'analyse sensorielle, nous nous intéresserons plus particulièrement dans la prochaine partie au domaine de la qualité perçue qui traite de la valeur d'estime des produits.

3.3 La qualité perçue

3.3.1 Définition de la qualité

La qualité est un concept qui s'est développé avec l'industrie et qui est défini dans les normes AFNOR NFX50-109 comme une ensemble de propriétés caractéristiques d'un produit ou d'un service, qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire durablement les besoins exprimés et implicites des consommateurs.

Au départ simplement définie comme la capacité à atteindre les objectifs opérationnels visés, elle est maintenant définie comme l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences [AFNOR NFX50-109 ; ISO 8402, 1994 ; Norme ISO 9000, 2000]. P. Ducalet et M. Laforcade adaptent cette définition de la manière suivante « Ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites de l'utilisateur et de sa famille en vue de maintenir ou d'améliorer sa santé, son autonomie sociale et sa dignité d'être humain » [Ducalet et Laforcade, 2000].

Tout comme la majorité des auteurs [Grönroos, 1984 ; Parasuraman et al., 1985 ; Parasuraman et al., 1988 ; Carman, 1990 ; Parasuraman et al., 1991 ; Cronin et Taylor, 1992 ; Babakus et Boller, 1992 ; Teas, 1993 ; Rust et Oliver, 1994 ; Rust et al., 1995 ; Brady et Cronin, 2001 ; Pillou, 2004], nous pensons donc que la qualité est un concept multidimensionnel. Nous définissons deux types de qualité : la qualité d'un produit et la qualité d'un service. Par qualité d'un produit, nous entendons la qualité perçue concernant la performance du produit. Nous reviendrons sur ces notions de qualité perçue dans le chapitre suivant. Pour ce qui est de la qualité d'un service, ses dimensions ainsi que son opérationnalisation sont encore aujourd'hui des thèmes de débats dans la littérature.

A partir de cette définition de la qualité, nous nous sommes intéressés à définir le concept de qualité perçue associée à un produit car il est plus adapté à notre problématique qui traite des produits matériels.

3.3.2 La qualité perçue et la satisfaction du consommateur

La qualité perçue est un jugement évaluatif global vis-à-vis d'un produit (ou d'un service) portant sur la supériorité relative de ce produit (ou service) [Rust et Oliver, 1994 ; Zeithaml, 1988]. La qualité perçue consiste donc en la confrontation de la perception qu'a le consommateur de la qualité rendue à ses attentes préalables vis-à-vis de cette prestation.

La qualité perçue peut aussi être définie comme « l'idée que l'on se fait par rapport aux sensations et à l'opinion qu'on en a » [Balin et Giard, 2007]. La qualité perçue répond aussi à la loi « du tout et du rien » [Balin et Giard, 2007]. Elle touche en effet l'ensemble du produit (le tout) mais elle peut également toucher à un détail qui choque (le rien).

Classiquement, la qualité attendue correspond à l'attente du client [Gotlieb et al., 1994]. L'entreprise doit donc être en mesure d'anticiper cette attente, voire la combler [Lewis et al., 1993]. Historiquement, cette attente fait souvent référence à des critères de robustesse, de fiabilité, de disponibilité et/ou de technologie à atteindre pour le produit. Elle s'est ensuite engagée sur la voie de la recherche du « meilleur rapport qualité / prix ». Aujourd'hui, elle répond également à des critères relevant du plaisir du client. Ainsi, non seulement le produit doit-il répondre à l'usage auquel il est destiné et pour lequel il a été conçu, mais il doit de plus répondre au plaisir que le client attend de sa perception et de son utilisation. Cette notion fait coexister des aspects objectifs, fonctionnels et mesurables, ainsi que des aspects subjectifs liés à l'esthétique du produit, le plaisir vécu ou le relationnel du client. Dans Plichon (1998), cette qualité perçue est ainsi définie comme « un état affectif provenant d'un processus d'évaluation affectif et cognitif qui survient lors d'une transaction spécifique ».

Ces définitions de la qualité perçue sont très semblables à celle de la satisfaction, et c'est sans doute pour cette raison que les notions de satisfaction et de qualité perçue sont très souvent confondues [Ngobo, 1997]. Pourtant, ces concepts diffèrent entre autres sur les deux points suivants [Rust et Oliver, 1994 ; Oliver, 1997] :

- la satisfaction nécessite qu'une expérience avec le produit / service ait eu lieu alors que le jugement de qualité ne le requiert pas nécessairement ;
- la qualité est jugée en référence à un standard d'excellence, ce qui n'est pas forcément le cas de la satisfaction.

Différentes recherches abondent dans le sens de l'existence d'une relation positive entre la qualité du produit et la satisfaction des clients finaux [Churchill et Surprenant, 1982 ; Tse et Wilton, 1988 ; Bolton et Drew, 1991 ; Parasuraman et al., 1994]. Par exemple, dans les travaux développés par Churchill et Surprenant pour des biens durables, la satisfaction des clients finaux est principalement déterminée par la performance perçue du produit.

Aujourd'hui donc, nous pouvons dire que la qualité attendue concerne aussi bien le plaisir, la sensorialité que la valeur d'usage. Une telle approche multidimensionnelle de la qualité perçue démontre tout l'intérêt de la mise en œuvre des méthodes d'analyse sensorielle. Le chapitre suivant se propose de les présenter.

4 La prise en compte des aspects sensoriels du produit

Dans un premier temps, nous allons montrer que la prise en compte des aspects sensoriels du produit passe par la nécessité de dépasser l'approche du design industriel pour se focaliser sur le design sensoriel. Pour y parvenir, le design sensoriel a à sa disposition des outils méthodologiques dont la métrologie sensorielle, que nous présenterons. Nous montrerons qu'un des instruments méthodologiques de la métrologie sensorielle particulièrement utile dans le cadre de la conception de produits est l'évaluation sensorielle. Nous présenterons donc cette approche et les concepts associés. Pour approfondir notre approche, nous nous focaliserons sur le cas particulier de la prise en compte des aspects tactiles du produit grâce aux méthodes de l'évaluation sensorielle. Enfin, pour conclure, nous aborderons succinctement les liens entre évaluation sensorielle des produits et propriétés physiques mesurables des produits.

4.1 Du design industriel au design sensoriel

Comme nous l'avons précisé au chapitre 3.2.2, le design industriel est la discipline qui s'intéresse à l'estime des produits et donc à leur qualité perçue. Cette discipline ou ce métier a déjà connu plusieurs définitions témoignant de son évolution constante. Nous pouvons résumer les premières définitions fondatrices d'une formule : « le design donne à voir ». De cette première acception, le design industriel a évolué vers un design qui donne à percevoir [Loewy, 1990].

Comme l'explique Quarante, « Étant parti d'une définition fortement limitée à la recherche stylistique des produits (en liaison avec la fabrication et les contraintes économiques), le design industriel d'aujourd'hui s'est enrichi et élargi par une prise en compte des facteurs ergonomiques, des exigences de la qualité et de l'intégration des éléments socioculturels lui donnant ainsi une dimension prospective utile au marketing » [Quarante, 2001].

Devant, les nouvelles contraintes que le design industriel a dû prendre en considération, nous avons assisté à l'émergence du design sensoriel. Ainsi, le design industriel peut être vu comme une discipline dans laquelle nous trouvons des moyens de traiter l'approche sensorielle, et plus précisément le design sensoriel.

Le concept de design sensoriel est né dans les années 1990 de la volonté des grandes marques d'entamer une démarche d'hyper sophistication de leurs produits de façon à tirer le marché vers le haut et pouvoir conserver des marges suffisantes, face à l'exacerbation de la concurrence et à la saturation de l'offre. Alors que ce concept était jusqu'à présent développé uniquement par les grands groupes pour leurs produits « haut de gamme », notamment dans les secteurs du luxe et de l'automobile, il convient de noter qu'il a tendance à se propager aux produits de grand usage, peu familiarisés à ce type de technologie.

Le design sensoriel rend possible la maîtrise de tous les attributs perçus d'un produit (par tous), dès sa conception, son développement jusqu'à sa fin de vie [Bassereau, 2009]. Il consiste en un travail très fin, tout en subtilité, qui a la capacité d'influencer la perception que l'on a d'un produit. Cette technique nécessite ainsi une analyse de la cinématique des objets ainsi qu'un travail sur l'ensemble de leurs qualités sensorielles, non seulement visuelles (couleurs, matières, formes) mais aussi tactiles, olfactives, sonores, gustatives.

Afin de traiter les aspects sensoriels, le design sensoriel a à sa disposition des outils méthodologiques dont la métrologie sensorielle. Nous présentons ces outils méthodologiques dans la partie suivante.

4.2 La métrologie sensorielle

La métrologie sensorielle est un domaine relativement vaste. Avant de présenter les définitions, les méthodes, les instruments et les outils, nous présentons quelques notions élémentaires sur les relations entre sensation et perception, qui sont fondamentales afin d'appréhender au mieux la métrologie sensorielle.

4.2.1 De la sensation à la perception

Dans le processus du traitement de l'information, la sensation précède la perception. En effet, la sensation est le phénomène physiologique correspondant aux traitements des stimuli sensoriels reçus par les différents sens [Weil-Barais, 2005]. Des récepteurs sensoriels spécifiques aux différents sens sont responsables du traitement des stimuli sensoriels reçus. Ainsi, les photorécepteurs sont responsables du traitement des stimuli lumineux, les cellules cillées du traitement des stimuli auditifs etc. Les informations sensorielles sont ensuite transmises aux différentes structures cérébrales responsables du traitement de l'information considérée. Ainsi, les informations visuelles sont transmises au cortex visuel et les informations auditives au cortex auditif.

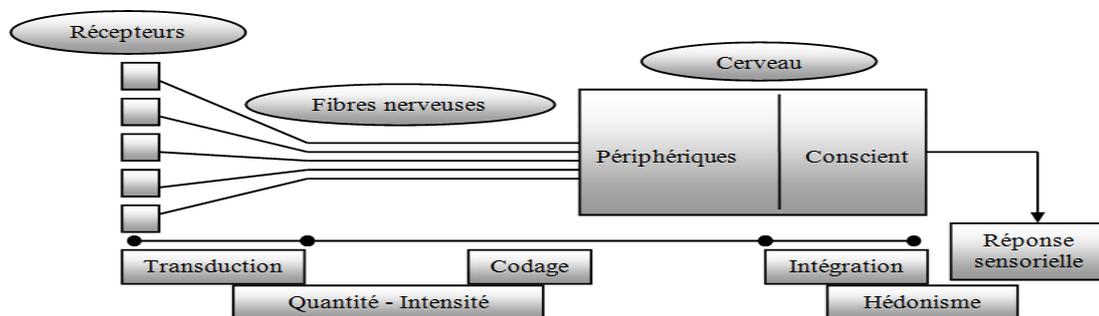


Figure 13. Etapes physiologiques de la sensation puis de la perception [Bassereau et Lefebvre, 2004]

Il en résulte, que plusieurs étapes de traitement sont nécessaires avant que les informations sensorielles arrivent à la conscience du sujet : l'information sensorielle se trouve

progressivement filtrée, réduite, stabilisée et contrastée à mesure qu'elle chemine des organes sensoriels vers les centres nerveux supérieurs, telle que l'indique la Figure 13 [Bassereau, 1995].

Cependant, les récepteurs sensoriels sont en permanence sollicités, mais toutes les informations ne sont pas traitées de façon identique. Des mécanismes tels que l'attention sélective permettent de filtrer, trier l'information. Cette étape de sélection de l'information sensorielle, permet le passage entre sensation et perception. Ainsi, le terme perception est utilisé pour décrire le processus par lequel un individu choisit, organise et interprète les éléments d'information externes pour construire une image cohérente du monde qui l'entoure [Kotler et Dubois, 1997]. Il en résulte que la perception est fortement influencée par les connaissances de l'individu, par ses besoins. La perception est déjà interprétation.

Cette nuance entre les deux termes, sensation et perception, est importante car elle est le fondement du cadre théorique classique de l'évaluation sensorielle. En effet, il est fréquent de décliner, comme en psychophysique, la réponse du sujet à partir du stimulus, souvent complexe, en considérant deux niveaux de traitements cognitifs : une réponse sensorielle de bas niveau (reliée à la sensation) et une réponse hédonique, globale et affective, de plus haut niveau (reliée à la perception : le jugement perceptif) [Depledge, 2009].

Autrement dit, le spécialiste en analyse sensorielle s'intéresse aux moyens de caractériser les produits – stimuli – pour mieux comprendre les réponses qu'ils vont susciter chez un consommateur : d'une part, les sensations de ressenti et d'autre part, les perceptions, telles que les jugements de préférence. Nous allons approfondir ces différents types d'approches en nous intéressant plus précisément à la métrologie sensorielle, puis au cas particulier de l'évaluation sensorielle.

4.2.2 Définition de la métrologie sensorielle

La métrologie sensorielle peut se définir comme étant « la science de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude » [Cotteret, 2006]. La métrologie sensorielle représente l'ensemble des méthodes, outils et instruments qui permettent d'évaluer les qualités organoleptiques d'un produit, c'est-à-dire les caractéristiques faisant intervenir les organes des sens de l'être humain : le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe [Technologies clé, 1997].

Cette science s'est réellement développée avec l'industrie agro-alimentaire dans les années 70, au moment de l'éclosion de la société de consommation. Jusqu'alors, il était seulement possible de vérifier si un produit était sain sur le plan physico-chimique, nutritionnel et microbiologique. Les industriels ont donc cherché à qualifier les performances par rapport à un référent dont ils connaissaient les caractéristiques, l'objectif étant de standardiser la qualité organoleptique et d'obtenir une qualité égale tout à long de la production. Autrefois méthode de mesure marginale, la métrologie sensorielle représente aujourd'hui un outil fondamental pour de nombreux industriels. Elle s'applique non seulement aux produits alimentaires, mais aussi cosmétiques, pharmaceutiques et à leurs emballages, et depuis une quinzaine d'années au secteur automobile et de l'ameublement. Des études ont donc été et sont encore menées en ce sens comme par exemple celles effectuées dans le domaine viticole [Sauvageot et al., 2005 ; Alvelos et al., 2007], des laitages [Mojet et Köster, 2005], des produits alimentaires [Sieffermann et Taréa, 2005] ou des produits cosmétiques [Bouarfa et al., 2006].

La métrologie sensorielle a été identifiée par le Ministère Français de l'Industrie dans le rapport des technologies clés, à l'horizon 2005 à deux reprises : comme technologie d'analyse des besoins et des comportements des consommateurs, et comme technologie accompagnatrice de la prise en compte de la dimension humaine en conception [Technologies clé, 2000]. La métrologie sensorielle est donc un outil particulièrement adapté à la mesure et à la prise en compte de la qualité perçue des matériaux / produits, dans laquelle la dimension sensorielle est essentielle. Elle représente un moyen privilégié de contrôler la qualité d'un produit et constitue surtout une aide précieuse à la conception des produits [Guerra, 2008].

La métrologie sensorielle identifie, quantifie et matérialise les aspects perçus d'un produit par l'intermédiaire de stimuli. Pour cela, elle comporte un ensemble de méthodes, d'outils et d'instruments qui permettent de mesurer les sensations ou les modalités sensorielles. En s'inspirant des travaux de Vadcard [Vadcard, 1996], Anne Dumenil-Lefebvre a donné une définition de ces éléments de la métrologie sensorielle [Lefebvre, 2006] :

- les méthodes : démarche construite mise en œuvre pour découvrir, vérifier, ou résoudre un problème concret à partir de connaissances existantes pour la mesure des sensations;
- les instruments : machine ou appareil de mesure des sensations ;
- les outils : support matériel simple permettant de mesurer les sensations ;

- les outils ou instruments méthodologiques : moyen non matériel, mais formalisé par des règles d'application, permettant de mesurer les sensations (par exemple, un outil méthodologique en conception est l'analyse fonctionnelle).

Les chapitres suivants proposent de développer chacun de ces éléments de la métrologie sensorielle.

4.2.3 Les méthodes de la métrologie sensorielle

Les méthodes de la métrologie sensorielle sont essentiellement basées sur celle de la psychophysique [PSY, 1999]. Cette discipline a pour objectif d'étudier les relations existantes entre des mesures de sensations et des stimuli physiques. La psychophysique repose sur le postulat que l'organisme, à travers ses systèmes sensoriels, fonctionne comme un instrument de mesure dans l'analyse des informations qu'il traite. Ainsi, la psychophysique recherche les relations mathématiques reliant le stimulus et le résultat de la sensation.

La psychophysique se base sur deux grandes théories, la psychophysique objective et la psychophysique subjective.

- La psychophysique objective définie par Fechner [Fechner, 1907] propose de mesurer la sensation en termes d'intensité physique. Nous ne détaillerons pas davantage cette approche qui ne correspond pas à nos travaux.
- La psychophysique subjective définie par Stevens [Stevens, 1975], pour sa part propose d'exprimer la sensation à partir d'estimations numériques subjectives. Ainsi, pour Stevens, un sujet peut juger qu'une sensation provoquée par un échantillon A est trois fois plus forte que celle provoquée par le témoin ; ou que celle provoquée par l'échantillon B est 3 fois moins forte que celle provoquée par le témoin.

Il en résulte qu'en psychophysique subjective, l'objectif va être de construire des échelles psychophysiques qui reflètent les variations de sensations correspondant aux variations des phénomènes physiques qui en sont la source [Lefebvre, 2006]. Pour ce qui concerne ces échelles psychophysiques, Stevens a proposé une classification d'échelle d'estimations numériques subjectives largement acceptée. Il en distingue quatre types : les échelles nominales (*nominal scale*), les échelles ordinales (*ordinal scale*), les échelles

d'intervalles (*interval scale*) et les échelles de rapport (*ratio scale*) qui représentent différents degrés de correspondance entre le système numérique et les propriétés des phénomènes.

Quatre propriétés (ou relation) du système numérique seront utilisées pour les caractériser : l'identité, l'ordre, l'intervalle et l'origine [Bonnet, 1986]. Pour une description détaillée de ces échelles psychophysiques, bases des méthodes de métrologie sensorielle, nous renvoyons le lecteur à Lefebvre [Lefebvre, 2006].

4.2.4 Les instruments de la métrologie sensorielle : définitions, exemples

Les instruments sont des machines ou appareils qui permettent de mesurer les sensations. Plusieurs travaux montrent que les instruments de la métrologie sensorielle remplacent ou reproduisent, en quelque sorte, le fonctionnement de nos organes sensoriels, ce sont des instruments de mesure des sensations humaines [Sedaghati et al., 2005 ; Tannan et al., 2007 ; Petropoulos et al., 2009]. Ils permettent, entre autres, de se substituer partiellement ou totalement à un être humain, qui lors de mesures sensorielles apportera toujours une composante subjective.

Un exemple est le cas des nez électroniques qui permettent de mesurer une sensation olfactive de la même manière que le nez humain. Mojet et Köster, en 2005, montrent la comparaison possible entre l'examen du goût d'un aliment et la mesure de texture d'un aliment. Le toucher artificiel intéresse un large domaine d'applications lié à la perception [Mojet et Köster, 2005]. A titre d'exemple, nous pouvons citer les travaux du service de métrologie sensorielle de Renault [Dumont et Crochemore, 2007] qui a développé un doigt thermique capable de mesurer les sensations tactiles provoquées par un tissu. Cet instrument de mesure modélise parfaitement la composante thermique du toucher [Deterre et Sarda, 2002 ; Deterre et al., 2002 ; Crochemore et al., 2004]. En mettant en relation cette mesure avec le ressenti du sujet réalisant sa propre évaluation subjective sur le tissu, il est ensuite possible de déduire une relation entre les deux évaluations, l'une mesurable et objective, l'autre non mesurable et subjective.

Le *Tableau 1* présente une synthèse référencée non exhaustive des instruments de mesure associés aux différents sens.

Domaine subjectif	Répondant mesurable	Référence
La vue	L'endoscope, le stroboscope, la télévision	[Menissez et Bassereau, 2004]
L'ouïe	Mesure des sons, de l'intensité, des notes...	[Gaillard et al., 2006]
L'odorat	Chimie des molécules Nez électronique	[Nesa et Courdec, 2004] [Nesa et al., 2004]
Le toucher	Doigt thermique Micro-capteur d'effort	[Dumont et Crochemore, 2007] [de Boissieu, 2010]
Le goût	Mesure de texture	[Dacremont, 2003] [Pensé-Lhéritier, 2006]

Tableau 1 : Comparaison domaine subjectif – Répondant mesurable

A la fois fiables, justes et reproductibles, ces instruments peuvent ainsi être vus comme le moyen d'éliminer certaines tâches ingrates ou fastidieuses relevant du contrôle qualité. Cependant, le cerveau humain peut intégrer les données par un ensemble de stimuli aussi bien visuels, tactiles, olfactifs, etc. et les traduire en une information multidimensionnelle, ce que les instruments de mesure ne permettent pas. De plus, l'être humain est le seul à pouvoir rendre compte de manière verbale d'une perception sensorielle. Ce dernier point est fondamental et confère donc un rôle primordial à l'approche sémantique [Guerra, 2008]. Il résulte de ces limites de la métrologie sensorielle que certains travaux, remettent en cause le concept de qualité objective et recommandent de privilégier celui de qualité perçue [Zeithalm, 1988 cité par Sirieix et Filser, 2002]. De plus la mise au point de tels instruments passe obligatoirement par une première phase d'identification des sensations, notamment par les techniques d'évaluation sensorielle que nous présenterons ultérieurement.

4.2.5 Les outils de la métrologie sensorielle

En métrologie sensorielle, un outil est un ensemble d'échantillons matériels (textile, bois, revêtements, objets...etc.) existants, préalablement définis. Chaque échantillon représente une dimension sensorielle. La dimension sensorielle correspond à sa dénomination de la sensation (rugueux, transparent, collant... etc.) et une valeur quantitative ou qualitative associées (degré 10 de collant, ou très collant). Ainsi, les échantillons qui servent de références pour la définition ou la conception de nouveaux produits, sont souvent appelés des référentiels. Leurs principales applications sont [Lefebvre, 2006] :

- la communication entre les différents acteurs d'un projet de conception ;
- la mesure des aspects perçus des produits ;
- le suivi qualité des produits, quand il n'existe pas d'instrument de mesure pour le faire (mesure de rugosité par exemple) ;
- le référencement des produits.

A ce jour, l'un des référentiels, les plus connus dans le cadre de la conception de produits est le Sensotact®. Il a été développé dans le cadre de la conception de produits automobiles pour faciliter les choix de matériaux des équipes de concepteurs. Ainsi, le Sensotact [Bringuy, 2004 ; Sensotact, 2012] issu des laboratoires d'analyse sensorielle du technocentre de Renault, est le fruit de cinq années d'élaboration, d'exploitation et de validation au service de la caractérisation des sensations tactiles. Elaboré selon les principes d'un profil classique, *Sensotact*® est un référentiel tactile. Il propose une décomposition du toucher « global » en 10 dimensions simples, regroupées selon trois familles de mouvements : quatre items caractérisant les mouvements orthogonaux (dureté, nervosité, effet mémoire, collant), cinq items les mouvements tangentiels (glissant, bloquant, râpeux, relief, fibreux) et enfin un mouvement pour quantifier les perceptions thermiques, comme il est présenté sur la Figure 14, ci-dessous :

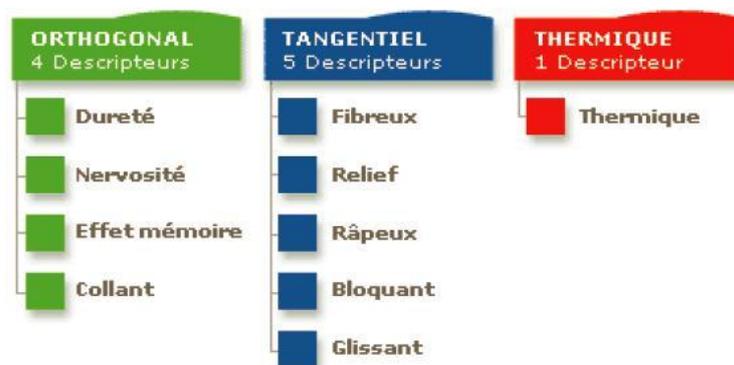


Figure 14. La décomposition des dimensions du toucher selon Sensotact [Crochemore et al., 2004]

Présenté sous forme d'une mallette, ce référentiel tactile regroupe 10 fiches descripteurs « sur plaque ». Chaque terme ou descripteur comprend 5 matières différentes et traduit une dimension sensorielle susceptible de caractériser les objets. La fiche du descripteur fait apparaître :

- une définition consensuelle, assurant la verbalisation de la perception sans équivoque ;

- un protocole d'évaluation et un schéma de synthèse : ensemble de gestes qu'il convient de respecter et type de mesure à prendre pour garantir une stimulation standard ;
- des références détachables : échantillons références constituant les jalons de l'échelle de notation. L'échelle de notation comprend 100 unités ;
- des icônes : indice d'étalonnage des références.

La construction de ces outils de métrologie sensorielle, de ces référentiels, nécessite obligatoirement une phase de recherche, de définition des aspects sensoriels. Cette phase fait appel aux techniques d'évaluation sensorielle. L'évaluation sensorielle est considérée comme un outil ou un instrument méthodologique de la métrologie sensorielle [Lefebvre, 2006]. Nous nous focalisons sur cette approche, qui sera utilisé dans le cadre de nos travaux, dans la section suivante.

4.3. Un instrument méthodologique de la métrologie sensorielle : l'évaluation sensorielle

Dans cette partie, nous nous focalisons sur un instrument particulier de la métrologie sensorielle : l'évaluation sensorielle. Nous présentons les principales définitions, les domaines d'applications avant de conclure sur les principales méthodes associées à cette évaluation sensorielle.

4.3.1 Principales définitions de l'évaluation sensorielle

Longtemps négligée, l'évaluation sensorielle connaît aujourd'hui un grand essor. Tout comme la métrologie sensorielle dont elle fait partie, l'analyse sensorielle se développe à partir des années 1950 afin de résoudre des problèmes concrets des industries alimentaires. Elle a trouvé son origine dans la nécessité de méthode de contrôle de la qualité, notamment gustative, de produits alimentaires, en l'absence d'autres méthodes de mesures de type instrumentales [Depledt, 2009]. Son champ d'application s'est ensuite élargi à l'industrie des cosmétiques et des parfums avant de gagner plus récemment l'automobile [Crochemore et al., 2004 ; Rouvray, 2006 ; Dumont et Crochemore, 2007 ; Germain, 2010].

Plusieurs définitions de l'évaluation sensorielle sont évoquées dans la littérature. Nous en proposons plusieurs pour offrir une vision globale.

Les normes AFNOR définissent l'évaluation sensorielle comme une « méthode scientifique utilisée pour évoquer, mesurer, analyser et interpréter les réponses à des matériaux / produits tels qu'ils sont perçus par les sens de la vue, de l'odorat, du toucher, du goût et de l'audition » [AFNOR, 2004]. Dans la même lignée, la norme ISO relative à l'évaluation sensorielle la définit comme un examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens [ISO 5492, 1992]. Ces définitions issues des organismes de normalisation peuvent être complétées par celle de Crochemore et al. [2004], selon laquelle l'évaluation sensorielle consiste à saisir et exploiter les informations issues de nos cinq sens (vue, ouïe, odorat, toucher et goût), utilisant « l'Homme » comme instrument de mesure.

L'ensemble de ces définitions sont essentiellement basées sur les sensations de « l'Homme » ce qui est en accord avec l'approche psychophysique de la métrologie sensorielle. Cependant, nous noterons que cette approche se focalisant sur la sensation ne fait pas nécessairement consensus. En effet, Urdapilleta et al. ont proposé, en 2001, de définir l'évaluation sensorielle comme un ensemble de techniques et de pratiques qui visent à mesurer et à interpréter de façon systématique les perceptions de l'homme. Ainsi cette définition élargie le domaine de l'évaluation sensorielle en s'intéressant aux perceptions de l'homme [Urdapilleta et al., 2001].

Comme nous l'avons vu précédemment, cette nuance entre les deux termes est importante. Une réponse sensorielle est considérée comme de bas niveau, alors qu'une réponse hédonique, globale et affective est considérée de plus haut niveau car reliée à la perception. Nous retiendrons cette dichotomie dans la suite de notre manuscrit, et nous nous positionnerons davantage dans une approche sensorielle que dans une approche perceptive.

Avant d'étudier les méthodes de l'analyse sensorielle, nous nous intéressons aux principales applications.

4.3.2 Les applications de l'évaluation sensorielle

Jean-Francois Bassereau en 2001, cité dans la thèse d'Anne Dumenil – Lefebvre [2006], propose une liste non exhaustive des applications de l'évaluation sensorielle :

maîtriser une qualité de conformité perçue ; connaître les préférences consommateurs ; améliorer la communication entre les fournisseurs et les consommateurs ; communiquer au sein d'une équipe pluridisciplinaire ; structurer une offre : construire des nuanciers sensoriels ; diriger une recherche pour une différenciation perceptible ; réaliser une analyse de la concurrence.

Selon Eurofins, ces différents domaines d'application de l'évaluation sensorielle peuvent être classés en trois familles, comme indiqué dans la Figure 15 : le marketing, la recherche et le développement et le contrôle qualité [Eurofins, 2012].

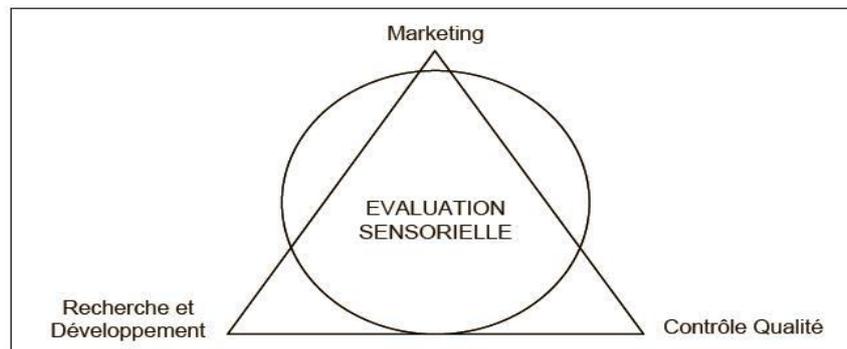


Figure 15. Sphère d'application de l'évaluation sensorielle

Le domaine « recherche et développement » utilise l'évaluation sensorielle lors de la mise au point de nouveaux produits.

Le domaine « marketing » représente la majeure partie des analyses sensorielles menées à l'heure actuelle. Nous pouvons lister rapidement le nom des entreprises qui l'utilisent en ce sens : L'Oréal [Loréal, 2012], PSA Peugeot Citroën [Fritsch, 2001], Renault [Nesa et al., 2004], Nestlé [Nestlé, 2012].

Le domaine « contrôle qualité » utilise l'évaluation sensorielle tout au long du flux de production pour s'assurer de la bonne conformité des produits d'une étape à une autre de la gamme afin de satisfaire le client final.

Ces différents exemples d'applications démontrent que, bien que développée à l'origine pour les industries agro-alimentaires, l'évaluation sensorielle s'avère aujourd'hui applicable à l'ensemble des secteurs d'activités : automobile, cosmétique, électroménager, packaging, textile, pharmacie. Depuis les années 2000, l'analyse sensorielle des matériaux s'est opérationnalisée principalement dans les secteurs de l'habillement [Cardello et al., 2003 ; Issa et al., 2004 ; Soufflet, 2005 ; Bouché, 2005], dans le domaine des emballages

[Lefebvre et al., 2009] et plus récemment dans la conception des meubles [Rouvray et al., 2012].

Plusieurs manuels méthodologiques sont aujourd'hui disponibles pour le praticien qui cherche à mener des évaluations sensorielles [SSHA, 1998 ; Lawless et Heymann, 1999 ; Sauvageot et Dacremont, 2001 ; Stone et Sidel, 2004 ; Meilgaard et al., 2007]. Dans le chapitre suivant nous développons ces aspects méthodologiques.

4.3.3 Méthodologie de l'évaluation sensorielle

Pour être exploitables dans le cadre de la conception de produits, les évaluations sensorielles se doivent d'être basées sur une méthodologie rigoureuse. En effet, selon Meilgaard Morten et al., la fiabilité de l'évaluation sensorielle est basée sur la maîtrise et l'optimisation de quatre facteurs, qui gouvernent tout type de mesure [Meilgaard et al., 1999]:

- **Définition du problème :**
 - Nécessité de définir précisément ce que l'on souhaite mesurer et avec quelle méthode.
- **Mise en place des tests :**
 - Nécessité d'éliminer le maximum de subjectivité, en prenant en compte les sources de biais connues, mais aussi nécessité de minimiser la quantité de tests pour obtenir des résultats fiables.
- **Appareil de mesure :**
 - les sujet qui testent doivent être sélectionnés et entraînés pour donner une réponse reproductible, l'expérimentateur doit travailler avec eux jusqu'à ce qu'il connaisse leur sensibilité et leurs biais dans une situation donnée.
- **Interprétation des résultats :**
 - en utilisant les statistiques, l'expérimentateur doit poser correctement les hypothèses nulles et alternatives pour pouvoir donner des conclusions.

Dans le cadre de notre présentation des méthodologies de l'évaluation sensorielle, nous approfondirons deux points. Le premier concerne les grandes familles de méthodes sensorielles (méthodes discriminatives, descriptives et hédoniques). Le second concerne la constitution des panels de sujets.

4.3.3.1 Méthodes sensorielles : discriminatives, descriptives et hédoniques

Trois grandes familles de méthodes sensorielles sont classiquement décrites comme moyens d'étude des propriétés sensorielles des produits : les méthodes discriminatives, les méthodes descriptives et les méthodes hédoniques.

Les méthodes discriminatives – sont très simples à mettre en œuvre et à interpréter : les sujets perçoivent ou ne perçoivent pas de différence des propriétés sensorielles. Les épreuves discriminatives visent à détecter la présence ou l'absence de différences sensorielles entre deux produits. Un pan entier de recherches académiques porte sur ces méthodologies discriminatives, dont les développements sont régulièrement publiés et discutés dans le but d'en affiner la maîtrise et l'exploitation, tant au plan de la tâche demandée aux sujets que du traitement des données [Cayeux et Mercier, 2002 ; O'Mahony et Hautus, 2008 ; Vuilleumier et al., 2008; Sauvageot et al., 2009]. Ces méthodes discriminatives interviennent pour l'étude d'échantillons présentant de faibles écarts sensoriels : lorsqu'un ingrédient est remplacé par un autre, lorsqu'une étape de fabrication comporte un nouveau réglage ou encore lorsque, comme en psychophysique, on cherche à étudier des seuils de perception, par exemple pour étudier des nouveaux ingrédients, notamment des agents de saveur ou d'arômes [Vuilleumier et al., 2008] ou pour étudier des phénomènes d'interaction entre molécules [Cayeux et Mercier, 2002].

Les méthodes descriptives – cherchent à identifier au mieux toutes les sensations produites lors de l'essai de chaque produit. Le but de ce type de méthode est de décrire la nature des perceptions et de quantifier leur intensité [Paci, 2004]. Dans le même temps l'objectif de ce type de méthode est de fournir une véritable carte d'identité sensorielle des objets et de déterminer la nature et dans la plupart des cas, le degré de leurs différences, il s'agit de la méthode du profil sensoriel. L'établissement d'un profil sensoriel passe par une première phase d'analyse sensorielle ou de découpage de la perception globale en sensations, chacune représentée par un descripteur. D'autre part, toute démarche d'établissement de profil d'évaluation sensorielle nécessite la constitution d'un espace produit. L'espace produit est constitué de produits existants qui répondent, à peu près, aux mêmes fonctions d'usage ; mais diffèrent par leurs performances, style ou esthétique... etc. [Lefebvre, 2006]. Les produits choisis doivent être suffisamment différents pour apporter une importante variété de stimuli,

mais suffisamment avoisinant pour rester dans le même domaine sensoriel. Nos travaux se baseront sur l'utilisation de ces méthodes descriptives.

Les méthodes hédoniques – prétend recueillir l'avis de consommateurs dans le cas de changement de composition, de production ou de comparaison d'échantillons provenant du marché. Ces méthodes cherchent à mesurer le degré d'appréciation (ou d'acceptabilité), d'échantillons notamment pour valider des formules avant lancement ou rénovation ou afin de se positionner face aux marques concurrentes et ainsi déterminer quelle propriétés du produit sont responsables des préférences ou aversion des consommateurs [Depled, 2009 ; Giboreau, 2009].

4.3.3.2 La constitution des panels de sujet

L'évaluation sensorielle travaille avec un *panel*, un groupe de sujets, les panélistes, qui est formé à l'utilisation d'un vocabulaire standardisé et d'une échelle de réponse. En évaluation sensorielle, il nous faut différencier trois niveaux ou catégories de sujets suite à un entraînement plus ou moins long : les sujets naïfs¹, les sujets qualifiés² et les sujets experts³, voire Figure 16.

Les panels sont en général constitués d'une douzaine de membres, sachant qu'aucune théorie ne vient justifier ce nombre. Les procédures de sélection sont empiriques et maintiennent, des batteries de tests dont la pertinence pour la qualité des résultats reste à démontrer [Giboreau, 2009].

Afin de s'assurer que l'ensemble du panel évalue bien la même sensation quand il répond sur une échelle, une phase préalable est nécessaire pour mettre d'accord les panélistes sur la signification des descripteurs. Ces phases de cadrage sur la signification des descripteurs et l'utilisation de l'échelle se déroulent empiriquement, par alternance d'exercices pratiques individuels et collectifs, avec mise en commun des résultats, discussion et acceptation consensuelle de la réponse du panel. L'ensemble de ces exercices constitue ce que l'entraînement du panel. Chacun suit un protocole développé empiriquement et rares sont les articles qui présente précisément les exercices, les produits, la durée des séances réalisées

¹ Le sujet naïf est une personne ne répondant à aucun critère particulier [ISO 8586-2, 1994]

² Le sujet qualifié est un sujet personne qui a déjà participé à un essai sensoriel [ISO 8586-2, 1994]

³ Un expert, au sens large du terme, est une personne qui, par ses connaissances et son expérience, a la compétence requise pour fournir un avis dans les domaines sur lesquels elle est consultée [ISO 8586-2, 1994]

[Kreutzmann et al., 2007] et la qualité de l'entraînement est évaluée a posteriori grâce à des modèles statistiques développés spécialement pour l'analyse sensorielle [Naes et Risvik, 1996 ; Sauvageot et Brémaud, 2008].

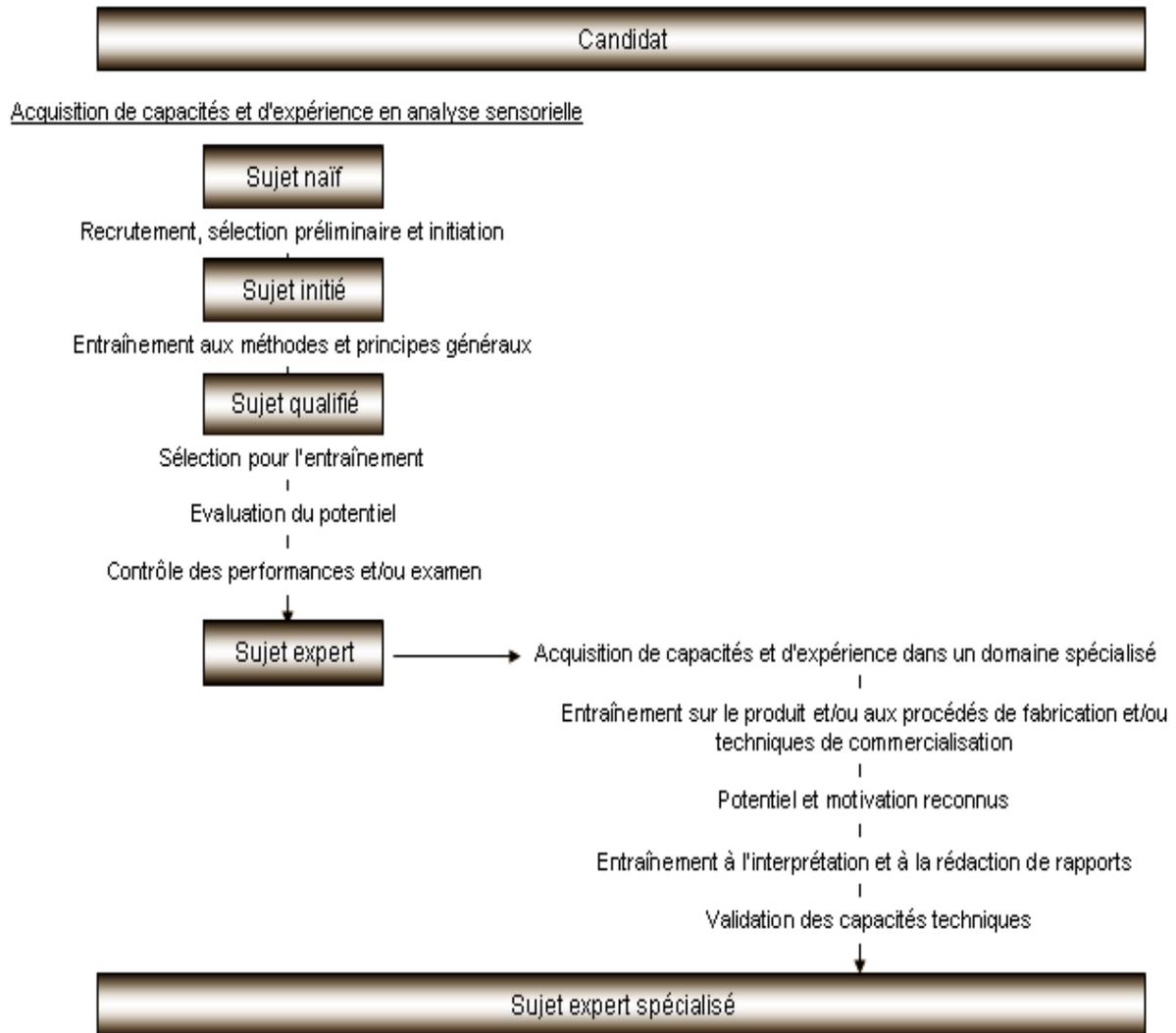


Figure 16. Les différents types de sujets [ISO 8586-2, 1994]

Il est important de noter, que les premières études en évaluation sensorielle dans un domaine, peuvent être basées sur un panel non entraîné. En effet, lorsqu'aucun référentiel n'existe dans un domaine particulier, des travaux précurseurs peuvent être basés sur le propre cadre de référence personnel des panelistes [Lhéritier, 2013].

En conclusion, il apparaît que la méthodologie générale en évaluation sensorielle consiste à choisir un groupe de sujets humains (appareil de mesure), à reconnaître et identifier leurs sensations par des mots que l'on appelle les descripteurs, à mesurer leurs intensités sur

des échelles psychophysiques et à interpréter les résultats. Nous adopterons cette démarche dans le cadre de nos expérimentations ultérieures.

4.4 Un cas particulier : la prise en compte des sensations liées au toucher des produits

Pour tous produits, la question de la nature et du nombre de familles de sensations à étudier est centrale dans l'effort du déploiement de l'approche de design sensoriel et la validité de ses résultats (leur représentativité). Ainsi, la métrologie sensorielle préconise de choisir les sensations en fonction de l'étape du cycle de vie du produit étudiée mais aussi en fonction du type de représentativité attendue. L'objectif peut être, d'être représentatif de l'espace de consommation (les consommateurs), de l'étape du cycle de vie de l'objet, d'une certaine chronologie de perception (voire des combinaisons et leurs variations présentes chez tel ou tel consommateur) [Crochemore et al., 2004].

Ici, nous nous focalisons sur l'étude de matériaux bio-sourcés qui doivent être utilisés dans la conception de produits mécaniques. Les produits mécaniques sollicitent principalement deux types de modalités sensorielles : la vision et le toucher. Situés sur des matériaux nouveaux, nous avons voulu prendre la précaution de traiter uniquement un seul sens. Ainsi, nous avons fait le choix de nous focaliser sur les aspects liés au toucher des matériaux. En effet, le toucher est le seul sens qui fournit la certitude d'une réalité et non une simple apparence : « Le mode des odeurs, des formes, des couleurs, des sons est purement subjectif. Seul le toucher fournit la certitude d'une réalité » [Bassereau, 1995].

Le toucher joue un rôle fondamental dans la perception de la qualité d'un produit par un consommateur. Comme l'a souligné Barthes, le toucher est le sens vérité, qui nous permet de confirmer ou d'infirmer l'information visuelle : « C'est la grande phase tactile de la découverte, le moment où le merveilleux visuel va subir l'assaut raisonnant du toucher (car le toucher est le plus démystificateur de tous les sens, au contraire de la vue, qui est le plus magique) » [Barthes, 1957].

Pour aborder ce cas particulier du toucher, nous proposons d'étudier dans un premier temps le toucher, et dans un second temps de nous focaliser sur les spécificités de l'évaluation sensorielle liée au toucher des produits.

4.4.1 Le toucher

Le sens du toucher recouvre un ensemble varié de sensations et il est plus adapté de parler de somesthésie (du grec soma : « corps » et aisthesis : « sensation ») lorsque l'on parle de toucher. Contrairement aux autres sens, le toucher n'est pas regroupé dans un organe centralisateur : toute la surface de notre corps est couverte de récepteurs sensoriels. La peau est une vaste surface sensorielle tournée vers l'extérieur, prête à nous permettre de connaître la forme, l'étendue, la texture et la température des objets figurant dans le monde extérieur [Damasio, 2008]. Les récepteurs de la sensibilité superficielle de la peau, récepteurs somesthésiques extéroceptifs, sont situés à différents niveaux (dans l'épiderme, le derme et l'hypoderme) [Giboreau et al., 2007]. Ces récepteurs ont largement décrits dans les manuels de physiologie en termes de récepteurs - nombre, forme, emplacement, spécificité de réponse, ainsi qu'en termes neurobiologiques [Lazorthé, 1986 ; Schiffman, 2007 ; Giboreau, 2009]. Nous présentons une synthèse des récepteurs extéroceptifs dans le *Tableau 2*.

	Type	Composante	Récepteur	Description
Sensibilité extéroceptive	Sensibilité mécanique cutanée (Les mécanorécepteurs cutanés sont répartis dans toute la peau que ce soit dans son épaisseur (épiderme, derme, hypoderme) ou selon son type (glabre, velue)	Pression	Disques de Merkel	Situé en surface de la peau, ce sont des récepteurs à adaptation lente, ils codent l'intensité et la durée de la pression
			Corpuscules de Ruffini	Situé plus profondément dans la peau, ils possèdent les mêmes caractéristiques que les disques de Merkel, ils répondent également aux étirements de la peau, ce qui permet d'acquérir les informations relatives aux cisaillements cutanés.
		Vibration	Corpuscules de Pacini	Ces récepteurs profonds sont particulièrement sensibles aux vibrations. Ils possèdent une très bonne réponse aux hautes fréquences ainsi qu'aux changements de stimulation.
		Vitesse (=tact)	Récepteurs des follicules pileux	Il s'agit de terminaisons libres situées autour des follicules pileux (peau velue). Les terminaisons se situent sous les glandes sébacées, tout autour de la racine du poil. Ces récepteurs sont essentiellement sensibles aux mouvements des poils.
	Corpuscules de Meissner		Les corpuscules de Meissner sont des récepteurs à adaptation rapide, ils sont situés dans la peau glabre, ils détectent les variations de contact léger et sont sensibles aux basses fréquences.	
	Sensibilité thermique (Les thermorécepteurs sont des terminaisons nerveuses libres)	Froid	Les thermorécepteurs sont, pour la sensibilité au froid, localisés dans l'épiderme. Il s'agit de récepteurs à adaptation rapide, inactifs dans la zone de neutralité thermique 33°C à 35°C, ils peuvent générer un message de douleur en deçà de 14°C	
Chaud		Les thermorécepteurs sensibles à la chaleur sont situés plus profondément dans le derme. Ils peuvent générer un message de douleur au-delà de 43°C		

Tableau 2 : Synthèse des récepteurs extéroceptifs [Giboreau, 2009]

Cette définition physiologique se doit d'être complétée par une approche correspondant aux sensations subjectives perçues. Ainsi, selon l'AFNOR [AFNOR, 2004], le toucher est la « sensation perçue lors d'un contact avec tout ou partie du corps ». Le toucher

va fournir des informations grâce au contact des récepteurs cutanés avec la surface des objets mais aussi des fluides. Ce sens va ainsi pouvoir appréhender différentes caractéristiques telles que la forme, le volume, le poids.

Le toucher est aussi le sens le moins vulnérable et permet de maintenir une interaction avec l'environnement même si les autres sens sont altérés. Peck et Childers [Peck et Childers, 2006] ont montré que le toucher est une source importante d'informations pour les consommateurs dans la mesure où ce sens renseigne sur différentes propriétés du produit que le sens visuel ne peut pas toujours appréhender (exemple : le poids, la température...). Le toucher permet donc de connaître les qualités d'une surface (lisse, rugueuse, froide...).

Pour aller plus loin, il est possible de distinguer deux différents types de toucher [Bassereau, 1995] : le toucher actif (c'est le mode de l'exploration tactile d'un objet, il fournit l'information la plus exacte) ; le toucher passif (ce toucher correspond au fait d'être touché, l'information sensorielle fournie est moins exacte). Dans le paragraphe suivant, nous insistons sur l'évaluation sensorielle liée au toucher des produits.

4.4.2 L'évaluation sensorielle liée au toucher des produits

Les études liées au toucher ont fait l'objet de nombreux travaux dans les domaines des emballages, des produits sportifs et de l'industrie automobile [Richards et al., 2000 ; Oakley et al., 2001 ; Egawa et al., 2002 ; Griffiths et Kulke, 2002 ; Hillis et al., 2002 ; DiMaio et Salcudean, 2003 ; Gepshtein et Banks, 2003 ; Khatib et al., 2004 ; Rabin et Gordon, 2004 ; Basdogan et al., 2004]. La Figure 17 illustre un exemple d'évaluation sensorielle du toucher d'un matériau dans l'industrie automobile.

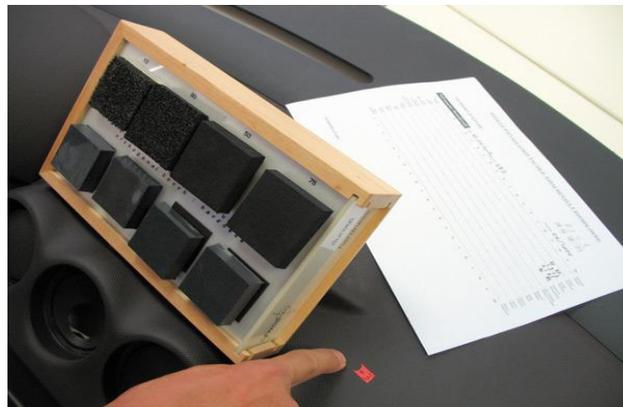


Figure 17. Test d'analyse sensorielle dans l'automobile

Les points essentiels de l'évaluation sensorielle liée au toucher du produit sont : la partie du corps impliquée dans l'évaluation, le geste effectué pour aboutir à un touché actif [Bassereau, 1995] et la séquence des questions posées [Giboreau et al., 2007].

Ainsi, Lederman et al. (1987) décrivent six procédures exploratoires participant des sensations haptiques et permettant l'accès aux propriétés des objets comme le présente le *Tableau 3* : la pression (dureté), le frottement latéral (texture), le contact statique (température), l'enveloppement (volume), le suivi des contours (forme), le soulèvement (poids) [Lederman et al., 1987, cité par Giboreau, 2009].

Informations sur l'objet	Procédure exploratoire	Caractéristiques
Propriétés de substance :		
Pressure (pression)	Dureté	Application d'une force normale à une partie de l'objet tandis que l'autre partie est stabilisée ou se voit appliquer une force opposée
Lateral motion (mouvement latéral)	Texture	Mouvements d'aller et retour entre la peau et une zone réduite et homogène de la surface de l'objet, exploration de l'intérieur de la surface plutôt que de ses bords
Static contact (contact statique)	Température	L'objet est supporté de façon externe (surface table ou main), la main reste passivement dessus
Propriétés de structure :		
Enclosure, contour following (enveloppement)	Volume - Taille – Forme globale	La main maintient le contact avec le plus possible d'enveloppe de l'objet, effort pour mouler la main à l'objet
Contour following (suivi des contours)	Forme exacte	La main maintient le contact avec le contour de l'objet, mouvement souple et non répétitif sur un segment du contour, ne se produit pas sur une surface homogène
Unsupported holding (soulèvement)	Poids	L'objet est levé de sa surface de support (table) et maintenu dans la main, pas d'effort pour mouler la main à l'objet

Tableau 3 : Principaux types de procédures exploratoire [d'après Lederman et al., 1987]

Ces différentes spécificités liées au toucher des produits seront utilisées dans le cadre de nos expérimentations ultérieures.

Dans le cadre de ce chapitre, un dernier point reste à aborder, les relations existantes entre l'évaluation sensorielle telle que nous venons de la décrire et les propriétés physiques mesurables des produits étudiés.

4.5 Evaluation sensorielle vs. Propriétés physiques mesurables des produits

Il convient de préciser que la métrologie sensorielle, qui permet de mesurer la perception des consommateurs, reste un enjeu fort comme outil de technique pour contrôler la qualité perçue car elle ouvre la voie à un design dépassant le seul registre visuel pour s'étendre aux autres dimensions sensorielles jusqu'à une évaluation sensorielle tactile.

Cependant, il peut être intéressant de rechercher les relations existantes entre ces sensations perçues et les propriétés physiques mesurables sur le produit fini, en cours de fabrication ou pendant sa conception. L'objectif est de pouvoir, dès la conception adapter les caractéristiques sensorielles des produits aux besoins / attentes des consommateurs et de contrôler la qualité des produits fabriqués.

La littérature propose différentes démarches et méthodes qui permettent une corrélation entre les mesures subjectives et les mesures objectives [Mehinagic et al., 2003 ; Mehinagic et al., 2003 ; Le Moigne et al., 2008]. Dans ces études, la méthode instrumentale a souvent été plus discriminante que les évaluations basées sur le ressenti des sujets mais généralement les sujets classaient dans le même sens que l'instrument de mesure.

Pour conforter et enrichir une analyse sensorielle, il apparaît judicieux d'y associer une évaluation objective par analyse instrumentale, complémentaire de l'approche sensorielle qui utilise l'homme comme instrument de mesure. Il est nécessaire pour cela de faire correspondre à chaque définition sensorielle une grandeur physique, mécanique ou physico-chimique. Au bout du compte, cette approche permet de définir et d'adapter la technique instrumentale qui traduit au mieux l'évaluation sensorielle recherchée.

4.6 Synthèse

Dans cette partie, nous venons de présenter la métrologie sensorielle, outil nécessaire à la prise en compte de la qualité perçue par le designer sensoriel. Nous avons identifié qu'un des instruments méthodologiques de la métrologie sensorielle particulièrement utile dans le cadre de la conception de produits est l'évaluation sensorielle. Nous en avons présenté les principaux concepts. Nous nous sommes également focalisés sur les particularités de l'évaluation sensorielle du toucher des produits. Enfin, nous avons démontré la pertinence d'une approche instrumentale couplée à l'évaluation sensorielle.

5 Problématique et hypothèses

Notre étude de la littérature, nous a permis de mettre en évidence, que le ressenti subjectif du consommateur est déterminant dans son acceptation ou son rejet d'un produit industriel. Nous avons souligné que la prise en compte de la perception du consommateur est l'un des objectifs fondamentaux du contrôle qualité centré sur le facteur humain, paradigme dans lequel nous inscrivons notre recherche. Les démarches d'éco-conception innovantes, encore peu développées, visent une amélioration environnementale radicale et se focalisent sur le service que doit fournir le produit au consommateur avec des améliorations sur la qualité, l'équité, l'harmonie environnementale au sein de l'entreprise. Ce sont des enjeux et des défis constants qui amènent les entreprises à se moderniser. Et moderniser aujourd'hui les entreprises, qui se doivent d'être de plus en plus compétitives, va dans le sens de remplacer les matériaux synthétiques avec des nouveaux matériaux bio-sourcés. Notre démarche doit donc nous permettre de favoriser une meilleure intégration des caractéristiques sensorielles tactiles dans une démarche d'éco-conception de produits. Pour y parvenir, il est nécessaire de caractériser le ressenti du consommateur dans le but de construire, à l'aide de l'ensemble des descripteurs quantifiés, le profil d'un matériau / produit bio-sourcé.

Comme évoqué précédemment, nous pouvons observer de nombreux travaux traitant des caractéristiques techniques des matériaux bio-sourcés, la question qui reste posée aujourd'hui porte sur les aspects sensoriels qui sont peu traités dans la littérature. Plus précisément, notre problématique est de savoir « Comment démontrer que d'un point de vue sensoriel, les produits fabriqués avec des matériaux bio-sourcés sont au moins équivalents aux produits fabriqués avec des matériaux synthétiques ? ». D'une autre manière, « Est-ce que ces matériaux bio-sourcés remplacent progressivement les matériaux synthétiques dans la conception de certains produits ? ».

Cette problématique pose le besoin opérationnel de la caractérisation sensorielle des produits fabriqués en matériaux bio-sourcés, puis leur comparaison avec des produits fabriqués en matériaux classiques.

Ainsi, en accord avec le contexte de recherche dans **l'éco-conception**, nous nous inscrivons dans un modèle **d'analyse sensorielle** centrée sur l'Homme, où le but est de montrer les différences et les similitudes entre **les matériaux bio-sourcés** et les matériaux synthétiques dans un contrôle **qualité perçue**.

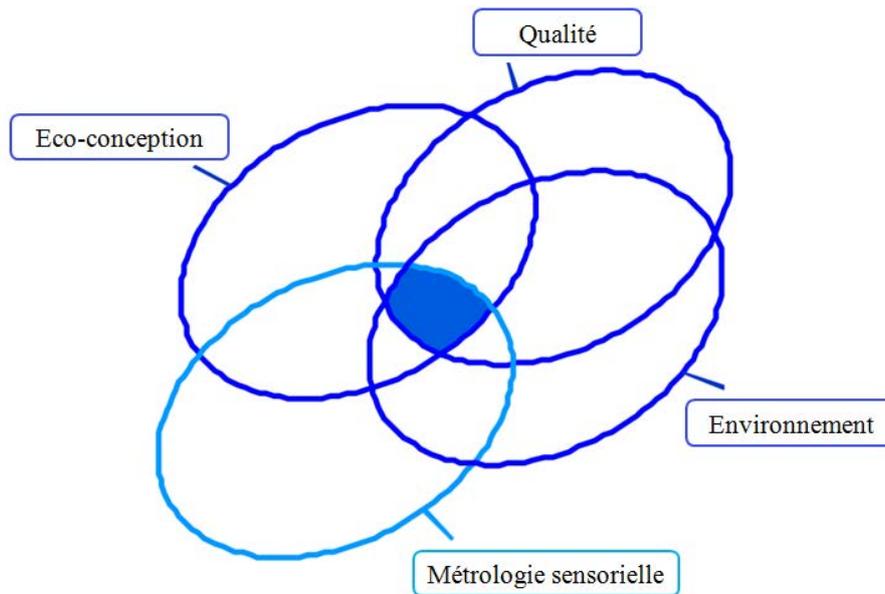


Figure 18. Positionnement de la recherche

Pour répondre à notre problématique de recherche en fonction de ce positionnement, nous proposons dans un premier temps de nous focaliser sur la caractérisation sensorielle des matériaux, présentés sous forme d'échantillons, qu'ils soient bio-sourcés ou classiques. Puis dans un deuxième temps, d'étendre cette caractérisation sensorielle aux produits fabriqués avec ces matériaux. Enfin, pour approfondir cette approche sensorielle, nous proposons également d'effectuer une caractérisation instrumentale des matériaux bio-sourcés afin d'identifier le degré des relations existantes entre le ressenti des consommateurs et les mesures instrumentales.

En conséquence, pour répondre à cette problématique par l'intermédiaire des méthodes et outils d'analyse sensorielle, nous proposons plusieurs hypothèses de recherche. Pour aboutir à une caractérisation sensorielle, les méthodes et outils d'analyse sensorielle [Rouvray, 2006 ; Depledt, 2009 ; Lefebvre et al., 2009 ; Romon et al., 2010 ; Rouvray et al., 2012 ; Lhéritier, 2013] préconisent en premier lieu de construire une liste de descripteurs permettant de caractériser le matériau. Ce constat nous amène à notre première hypothèse sur la possibilité de construire une liste de descripteurs communs aux différents types de matériaux étudiés. Cette hypothèse peut se décomposer en deux sous hypothèses, en fonction du type de surfaces étudiées : surface brute vs. surface finie. Pour la finition, nous avons appliqué une couche de vernis pour obtenir un rendu au plus près du rendu final de ce type de matériaux. Notons que, les résultats de l'hypothèse 1.1 seront exploités pour répondre à l'hypothèse 2. De même, les résultats de l'hypothèse 1.2 seront utilisés pour l'hypothèse 3.

Hypothèse 1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques.

Hypothèse 1.1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces brutes

Hypothèse 1.2 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces finies

Suite à l'identification de cette liste de descripteurs communs, nous pouvons nous focaliser sur la caractérisation sensorielle des matériaux bio-sourcés et synthétiques, et à leurs similitudes ou différences. Nous proposons une deuxième hypothèse sur les comparaisons entre le ressenti subjectif lors du toucher des deux types de matériaux. Dans le cadre de cette hypothèse, nous nous focalisons uniquement sur des échantillons de matériaux ayant un état de surface brute. A noter que, nous approfondirons l'étude des matériaux bio-sourcés en nous intéressant à deux types de matériaux : un matériau bio-sourcé de type éco-composite unidirectionnel renforcé de 20 % de fibres de lin (FL_U20) et un matériau bio-sourcé de type éco-composite sergé renforcé de 20 % de fibres de lin (FL_S20).

Hypothèse 2 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique pour les surfaces brutes.

Notre objectif étant d'effectuer une caractérisation sensorielle de produits en matériaux bio-sourcés, et sachant que pour des produits ces matériaux sont rarement utilisés sous leur forme brute, nous nous focaliserons donc sur des produits à base de matériaux bio-sourcés avec surface finie. Pour cela, nous proposons de compléter notre réflexion en nous focalisant sur l'étude du ressenti lors du toucher entre un produit en matériaux bio-sourcés et un produit en matériaux synthétiques. De même, que précédemment, nous nous intéresserons à deux types de matériaux bio-sourcés. Il en résulte notre troisième hypothèse de travail.

Hypothèse 3 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau synthétique.

Pour compléter notre approche sensorielle, nous proposons également d'étudier les corrélations entre la mesure instrumentale et le ressenti subjectif. Nous en déduisons ainsi notre quatrième hypothèse qui se décompose en deux sous-hypothèses en fonction des critères choisis : dureté d'un matériau bio-sourcé et d'un matériau synthétique et rugosité d'un matériau bio-sourcé et d'un matériau synthétique.

Hypothèse 4 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher devrait être corrélé avec la mesure objective sur un matériau bio-sourcé / synthétique.

Hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté

Hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité

Pour répondre à l'ensemble de ces hypothèses, nous proposons de mettre en place plusieurs séries expérimentales présentées dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III

EXPERIMENTATIONS

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons quatre séries expérimentales. Ces expérimentations doivent nous permettre de valider nos quatre hypothèses principales présentées dans le chapitre précédent. La validation expérimentale de ces différentes hypothèses devrait nous permettre de répondre à notre problématique de recherche et ainsi d'identifier dans quelle mesure les matériaux bio-sourcés peuvent remplacer les matériaux synthétiques au niveau des perceptions tactiles des consommateurs. Dans le cadre de ces expérimentations, nous nous intéresserons notamment à deux matériaux bio-sourcés différents composé de fibre de lin naturel (un matériau bio-sourcé de type éco-composite unidirectionnel renforcé de 20 % de fibres de lin (FL_U20) et un matériau bio-sourcé de type éco-composite sergé renforcé de 20 % de fibres de lin (FL_S20)) et à un matériau synthétique (un matériau synthétique de type composite renforcé de 20 % de fibres de verre (FV20)). Par la suite, nous utiliserons les abréviations suivantes : Fibres de Lin Unidirectionnel (FL_U20), Fibres de Lin en Sergé (FL_S20), Fibres de lin Unidirectionnel et Sergé (FL20) et Fibres de Verre (FV20).

Nous présentons, dans un premier temps, une série expérimentale permettant d'identifier une liste de descripteurs communs aux matériaux bio-sourcés et aux matériaux synthétiques, et cela pour un état de surface brute, et un état de surface finie.

Dans un deuxième temps, nous mènerons une série expérimentale sur l'étude du ressenti des consommateurs face à ces deux types de matériaux pour un état de surface brute.

Pour compléter notre approche, nous nous intéresserons à l'étude du ressenti des consommateurs face à des produits fabriqués avec des matériaux bio-sourcés et des matériaux synthétiques ayant un état de surface finie.

Enfin, nous conclurons nos expérimentations en présentant une étude comparative entre les mesures objectives de dureté et de rugosité sur les matériaux bio-sourcés et le ressenti des consommateurs.

Notons que, pour chaque série expérimentale, nous présenterons systématiquement les hypothèses de recherche, le matériel expérimental, les caractéristiques des sujets ayant complétés l'expérimentation, la procédure d'exploration tactile, le déroulement de l'expérience, les analyses statistiques utilisées et les résultats obtenus.

2 Identification d'une liste de descripteurs communs

Pour aboutir à une caractérisation sensorielle, les méthodes et outils d'analyse sensorielle préconisent en premier lieu de construire une liste de descripteurs permettant de caractériser le matériau [Rouvray, 2006 ; Depledt, 2009 ; Lefebvre et al., 2009 ; Romon et al., 2010 ; Rouvray et al., 2012 ; Lhéritier, 2013]. Ce constat nous amène à notre première hypothèse sur la possibilité de construire une liste de descripteurs communs aux différents types de matériaux étudiés : **une liste de descripteurs communs doit permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques**. Cette hypothèse peut se décomposer en deux sous hypothèse, en fonction du type de surfaces étudiées : surface brute vs. surface finie :

Hypothèse 1.1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et matériaux synthétiques pour les surfaces brutes.

Hypothèse 1.2 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et matériaux synthétiques pour les surfaces finies.

Nous rappelons que ces résultats obtenus seront utilisés respectivement pour valider les hypothèses 2 et 3.

Ces deux sous-hypothèses 1.1 et 1.2 ont été étudiées à travers deux expérimentations distinctes. Nous présentons ces deux expérimentations et les résultats associés successivement.

2.1 Identification d'une liste de descripteurs communs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes

L'objectif de cette première expérimentation est de vérifier notre première hypothèse :

Hypothèse 1.1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces brutes.

2.1.1 Matériel utilisé

Pour mener à son terme cette première expérimentation, nous avons utilisé différents matériels que nous avons construits ou définis. Ainsi, nous avons construit d'une part des échantillons de matériaux bio-sourcés FL_U20 et FL_S20 et de matériaux synthétiques FV20, d'autre part des boîtes de tests permettant de garantir des tests aveugles. Enfin, nous avons défini, en accord avec la littérature, une liste de descripteurs pertinents. Ces différents matériels seront utilisés en partie dans les expérimentations suivantes. Nous présentons ces différentes constructions.

2.1.1.1 Construction des échantillons de matériaux

Pour notre étude nous avons choisi de comparer des matériaux bio-sourcés composés de fibres naturelles de lin avec un matériau synthétique composé de fibres de verre. Un matériau composite bio-sourcé résulte, lors du processus de fabrication, du mélange de fibres (20 % lin) et d'une matrice (80 % résine). L'orientation de la fibre est un élément déterminant dans le résultat des propriétés du composite. Il en résulte que deux groupes de semi-produits peuvent être distingués : un matériau bio-sourcé de type composite unidirectionnel et un matériau bio-sourcé de type composite de tissu en sergé.

Le matériau est dit unidirectionnel lorsque la nappe obtenue avec les fibres est orientée dans une seule et même direction. Le matériau est dit sergé, lorsque l'armure de base, comme l'illustre la Figure 19, est caractérisée par des cotes de sillons inégaux et obliques par rapport aux lisières. Cet effet oblique est obtenu en décochant d'un fil à chaque duite⁴.

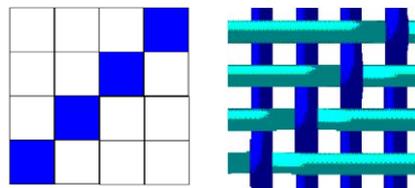


Figure 19. La mise en forme du Sergé

En théorie ces cotes devraient avoir une inclinaison de 45°, mais en réalité, cette inclinaison varie et dépend de la densité des fils en chaîne et de la densité de fils en trame. Il

⁴ Ensemble de deux passées (aller et retour) du fil de trame à travers la chaîne d'une tapisserie

en résulte que les deux cotés du tissu ne sont pas identiques. Sur l'un c'est la chaîne qui prédomine, sur l'autre c'est la trame.

Dans la suite du manuscrit, pour simplifier le vocabulaire, nous utiliserons les termes « **matériau bio-sourcé FL_U20** » pour le matériau bio-sourcé de type éco-composite unidirectionnel renforcé de 20 % de fibres de lin, « **matériau bio-sourcé FL_S20** » pour le matériau bio-sourcé de type éco-composite sergé renforcé de 20 % de fibres de lin et « **matériau synthétique FV20** » pour le matériau synthétique de type composite renforcé de 20 % de fibres de lin.

Dans le cadre de cette expérimentation et des suivantes, ces deux types de semi-produits ont été étudiés. Les échantillons ont été fabriqués de la même façon pour tous les types de matériaux (bio-sourcés FL_U20, FL_S20 et synthétique FV20). Le protocole général de fabrication des matériaux, présenté sur la Figure 20, a été suivi.

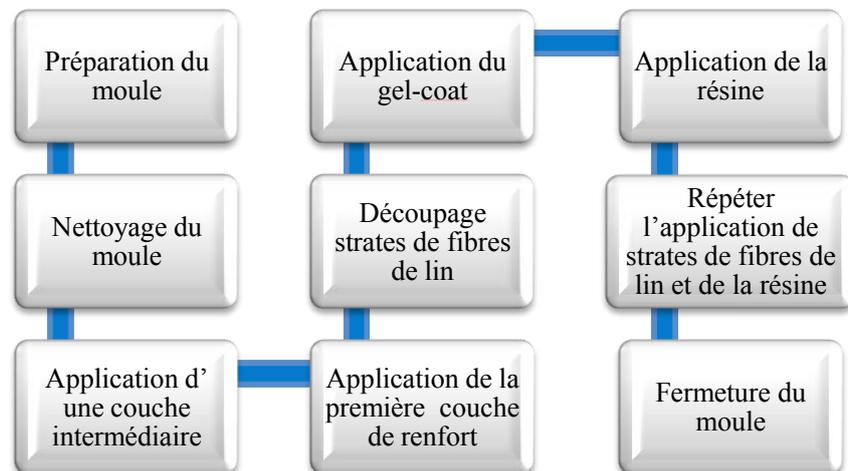


Figure 20. Protocole préparation échantillons / produits

En vue de réaliser les tests, nous avons fabriqué 45 échantillons de 6 cm x 4 cm pour nos expérimentations, comme l'indique la Figure 21. Chaque échantillon a été collé sur un morceau de bois avec un cadre en plastique pour en délimiter les bordures et pour faciliter son utilisation dans les boîtes de tests à l'aveugle, que nous décrirons dans la section suivante.



Figure 21. Présentation des échantillons

Ces 45 échantillons se répartissent sur les trois types de matériaux. Ainsi, nous avons fabriqué, 15 échantillons de matériaux bio-sourcés unidirectionnel **FL_U20**, 15 échantillons de matériaux bio-sourcés en sergé **FL_S20** et 15 échantillons de matériaux synthétiques **FV20**.

Afin de proposer différentes surfaces de ces matériaux, nous avons poncé manuellement les échantillons. Ces derniers ont été poncés avec différents types de papier de verre par un expert métier « styliste sur volume », expert en qualité perçue. Pour chaque type de matériaux, 5 variations de surfaces ont ainsi été obtenues. Dans la suite des expérimentations, ces variations de surface ne seront pas étudiées. Elles ont été générées uniquement pour proposer une plus grande diversité d'échantillons. Afin d'obtenir plusieurs mesures pour chaque type de matériaux, nous avons conservé 3 échantillons identiques par variation de surface et par type de matériau. Le *Tableau 4* présente une synthèse des effectifs des échantillons par catégories de matériaux et de variations de surface.

Type de matériau	Nombre de variations surface	Nombre d'échantillons identiques	Abréviations			Nombre total des échantillons
Matériau bio-sourcé sergé (FL _U 20)	5	3	S-11	S-12	S-13	45
			S-21	S-22	S-23	
			S-31	S-32	S-33	
			S-41	S-42	S-43	
			S-51	S-52	S-53	
Matériau bio-sourcé unidirectionnel (FL _S 20)	5	3	U-11	U-12	U-13	
			U-21	U-22	U-23	
			U-31	U-32	U-33	
			U-41	U-42	U-43	
			U-51	U-52	U-53	
Matériau synthétique verre (FV20)	5	3	V-11	V-12	V-13	
			V-21	V-22	V-23	
			V-31	V-32	V-33	
			V-41	V-42	V-43	
			V-51	V-52	V-53	

Tableau 4 : Liste des échantillons surface brute

2.1.1.2 Tests aveugles – construction des boîtes

La perception des textures de surface fait appel à plusieurs modalités sensorielle, notamment : le toucher et la vue [Crochemore et al., 2004 ; Dumont et Crochemore, 2007]. Si l'on souhaite s'intéresser uniquement au toucher, les autres sens doivent être masqués. Ainsi, pour la reconnaissance tactile de textures, les expériences psychophysiques doivent être

réalisées en aveugle, soit en disposant l'échantillon de telle manière qu'il ne soit pas visible, soit en masquant les yeux du sujet [Depledt, 2009].

Pour répondre à ces contraintes, nos expérimentations doivent être conduites en aveugle. Pour ce faire, nous avons construit des boîtes de tests (30 cm x 11.5 cm x 9.5 cm), telle que celles proposées sur la Figure 22. Ces boîtes permettent de tester les échantillons par lot de 5. Le sujet peut accéder à l'échantillon, soit par une ouverture latérale, soit par une ouverture située sur le dessus de la boîte. Les ouvertures ont été dimensionnées pour permettre l'accès direct et unique à l'échantillon des deux premières phalanges d'un ou deux doigts en fonction des gestes de touché définis dans le cadre de ce protocole (partie 1.1.3).

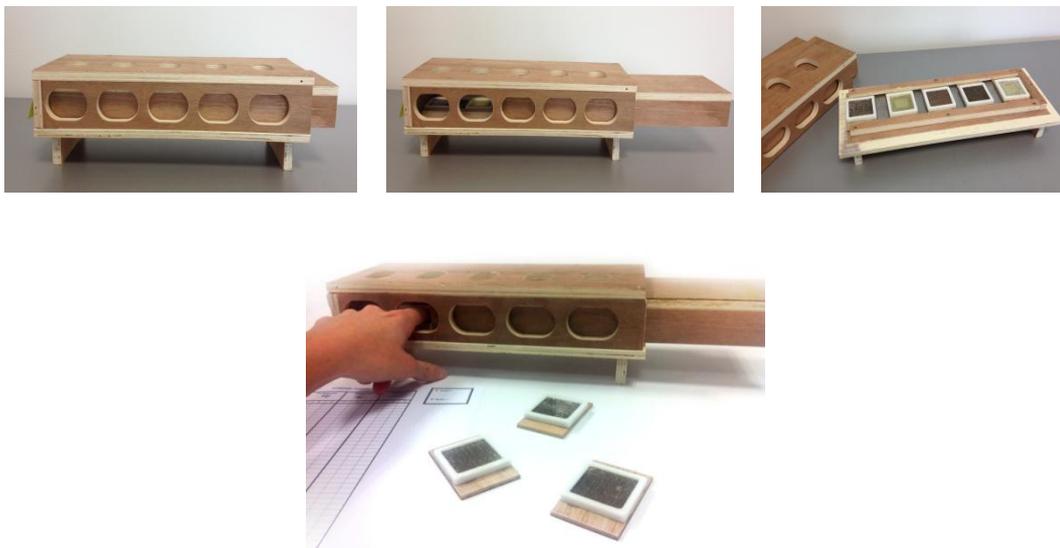


Figure 22. Boîtes construites pour l'expérimentation

2.1.1.3 Construction de la liste de descripteurs

La compréhension de la perception est un problème complexe qui commence dès la définition du vocabulaire à utiliser. Il est souvent difficile de définir avec précision ses sensations, particulièrement pour le toucher, qui contrairement à la vision n'est pas un sens souvent utilisé pour décrire notre environnement. Les recherches visant à définir un vocabulaire sensoriel unique pour une population relèvent de la psycho-physique. Plusieurs études psychologiques ont essayé de déterminer les mots descripteurs du sens du toucher et en particulier des sensations relatives aux textures [Lefebvre, 2006]. Un descripteur est un terme qui qualifie une sensation et qui est défini le plus précisément possible pour être compris de

manière homogène par tous les sujets. Pour être efficace, les descripteurs utilisés doivent répondre à 3 exigences majeures : être pertinents, précis et discriminants ; ils doivent également dans une moindre mesure être exhaustifs et indépendants [Depledge, 2009]. Pour notre étude, nous avons pris comme point de départ une liste de 41 descripteurs à partir de la littérature du domaine [Soufflet et al., 2005 ; Lefebvre et al., 2009]. La liste de descripteurs est présentée dans l'annexe 1.

2.1.2 Sujets

En nous appuyant sur la démarche des travaux de Pensée Lhéritier [Lhéritier, 2013], notre travail de recherche s'est construit tout d'abord sans référentiel. Dans ce cas, il est admis que les panelistes soient non formés et que les consommateurs utilisent leur propre cadre de référence personnel dans l'évaluation des produits. Nous nous positionnons dans cette approche. Ainsi le panel de sujets sélectionnés est non entraîné.

Notons néanmoins, que les différences interpersonnelles entre consommateurs entraînent des divergences non seulement au niveau de leurs préférences, mais aussi au niveau de l'intensité de ses préférences : différents individus perçoivent un même produit différemment. De nombreuses études ont cherché à explorer l'influence des caractéristiques personnelles du consommateur sur ses préférences en termes de choix de produits. Ainsi, lorsque le panel n'est pas homogène, le risque est d'obtenir des informations non consensuelles, et donc inutilisables pour le designer sensoriel. Les résultats d'une étude visant à évaluer la perception d'un groupe de consommateurs sont influencés par le nombre et la nature des sujets participant à l'étude : plus les individus se ressemblent, plus leur perception d'un produit donné se ressemble. Il est, dès lors, indispensable de spécifier une population cible de façon aussi précise que possible afin d'accroître la probabilité de mettre à jour des relations entre les attributs concrets du produit et la perception du consommateur.

Nous avons retenu pour la validation de l'hypothèse 1.1, un groupe de 18 personnes, 7 femmes et 11 hommes. Ces personnes, non-expertes, ont été recrutées parmi des étudiants du Département EDIM (Ergonomie Design et Ingénierie Mécanique) de l'UTBM (Université de Technologie Belfort Montbéliard). Ce recrutement garantit une homogénéité de la population en termes d'âge, de niveau socioculturel, de niveau d'étude et de connaissances en design sensoriel.

2.1.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons

La littérature s'accorde à dire que le mouvement est essentiel à la perception des textures [Lederman et Klatzky, 2009]. Il existe de nombreuses façons de manipuler l'échantillon pour en percevoir les propriétés tactiles [Lederman et al., 1987 ; Lederman et Klatzky, 2009 ; Lefebvre et al., 2009] : le toucher tangentiel, le toucher orthogonal, le toucher statique, le frottement latéral, l'enveloppement et le mouvement d'englobement. Le frottement latéral, l'enveloppement et le mouvement d'englobement sont des mouvements qui donnent des informations sur la forme, la taille et le poids d'un échantillon. Dans le cadre de nos expérimentations, nous nous sommes intéressés aux informations relatives à surface. Par conséquent, nous avons décidé d'utiliser seulement les trois premiers types de toucher. Ces trois touchés devaient être réalisés par le sujet uniquement avec soit l'index, soit le majeur, soit l'annulaire grâce aux deux premières phalanges de chaque doigt. Le sujet ne pouvait pas manipuler l'échantillon. Chacun de ces trois gestes devaient être réalisés trois fois sur chaque échantillon. Les gestes réalisés étaient :

- un toucher tangentiel ;
- un toucher orthogonal ;
- un toucher statique.

Pour le toucher tangentiel : les doigts se déplacent rapidement de part et d'autre de la surface comme indiqué sur la Figure 23.

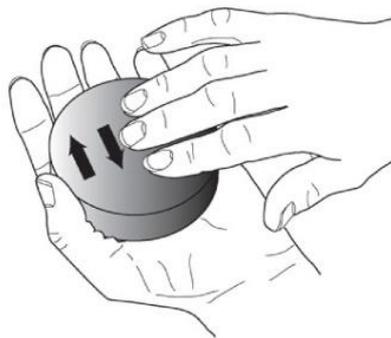


Figure 23. Le toucher tangentiel

Pour le toucher orthogonal : les doigts appliquent une pression sur une partie de l'objet, alors qu'une autre partie de l'objet est maintenue comme indiqué sur la Figure 24.



Figure 24. Le toucher orthogonal

Pour le toucher statique : la main est posée sur une partie de l'objet sans mouvement particulier comment l'indique la Figure 25.

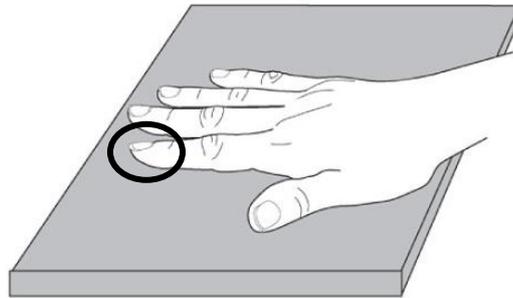


Figure 25. Le toucher statique

L'ordre de ces trois touchés a été contrebalancé entre les différents sujets. Ainsi, chaque sujet devait suivre un ordre défini pour les échantillons testés.

2.1.4 Déroulement de l'expérimentation

L'expérimentation a fait l'objet d'une passation collective dans une salle dédiée à l'enseignement. Les expérimentations ont été suivies et guidées par un expérimentateur. La passation a débuté par une période de présentation collective de quinze minutes pendant laquelle les sujets ont reçu verbalement, et à travers l'utilisation d'un support de présentation vidéo projeté, les consignes présentées dans la suite de ce chapitre. Suite à cette présentation des consignes, l'expérimentateur a distribué un feuillet de tests contenant : une fiche de

renseignements généraux (Annexe 2) et des grilles de tests contenant des listes de descripteurs (Annexe 1).



Figure 26. Déroulement des expérimentations

Le participant devait exprimer, pour chaque échantillon, son ressenti lors des trois différents touchers définis. Pour cela, il devait, pour chaque échantillon, pour chaque descripteur, pour chaque toucher, indiquer par une croix si le descripteur correspondait à son ressenti (Figure 27). De plus, les participants avaient la possibilité de verbaliser de manière libre leur ressenti sur les échantillons. Le temps de passation n'était pas limité, ni chronométré. La Figure 26 illustre le déroulement des expérimentations.

Liste des descripteurs	Types de mouvements								
	Le toucher tangentiel			Le toucher orthogonal			Le toucher statique		
									
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Abrasif									
Absorbant									
Accrochant									
Aérien									
Agréable									
Agrippant									
Argileux									
Attachant									

Figure 27. Extrait d'une feuille de passation

2.1.5 Méthode d'analyse des résultats

L'objectif de cette première série d'expérimentation est d'obtenir une liste de descripteurs réduite. Notre approche a donc consisté à effectuer une synthèse quantitative sur les réponses de panel, en tâchant de conserver le minimum de termes. Ainsi, nous avons utilisé les directives des normes AFNOR pour la réduction de la liste de descripteurs, basées sur le calcul de la fréquence de citation [ISO 11035, 1995 ; ISO 13299, 2003].

Pour analyser les résultats, nous avons dans un premier temps, considéré deux groupes de matériaux :

- Groupe 1 : les matériaux bio-sourcés FL_U20 et FL_S20 constitués des échantillons de matériaux sergé et unidirectionnel quel que soit leur état de surface (soit 30 échantillons FL20) ;
- Groupe 2 : les matériaux synthétiques FV20 constitués uniquement des échantillons synthétiques quel que soit leur état de surface (soit 15 échantillons).

Pour chacun de ces groupes, nous avons calculé le nombre de citations pour chaque descripteur quel que soit le type de touché.

Nous avons ainsi obtenu pour chaque descripteur, deux indicateurs : l'un correspondant au nombre de citations pour les matériaux bio-sourcés FL20 ; l'autre correspondant au nombre de citations pour les matériaux synthétiques FV20. Pour chacun de ces indicateurs, nous avons calculé la moyenne arithmétique sur l'ensemble des descripteurs. Cette valeur a ensuite été utilisée comme valeur seuil. Ainsi, dans un premier temps, uniquement les descripteurs ayant un nombre de citations supérieurs à cette valeur seuil ont été conservés. Dans un deuxième temps, nous avons comparé la liste des descripteurs obtenue pour les matériaux bio-sourcés FL20 et celles obtenue pour les matériaux synthétiques FV20, seul les descripteurs présents dans les deux listes ont été retenus dans l'objectif de construire une liste commune aux deux types de matériaux.

Sur la base de cette méthode d'analyse, nous présentons les résultats obtenus.

2.1.6 Résultats

Pour obtenir une liste de descripteurs communs aux matériaux bio-sourcés FL20 et aux matériaux synthétiques FV20, nous avons donc calculé le nombre de citations pour

chaque descripteur. Les Figure 28 et Figure 29 présentent les résultats obtenus. Les valeurs seuils obtenues en calculant la moyenne sur l'ensemble des descripteurs pour chaque type de matériaux sont présentées dans le *Tableau 5* et représentées par un trait vertical noir sur les Figure 28 et Figure 29. Sur chaque figure, le nombre de citations pour chaque descripteur est trié de manière décroissante de la gauche vers la droite.

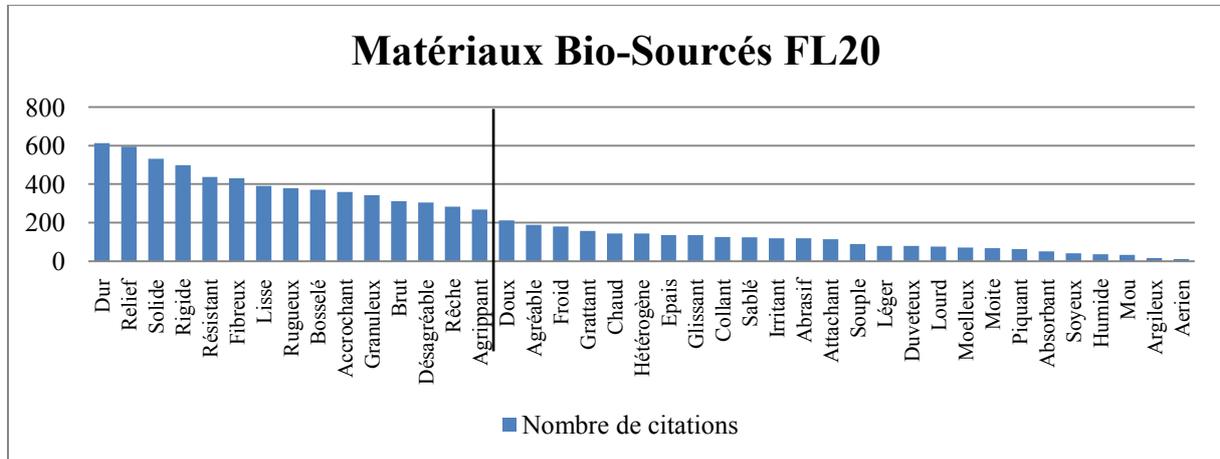


Figure 28. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux bio-sourcés FL20

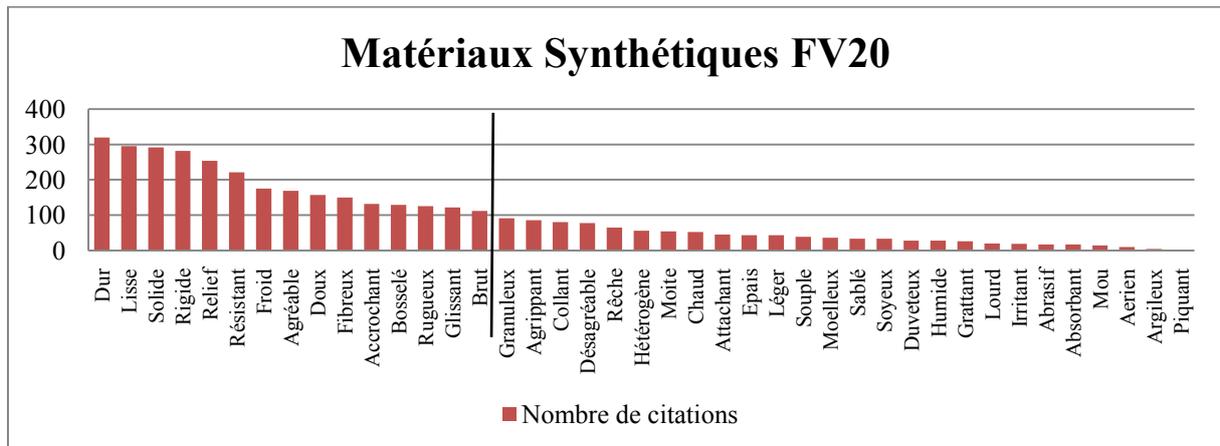


Figure 29. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux synthétiques FV20

Type de matériaux	Moyenne (valeur seuil)
Matériau bio-sourcé FL_U20 et FL_S20	212,54
Matériau synthétique FV20	96,44

Tableau 5 : Moyenne sur l'ensemble des descripteurs pour chaque type de matériaux

Cette approche, nous a permis de sélectionner une liste de descripteurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et une liste de descripteurs pour les matériaux synthétiques FV20 présentée sur la Figure 30.

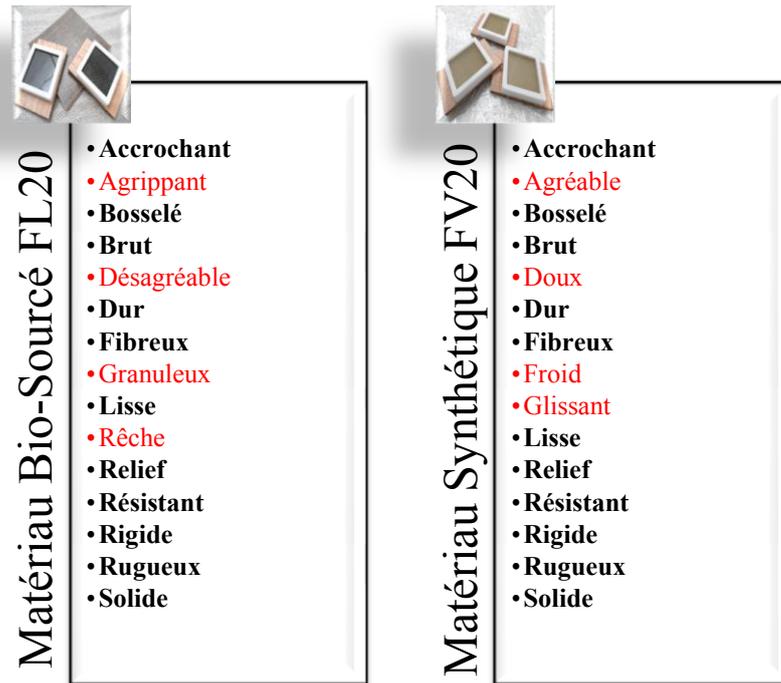


Figure 30. Listes de descripteurs par type de matériau

A partir de ces deux listes de descripteurs, seuls les descripteurs communs (en **noir** sur la figure) aux deux listes ont été retenus, ils sont présentés sur la Figure 31. 11 descripteurs ont ainsi été retenus.

2.1.7 Synthèse

Les résultats de cette première expérimentation, nous ont amené, à proposer une liste commune de descripteurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et pour les matériaux synthétiques FV20. Ainsi, cette expérimentation nous a permis de valider notre première sous-hypothèse 1.1.

Hypothèse 1.1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces brutes – **Validée**.

A travers cette expérimentation, nous avons identifié 11 descripteurs communs permettant de caractériser les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20. Ces 11 descripteurs sont présentés dans la Figure 31.



Figure 31. Liste de descripteurs communs aux matériaux bio-sourcés FL20 et aux matériaux synthétiques FV20

Ces résultats serviront de base à la validation de l'hypothèse 2, selon laquelle le ressenti lors du toucher d'un matériau bio-sourcé (FL_U20 / FL_S20) peut être similaire au ressenti obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique (FV20). Avant d'introduire cette hypothèse 2, nous nous focalisons sur notre deuxième sous hypothèse 1.2. Ainsi, nous présentons par la suite une série expérimentale permettant d'identifier une liste de descripteurs communs aux matériaux bio-sourcés FL20 et aux matériaux synthétiques FV20 pour un état de surface finie, résultant du vernissage du matériau brut.

2.2 Identification d'une liste de descripteurs communs pour les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces finies

L'objectif de cette deuxième expérimentation est de vérifier la deuxième sous hypothèse de H1 :

Hypothèse 1.2 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces finies.

2.2.1 Matériel utilisé

De même que précédemment, nous avons utilisé différents matériels que nous avons construits ou définis. Nous avons construit des échantillons de matériaux bio-sourcés FL20 et de matériaux synthétiques FV20. Les boîtes de tests et les descripteurs utilisés sont strictement identiques au matériel utilisé précédemment. Nous renvoyons le lecteur respectivement aux parties 2.1.1.2 et 2.1.1.3. Nous détaillons uniquement la construction des échantillons de matériaux.

Les échantillons ont été fabriqués en respectant le protocole présenté précédemment. La seule variation résulte de la surface finie du matériau. Pour la finition, nous avons appliqué une couche de vernis. Nous avons confectionné 9 échantillons, trois pour chaque type de matériaux étudiés comme l'indique le *Tableau 6*. Nous n'avons pas fait varier la surface puisque cette dernière était vernie.

Type de matériau	Nombre des variations surface	Nombre des échantillons identiques	Abréviations			Nombre total des échantillons
Matériau bio-sourcé FL _S 20	1	3	S-1	S-2	S-3	9
Matériau bio-sourcé FL _U 20	1	3	U-1	U-2	U-3	
Matériau synthétique FV20	1	3	V-1	V-2	V-3	

Tableau 6 : Liste des échantillons surface finie

2.2.2 Sujets

Dans le cadre de cette deuxième expérimentation, nous avons retenu un groupe des 20 sujets non experts en évaluation sensorielle, 7 femmes et 13 hommes. Ces personnes ont été recrutées parmi des étudiants du Département EDIM (Ergonomie Design et Ingénierie Mécanique) de l'UTBM (Université de Technologie Belfort Montbéliard). De même que précédemment ce recrutement permet de garantir une homogénéité de la population.

2.2.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons

Pour cette expérimentation, la procédure d'exploration tactile est strictement identique à celle de l'expérience précédente. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 2.1.3.

2.2.4 Déroulement de l'expérimentation

Le déroulement de l'expérimentation pour la validation de l'hypothèse H 1.2 est strictement identique à celui de l'expérience précédente. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 2.1.4.

2.2.5 Méthode d'analyse des résultats

Les résultats ont été traités de manière identique à ceux de l'hypothèse 1.1, nous renvoyons le lecteur au paragraphe 2.1.5.

2.2.6 Résultats

Pour obtenir une liste de descripteurs communs aux matériaux bio-sourcés FL20 et aux matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces finies, nous avons calculé le nombre de citations pour chaque descripteur.

Les Figure 32 et Figure 33 présentent les résultats obtenus. Les valeurs seuils obtenues en calculant la moyenne sur l'ensemble des descripteurs pour chaque type de matériaux sont présentées dans le *Tableau 7* et représentées par un trait vertical noir sur les Figure 32 et Figure 33. Sur chaque figure, le nombre de citations pour chaque descripteur est trié de manière décroissante de la gauche vers la droite.

Type de matériaux	Moyenne (valeur seuil)
Matériau bio-sourcé FL_U20 et FL_S20	40,39
Matériau synthétique FV20	19,61

Tableau 7 : Moyenne sur l'ensemble des descripteurs pour chaque type de matériaux

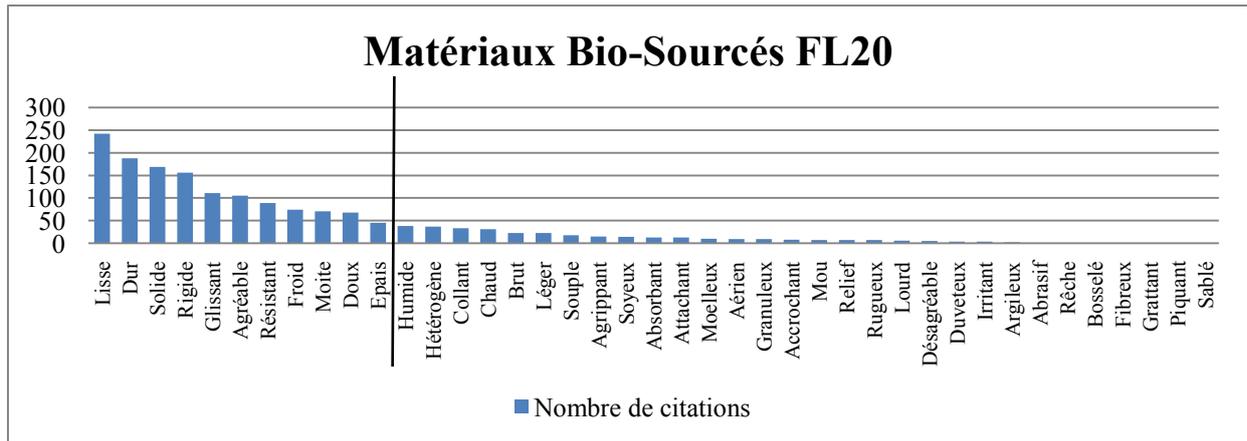


Figure 32. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux bio-sourcés FL20

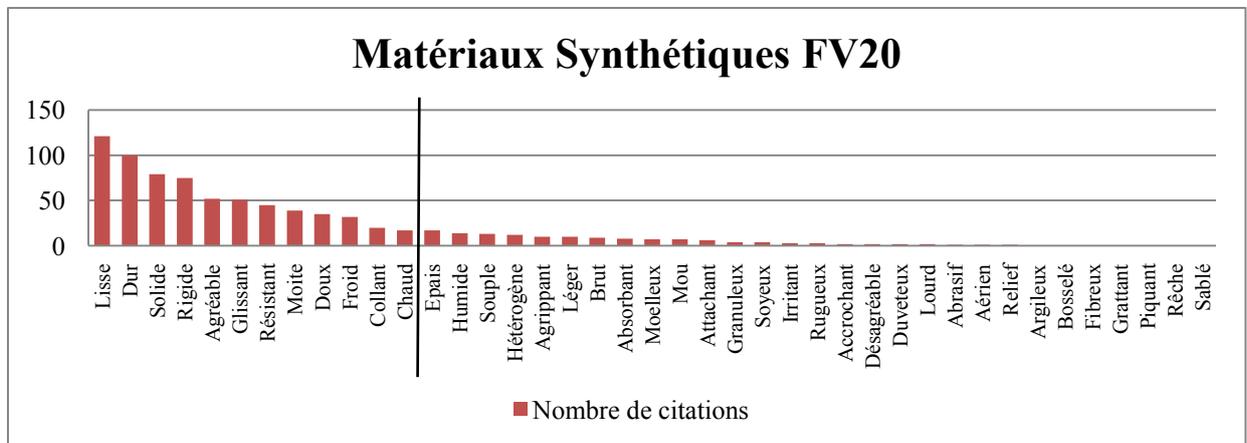


Figure 33. Nombre de citations pour chaque descripteur pour les matériaux synthétiques FV20



Figure 34. Les listes de descripteurs par type de matériau

Cette approche, nous a permis de sélectionner une liste de descripteurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 avec une surface finie et une liste de descripteurs pour les matériaux synthétiques FV20, également avec une surface finie, présentées sur la Figure 34.

A partir de ces deux listes de descripteurs, seuls les descripteurs communs (en noir sur la figure) aux deux listes ont été retenus, ils sont présentés sur la Figure 34. 10 descripteurs ont ainsi été retenus.

2.2.7 Synthèse

Cette deuxième expérimentation nous amène à proposer une liste commune de descripteurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et pour les matériaux synthétiques FV20, avec une surface finie, disponible sur la Figure 35. Ainsi, cette expérimentation nous a permis de valider notre deuxième sous-hypothèse 1.2.

Hypothèse 1.2 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces finie – **Validée.**

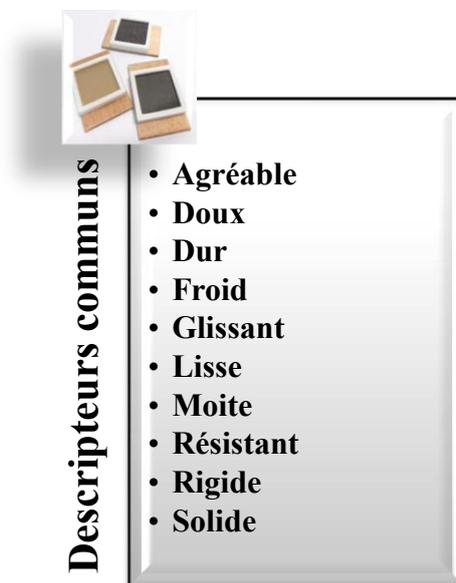


Figure 35. Liste de descripteurs communs pour tous les types de matériau

Ces résultats serviront de base à la validation de l'hypothèse 3, selon laquelle le ressenti lors du toucher d'un produit bio-sourcé (FL_S20 / FL_U20) peut être similaire au ressenti obtenu lors du toucher d'un produit synthétique (FV20).

2.3 Synthèse sur l'identification de descripteurs communs

En conclusion, cette première série expérimentale, nous a permis de valider nos deux sous hypothèses 2.1 et 2.2, en conséquence, nous validons notre première hypothèse de recherche.

Hypothèse 1 : une liste de descripteurs communs devrait permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques – **Validée**.

En effet, nous avons pu identifier une liste de descripteurs communs pour les deux types de matériaux, pour les surfaces brutes, comme pour les surfaces finies. Nous rappelons ces deux listes qui sont les fondements des expérimentations suivantes sur la Figure 36.

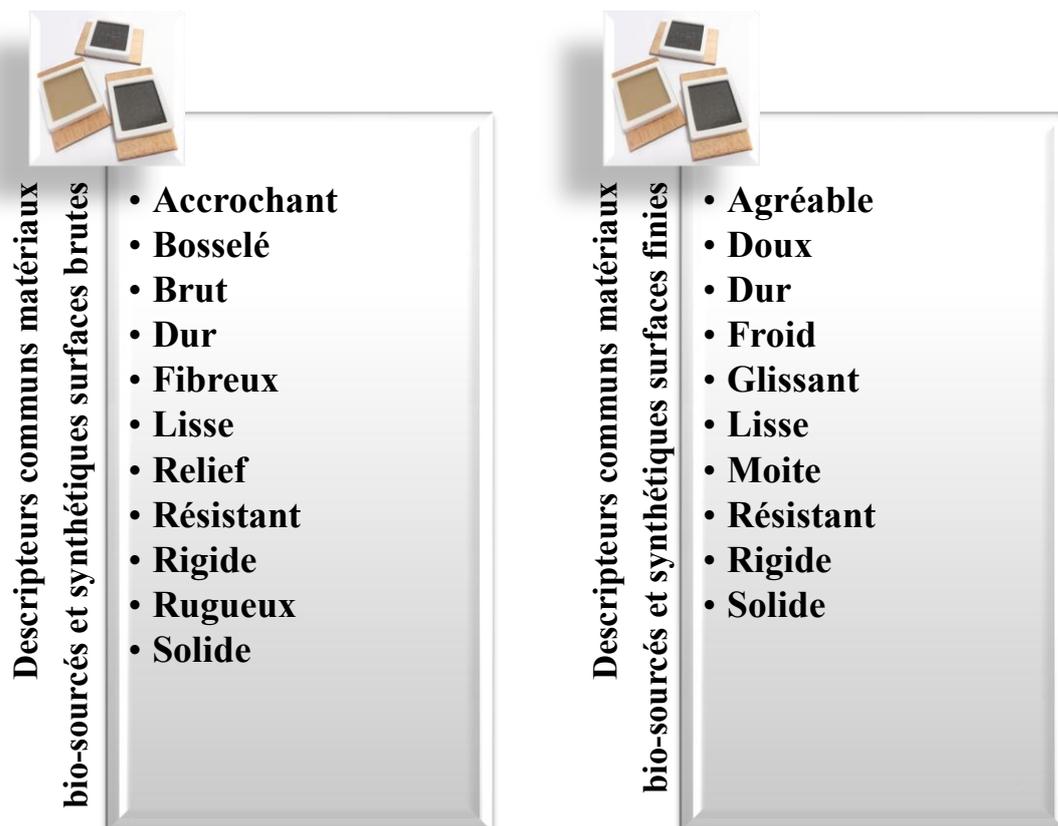


Figure 36. Bilan : listes des descripteurs communs en fonction du type de surface

Ces premiers résultats nous permettent de disposer d'une liste de descripteurs communs utilisable dans le cadre des expérimentations suivantes. Nous proposons maintenant de nous intéresser, sur la base de ces listes de descripteurs, aux ressentis des consommateurs.

3 Ressenti des consommateurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes

Suite à l'identification de ces listes de descripteurs communs, nous pouvons nous focaliser sur la caractérisation sensorielle des matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20, et à leurs similitudes ou différences. Nous proposons une deuxième hypothèse sur les relations existantes entre le ressenti subjectif lors du toucher des deux types de matériaux ayant des surfaces brutes : **le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique.** Nous mènerons une série expérimentale sur l'étude du ressenti des consommateurs face à ces deux types de matériaux pour la surface brute. Cette étude expérimentale se déroulera en deux temps.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à identifier les descripteurs pour lesquels le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé, quel que soit ce matériaux unidirectionnel FL_U20 ou sergé FL_S20, est similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique FV20.

Dans le cas, où les ressentis ne sont pas similaires, nous nous focaliserons sur les deux sous catégories de matériaux bio-sourcés FL20, que nous comparerons au matériau synthétique FV20. Cela permettra de vérifier, si ces différences de ressenti sont identiques pour tous les types de matériaux bio-sourcés FL20, ou spécifiques à un type de matériaux.

De même que précédemment, nous présentons, le matériel utilisé, les sujets retenus, la procédure d'exploration tactile, le déroulement de l'expérimentation, les analyses statistiques utilisées et les résultats obtenus.

3.1 Matériel utilisé

Les boîtes de tests et les descripteurs utilisés sont strictement identiques au matériel utilisé précédemment. Nous rappelons que l'espace produit choisi pour notre étude est constitué de quarante-cinq échantillons bio-sourcés FL20 / synthétiques FV20 avec la surface brute. Nous renvoyons le lecteur à la partie 2.1.1.3.

Dans le cadre de cette expérimentation, les résultats de l'hypothèse 1.1 sont exploités. Ainsi, la liste de descripteurs obtenus au niveau de la première série d'expérimentation est présentée sous la forme d'une échelle de Likert comme l'indique la Figure 37. Ces échelles sont des échelles ordinales dont les réponses à une question sont rangées par ordre hiérarchique [Guéguen, 2005]. Les différentes catégories n'ont pas été nommées afin de garantir l'homogénéité entre les catégories. La sémantique des catégories n'influence pas la notation du sujet. Pour chaque descripteur, les sujets devaient indiquer en utilisant la feuille de passation présentée sur la Figure 37 leur degré d'adéquation entre 1 et 5 avec leur ressenti par rapport à l'échantillon touché. 1 signifie que le descripteur est en accord parfait avec leur ressenti par rapport à l'échantillon ; 5 signifie que le descripteur est en complet désaccord avec leur ressenti par rapport à l'échantillon.

Le ressenti	Accord (1) → Désaccord (5)				
Liste des descripteurs	1	2	3	4	5
Accrochant	1	2	3	4	5
Bosselé	1	2	3	4	5
Brut	1	2	3	4	5
Dur	1	2	3	4	5

Figure 37. Feuille passation – Echelle ordinale

3.2 Sujets

Dans le cadre de cette expérimentation, nous avons retenu un groupe des 20 sujets, 9 femmes et 11 hommes. Ces personnes, non-expertes, ont été recrutées parmi des étudiants du Département EDIM (Ergonomie Design et Ingénierie Mécanique) de l'UTBM (Université de Technologie Belfort Montbéliard). De même que précédemment ce recrutement permet de garantir une homogénéité de la population.

3.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons

Pour cette expérimentation, la procédure d'exploration tactile est strictement identique à celle de l'expérience précédente. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 1.1.3.

3.4 Déroulement de l'expérimentation

De même que précédemment, l'expérimentation a fait l'objet d'une passation collective dans une salle dédiée à l'enseignement. Les expérimentations ont été suivies et guidées par un expérimentateur. La passation a débuté par une période de présentation collective de quinze minutes pendant laquelle les sujets ont reçu verbalement, et à travers l'utilisation d'un support de présentation vidéo projeté, les consignes. Suite à cette présentation des consignes, l'expérimentateur a distribué un feuillet de tests contenant : une fiche de renseignements généraux (Annexe 2) et des grilles de tests contenant les listes réduites de descripteurs présentés sous forme d'échelle de Likert (Annexe 3).

La Figure 38 propose une illustration de cette session expérimentale.



Figure 38. Déroulement des entretiens

Le participant devait exprimer son ressenti sur les grilles de test au toucher des échantillons à travers la liste réduite des descripteurs retenus après la première série d'expérimentation. Le participant ne disposait pas de limite de temps pour réaliser l'expérimentation.

3.5 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés

L'objectif de la deuxième série d'expérimentation est de mesurer, puis de comparer, le ressenti subjectif pour chacun des descripteurs retenus en fonction du type de matériaux.

Dans un premier temps, pour chaque sujet, pour chaque descripteur, nous avons construits 2 scores différents.

En effet, nous avons sommé les notes attribuées à chaque descripteur par type de matériau (matériaux bio-sourcés FL20 vs, matériaux synthétiques FV20), quelque soit la variation de surface et le type de toucher utilisé. Nous avons ainsi obtenu, pour chaque sujet, 2 scores pour chaque descripteur : **un score de ressenti subjectif pour les matériaux bio-sourcés unidirectionnel et sergé** et **un score de ressenti subjectif pour les matériaux synthétiques**. Du fait de son mode de calcul, le score concernant les matériaux bio-sourcés FL20 a ensuite été réduit⁵ pour avoir une échelle similaire à celle du score des matériaux synthétiques FV20.

Dans un second temps, nous avons construit deux scores complémentaires **un score de ressenti subjectif pour les matériaux bio-sourcés unidirectionnel**, et **un score de ressenti subjectif pour les matériaux bio-sourcé sergé**. Ces deux scores résultant d'une somme des notes attribuées à chaque descripteur par type de matériaux bio-sourcés FL20.

Pour analyser ces différents scores, nous avons utilisé le test de Student en mesures répétées, en effet, chaque sujet a du exprimer son ressenti sur tous les échantillons et tous les descripteurs. Le test de Student en mesures répétées permet de comparer les moyennes de deux populations, dont chaque élément de l'une des populations est mis en relation avec un élément de l'autre. Le test de Student, ou test *t*, désigne un ensemble de tests d'hypothèses paramétriques où la statistique calculée suit une loi de Student lorsque l'hypothèse nulle, supposant l'égalité des moyennes, est vraie.

Soit x_{ij} l'observation j pour la paire i ($j = 1,2$ et $i = 1,2,\dots,n$).

Pour chaque paire d'observations, la différence est calculée : $d_i = x_{i2} - x_{i1}$.

Le test statistique est défini par :

$$t_{\text{observé}} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{S_d^2}{n}}}$$

⁵ Le score des matériaux bio-sourcés a été divisé par 2, puisqu'il représentait deux fois plus d'échantillons que le score des matériaux synthétiques

- n est le nombre de paires d'observations
- \bar{d} la moyenne des différences entre les observations
- S_d^2 la variance

La relation entre l'hypothèse statistique et le $t_{\text{observé}}$ est lue dans une table de Student. L'hypothèse nulle, dite d'égalité des moyennes, est rejetée au seuil de signification α si :

$$|t_{\text{observé}}| > t_{n-1, 1-\alpha/2}$$

$t_{n-1, 1-\alpha/2}$ est la valeur lue dans la table de student pour le degré de liberté $n-1$

Traditionnellement, les logiciels de statistiques indiquent 3 données pour le t de Student, la valeur du t calculé, le nombre de degré de liberté considéré ($n-1$), et le seuil de significativité noté p .

- Si $p \leq 0.05$ alors l'hypothèse nulle est rejetée, nous pouvons conclure à une différence significative des moyennes
- Si $p > 0.05$ alors l'hypothèse nulle est acceptée, nous ne pouvons pas conclure à une différence significative des moyennes

3.6 Résultats

Les résultats obtenus dans le cadre de cette expérimentation permettent d'identifier pour quel descripteur, les ressentis subjectifs sont différents entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20. Le *Tableau 8* présente une synthèse de l'ensemble de résultats obtenus. Les descripteurs pour lesquels les ressentis sont différents sont indiqués en rouge. Il apparaît clairement que pour quasiment tous les descripteurs les ressentis subjectifs sont différents. Seul les descripteurs « Dur », « Résistant », « Rigide » et « Solide », ne font pas apparaître de différence de ressenti entre les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques.

Afin d'approfondir ces résultats, nous avons exploré les similitudes et différences entre les deux types de matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20. Dans ce cadre, nous nous sommes focalisés, uniquement sur les descripteurs ayant montré une différence significative lorsque nous considérons les matériaux bio-sourcés FL20 dans leur

ensemble. Les résultats pour le ressenti subjectif des matériaux bio-sourcés FL_S20 et FL_U20 en comparaison avec celui des matériaux synthétiques FV20 sont disponibles sur les *Tableau 9* et *Tableau 10*. Les résultats pour le ressenti subjectif avec les intervalles de confiance des matériaux comparés sont disponibles sur la Figure 39. Les résultats font apparaître que le ressenti subjectif est différent pour l'ensemble des descripteurs quelque soit le type de matériau bio-sourcé considéré (FL_S20 et FL_U20), excepté sur le descripteur « Brut » dans le cadre du matériau Sergé.

Résultats échantillons– Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20						
Descripteurs		Moyenne	Erreur standard	t	ddl	p
Accrochant	Bio-Sourcés FL20	49.90	2.29	-7.45	19	≤ 0.05
	Verre FV20	59.95	2.17			
Bosselé	Bio-Sourcés FL20	46.33	1.92	-8.72	19	≤ 0.05
	Verre FV20	55.30	1.57			
Brut	Bio-Sourcés FL20	44.25	2.61	-2.45	19	≤ 0.05
	Verre FV20	48.30	3.03			
Dur	Bio-Sourcés FL20	22.95	2.14	0.96	19	≥ 0.05
	Verre FV20	22.10	2.19			
Fibreux	Bio-Sourcés FL20	48.33	2.83	-8.74	19	≤ 0.05
	Verre FV20	57.60	2.35			
Lisse	Bio-Sourcés FL20	53.50	1.54	10.74	19	≤ 0.05
	Verre FV20	43.45	1.77			
Relief	Bio-Sourcés FL20	40.25	2.02	-10.55	19	≤ 0.05
	Verre FV20	50.05	1.92			
Résistant	Bio-Sourcés FL20	27.25	2.08	1.97	19	≥ 0.05
	Verre FV20	25.70	2.02			
Rigide	Bio-Sourcés FL20	26.70	2.76	2.09	19	≥ 0.05
	Verre FV20	24.75	2.64			
Rugueux	Bio-Sourcés FL20	41.18	2.67	-7.50	19	≤ 0.05
	Verre FV20	51.80	2.33			
Solide	Bio-Sourcés FL20	24.53	2.24	1.86	19	≥ 0.05
	Verre FV20	22.95	2.06			

Tableau 8 : Résultats échantillons – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

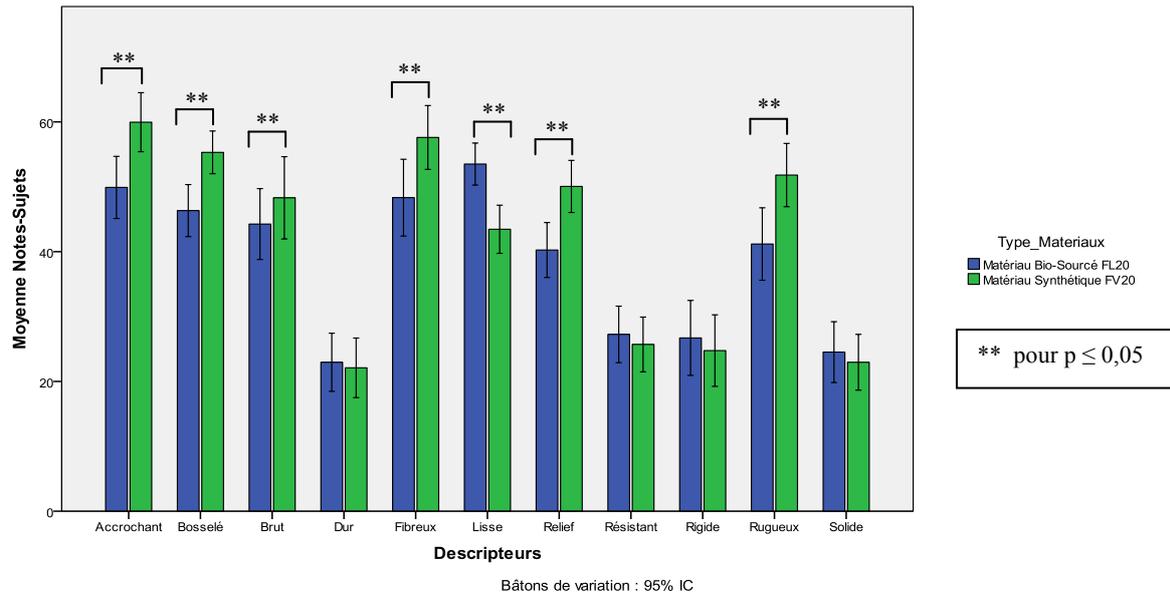


Figure 39. Résultats intervalles de confiance – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

Résultats échantillons						
Matériaux Bio-Sourcés FL _S 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20						
Descripteurs		Moyenne	Erreur standard	t	ddl	p
Accrochant	Bio-Sourcés FL _S 20	44.45	2.48	-10.29	19	≤ 0.05
	Verre FV20	59.95	2.17			
Bosselé	Bio-Sourcés FL _S 20	39.25	2.37	-10.42	19	≤ 0.05
	Verre FV20	55.30	1.57			
Brut	Bio-Sourcés FL _S 20	43.85	2.87	-1.82	19	≥ 0.05
	Verre FV20	48.30	3.03			
Fibreux	Bio-Sourcés FL _S 20	44.80	3.28	-8.59	19	≤ 0.05
	Verre FV20	57.60	2.35			
Lisse	Bio-Sourcés FL _S 20	60.95	1.27	18.06	19	≤ 0.05
	Verre FV20	43.45	1.77			
Relief	Bio-Sourcés FL _S 20	33.35	2.26	-14.19	19	≤ 0.05
	Verre FV20	50.05	1.92			
Rugueux	Bio-Sourcés FL _S 20	36.15	2.79	-9.13	19	≤ 0.05
	Verre FV20	51.20	2.33			

Tableau 9 : Résultats échantillons – Matériaux Bio-Sourcés FL_S20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

Résultats échantillons						
Matériaux Bio-Sourcés FL _U 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20						
Descripteurs		Moyenne	Erreur standard	t	ddl	p
Accrochant	Bio-sourcé FL _U 20	55.35	2.21	-3.31	19	≤ 0.05
	Verre FV20	59.95	2.17			
Bosselé	Bio-sourcé FL _U 20	53.40	1.64	-2.29	19	≤ 0.05
	Verre FV20	55.30	1.57			
Brut	Bio-sourcé FL _U 20	44.65	2.67	-3.29	19	≤ 0.05
	Verre FV20	48.30	3.03			
Fibreux	Bio-sourcé FL _U 20	51.85	2.54	-5.04	19	≤ 0.05
	Verre FV20	57.60	2.53			
Lisse	Bio-sourcé FL _U 20	46.05	1.94	2.19	19	≤ 0.05
	Verre FV20	43.45	1.77			
Relief	Bio-sourcé FL _U 20	47.15	1.92	-2.93	19	≤ 0.05
	Verre FV20	50.05	1.91			
Rugueux	Bio-sourcé FL _U 20	46.20	2.68	-4.14	19	≤ 0.05
	Verre FV20	51.80	2.33			

Tableau 10 : Résultats échantillons – Matériaux Bio-Sourcés FL_U20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

Les résultats obtenus sur les matériaux bio-sourcés FL_U20 et FL_S20 sont similaires à ceux obtenus sur les matériaux bio-sourcés FL20 dans leur ensemble. Pour conclure, nous présentons uniquement une synthèse sur les différences significatives de ressenti subjectif entre les matériaux bio-sourcés FL20 dans leur ensemble et les matériaux synthétiques FV20. Cette synthèse est présentée sur la Figure 40.

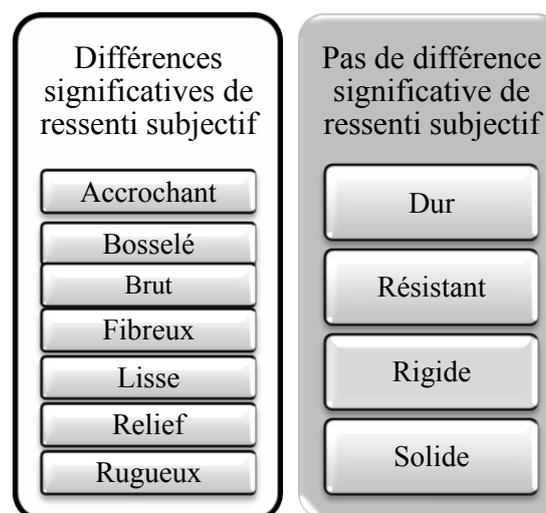


Figure 40. Synthèse des différences significatives de ressenti subjectif sur les matériaux bruts

3.7 Synthèses : Mesures subjectives pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surface brutes

L'objectif de cette série d'expérimentations a été de vérifier notre deuxième hypothèse : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé FL20 devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique FV20 pour les surfaces brutes. Dans leur grande majorité, les résultats obtenus ne sont pas en accord avec notre hypothèse, ainsi, sur 11 descripteurs étudiés, seulement 4 ne présentent pas de différence significative au niveau des ressentis. En conclusion, nous ne validons pas l'hypothèse 2. En effet, nos résultats nous amènent à penser qu'il existe une différence de ressenti subjectif lors du toucher d'un matériau bio-sourcé et d'un matériau synthétique.

Hypothèse 2 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique pour les surfaces brutes – **Invalidée**.

Notons que, les matériaux sont rarement utilisés sous leur forme brute, nous nous focaliserons donc sur l'étude des surfaces finies. Il en résulte notre troisième hypothèse de travail, présentée par la suite.

4 Ressenti des consommateurs pour les produits en matériaux bio-sourcés FL20 et les produits en matériaux synthétiques FV20

Notre objectif étant d'effectuer une caractérisation sensorielle des produits en matériaux bio-sourcés FL20, nous proposons de compléter notre réflexion en nous focalisant sur l'étude du ressenti lors du toucher entre un produit en matériau bio-sourcé FL20 et un produit en matériau synthétique FV20. Il en résulte notre troisième hypothèse de travail : **le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau synthétique.**

Dans le cadre de cette hypothèse, nous nous focalisons sur des produits composés avec des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 ayant un état de surface finie travaillée de la même manière que les échantillons de matériaux bio-sourcés FL20 et de matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces finies.

4.1 Matériel utilisé

Pour mener à son terme cette série d'expérimentation, nous avons utilisé différents matériels que nous avons construits ou définis. Ainsi, nous avons construit d'une part des produits en matériaux bio-sourcés FL20 et en matériaux synthétiques FV20, d'autre part une boîte de tests permettant de garantir des tests aveugles. Nous présentons ces différentes constructions.

4.1.1 Construction des produits

La prise en compte de la dimension sensorielle tactile du produit est importante dans le domaine du matériel informatique tel que le clavier ou la souris. En effet, la main est en contact permanent avec le clavier, ou la souris de l'ordinateur, et donc la modalité tactile est en permanence sollicitée. Le ressenti de l'utilisateur lors de cette interaction sensorielle peut influencer son comportement d'achat, d'utilisation etc. Pour cette raison, il nous a semblé pertinent de choisir pour notre étude de tester le ressenti sensoriel sur une souris d'ordinateur. Pour ce faire, nous avons confectionné pour chaque type de matériau une souris avec la surface finie. Une synthèse est présentée dans le *Tableau 11*.

Type de matériau	Nombre des variations surface	Nombre des produits identiques	Abréviations	Nombre total des produits
Matériau bio-sourcé FL _S 20	1	1	Produit-1	3
Matériau bio-sourcé FL _U 20	1	1	Produit-2	
Matériau synthétique FV20	1	1	Produit-3	

Tableau 11 : Liste des produits surface finie (souris)

Nous avons préparé et confectionné ces trois souris, à dimension standard, en respectant le même principe de fabrication que celui des échantillons ayant une surface finie.

4.1.1.2 Tests aveugles – construction des boîtes

Le déroulement de cette expérimentation se fait dans les mêmes conditions de tests en aveugle que les expérimentations précédentes afin de minimiser l'impact des autres modalités sensorielles sur les résultats. Pour ce faire, nous avons construit une boîte de tests, peinte en noir, telle que celle proposée sur la Figure 41.



Figure 41. Présentation d'une boîte utilisée pour l'expérimentation sur les produits

Cette boîte permet d'évaluer les trois souris. La boîte est munie de trois ouvertures permettant au sujet d'accéder aux produits facilement. Les ouvertures ont été dimensionnées pour permettre l'accès direct et unique vers les produits, en facilitant les types de gestes de toucher définis dans le cadre de ce protocole. (partie 2.1.3). Les souris sont collées sur le fond de la boîte, cela ne permet pas de manipuler les produits ou le mouvement des souris, en favorisant les types de toucher choisis pour cette évaluation. La Figure 41 illustre le déroulement des expérimentations sur les produits.

4.1.2 Construction de la liste de descripteurs et de la feuille de passation

Nous rappelons que les résultats de l'hypothèse 1.2 sont exploités dans cette partie pour répondre à l'hypothèse 3. La liste de descripteurs retenue au niveau de première série

d'expérimentation est présentée sous la forme d'une échelle de Likert comme l'indique la Figure 37 présentée dans le paragraphe 2.3. Nous rappelons que la liste de descripteurs pour cette série d'expérimentation est composée de 10 descripteurs : agréable, doux, dur, froid, glissant, lisse, moite, résistant, rigide et solide. Pour chaque descripteur, les sujets devaient indiquer en utilisant la feuille de passation donnée leur degré d'adéquation entre 1 et 5 avec leur ressenti par rapport aux produits touchés. Nous rappelons que 1 signifie que le descripteur est en accord parfait avec leur ressenti par rapport à l'échantillon ; 5 signifie que le descripteur est en complet désaccord avec leur ressenti par rapport aux produits.

4.2 Sujets

Nous avons retenu pour la validation de l'hypothèse 3 un groupe des 20 personnes, 8 femmes et 12 hommes. Ces personnes, non-expertes, ont été recrutées parmi des étudiants du Département EDIM (Ergonomie Design et Ingénierie Mécanique) de l'UTBM (Université de Technologie Belfort Montbéliard). De même que précédemment ce recrutement permet de garantir une homogénéité de la population.

4.3 Procédure d'exploration tactile des échantillons

Pour cette expérimentation, la procédure d'exploration tactile est strictement identique à celle de l'expérience précédente. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 3.3. Bien qu'il s'agisse d'un produit, une souris, que le sujet pouvait prendre en main, nous avons demandé aux sujets de respecter strictement les touchés définis précédemment : touché tangentiel, orthogonal et statique à l'aide d'un ou deux doigts.

4.4 Déroulement de l'expérimentation

Le déroulement de la cette série d'expérimentation se fait dans les mêmes conditions que toutes les autres expérimentations. Les sujets sont introduits dans une même salle d'enseignement, ce qui permet de garantir que l'ensemble des évaluations sont effectuées

dans les mêmes conditions de luminosité, de température de la pièce etc. La boîte contenant les 3 souris était disposée sur une table dans la salle. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 3.4.

4.5 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés

La méthode d'analyse des résultats et les outils statistiques utilisés sont identiques à ceux utilisés pour l'étude comparative des échantillons. L'analyse statistique principale est le t de Student. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 3.5.

4.6 Résultats

Comme dans l'expérimentation précédente, les résultats obtenus dans le cadre de cette expérimentation permettent d'identifier pour quel descripteur, les ressentis subjectifs sont différents entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20. Le *Tableau 12* et la Figure 42 présente une synthèse de l'ensemble de ces résultats.

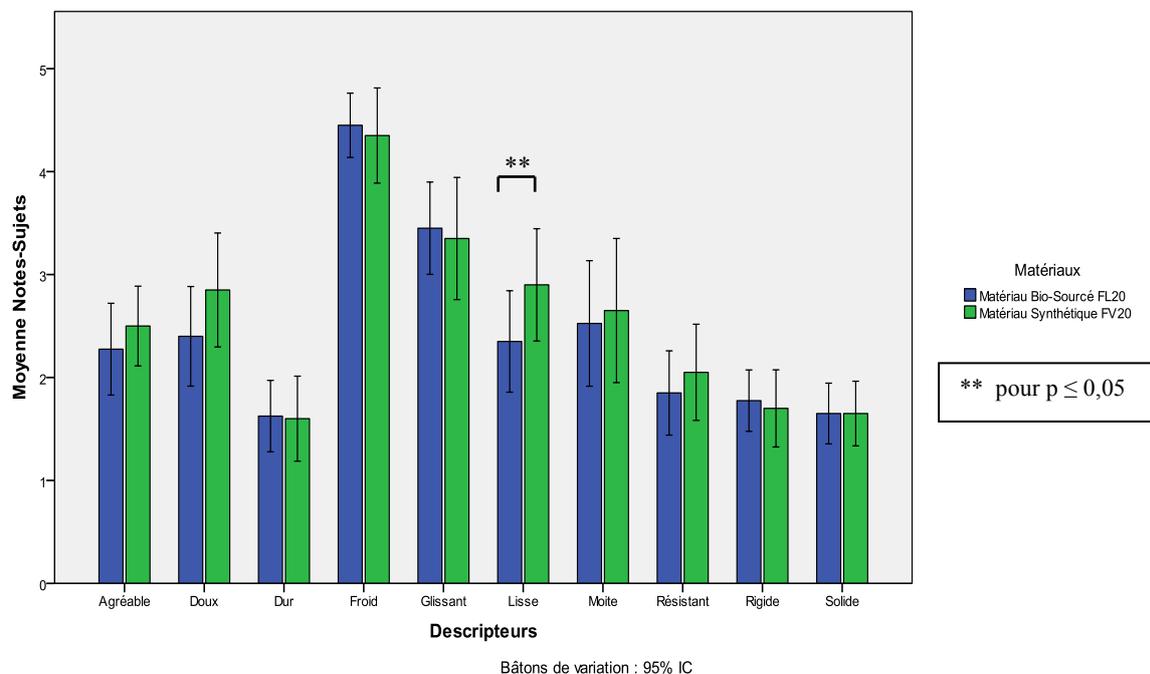


Figure 42. Résultats intervalles de confiance – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

Il apparait clairement que les descripteurs « Agréable », « Doux », « Dur », « Froid », « Glissant », « Moite », « Résistant », « Rigide » et « Solide », ne font pas apparaître de différence de ressenti entre les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20. Seul les résultats liés au descripteur « Lisse » indique que les ressentis subjectifs sont différents. Le descripteur pour lesquels les ressentis sont différents est indiqué en rouge.

Résultats produits						
Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20						
Descripteurs		Moyenne	Erreur standard	t	ddl	p
Agréable	Bio-Sourcés FL20	2.23	0.18	-1.26	19	≥ 0.05
	Verre FV20	2.50	0.19			
Doux	Bio-Sourcés FL20	2.40	0.23	-1.71	19	≥ 0.05
	Verre FV20	2.85	0.26			
Dur	Bio-Sourcés FL20	1.63	0.17	0.15	19	≥ 0.05
	Verre FV20	1.60	0.20			
Froid	Bio-Sourcés FL20	4.45	0.15	0.72	19	≥ 0.05
	Verre FV20	4.35	0.22			
Glissant	Bio-Sourcés FL20	3.45	0.21	0.43	19	≥ 0.05
	Verre FV20	3.35	0.28			
Lisse	Bio-Sourcés FL20	2.35	0.24	-3.32	19	≤ 0.05
	Verre FV20	2.90	0.26			
Moite	Bio-Sourcés FL20	2.53	0.30	-0.46	19	≥ 0.05
	Verre FV20	2.65	0.33			
Résistant	Bio-Sourcés FL20	1.85	0.20	-0.97	19	≥ 0.05
	Verre FV20	2.05	0.22			
Rigide	Bio-Sourcés FL20	1.78	0.14	0.77	19	≥ 0.05
	Verre FV20	1.70	0.18			
Solide	Bio-Sourcés FL20	1.65	0.14	0.00	19	≥ 0.05
	Verre FV20	1.65	0.15			

Tableau 12 : Résultats produits – Matériaux Bio-Sourcés FL20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

De même que précédemment, nous avons exploré les similitudes et différences entre les deux types de matériaux bio-sourcés (FL_U20 et FL_S20) et les matériaux synthétiques FV20. Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés, uniquement aux descripteurs ayant montré une différence significative lorsque nous considérons les matériaux bio-sourcés FL20 dans leur ensemble. Les résultats pour le ressenti subjectif des matériaux bio-sourcés FL_S20 et FL_U20 en comparaison avec celui des matériaux synthétiques FV20 sont disponibles dans le *Tableau 13* et *Tableau 14*.

Résultats produits						
Matériaux Bio-Sourcés FL _S 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20						
Descripteurs		Moyenne	Erreur standard	t	ddl	p
Lisse	Bio-sourcé FL _S 20	2.30	0.30	-	19	≤ 0.05
	Verre FV20	2.90	0.26	2.26		

Tableau 13 : Résultats produits – Matériaux Bio-Sourcés FL_S20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

Résultats produits						
Matériaux Bio-Sourcés FL _U 20 vs. Matériaux Synthétiques FV20						
Descripteurs		Moyenne	Erreur standard	t	ddl	p
Lisse	Bio-sourcé FL _U 20	2.40	0.26	-	19	≤ 0.05
	Verre	2.90	0.26	2.26		

Tableau 14 : Résultats produits – Matériaux Bio-Sourcés FL_U20 vs. Matériaux Synthétiques FV20

Les résultats obtenus sur les matériaux bio-sourcés FL_U20 et FL_S20 sont similaires à ceux obtenus sur les matériaux bio-sourcés FL20 dans leur ensemble. Pour conclure, nous présentons uniquement une synthèse sur les différences significatives de ressenti subjectif entre les matériaux bio-sourcés FL20 dans leur ensemble et les matériaux synthétiques FV20. Cette synthèse est présentée sur la Figure 43.

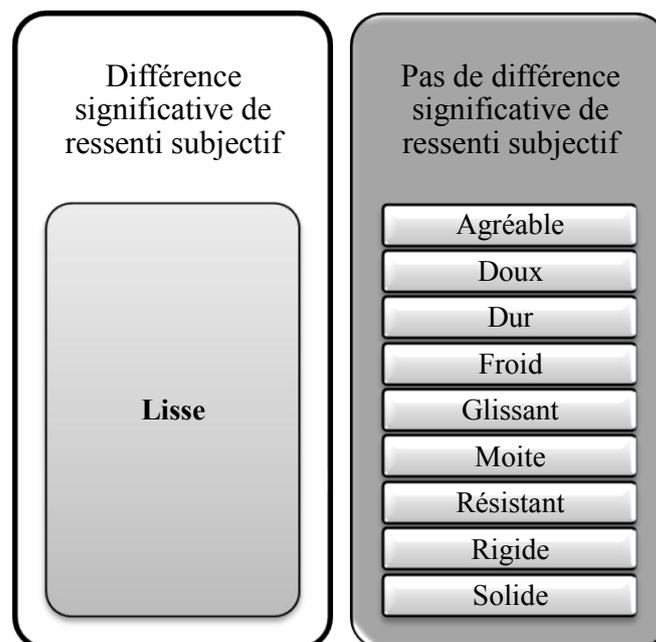


Figure 43. Synthèse des différences significatives de ressenti subjectif sur les produits

4.7 Synthèse : Mesures subjectives d'un produit bio-sourcé FL20 et d'un produit synthétique FV20

L'objectif de cette série d'expérimentation a été de vérifier notre troisième hypothèse : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé du matériau bio-sourcé FL20 devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau synthétique FV20. Dans leur grande majorité, les résultats obtenus sont en accord avec notre hypothèse. Ainsi, sur 10 descripteurs étudiés, seulement 1 présente une différence significative au niveau des ressentis. En conclusion, nous considérons que nous pouvons valider l'hypothèse 3. En effet, nos résultats nous amène à penser qu'il n'existe pas de différence de ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau bio-sourcé FL20 et d'un matériau synthétique FV20.

Hypothèse 3 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé du matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé d'un matériau synthétique – **Validée**.

Afin d'étudier les relations existantes entre perception sensorielle des matériaux bio-sourcés FL20 ou synthétiques FV20 et les mesures instrumentales de rugosité ou de dureté, nous proposons une dernière série expérimentale permettant de répondre à notre quatrième hypothèse.

5 Evaluation objective et subjective de la dureté et de la rugosité des matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20

Pour compléter notre approche sensorielle, nous proposons également d'étudier les corrélations entre la mesure instrumentale et le ressenti subjectif. Nous en déduisons ainsi notre quatrième hypothèse : **le ressenti subjectif obtenu lors du toucher devrait être corrélé avec la mesure objective sur un matériau bio-sourcé / synthétique**. Dans le cadre de cette expérimentation, nous nous sommes focalisés sur deux types de mesures instrumentales : la rugosité et la dureté. Il en résulte que cette hypothèse peut se décomposer en deux sous-hypothèses :

Hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté.

Hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité.

Ces deux sous-hypothèses 4.1 et 4.2 ont été étudiées à travers deux expérimentations distinctes. Nous présentons ces deux expérimentations et les résultats associés successivement.

5.1 Mesures de dureté sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes

L'objectif de cette expérimentation est de vérifier notre sous – hypothèse 4.1 :

Hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé FL20 / synthétique FV20 devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté.

5.1.1 Matériel utilisé

L'espace produit choisi pour notre étude est constitué des quarante cinq échantillons bio-sourcés FL20 / synthétiques FV20 avec une surface brute, construits précédemment. Nous renvoyons le lecteur à la partie 2.1.1.3.

5.1.2 Appareil instrumental

Les mesures de dureté ont été réalisées avec un duromètre. Cet appareil permet la mesure exacte du degré de dureté des matériaux. La dureté d'un matériau définit la résistance relative qu'oppose sa surface à la pénétration d'un corps, plus dur, appelé indenteur.

Selon les normes [ISO 868, 2003], les échantillons de matériaux testés doivent avoir une surface d'appui à faces planes d'au moins 35 mm et une épaisseur minimale de 6 mm en une seule couche ou par empilage d'un maximum de trois feuilles. La distance entre l'indenteur et les bords de l'échantillon doit être d'au moins 12 mm, la surface doit être plane. L'ensemble de ces recommandations sur les échantillons a été respecté dans le cadre de notre protocole de mesure.

De plus, la mesure doit être effectuée dans une ambiance tempérée. Les mesures effectuées sont de deux types :

➤ **Dureté Shore instantanée** : valeur maximale atteinte dès que l'indenteur rentre en contact avec les échantillons de matériau bio-sourcés FL20, ou synthétiques FV20;

➤ **Dureté Shore stabilisé** : valeur mesurée après un temps compris entre 3 et 15 secondes d'application, celle-ci est toujours plus faible que la dureté instantanée. Dans le cadre de notre étude, nous avons fixé une durée d'application de 5 secondes.



Figure 44. Le Duromètre Modell HD 3000

Pour l'expérimentation, nous avons utilisé un duromètre Modell HD 3000. Cet appareil a une échelle circulaire à très bonne lisibilité. La graduation est de 0 à 100 Shore D⁶ divisée en 100 unités. Le duromètre utilisé pour notre essai est présenté dans la Figure 44.

⁶ La mesure Shore fait appel à plusieurs types d'appareillages différenciés par la forme de l'indenteur pénétrant dans le matériau et la raideur du ressort de calibration (Shore A, B, C, D, 0, 00, 000).

5.1.3 Déroulement de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée en deux phases. D'une part, des mesures instrumentales ont été effectuées, d'autre part, nous avons utilisé les mesures sensorielles effectuées précédemment sur les échantillons avec les surfaces brutes.

5.1.3.1 Mesures instrumentales

Pour chacun des 45 échantillons étudiés (15 en matériaux bio-sourcés FL_S20, 15 en matériaux bio-sourcés FL_U20, 15 en matériaux synthétiques FV20), cinq mesures de dureté instantanée et cinq mesures de dureté stabilisée ont été effectuées. Les résultats sont présentés dans les Annexes 4, 5 et 6 pour chaque type de matériau testé.

5.1.3.2 Mesures sensorielles

Afin d'obtenir des données de ressenti subjectif pour le descripteur « Dur », nous avons exploité les données recueillies pour valider l'hypothèse 2. Ainsi, pour chaque type de matériaux, nous avons utilisé un score de dureté ressenti.

5.1.4 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés

L'objectif de cette expérimentation est de rechercher les corrélations entre la mesure instrumentale de dureté pour chaque échantillon et le ressenti subjectif de dureté résultant du score obtenu pour le descripteur « Dur » pour chaque échantillon.

Ainsi, nous avons sommé les notes attribuées au descripteur « Dur » pour chaque échantillon, quelque soit le sujet et le type de toucher utilisé.

Pour analyser les résultats, nous avons utilisé la corrélation linéaire. Nous avons effectué 4 corrélations :

- Corrélation entre le ressenti subjectif sur les 30 échantillons de matériaux bio-sourcés FL20 et la mesure instrumentale sur les 30 échantillons de matériaux bio-sourcés FL20;
- Corrélation entre le ressenti subjectif sur 15 échantillons de matériaux bio-sourcés FL_S20 et la mesure instrumentale sur 15 échantillons de matériaux bio-sourcés FL_S20;
- Corrélation entre le ressenti subjectif sur 15 échantillons de matériaux bio-sourcés FL_U20 et la mesure instrumentale sur 15 échantillons de matériaux bio-sourcés FL_U20;
- Corrélation entre le ressenti subjectif sur 15 échantillons matériaux synthétiques FV20 et la mesure instrumentale sur 15 échantillons de matériaux synthétiques FV20.

Avant de présenter nos résultats, nous faisons un rappel sur la corrélation. En effet, différentes techniques de corrélation permettent de mettre en relation les descripteurs sensoriels et les variables instrumentales. L'objectif de cette série d'expérimentation proposée est d'évaluer le degré de corrélation entre les données du panel et les données instrumentales.

En statistiques, étudier la corrélation entre deux ou plusieurs variables aléatoires ou statistiques *numériques*, c'est étudier l'intensité de la liaison qui peut exister entre ces variables. Le type le plus simple de liaison est la relation affine. Dans le cas de deux variables *numériques*, elle se calcule à travers une régression linéaire. La mesure de la corrélation linéaire entre les deux se fait alors par le calcul du coefficient de corrélation linéaire.

Le calcul de corrélation le plus utilisé est le coefficient de corrélation de Pearson [Labbe et al., 2004 ; Guéguen, 2005].

Calculer le coefficient de corrélation entre 2 variables *numériques* revient à chercher à résumer la liaison qui existe entre les variables à l'aide d'une droite.

$$r_p = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

où σ_{xy} désigne la covariance entre les variables x et y , et σ_x , σ_y leur écart type.

Par exemple, nous allons calculer le coefficient de corrélation entre deux séries de même longueur (cas typique : une régression). On suppose qu'on a les tableaux de valeurs suivants : $X(x_1, \dots, x_n)$ et $Y(y_1, \dots, y_n)$ pour chacune des deux séries. Alors, pour connaître le coefficient de corrélation liant ces deux séries, on applique la formule suivante :

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

Si r vaut 0, les deux courbes ne sont pas corrélées linéairement. Les deux courbes sont d'autant mieux corrélées que r est loin de 0 (proche de -1 ou 1).

Avec :

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$$

est la covariance entre x et y

Où :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

est l'écart-type de X

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

est l'écart-type de Y

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

est la moyenne de X et

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

est la moyenne de Y

Il est égal à 1 dans le cas où l'une des variables est fonction croissante de l'autre variable, ou égale à -1 dans le cas où la fonction est décroissante. Les valeurs intermédiaires renseignent sur le degré de dépendance linéaire entre les deux variables. Plus le coefficient est proche des valeurs extrêmes -1 et 1, plus la corrélation entre les variables est forte ; Une corrélation égale à 0 signifie que les variables ne sont pas corrélées.

Pour les valeurs éloignées de -1 et +1, la significativité du coefficient va largement dépendre du nombre d'individus de l'échantillon. Ainsi, plus l'échantillon est important, plus une corrélation même très faible pourra être significative.

Pour estimer précisément la significativité d'un coefficient de corrélation, il suffit de comparer la valeur r calculée à une valeur r critique fournie par la table du r de Bravais Pearson, en fonction du seuil de significativité fixé, généralement, 0.05, noté p, et du nombre de degré de liberté, n-2 (où n est le nombre de couples de l'ensemble de la distribution)

5.1.5 Résultats

Afin de vérifier l'existence d'une relation entre le ressenti subjectif des sujets sur le descripteur « Dur » et la mesure instrumentale, le coefficient de corrélation de Pearson a été calculé entre ces deux variables. L'étude des corrélations entre variables sensorielles et variables instrumentales n'a montré aucune corrélation forte quelque soit le type de matériaux étudié, matériaux bio-sourcés FL20 dans leur ensemble ($r(28)=-0.006$; $p > 0.05$), matériaux bio-sourcés FL_U20 ($r(13)=-0.222$; $p > 0.05$), matériaux bio-sourcés FL_S20 ($r(15)=-0.086$; $p > 0.05$) et matériaux synthétiques FV20 ($r(13)=-0.396$; $p > 0.05$).

5.1.6 Synthèse : Mesures de dureté sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes

L'objectif de cette série d'expérimentations était de vérifier l'hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-

sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté. Nos résultats ne montrent aucune corrélation. Ainsi, notre hypothèse 4.1 n'est pas vérifiée.

Hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté – **Invalidée.**

5.2 Mesures de rugosité sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes

L'objectif de cette série d'expérimentation est de vérifier notre sous – hypothèse 4.2 :

Hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé FL20 / synthétique FV20 devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité.

5.2.1 Matériel utilisé

Comme précédemment, l'espace produit choisi pour notre étude est constitué des quarante cinq échantillons bio-sourcés FL20 / synthétiques FV20 avec surface brute, construits précédemment. Nous renvoyons le lecteur à la partie 2.1.1.3.

5.2.2 Appareil instrumental

La rugosité « physique » décrit la géométrie de la surface. La rugosité est un paramètre caractéristique d'une surface qui intervient sur les variations de la force normale et de la force tangentielle. Ce paramètre peut être difficile à définir précisément, car les surfaces ont souvent une structure désordonnée qu'il est difficile de résumer en un seul paramètre

caractéristique. Ainsi, une surface peut se définir par la profondeur ou la largeur moyenne des rugosités, par leur longueur d'onde ou leur répartition spatiale.

Les normes internationales concernant la rugosité [ISO 4287, 12085, 13565] répertorient un ensemble de paramètres (rugosité moyenne, rugosité maximale, etc.) ainsi que des renseignements sur leurs méthodes de mesure [Zani, 2003].

Beaucoup d'appareils de mesure de la rugosité (à toutes échelles) ont été développés, essentiellement pour les besoins de la mécanique industrielle et automobile. Il s'agit souvent de profilomètres (mesure du profil de surface). Le cœur du profilomètre est constitué d'une pointe très fine en diamant qui lit l'altitude lorsqu'on la déplace le long de la surface à tester. Les variations dans les tensions générées sont repérées par le capteur puis converties en différents paramètres de rugosité par l'électronique de l'instrument. Il est ainsi possible d'obtenir rapidement un profil détaillé de la surface.

Certains, profilomètre avec contact, mesurent les efforts présents au bout d'une pointe (pointe diamant, palpeur à bille, etc.). D'autres sont sans contact (optiques). Pour nos expériences, nous avons choisi le profilomètre 3D par contact avec capteur inductif, qui nous a permis de mesurer la rugosité, notée Ra, qui correspond à l'écart moyen arithmétique du profil de rugosité.

5.2.3 Déroulement de l'expérimentation

Comme pour l'étude de la dureté, l'expérimentation s'est déroulée en deux phases. D'une part, des mesures instrumentales ont été effectuées, d'autre part, nous avons utilisé les mesures sensorielles effectuées précédemment sur les échantillons avec les surfaces brutes.

5.2.3.1 Mesures instrumentales

Pour chacun des 45 échantillons étudiés (15 en matériaux bio-sourcés FL_S20, 15 en matériaux bio-sourcés FL_U20, 15 en matériaux synthétiques FV20), quatre mesures de rugosité ont été effectuées. Les résultats sont présentés dans les Annexes 7, 8 et 9 pour chaque type de matériau testé. Le but recherché lors de la mesure a été de prendre en compte le

maximum d'informations contenues dans les profils de chaque échantillon. Les mesures sont acquises directement sur le programme ALTISURF 500 et traités avec le programme ALTIMAP.

5.2.3.2 Mesures sensorielles

Afin d'obtenir des données de ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux », nous avons exploité les données recueillies pour valider l'hypothèse 2. Ainsi, pour chaque type de matériaux, nous avons utilisé un score de rugosité ressenti.

5.2.4 Méthode d'analyse des résultats et outils statistiques utilisés

La méthode d'analyse des résultats et les outils statistiques utilisés sont identiques à ceux utilisés pour l'étude de corrélation des mesures sensorielles avec les mesures instrumentales pour la dureté. Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 5.1.5.

5.2.5 Résultats

Nous avons évalué le degré de corrélation entre le ressenti subjectif sur le descripteur rugosité et les données instrumentales de rugosité. L'analyse statistique de ces corrélations nous a permis d'identifier des relations significatives entre le ressenti subjectif de rugosité et les variables instrumentales mesurées. Ainsi, pour les matériaux bio-sourcés FL20, dans leur ensemble, la corrélation est significative entre le ressenti et la mesure instrumentale ($r(28) = -0.907$; $p \leq 0.05$).

Pour les matériaux bio-sourcés FL_S20, et FL_U20, la corrélation est significative ($r(13) = -0.946$; $p \leq 0.05$ pour le FL_S20 ; $r(13) = -0.940$; $p \leq 0.05$ pour le FL_U20). Enfin pour les matériaux synthétiques FV20, les résultats sont similaires avec une corrélation également significative ($r(13) = -0.719$; $p \leq 0.05$).

5.2.6 Synthèse : Mesures de rugosité sur les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes

L'objectif de cette série d'expérimentation a été de vérifier l'hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité sur un matériau bio-sourcé FL20 / synthétique FV20 pour le descripteur « rugueux ». Nos résultats démontrent clairement l'existence de corrélation entre le ressenti subjectif de rugosité et la mesure instrumentale quelque soit le type de matériaux. Nous pouvons donc valider notre hypothèse 4.2.

Hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité. – **Validée.**

5.3 Synthèse sur les évaluations objectives et subjectives selon la dureté et la rugosité des matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20

En conclusions, ces deux séries expérimentales, nous a permis d'étudier nos deux sous hypothèses 4.1 et 4.2. Les résultats expérimentaux obtenus permettent de valider uniquement l'hypothèse 4.2 relative à la rugosité. En conséquence, nous ne pouvons pas valider l'hypothèse 4.1, et donc l'hypothèse 4. Nous pouvons uniquement conclure sur la rugosité.

Hypothèse 4.1 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté. – **Invalidée.**

Hypothèse 4.2 : le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité. – **Validée.**

En conséquence, nous ne validons pas notre quatrième hypothèse de recherche.

Hypothèse 4 : le ressenti subjectif obtenu lors du toucher devrait être corrélé avec la mesure objective sur un matériau bio-sourcé / synthétique – **Invalidée**

6 Synthèse des résultats obtenus

Pour des raisons de clarté, nous nous proposons, avant de rentrer dans le vif de la discussion, de reprendre l'ensemble de nos résultats expérimentaux avec un tableau de synthèse reprenant nos principales hypothèses (*Tableau 15*).

Ainsi, sur la base de nos deux premières séries expérimentales, nous avons pu identifié deux listes communes de descripteurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20. Une première liste comporte 11 descripteurs pour les matériaux avec un état de surface brute, une deuxième comporte quant à elle 10 descripteurs pour les matériaux avec un état de surface finie.

En nous appuyant sur ces deux listes de descripteurs, nous avons proposé deux séries expérimentales complémentaires permettant d'identifier les similitudes et différences dans le ressenti subjectif des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20, surfaces brutes ou surfaces finies. Pour les surfaces brutes, nos résultats concernent des échantillons, pour les surfaces finies, nos résultats portent sur un produit fini (une souris d'ordinateur).

Nos résultats montrent que le ressenti subjectif est globalement différent entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes (7 descripteurs sur 11 indiquent des différences significatives de ressenti entre les deux types de matériaux). Pour les surfaces finies, par contre, le ressenti subjectif reste identique entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20 (9 descripteurs sur 10 n'indiquent pas de différences significatives).

Pour approfondir ces résultats, nous nous sommes intéressés à la corrélation entre mesures instrumentales de dureté et de rugosité et ressenti subjectif sur les descripteurs « Dur » et « Rugueux ». Nos résultats montrent que, pour le descripteur « Dur », il n'existe pas de corrélation entre les mesures instrumentales et sensorielles. Par contre, pour le descripteur « Rugueux », les mesures sensorielles sont corrélées avec les mesures instrumentales.

Ces résultats nous ont permis de valider certaines de nos hypothèses. Ainsi, nous avons pu valider notre hypothèse 1 selon laquelle, il est possible de décrire les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 par une liste de descripteurs communs. Par

contre, nous n'avons pas validé notre deuxième hypothèse. En effet, il n'existe pas de similarité entre le ressenti subjectif des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces brutes. Toutefois, nous avons pu valider notre troisième hypothèse, similaire à l'hypothèse 2, mais sur des produits ayant des surfaces finies. Ainsi, il existe une similarité de ressenti subjectif entre des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 pour les surfaces finies.

Pour approfondir nos investigations, nous avons posé une quatrième hypothèse, que nous n'avons pu que valider partiellement. En effet, nous avons identifié une corrélation entre les mesures instrumentales et les ressentis subjectifs uniquement sur la notion de rugosité. Le tableau qui suit résume l'ensemble de nos hypothèses (*Tableau 15*).

Hypothèses	Hypothèse Validée / Invalidée
<p>1. une liste de descripteurs communs doit permettre de décrire les matériaux bio-sourcés et les matériaux synthétiques pour les surfaces brutes (hypothèses 1.1) et pour les surfaces finies (hypothèse 1.2)</p>	
<p>2. le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un matériau synthétique pour les surfaces brutes</p>	
<p>3. le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé du matériau bio-sourcé devrait être similaire avec le ressenti subjectif obtenu lors du toucher d'un produit composé du matériau synthétique</p>	
<p>4. le ressenti subjectif obtenu lors du toucher devrait être corrélé avec la mesure objective sur un matériau bio-sourcé / synthétique</p> <p>4.1 le ressenti subjectif pour le descripteur « Dur » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de dureté.</p> <p>4.2 le ressenti subjectif pour le descripteur « Rugueux » obtenu lors du toucher d'un matériau bio-sourcé/synthétique devrait être corrélé avec la mesure objective de rugosité.</p>	  

Tableau 15 : Synthèse des hypothèses de travail dans le cadre de notre étude

Malgré les limites de notre étude, sur lesquelles nous reviendrons, nous avons pu caractériser précisément le ressenti subjectif touchant un matériau bio-sourcé FL20 par rapport à un matériau synthétique FV20, sur leurs similitudes et différences. Ainsi, nos résultats, nous permettent de proposer des profils sensoriels pour chaque type de matériaux (FL20 et FV20) et pour chaque type de surfaces (brutes et finies). Afin de mettre en évidence les similitudes et différences entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20, nous proposons de les mettre en évidence sur une même figure. Ainsi la Figure 45 propose le profil sensoriel des matériaux bio-sourcés FL20 surfaces brutes (en vert sur la Figure 45), et le profil sensoriel du matériau synthétique FV20 surfaces brute étudiés (en rouge sur la Figure 45).

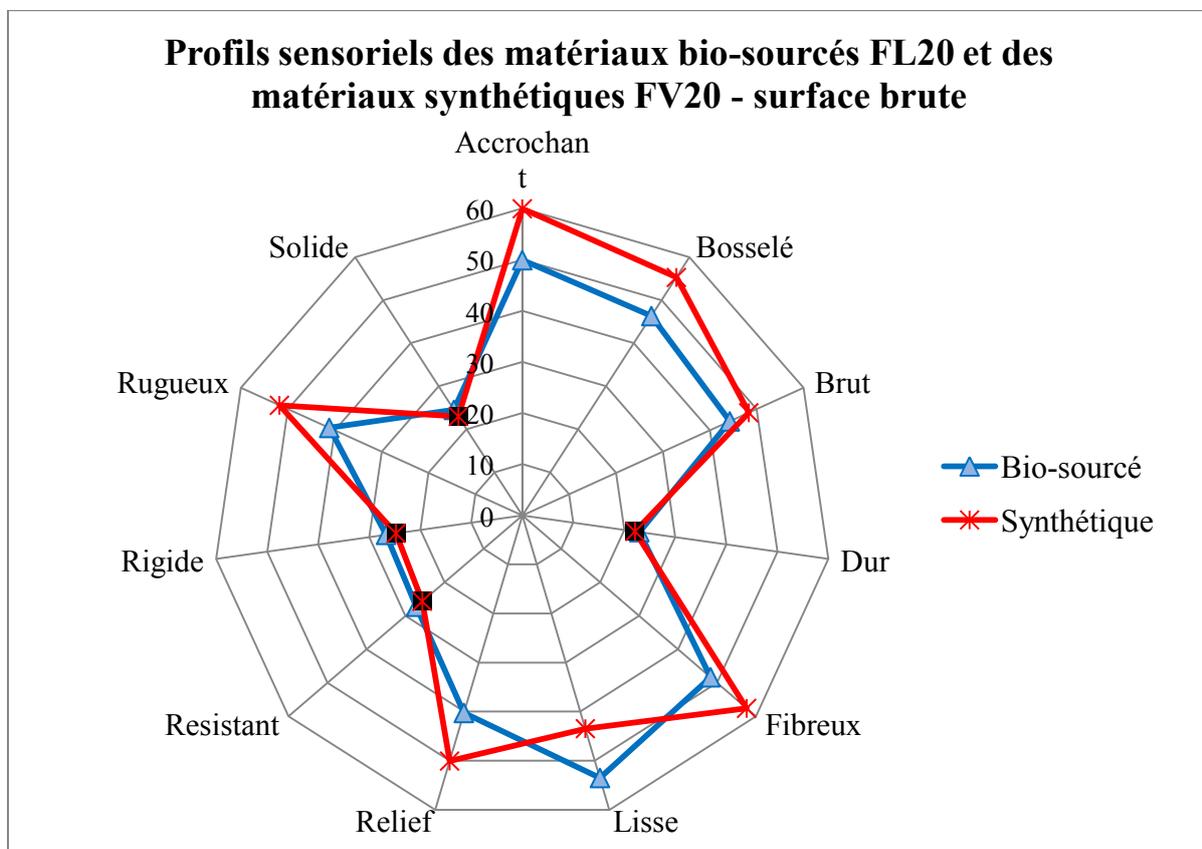


Figure 45. Profils sensoriels des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 – surface brute

Cette figure permet de bien visualiser les descripteurs pour lesquels les consommateurs ont des ressentis similaires (« Dur », « Résistant », « Rigide » et « Solide ») indiqués par des carrés noirs sur la Figure 45, ainsi que les descripteurs pour lesquels les consommateurs ont des ressentis différents (« Accrochant », « Bosselé », « Brut », « Fibreux », « Lisse », « Relief », « Rugueux »).

De même, la Figure 46 propose le profil sensoriel des matériaux bio-sourcés FL20 (en rouge sur la Figure 46) et celui pour les matériaux synthétiques FV20 (en vert sur la Figure 46), mais pour les surfaces finies. Ces deux profils indiquent clairement que seul le descripteur « Lisse », indiqué dans le cercle noir, induit un ressenti subjectif différent entre les deux types de matériaux.

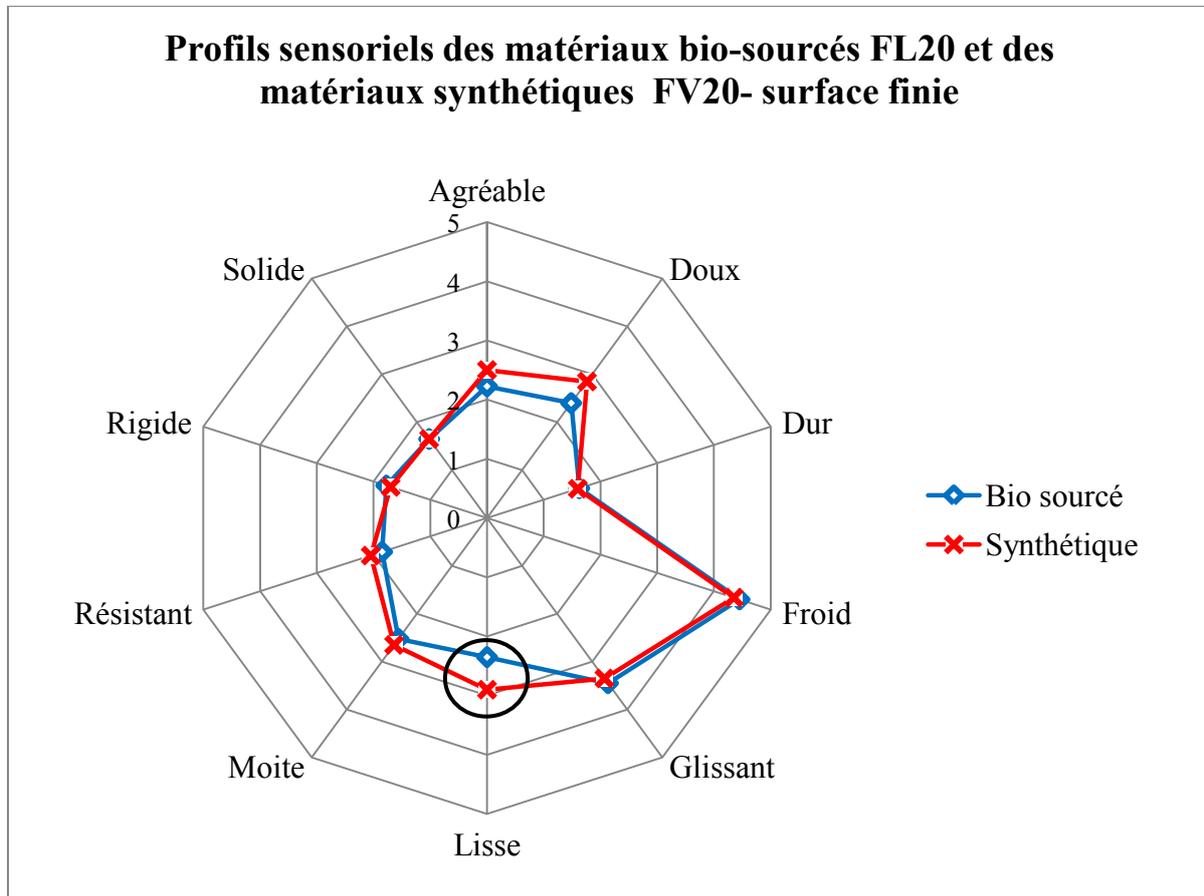


Figure 46. Profils sensoriels des matériaux bio-sourcés FL20 et des matériaux synthétiques FV20 – surface finie

Dans le cadre de notre problématique de recherche, nous avons proposé de démontrer la pertinence de l'évaluation sensorielle, couplée ou non à des mesures instrumentales, pour étudier les similarités entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20. Nos résultats permettent clairement d'apporter des éléments de réponses.

En effet, les profils sensoriels obtenus sont une démonstration que l'approche proposée est intéressante et pertinente. Ayant montré la similarité des produits finis en matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20, nous pouvons conclure que l'évaluation sensorielle est une méthode permettant de répondre à nos attentes.

Ces résultats et leurs limites sont discutés dans le chapitre qui suit.

CHAPITRE IV

DISCUSSIONS

1 Introduction

Notre étude approfondie des travaux de la littérature, nous a permis de mettre en évidence, que le ressenti subjectif du consommateur est déterminant dans son acceptation d'un nouveau produit [Bassereau et Lefebvre, 2004 ; Rouvray, 2006 ; Lefebvre et al., 2009 ; Giboreau, 2009 ; Depledt, 2009 ; Lhéritier, 2013]. Le contrôle qualité centré sur le facteur humain vise, notamment à cette prise en compte de la perception du consommateur [Lefebvre, 2006 ; Guerra, 2008 ; Giboreau, 2009]. En parallèle, les démarches d'éco-conception innovantes, visent une amélioration environnementale radicale en se focalisant sur le service que doit fournir le produit au consommateur. L'amélioration de la qualité, l'équité, l'harmonie environnementale engendrée est devenue un enjeu et un défi constant qui amène les entreprises à se moderniser [Truchot et al, 1997 ; Romon, 1998 ; Duchamp, 1999 ; Sagot, 1999 ; Perrin, 2001 ; Andréani, 2002 ; Perrin, 2005]. Pour y parvenir, une des solutions envisagées par les entreprises, qui se doivent d'être de plus en plus compétitives, est de remplacer, de manière partielle pour commencer, voire de manière plus totale pour certains produits, les matériaux synthétiques par de nouveaux matériaux bio-sourcés à base de fibres végétales non alimentaires [Soulama et al., 2011 ; Padayodi, 2013 ; Loudjom et al., 2013]. Notre démarche doit donc nous permettre de favoriser une meilleure intégration des caractéristiques sensorielles tactiles dans une démarche d'éco-conception de produits.

Il en résulte que l'une des questions, qui reste posée aujourd'hui, porte sur les aspects sensoriels qui sont peu traités dans la littérature. Plus précisément, il s'agit de se focaliser sur la question « Comment démontrer que d'un point de vue sensoriel, les produits fabriqués avec des matériaux bio-sourcés sont au moins équivalents aux produits fabriqués avec des matériaux synthétiques ? ». Cette problématique soulève au moins deux axes de réflexions que nous traitons dans cette discussion :

- Les apports et limites de l'évaluation sensorielle, couplée ou non avec des mesures instrumentales, des matériaux bio-sourcés pour démontrer l'équivalence des produits en matériaux bio-sourcés vis-à-vis des matériaux synthétiques.
- La place du design sensoriel et des méthodes associées (évaluation sensorielle) pour le choix des matériaux bio-sourcés dans une démarche d'éco-conception de produits.
- Nous rappelons ici les abréviations retenues pour évoquer les matériaux : matériaux synthétiques de type composite renforcé de 20 % de fibres de verre (FV20), matériaux bio-sourcés non alimentaire de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin (FL20).

2 Evaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés FL20: Apports et limites

Nos travaux de recherche visaient à répondre en particulier à la question suivante « comment démontrer que d'un point de vue sensoriel, les produits fabriqués avec des matériaux bio-sourcés sont au moins équivalents aux produits fabriqués avec des matériaux synthétiques ? ». Pour répondre à cette interrogation, nous avons proposé d'utiliser les méthodologies issues de l'évaluation sensorielle, soit seule [Sauvageot et Dacremont, 2001 ; Stone et Sidel, 2004 ; Meilgaard et al., 2007], soit couplée à des mesures instrumentales [Mehinagic et al., 2003 ; Soufflet, 2005 ; Le Moigne et al., 2008] et de conduire des études comparatives entre matériaux bio-sourcés et matériaux synthétiques.

Nos résultats permettent d'apporter des éléments de réponses. En effet, les résultats obtenus, en se basant sur les méthodologies de l'évaluation sensorielle [SSHA, 1998 ; Lawless et Heymann, 1999 ; XP V09-500, 2000 ; ISO 13299, 2003 ; AFNOR, 2004] permettent de caractériser précisément des similarités et des différences :

- entre des échantillons de matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20
- et entre des produits fabriqués en matériaux bio-sourcés FL20 et des produits fabriqués en matériaux synthétiques FV20.

Ainsi, notamment sur les produits, nous avons démontré une similarité de ressenti entre les deux types de matériaux bio-sourcés FL20 et synthétiques FV20.

Nous pouvons ainsi, conclure, sur la pertinence de l'application des méthodologies d'évaluation sensorielle pour démontrer des similarités entre des produits à base de matériaux bio-sourcés FL20. Ce résultat permet de compléter le manque de travaux sur le sujet mis en évidence dans notre état de l'art.

De plus, les résultats obtenus sur l'utilisation couplée de l'évaluation sensorielle et des mesures instrumentales démontrent une homogénéité de résultats quelque soit le type de matériaux pour le descripteur « rugueux ». Ainsi, les corrélations obtenues sur un des descripteurs étudiés sont similaires pour tous les types de matériaux bio-sourcés FL20. Il en résulte que l'utilisation conjointe de l'évaluation sensorielle et des mesures instrumentales demeure donc une approche pertinente pour étudier / qualifier un matériau bio-sourcé FL20 sur certains descripteurs, et cela quel que soit leur type (FL_S20 ou FL_U20).

Néanmoins, ces résultats se doivent d'être nuancés. En effet, il s'agit de premiers résultats, à notre connaissance, dans le domaine de l'évaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés. Un certain nombre de points demandent encore à être approfondis pour exploiter pleinement l'utilisation de l'évaluation sensorielle pour l'étude des matériaux bio-sourcés à base de fibres de lin et d'autres fibres végétales.

Le premier point qui nous semble important est d'approfondir nos expérimentations, afin de valider notre approche, avec un panel de sujets entraînés. En effet, selon la littérature [Giboreau, 2009 ; Lefebvre et al., 2009 ; Lhéritier, 2013], le principe de l'entraînement est de fournir aux sujets des connaissances sur les techniques utilisées en analyse sensorielle et de développer leur aptitude à détecter, reconnaître et décrire des stimuli sensoriels. Pour obtenir des résultats plus précis, pour supprimer la part de subjectivité des sujets et pour garantir la reproductibilité des résultats, il serait, à l'avenir, souhaitable d'utiliser des panels de sujets entraînés ou tout du moins envisager une comparaison entre entraînés et non entraînés.

Cependant, il est important de noter, que l'entraînement des panels (en général 10 à 30 sessions de 1 à 2 heures) est une démarche longue et complexe selon la nature et la complexité du produit et selon les modalités retenues [Giboreau et al., 2007 ; Depledt, 2009 ; Kreutzmann et al., 2007 ; Romano, 2008 ; Sauvageot et al., 2008 ; Bavay et al., 2013 ; Silva, 2014]. Il en résulte que, souvent, lors du développement de produits nouveaux, aucune évaluation sensorielle n'est conduite [Stone et al., 2012 ; Bavay et al., 2013 ; Romano, 2008], le designer sensoriel, ou l'expert qualité perçue va privilégier son expérience pour mener à bien ses choix. L'utilisateur final, le consommateur, et donc son ressenti subjectif, sont alors moins bien considérés dans le processus de conception de produits. Ainsi, l'approche proposée, bien qu'ayant des limites qui sont celles évoquées, reste selon nous moins « lourde » et, peut permettre de mieux intégrer la prise en compte de l'utilisateur / consommateur par une évaluation sensorielle plus systématique tout au long du processus de conception et de développement de produits.

Cette pratique est d'autant plus pertinente dans le cadre du développement de nouveaux matériaux bio-sourcés FL20 qui doivent eux-aussi respecter la triade classique : qualité/coûts/délais. En effet, pour caractériser rapidement des premiers essais de matériaux, il pourrait être intéressant de mettre en place ce type d'approche qui semble plus rapide. Bien entendu, à mesure que le développement du matériau avancera, il sera nécessaire de valider les analyses avec une démarche d'évaluation sensorielle plus complète mettant en œuvre des panels entraînés.

Notre choix de ne pas utiliser un panel entraîné a une conséquence directe sur la construction de la liste des descripteurs [Yannou et Bonjour, 2006]. En effet, l'évaluation sensorielle préconise que cette liste soit définie soit par itération successive par le panel entraîné, soit par l'utilisation d'une liste préexistante. Nous rappelons que le choix des descripteurs est une étape cruciale dont dépend la qualité des résultats obtenus [Lefebvre, 2006 ; Depledt, 2009]. Ne disposant pas d'un panel entraîné, et l'étude de la littérature n'ayant pas permis d'identifier une liste de descripteurs spécifiques aux matériaux bio-sourcés, nous avons dû construire notre liste de descripteurs en adaptant des listes identifiées dans la littérature complétées par une approche expérimentale.

Cette limite de la construction de la liste des descripteurs est devenue, de ce fait, un résultat majeur de notre travail de recherche. En effet, cette première étude a permis de faire une première proposition de liste de descripteurs dédiés à un matériau bio-sourcés FL20 en fonction de leur type de surface. Notre étude permet donc de fournir une base pour les études ultérieures, qui pourraient utiliser cette liste déjà validée. Comme précédemment, cette proposition de descripteurs permet de favoriser une démocratisation de l'évaluation sensorielle et un gain de temps dans les études futures sur les matériaux bio-sourcés, notamment ceux à base de fibre de lin.

Comme mentionné précédemment, les résultats obtenus sur l'utilisation couplée de l'évaluation sensorielle et des mesures instrumentales [Mehinagic et al., 2003 ; Le Moigne et al., 2008] démontrent la pertinence de l'approche pour étudier/qualifier un matériau sur certains descripteurs, et cela quel que soit le type de matériaux. Cette approche a déjà fait l'objet de travaux [Mehinagic et al., 2003 ; Soufflet, 2005 ; Le Moigne et al., 2008], et ces études tendent à démontrer que pour certains descripteurs la méthode instrumentale a souvent été plus discriminante, en apportant des niveaux de précisions plus élevés, que les évaluations basées sur le ressenti des sujets. Il est donc primordial de continuer dans cette voie, afin d'identifier, dans le contexte des matériaux bio-sourcés, quelles dimensions sont corrélées, quelles dimensions ne le sont pas. Cette approche pourrait permettre aux concepteurs de produits de mener des évaluations sensorielles approfondies, uniquement dans les cas où les mesures instrumentales ne sont pas corrélées aux mesures subjectives.

L'objectif est d'alléger le processus de choix des matériaux tout en conservant la prise en compte du ressenti du consommateur.

En conclusion, ces premiers résultats sont prometteurs et démontrent la pertinence de l'utilisation de l'évaluation sensorielle, seule ou couplée à des mesures instrumentales, dans

ce contexte spécifique des matériaux bio-sourcés pour aider les concepteurs à choisir ce type de matériaux. La question soulevée est maintenant de savoir comment utiliser ces résultats et comment ils vont impacter le processus d'éco-conception de produits. Nous abordons ce point dans la partie suivante en nous focalisant sur les stratégies de choix de matériaux en éco-conception. En effet, nous avons préféré garder une approche non pas basées sur les éco-matériaux mais plutôt sur les matériaux en général. En effet, ce qui peut être discuté pour les matériaux bio-sourcés concerne selon nous tous les autres matériaux. Cependant les discussions seront illustrées à partir des matériaux bio-sourcés FL20 étudiés dans le cadre de notre thèse.

3 Mise en perspectives des travaux par rapport au processus d'éco-conception : approche sur le choix des matériaux

Ce chapitre a pour ambition de mettre en perspective les travaux conduits sur l'évaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés (FL20) avec le processus d'éco-conception. Pour cela, nous évoquerons la discipline du « design sensoriel » qui englobe, notamment les méthodologies d'évaluation sensorielles. Ainsi dans la suite de cette discussion, nous positionnerons le design sensoriel dans une approche intégrant de manière implicite la qualité perçue et l'évaluation sensorielle.

3.1 De la place du design sensoriel dans le choix des matériaux dans une démarche d'éco-conception

Nos travaux soulèvent la question du positionnement du design sensoriel dans un contexte de choix de matériaux bio-sourcé FL20 en éco-conception. Comme évoqué dans les travaux de la littérature [Ashby, 2001 ; Karana et al., 2008 ; Alves et al., 2009], les matériaux en éco-conception doivent satisfaire différentes contraintes telles que : les contraintes environnementales liées à l'impact de ces matériaux sur l'environnement, les contraintes traditionnelles comme les contraintes techniques mais aussi des contraintes d'estime, d'usage, économiques ou encore de fabrication.

Nous avons mis en évidence, dans notre analyse des travaux de la littérature, que le design sensoriel (avec toutes ses méthodes) pouvait être relié aux contraintes d'estime positionnant cette discipline comme un moyen de caractériser et évaluer le ressenti sensoriel sur des produits et matériaux associés. Au-delà de ce lien que nous avons explicité au chapitre 4.1, il nous paraît nécessaire de discuter de la place du design sensoriel selon un point de vue plus général, plus global. Pour cela, nous proposons de considérer l'approche du choix des matériaux en conception de produits. Nous proposons, sur la base des travaux d'Ashby (2005) résumés en partie sur la Figure 47 de positionner le design sensoriel comme une discipline source pour supporter en partie le choix des matériaux en conception de produits.

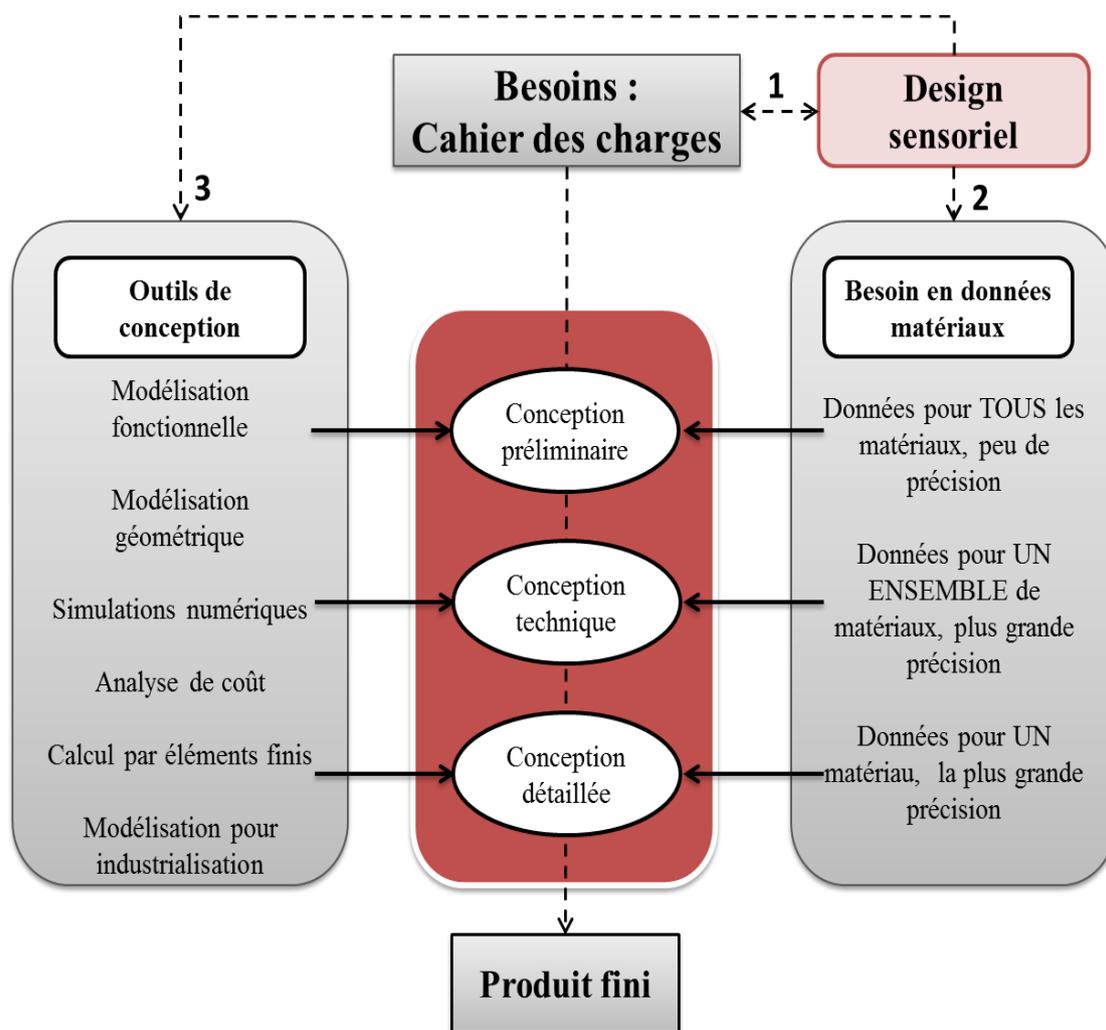


Figure 47. Choix des matériaux en conception adapté de Michael F. Ashby, 2005

Nous pensons ainsi sur la base des travaux d'Ashby (2005) que le design sensoriel peut avoir un intérêt au moins à trois niveaux.

- Le premier niveau (repère 1 de la Figure 47) doit permettre au designer sensoriel de participer à l'étape de création du cahier des charges. En effet, en accord avec d'autres auteurs et en particulier avec Lhéritier (2013), nous pensons qu'il est nécessaire d'intégrer au plus tôt les spécifications du designer sensoriel dans le processus de conception de produits.
- Au-delà de ce premier niveau, un deuxième niveau consiste à « alimenter » les bases de données matériaux selon des aspects sensoriels à l'aide des méthodes d'évaluation sensorielle (repère 2 de la Figure 47). En effet, au cours du processus de conception, les concepteurs ont besoin de données leur permettant de réaliser leurs choix selon de multiples critères déjà cités (technique, économique, environnemental etc.). Ces données sont d'ailleurs aujourd'hui très bien renseignées au niveau technique mais beaucoup moins au niveau sensoriel. Nous positionnons par exemple nos travaux de caractérisation de matériaux bio-sourcés FL20 dans ce contexte. En effet, nous pensons que nos caractérisations tactiles doivent être retrouvées dans des bases de données matériaux au même titre que les caractéristiques d'ordre plus technique. Cela permettra aux concepteurs d'avoir une grille de lecture plus complète concernant le profil des matériaux.
- Le troisième niveau doit permettre d'intégrer le design sensoriel et les méthodes associées aux outils du concepteur (Figure 47). En effet, dans un souci d'intégration des métiers en conception et de leur collaboration nécessaire [Prud et al., 2003], des travaux doivent être encore conduits pour intégrer au mieux ce métier aux outils du concepteur.

À partir de ce positionnement, nous souhaitons approfondir notre discussion sur ce deuxième niveau. Comme évoqué, nous mettons en évidence le besoin de pouvoir alimenter les bases de données matériaux en données sensorielles. Ainsi, elles devront prendre en compte aussi bien le sens du toucher traité dans nos travaux que les autres sens tel que le mentionne la Figure 48.

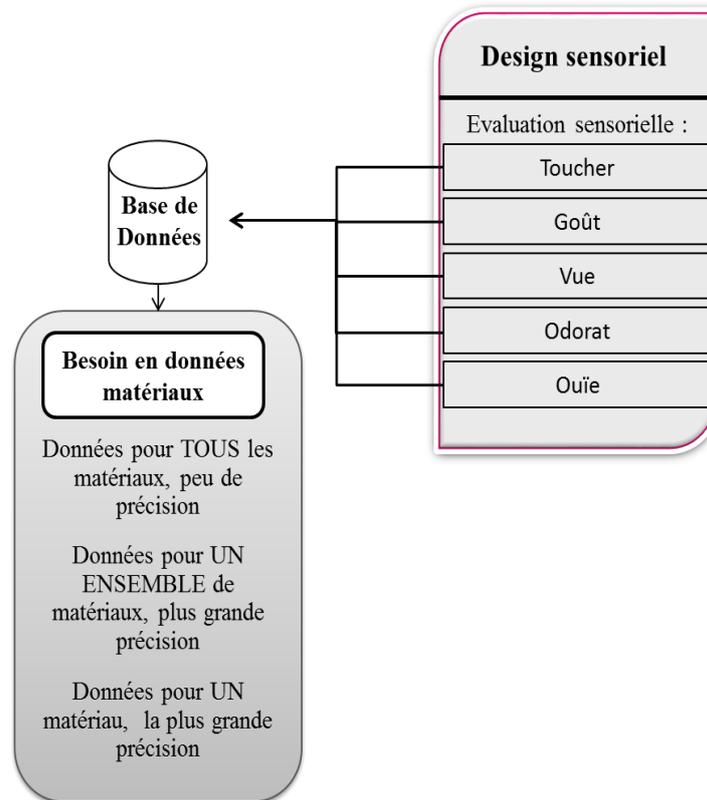


Figure 48. L'alimentation des bases de données matériaux à l'aide de l'évaluation sensorielle

Cependant, cette approche soulève des questionnements sur la formalisation de ces données pour soutenir le choix de matériaux. Nous évoquerons ce point dans la partie qui suit.

3.2 De l'intégration du design sensoriel dans un modèle multi-vue pour le domaine du choix des matériaux

Sur la base du positionnement du design sensoriel que nous venons de discuter, nous pouvons maintenant analyser son apport possible et plus spécifique dans la partie base de données matériaux. Nous fonderons notre réflexion sur nos travaux qui ont abouti à la mise en œuvre de profils sensoriels tactiles pour des matériaux bio-sourcés FL20. En effet, ces résultats peuvent être utilisés seuls pour choisir, selon le sens du toucher, ces matériaux parmi d'autres comme ceux à base de fibres de verre. Cependant, la plupart du temps, le choix des matériaux se fait dans un contexte où de nombreux critères doivent être pris en compte simultanément et le sensoriel doit faire partie de cette « équation » difficile. Ici, nous voyons apparaître une difficulté qui est d'intégrer et de faire coexister des données de natures

différentes (données techniques et sensorielles). Ainsi, au-delà des caractérisations sensorielles et de leur utilisation, il nous paraît nécessaire dans un premier temps de discuter de leur formalisme dans une approche qui se veut intégrer plusieurs critères à la fois. Ce formalisme pourra permettre d'alimenter les bases de données matériaux.

Pour cela, nous utilisons le modèle reconnu d'Ashby qui présente une approche multi-vue du domaine du choix des matériaux [Ashby, 2001 ; Ashby, 2005] (Figure 49).

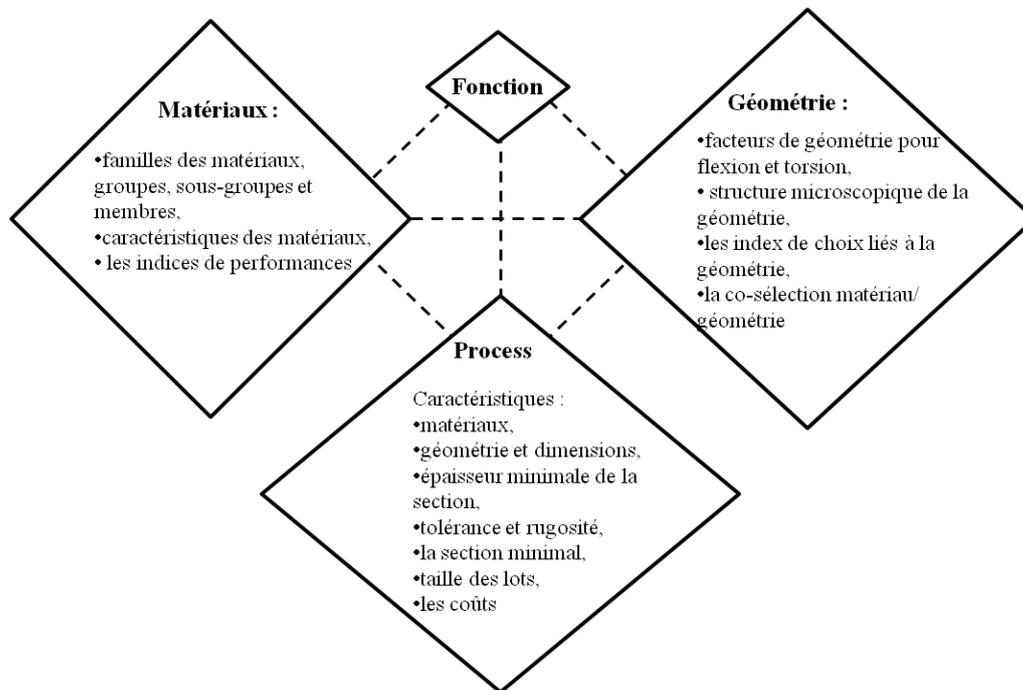


Figure 49. Modèle multi-vue du domaine du choix des matériaux détaillé selon Ashby, 2005

Selon Ashby, il est nécessaire d'avoir une vision mêlant matériaux, fonction, géométrie et process (procédés de fabrication). En effet, à titre d'exemple, le choix d'un matériau est fortement lié aux procédés de fabrication disponibles. La fonction, le matériau, la géométrie et le process interagissent donc ensemble.

Cependant, comme nous pouvons l'observer sur la Figure 49, ce modèle insiste peu sur les aspects sensoriels du matériau et du produit associé. En effet, les vues sont très orientées sur les aspects techniques du produit. Pour cette raison, des travaux ont repris ce modèle pour l'enrichir. Nous pensons notamment aux travaux de Karana (2009) qui proposent une approche basée sur un modèle plus global. Dans ce modèle, le concept de « sens » est associé au matériau. Karana (2009) identifie plusieurs aspects qui concourent à définir ce « sens ». Nous trouvons notamment des propriétés sensorielles et des propriétés techniques inspirées des travaux d'Ashby (2005). Ainsi, nous pouvons citer à titre d'exemple le

processus de fabrication, la géométrie, les fonctions mais aussi les propriétés sensorielles, l'âge, l'expertise et la culture de l'utilisateur qui tous ensemble peuvent affecter le sens du matériau [Karana et al., 2009 ; Karana et al., 2010].

Sur la base de cette approche, nous proposons donc de reprendre le formalisme multi-vue de Ashby afin d'ajouter les aspects sensoriels à travers l'apport du design sensoriel (Figure 50). Nous pensons que la vue fonctionnelle et la vue géométrique sont les principaux éléments devant être complétés au niveau du design sensoriel :

- *Vue fonctionnelle* (Figure 50) : selon la littérature évoquée dans notre état de l'art, nous proposons d'ajouter trois types de fonctions qui sont les fonctions techniques (déjà développées par Ashby), les fonctions d'usage et les fonctions d'estime. Ici, les fonctions d'estime, selon notre point de vue, seront traitées par le design sensoriel afin de fournir des informations caractérisant par exemple la qualité perçue.
- *Vue géométrique* (Figure 50) : pour cette vue, nous avons résumé les facteurs existants d'Ashby (Figure 49) par des critères techniques et matériaux. Nous leur ajoutons des critères d'estime. En effet, la géométrie du produit est directement reliée à la qualité perçue notamment visuelle et doit faire l'objet d'une caractérisation sensorielle.

L'ensemble des vues ainsi modifiées permet de mieux intégrer le design sensoriel ainsi que ses méthodes et de lier alors le design sensoriel aux autres critères de choix des matériaux.

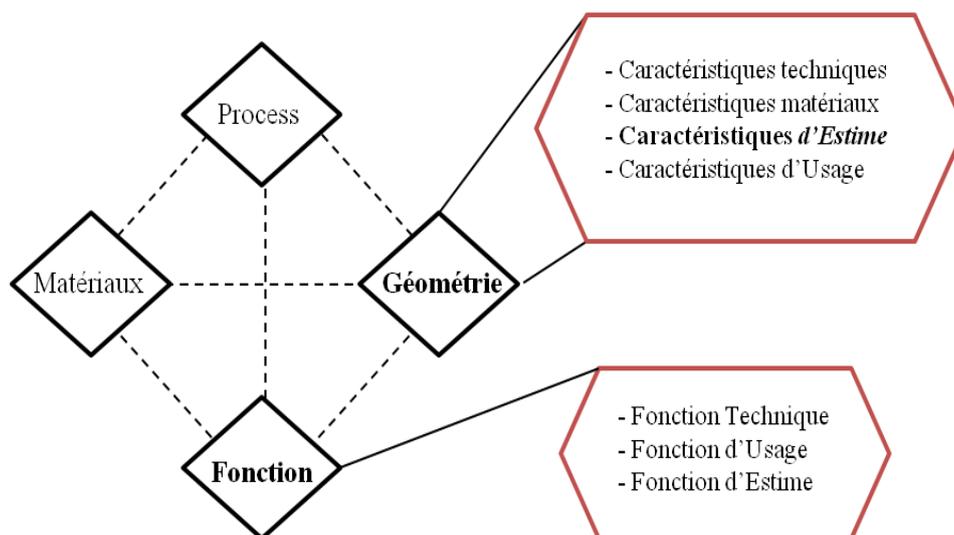


Figure 50. Modèle multi-vue du domaine du choix des matériaux adapté de Michael F. Ashby, 2005 pour les vues « fonction » et « géométrie »

Cet enrichissement du modèle multi-vue, que nous proposons doit permettre d'alimenter les bases de données matériaux selon un formalisme plus global prenant en compte aussi bien la technique, l'usage mais aussi l'estime. Nous arrivons donc à une vision plus générale du choix des matériaux présentée en Figure 51.

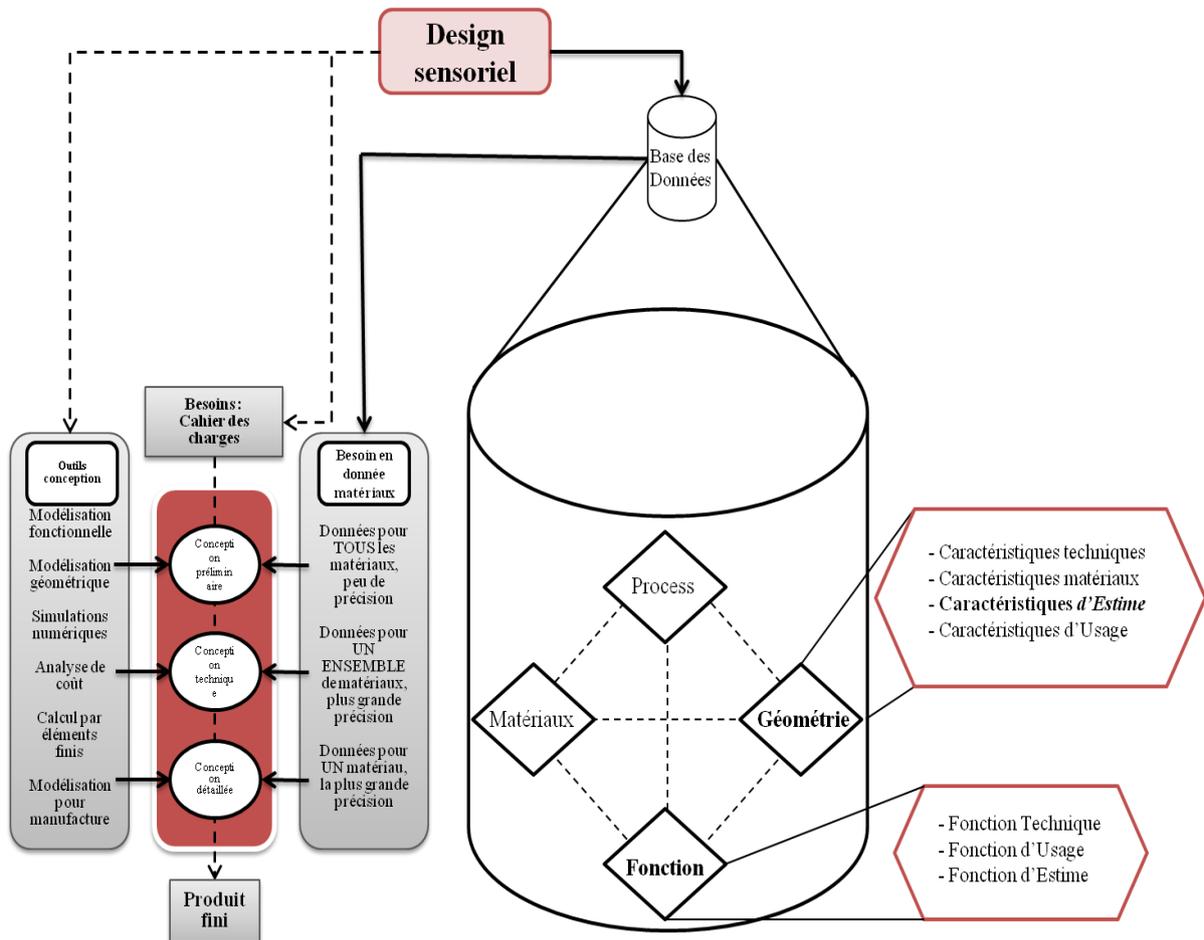


Figure 51. Vision globale de l'intégration de l'estime dans la stratégie de choix de matériaux, les lignes en pointillés représentent les liens possibles mais non étudiés dans nos travaux de recherche

Ainsi, en consultant les bases de données matériaux, il devient possible pour les concepteurs de retrouver des profils sensoriels comme ceux définis dans nos travaux sur les matériaux bio-sourcés à base de fibres de lin ou tout autre résultat obtenu pour une autre sensation ou un autre matériau bio-sourcé. Ainsi, à titre d'exemple, les figures 52 et 53 présentent les profils sensoriels pour le toucher des matériaux FL20, issus de nos travaux, qui pourraient être consultés et discutés dans le cadre d'un produit nouveau à concevoir.

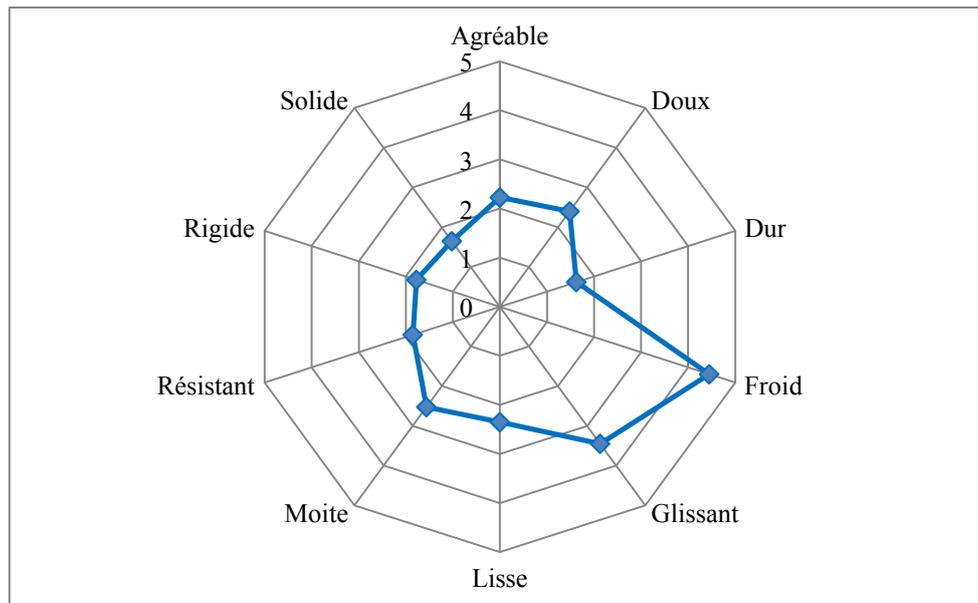


Figure 52. Profil sensoriel d'un matériau bio-sourcé de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin – surface finie

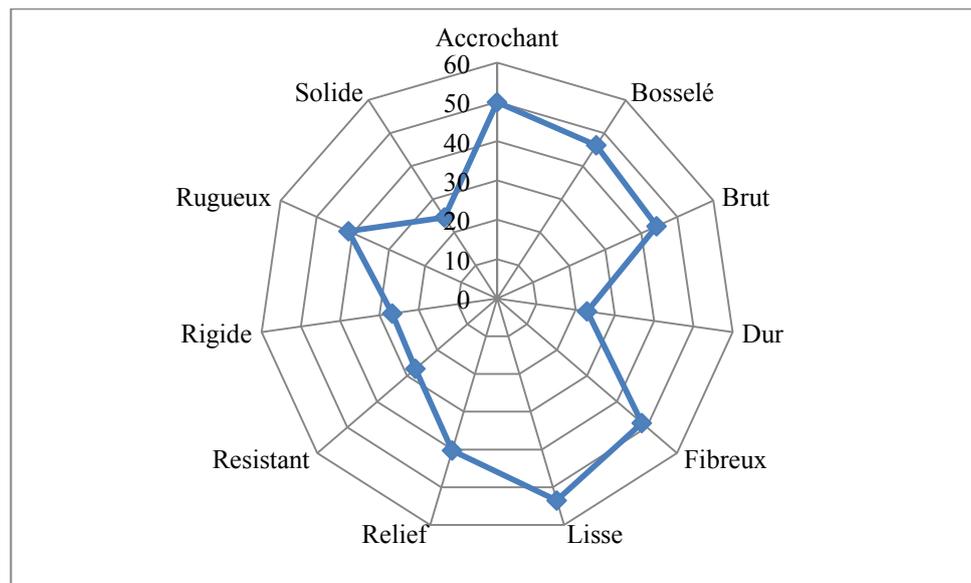


Figure 53. Profil sensoriel d'un matériau bio-sourcé de type éco-composite renforcé de 20 % de fibres de lin – surface brute

Une fois la base de données enrichie et les données formalisées, il est nécessaire d'apporter aux concepteurs une aide au choix. En effet, l'ensemble des critères aussi bien techniques que sensoriels peut vite devenir une somme d'informations difficilement gérable. Ainsi, nous discuterons dans le sous-chapitre suivant de la nécessité d'avoir un indicateur

global qui intègre dans son calcul le sensoriel au même titre que les autres besoins utilisateur évoqués dans la littérature.

3.3 De la nécessité d'un indicateur de choix intégrant le sensoriel

Le choix du matériau est une étape très importante dans le processus de conception de produits. Dans un contexte d'éco-conception, le choix est réalisé en mettant en relation les performances du matériau avec la performance technique, la performance économique, la performance environnementale et la performance liée à l'usage du produit [Field et al. 2001]. Cette problématique est traitée, dans certains cas, par la mise au point d'indicateurs de performance qui doivent intégrer les principaux critères de choix. Les travaux de Ribeiro et al. (2013) proposent ainsi un calcul d'indicateur dans une démarche d'éco-conception. Son calcul permet, sur le cycle de vie du produit, de prendre en compte les aspects économiques et environnementaux. Cependant, Ribeiro (2013) met en évidence le besoin de compléter son approche avec notamment plus d'informations sur les procédés de fabrication pour définir des coûts plus précis.

Nous pensons qu'il faut, aller encore plus loin en intégrant d'autres critères tels que ceux liés au facteur humain. Comme évoqué dans notre analyse des travaux de la littérature, les critères liés au facteur humain peuvent être définis selon des critères d'usage et d'estime. Il devient ainsi primordial de prendre en compte 5 critères qui sont d'ordre économique, technique, environnementale, lié à l'usage et lié à l'estime. Nous voyons ainsi le calcul d'un indicateur de performance (I_P) du matériau bio-sourcé FL20 comme une fonction de cinq indicateurs ($I_C, I_{ENV}, I_T, I_U, I_E$) liés respectivement aux coûts, à l'environnement, à la technique, à l'usage et à l'estime.

$$I_P = f(I_C, I_{ENV}, I_T, I_U, I_E)$$

La prétention de cette discussion n'est pas de proposer un modèle mathématique pour calculer cet indicateur mais plutôt de mettre en évidence que les indicateurs ici proposés sont tous reliés entre eux et plus spécifiquement à l'estime. Le schéma en Figure 54 représente l'ensemble de ces indicateurs et leur relation avec l'estime (les autres relations existent mais ne sont ni représentées, ni discutées, dans un souci de clarté) :

- R1 : lien entre estime et usage
- R2 : lien entre estime et technique
- R3 : lien entre estime et environnement
- R4 : lien entre estime et coûts.

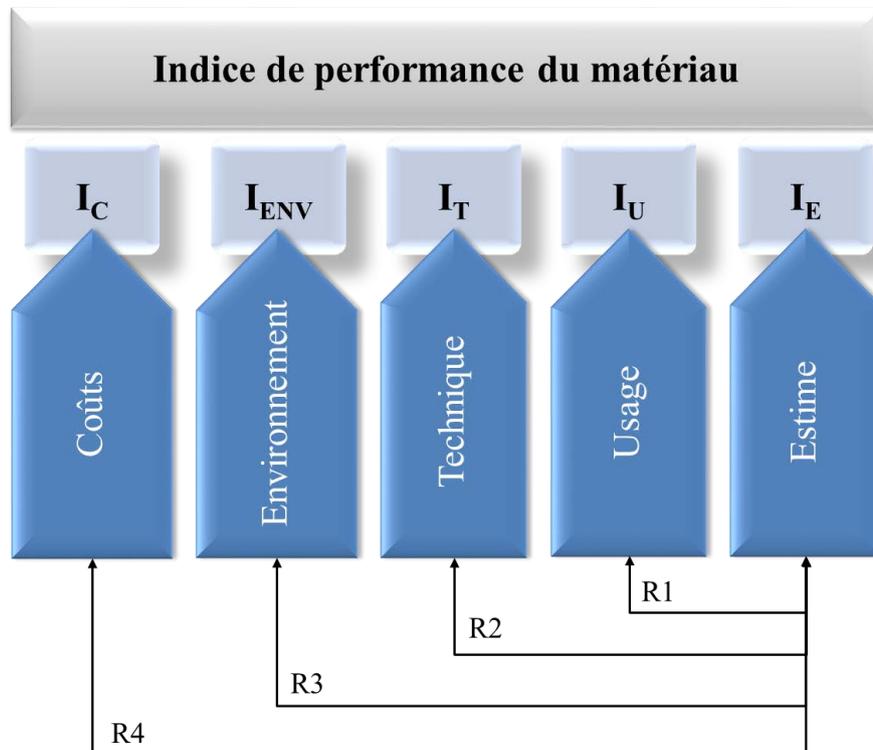


Figure 54. Indice de performance des matériaux intégrant l'indicateur lié à l'estime du produit à concevoir

Ces relations ainsi posées mettent en évidence des stratégies que peuvent mettre en œuvre les concepteurs afin de choisir les matériaux les plus adéquats dans une démarche d'éco-conception. En effet, les produits peuvent être à forte valeur d'usage, d'estime ou encore technique ce qui modifie leur importance dans le calcul de l'indicateur. D'ailleurs pour prendre en compte cette variabilité, les indicateurs rencontrés dans la littérature mettent souvent en œuvre des pondérations [Ribeiro et al., 2013].

Nous proposons de discuter de cette approche vis-à-vis des résultats obtenus lors de nos expérimentations sur les matériaux à base de fibres de lin. A titre d'exemple, nous pouvons discuter de la relation R1 « usage/estime ». Dans la littérature, certains travaux proposent de mettre en valeur les outils de scénario d'usage dans une démarche d'éco-conception [Domingo, 2013]. Le scénario d'usage est ainsi un moyen adéquat pour l'évaluation prospective du produit au niveau environnemental (lien non-représenté mais

existant entre usage et environnement). Il permet ainsi de mettre en évidence des moments cruciaux lors de l'utilisation du produit par l'utilisateur qui auront un impact sur l'environnement.

Pour aller plus loin et en lien avec nos travaux sur les matériaux bio-sourcés FL20, il est aussi envisageable d'utiliser ces scénarios pour aider le designer sensoriel à mettre en évidence les sensations à tester dans ses protocoles d'évaluation sensorielle. En effet, le choix de la sensation doit être dépendant de l'étape du cycle de vie du produit étudiée mais aussi fonction du type de représentativité attendue [Crochemore et al., 2004]. Pour nos essais, nous avons choisi le toucher selon des considérations théoriques et pratiques. Avec cette relation, nous formalisons de manière complémentaire le choix de la sensation à étudier durant les protocoles d'évaluation sensorielle. Ainsi, si le scénario d'usage indique que le produit doit être saisi entre le pouce et un ou plusieurs doigts ou saisi avec toute la main, il pourra être nécessaire pour l'analyse sensorielle de se focaliser sur les aspects de toucher selon une procédure exploratoire de type « enveloppement » [Lederman et al., 2009].

Nous pouvons aussi discuter de la relation R2 « estime/technique ». Cette relation met en valeur deux objectifs :

- Le premier est l'opportunité de corréler critères techniques et critères sensoriels. Dans le cadre de nos travaux, nous avons notamment mis en évidence la corrélation entre la mesure instrumentale et la mesure sensorielle de la rugosité des matériaux bio-sourcés FL20. Ici, la relation R2 permet de développer une approche systématique qui permettra de tester l'ensemble des liens potentiels entre descripteurs sensoriels et techniques pour un matériau donné. Nous justifions ici d'une autre manière la discussion réalisée sur le même thème au chapitre II.
- Le second objectif s'applique aux descripteurs (technique et sensoriel) qui ne seraient pas corrélés. La possibilité est ainsi offerte aux concepteurs de fournir des outils de choix mêlant les domaines liés au sensoriel et aux aspects techniques. Par exemple, la Figure 55 propose de positionner, de manière illustrative, différentes familles de matériaux bio-sourcés FL20 en fonction de leur ressenti tactile en abscisse et de leur masse volumique en ordonnée. L'objectif pour le concepteur pourrait être par exemple de choisir un matériau en fonction du ressenti tactile « rugosité » et de son poids. Sur la base du graphique, il peut par exemple choisir le « matériau 1 » de la famille de matériaux A (Figure 55) qui a une masse volumique élevée et un ressenti

tactile rugueux élevé. Par contre, si le concepteur a besoin d'un gain de poids, il peut choisir le « matériau 2 » de la famille de matériaux B qui a une masse volumique moins élevée.

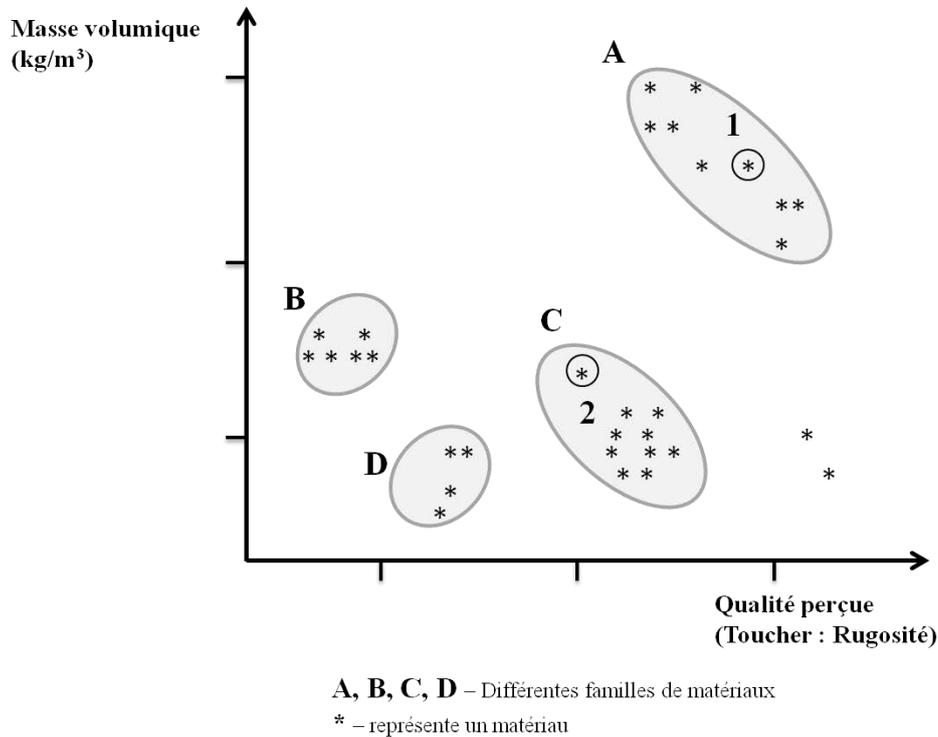


Figure 55. Position des familles des matériaux bio-sourcés FL20 selon la qualité perçue et les aspects techniques

Les deux dernières relations évoquées ne sont pas détaillées ici mais sont similaires, en termes d'objectifs, à ce qui a été décrit pour R1 et R2.

Finalement, cet indicateur I_p que nous proposons d'étudier pose aussi la question des phases de convergence qui sont au cœur des processus de décision en conception de produits. L'étude des phases de convergence est conduite au sein de notre équipe dans le cadre de nombreux travaux [Guerlesquin, 2012 ; Al-Khatib et al., 2013]. En effet, l'ensemble des indicateurs évoqués constitue une base d'informations qui doivent être comprises et discutées par/entre des concepteurs de disciplines différentes.

Ces discussions ouvrent la voie à des travaux ultérieurs qui seront présentés dans la partie de conclusion et perspectives qui suit.

CHAPITRE V

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

1 Conclusion

Manager avec le sensoriel dans la conception et le développement des produits, c'est un peu humaniser les produits à travers une meilleure intégration du facteur humain. Nos travaux de recherche présentés dans ce mémoire ont porté sur l'évaluation sensorielle d'un matériau bio-sourcé dans une démarche d'éco-conception de produits. Afin de mettre en relief les principales contributions de nos travaux, nous évoquons les différents domaines dans lesquels notre travail se déroule, les étapes de notre approche et son application.

Dans un premier temps, nous avons positionné notre recherche dans le domaine de la conception de produits mécanique. Pour affiner ce positionnement, nous nous sommes focalisés sur la nécessité pour les concepteurs d'innover par le facteur environnemental. Nous avons mis en évidence l'importance des processus d'éco-conception de produits en tant que réponse à l'intégration de l'environnement. Les stratégies d'éco-conception visent une amélioration environnementale radicale et se focalisent sur le service que doit fournir le produit au consommateur avec des améliorations sur la qualité, l'équité, l'harmonie environnementale au sein de l'entreprise. Le domaine de l'éco-conception étant particulièrement vaste, dans le cadre de ce travail de recherche, nous nous sommes positionnés sur l'étude des matériaux bio-sourcés non alimentaire, et plus spécifiquement sur ceux issus de la fibre de lin.

Pour l'introduction des matériaux bio-sourcés et pour leur utilisation dans la conception des produits, il est nécessaire de s'intéresser aux besoins auxquels ils doivent répondre. Nous nous sommes ainsi proposé de vérifier si les produits bio-sourcés respectaient les besoins évoqués, en faisant appel au domaine de la qualité perçue (facteur d'innovation) qui traite de la valeur d'estime des produits. Comme la qualité perçue représente la satisfaction du consommateur et un système global de jugement, il nous était nécessaire d'étudier le processus permettant de décrire précisément les propriétés sensorielles des matériaux afin de prédire les sensations portées par un produit. Ainsi, nous avons fait le constat que de nombreux travaux traitent des caractéristiques techniques des matériaux bio-sourcés, mais que les questions qui restent posées portent sur la qualité perçue de ces matériaux, sur leurs aspects sensoriels. Il en résulte que notre problématique peut se résumer à la question suivante « *Comment démontrer que d'un point de vue sensoriel, les produits fabriqués avec des matériaux bio-sourcés sont au moins équivalents aux produits fabriqués*

avec des matériaux synthétiques ? ». D'une autre manière, « Est-ce que ces nouveaux matériaux bio-sourcés peuvent remplacer progressivement les matériaux synthétiques dans la conception de certains produits ? ».

Pour répondre à cette problématique, nous avons décidé d'utiliser les méthodes et outils de l'analyse sensorielle basée sur l'évaluation sensorielle tactile d'un matériau / produit bio-sourcé. Ainsi, nous avons mené une série d'expérimentations sur le ressenti subjectif des matériaux nous permettant de vérifier et de valider différentes hypothèses de recherche sur les similitudes et différences de ressenti subjectif entre matériaux bio-sourcés FL20 et matériaux synthétiques FV20.

Nos différentes expérimentations nous ont permis de montrer qu'il est possible de construire une liste de descripteurs communs aux différents types de matériaux bio-sourcés / synthétiques étudiés et cela en fonction des types de surfaces. Ainsi, ces résultats, nous ont amené, à proposer une liste commune de descripteurs pour les matériaux bio-sourcés FL20 et pour les matériaux synthétiques FV20.

Ce premier résultat nous a permis de poursuivre notre étude des matériaux bio-sourcés FL20 et notamment de leur ressenti subjectif, en comparaison avec les matériaux synthétiques FV20. Il est clairement apparu que pour les surfaces brutes, le ressenti subjectif entre les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 est globalement différent. Par contre, pour les surfaces finies, le ressenti subjectif est globalement similaire entre les deux types de matériaux.

Ces résultats ont été complétés par un approche instrumentale qui nous a permis de démontrer des corrélations entre la mesure instrumentale objective et le ressenti subjectif, mais uniquement pour la rugosité des matériaux.

Ces différentes expérimentations nous ont permis d'apporter des premiers éléments de réponse à notre problématique. D'une part, il est apparu que l'analyse sensorielle semble être un outil pertinent et efficace pour étudier les similitudes et différences entre les différents types de matériaux. D'autre part, nos travaux de recherche, démontrent que les matériaux bio-sourcés FL20 semblent pouvoir remplacer les matériaux synthétiques FV20 lorsqu'ils sont utilisés avec des surfaces finies. En effet, nos expérimentations démontrent que le profil sensoriel est similaire pour les surfaces finies. Ainsi, les matériaux bio-sourcés FL20 semblent avoir un bel avenir dans le domaine d'innovation produits, avec une qualité perçue, équivalente aux matériaux synthétiques FV20, et donc adaptés aux habitudes du consommateur.

Enfin, nous avons discuté de nos résultats selon deux aspects. Le premier a traité des apports et compléments à apporter à l'évaluation sensorielle des matériaux bio-sourcés FL20. Nous avons notamment mis en évidence la nécessité de pouvoir compléter notre première approche avec des panels entraînés. De plus nous avons proposé d'étudier d'autres sensations et de compléter les corrélations entre données instrumentales objectives et données sensorielles [Blancher, 2007]. Le second aspect concernait la place du design sensoriel dans le processus de conception de produits et du choix des matériaux en particulier. Nous avons proposé un positionnement du design sensoriel et de ces méthodes à trois niveaux (cahier des charges, outils de conception et besoins en données matériaux). Concernant, les besoins en données matériaux, sur la base d'un modèle multi-vue du choix des matériaux, nous avons proposé un formalisme aux bases de données. Enfin, nous avons proposé le développement d'un indicateur global permettant de prendre en compte les relations entre l'estime et les facteurs économiques, techniques, environnementaux et d'usage.

Ces résultats offrent un certain nombre de perspectives de travail que nous développons dans la partie qui suit.

2 Perspectives

Les résultats obtenus dans le cadre de nos travaux semblent démontrer la pertinence de nos expérimentations et nous permettent de répondre en partie à notre problématique de recherche. Toutefois, de nombreux axes de recherche restent à explorer. Nous retiendrons deux pistes de réflexions principales : l'une à court terme concernant l'amélioration des protocoles d'évaluations sensorielles, l'autre à moyen et long terme concernant l'intégration des résultats issus de l'évaluation sensorielle dans le processus de conception de produits.

2.1 Améliorations et compléments des protocoles d'évaluations sensorielles

Comme évoqué dans la discussion, les protocoles d'évaluations sensorielles mis en œuvre présentent quelques faiblesses vis-à-vis de la rigueur nécessaire dans le cadre de l'évaluation sensorielle en accord avec Lhéritier (2013). Cela s'explique par le fait que ces

travaux voulaient proposer une première approche de l'étude des matériaux bio-sourcés à base de fibre de lin d'un point de vue tactile pour répondre au manque de références concernant ce domaine. En effet, comme évoqué dans notre état de l'art, peu, pour ne pas dire pas, de travaux se sont intéressés aux ressentis subjectifs résultant du toucher sur les matériaux bio-sourcés à base de fibre de lin, encore moins dans leur exploitation dans la conception et le développement de produits.

Un certain nombre de points demande à être approfondi en se basant sur les méthodologies d'évaluation sensorielle pour exploiter pleinement les résultats obtenus. Comme mentionné précédemment, il s'agit essentiellement d'utiliser dans le cadre des expérimentations, un panel formé et entraîné spécialisé dans le ressenti subjectif des matériaux synthétiques et bio-sourcés. Dans la suite logique, il s'agit de baser nos expérimentations sur des listes de descripteurs construites par un panel d'experts et/ou valider par plusieurs expérimentations. Cependant, le fait de travailler avec des panels non entraînés nous paraît intéressant dans le cadre du développement de nouveaux matériaux. Il serait pertinent selon nous d'étudier l'intégration de ce type moins « lourd » d'évaluations sensorielles lors du développement de nouveaux matériaux pour juger de leur faisabilité et de leurs apports. Dans ce contexte spécifique des matériaux bio-sourcés, en plein expansion, pouvoir obtenir rapidement des informations sensorielles concernant ces matériaux au cours de leur définition nous semble être prometteur.

De plus, dans le cadre de nos expérimentations, nous nous sommes uniquement focalisés sur la modalité tactile. Pour approfondir nos résultats, il serait intéressant de s'intéresser aux autres modalités sensorielles impliquées dans la perception des matériaux bio-sourcés. En première approche, la modalité visuelle nous semble pertinente. Une étude basée sur les différences de ressenti des couleurs, des textures, apporterait des éléments complémentaires à nos travaux [Cance, 2008].

Il pourrait également être intéressant de s'intéresser à la modalité olfactive. En effet, du fait de leur origine végétale, les matériaux bio-sourcés semblent dégager une odeur différente des matériaux synthétiques. Ce facteur pourrait s'avérer particulièrement intéressant à étudier car il peut fortement impacter le comportement des consommateurs et leur acceptation des produits concernés [Auffarth, 2013].

Un autre point, nous semblant pertinent à creuser, est la systématisation des recherches de corrélations entre les mesures objectives et les mesures subjectives. Ainsi, pour compléter nos résultats sur la rugosité et la dureté, il pourrait être intéressant d'étudier les corrélations

entre le descripteur « Résistant » et des résultats d'essai de traction indiquant l'élasticité des matériaux. De même, nous pourrions étudier les corrélations entre le descripteur « Relief » et les mesures instrumentales d'irrégularité de surface mesurée avec un profilomètre 3D. Des essais de tribologie (ou de friction), pourraient être pertinents pour étudier les descripteurs comme « Glissant » ou « Lisse ».

Un dernier point, nous semblant particulièrement intéressant à approfondir, est de se questionner, non plus uniquement sur les sensations des consommateurs mais également sur leurs préférences. Ainsi, il pourrait être approprié de mener des études hédoniques, basées sur le plaisir des consommateurs face à ces nouveaux matériaux. L'objectif étant, ainsi de pouvoir proposer des cartographies des préférences alliant profils sensoriels construits par des panelistes formés et préférence consommateurs [Depledt, 2009]. Cette cartographie des préférences finalisées permettrait d'offrir aux designers spécialisés en design sensoriel, ou aux concepteurs une base documentée facilitant leurs choix entre matériaux synthétiques et matériaux bio-sourcés. De plus, dans les aspects hédoniques, un certain nombre d'autres facteurs peuvent rentrer en ligne de compte, ainsi, il pourrait être intéressant de faire des études sur des consommateurs informés des origines végétales des matériaux afin de mesurer l'impact de cette origine sur leurs préférences.

Ces perspectives à court terme sont, selon nous, une première étape indispensable pour approfondir nos travaux. Dans la partie suivante, nous proposons des perspectives à moyen et plus long terme sur notamment la place du design sensoriel dans la conception de produits.

2.2 Intégration des résultats de l'analyse sensorielle dans le processus de conception de produits

Nos travaux de recherche, nous ont amené, à proposer des profils sensoriels des matériaux bio-sourcés FL20 (à base de fibres de lin) et des matériaux synthétiques FV20 (à base de fibres de verre) pour les surfaces brutes et pour les produits finis. En généralisant nos résultats à d'autres types de fibres végétales ou d'autres matériaux bio-sourcés, ces profils sensoriels devraient permettre d'offrir aux designers spécialisés en design sensoriel, ou aux concepteurs une base documentée facilitant les choix entre matériaux synthétiques et matériaux bio-sourcés afin de garantir la qualité perçue de leurs produits. Ainsi, les profils

proposés peuvent devenir des aides aux choix des matériaux pour les équipes de conception favorisant la prise en compte de la qualité perçue du produit. Cependant afin de permettre aux concepteurs d'appréhender dans de bonnes conditions ces nouveaux critères de choix, il nous paraît nécessaire de développer de nouveaux travaux.

Tout d'abord, nous pensons que le design sensoriel, ainsi que les méthodes et outils associés, doit être encore plus intégré aux processus de conception de produits mais aussi d'éco-conception. En effet, comme évoqué dans nos travaux, la qualité perçue, qui est traitée par le designer sensoriel, est identifiée comme un critère central dans le comportement d'achat des consommateurs [Guerra, 2008], mais cependant son approche sensorielle n'est pas systématisée dans le processus de conception de produits. Tout comme pour les disciplines carrefour évoquées dans notre état de l'art, le rôle du designer sensoriel doit être étudié et réfléchi pour lui permettre de se positionner à part entière comme un co-concepteur. Pour cela, les outils classiques de conception devront être adaptés. Il serait par exemple intéressant de s'interroger sur l'intégration des travaux du designer sensoriel dans des outils tels que le cahier des charges fonctionnel. Celui-ci pourrait reprendre à la fois des caractéristiques sensibles mais aussi techniques. De plus, pour compléter, le paragraphe précédent de perspectives concernant l'approche sensorielle, nous pourrions y retrouver également les préférences des consommateurs avec une approche hédonique.

Un autre aspect à traiter, au cours de travaux futurs, porte plus spécifiquement sur l'étape du choix des matériaux en conception. En effet, comme évoqué dans le chapitre de discussions, le design sensoriel doit permettre d'aider les concepteurs dans leurs choix. Afin d'intégrer les matériaux bio-sourcés et leurs caractéristiques en terme de ressenti, nous avons montré que les résultats des évaluations sensorielles (les profils...) pouvaient être intégrés aux bases de données matériaux au même titre que les aspects techniques. Cette intégration doit être suivie par l'étude de la formalisation de fiches de données matériaux sur la base du modèle multi-vue proposé dans notre discussion. Ces fiches devront permettre aux concepteurs de consulter aussi bien des données techniques que sensorielles. Ces travaux ultérieurs devront notamment proposer les moyens et les supports les plus adéquats pour retranscrire des données de natures différentes.

Concernant, le choix des matériaux, il nous apparaît aussi opportun de pouvoir développer des travaux sur les indicateurs de performance. En effet l'indicateur global évoqué dans notre discussion propose plusieurs perspectives. La relation entre scénario d'usage prospectif et évaluation sensorielle nous semble prometteuse pour aider les travaux du

designer sensoriel. Il serait intéressant d'étudier l'apport de ces scénarios pour le designer sensoriel tout au long du processus de conception et de choix de matériaux par exemple.

Ainsi, une autre perspective à nos travaux réside dans la relation qui existe entre le métier du designer sensoriel et de l'ergonome. En effet, comme évoqué dans notre état de l'art, ces deux métiers s'intéressent aux facteurs humains sur des besoins différents mais toutefois complémentaires. Il paraît évident que les méthodes et outils des deux métiers peuvent trouver des point de convergence afin de les aider à développer des produits adaptés à l'Homme en accord avec toutes ses dimensions. Des travaux au sein de notre équipe sont d'ailleurs en cours sur le sujet [Sagot et Charrier, 2012 ; Charrier et al., 2013].

Finalement, l'ensemble de ces perspectives nous ouvre une porte sur des travaux portant sur les phases de convergence multidisciplinaire concernant les choix de matériaux en conception. Les travaux d'Al Khatib (2013) en cours au sein de notre équipe pourraient être un cadre théorique de départ pour ces perspectives. En effet, le choix du matériau implique de nombreuses contraintes toutes liées à des métiers différents. Ces contraintes sont défendues par des acteurs de la conception aux objectifs et intérêts parfois divergents. La problématique de ces travaux pourrait être d'étudier comment aider les concepteurs à donner autant de place que possible aux contraintes environnementales et sensorielles dans le développement de leurs produits.

CHAPITRE VI

BIBLIOGRAPHIE

- [**AFAV, 1998**] AFAV, Exprimer le besoin, Contributions de la demarche fonctionnelle, Eds. AFNOR, Paris, 1998.
- [**AFNOR NFX50-109**] ARNOR – 50, Relations fournisseurs-utilisateurs, durée de vie, qualité, analyse de la valeur, NFX 50-109 – Gestion de la qualité, vocabulaire.
- [**AFNOR, 2004**] AFNOR (2004). Caractérisation sensorielle des matériaux–Recommandations pratiques pour l'analyse tactile de la matière première au produit fini, Référentiel de Bonnes Pratiques BP X10-041, La Plaine Saint Denis: AFNOR Editions.
- [**Al-Khatib et al., 2013**] Al Khatib, A., Mahdjoub, M., Bluntzer, J. B., & Sagot, J. C. (2013). A Tool Proposition to Support Multidisciplinary Convergence in Immersive Virtual Environment: Virtusketches. In Smart Product Engineering (pp. 795-804). Springer Berlin Heidelberg.
- [**Allione et al., 2012**] Allione, C., De Giorgi, C., Lerma, B., & Petruccelli, L. (2012). From ecodesign products guidelines to materials guidelines for a sustainable product. Qualitative and quantitative multicriteria environmental profile of a material. *Energy*, 39(1), 90-99.
- [**Alvelos et al., 2007**] Alvelos, H., & Cabral, J. A. (2007). Modelling and monitoring the decision process of wine tasting panellists. *Food Quality and Preference*, 18(1), 51-57.
- [**Alves et al., 2009**] Alves, C., Ferrão, P. M. C., Freitas, M., Silva, A. J., Luz, S. M., & Alves, D. E. (2009). Sustainable design procedure: the role of composite materials to combine mechanical and environmental features for agricultural machines. *Materials & Design*, 30(10), 4060-4068.
- [**Amezquita et al., 1995**] Amezquita T., Hamond R., Bras B., (1995). Design for Remanufacturing, Proceeding of ICED95.
- [**Andréani, 2002**] Andreani, J. C. (2001). Marketing du produit nouveau: 95% des produits nouveaux échouent. Les managers sont en cause, les études de marché aussi. *Revue française du marketing*, (182), 5-12.
- [**Aoussat et Le Coq, 1998**] Aoussat, A., & Le Coq, M. (1998). Méthodes globales de conception de produits. *Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils, sous la direction de Tollenaere, Editions HERMES*, 53-76.
- [**Ashby, 2001**] Ashby, M. F. (2001). Drivers for material development in the 21st century. *Progress in materials science*, 46(3), 191-199.
- [**Ashby, 2005**] Ashby, M. F. (2005). Materials selection in mechanical design. *MRS BULLETIN*, 30, 995.
- [**Asimov, 1962**] Asimov, M. (1962) Introduction to Design, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [**Auffarth, 2013**] Auffarth, B. (2013). Understanding smell—The olfactory stimulus problem. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1667-1679.
- [**Auras et al., 2004**] Auras, R., Harte, B., & Selke, S. (2004). An overview of polylactides as packaging materials. *Macromolecular bioscience*, 4(9), 835-864.

- [**Babakus et Boller, 1992**] Babakus, E., & Boller, G. W. (1992). An empirical assessment of the SERVQUAL scale. *Journal of Business research*, 24(3), 253-268.
- [**Bakker, 1995**] Bakker, C. A. (1995). Environmental information for industrial designers. Delft University of Technology, PhD Thesis, Delft, Pays-Bas, pp. 221.
- [**Baley et al., 2004**] Baley, C., Grohens, Y., & Pillin, I. (2005). Etat de l'art sur les matériaux composites biodégradables. *Revue des composites et des matériaux avancés*, 14(2), 135-166.
- [**Balin et Giard, 2007**] Balin S., Giard V., (2007). La qualité des services et leurs processus de production, 7ème Congrès international de génie industriel, Trois-Rivières, Québec.
- [**Barbaras, 1994**] Barbaras R., (1994). La perception – essai sur le sensible, Paris : Hatier, Coll. Optiques.
- [**Barthes, 1957**] Barthes R., (1957). Mythologies, Paris : Editions du Seuil.
- [**Basdogan et al., 2004**] Basdogan, C., De, S., Kim, J., Muniyandi, M., Kim, H., & Srinivasan, M. A. (2004). Haptics in minimally invasive surgical simulation and training. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 24(2), 56-64.
- [**Basse-Normandie, 2012**] Région Basse-Normandie, (2012). Les matériaux bio-sourcés produits et/ou utilisés en Basse-Normandie, Page consulté en ligne : <http://www.cr-basse-normandie.fr/> , (consultée le 25.07.2013).
- [**Bassereau, 1995**] Bassereau, J. F. (1995). *Cahier des charges qualitatif design, élaboration par le mécanisme des sens* (Doctoral dissertation).
- [**Bassereau et al., 2009**] Bassereau, J-F., BASSEREAU, J. F., CHARVET-PELLO, R., & BONNAMY, L. (2009). Design sensoriel. *Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle*, (AG2310).
- [**Bassereau et Lefebvre, 2004**] Bassereau J.F., Lefebvre A., (2004). L'arborescence sensorielle à branches dichotomisées, une alternative prometteuse au profil sensoriel dans l'histoire des méthodes descriptives quantitatives.
- [**Bavay et al., 2013**] Bavay, C., Brockhoff, P. B., Kuznetsova, A., Maître, I., Mehinagic, E., & Symoneaux, R. (2013). Consideration of sample heterogeneity and in-depth analysis of individual differences in sensory analysis. *Food Quality and Preference*.
- [**Beitz, 1993**] Beitz, W. (1993, August). Designing for Ease of Recycling--General Approach and Industrial Applications. In *The ninth International Conference on Engineering Design (ICED)* (pp. 325-332).
- [**Besseris, 2012**] Besseris, G. J. (2012). Eco-design in total environmental quality management: Design for environment in milk-products industry. *The TQM Journal*, 24(1), 47-58.
- [**Biagotti et al., 2004**] Biagotti, J., Puglia, D., & Kenny, J. M. (2004). A review on natural fibre-based composites-part I: structure, processing and properties of vegetable fibres. *Journal of Natural Fibers*, 1(2), 37-68.

- [Blancher, 2007]** Blancher, G. (2007). *Perception sensorielle de la texture de gels en France et au Vietnam et prédiction des profils sensoriels par des mesures instrumentales* (Doctoral dissertation, ENSIA (AgroParisTech)).
- [Blanco, 1998]** Blanco, J. C. (1998). *Mamíferos de España II. Cetáceos, Artiodáctilos, Roedores y.*
- [Bledzki et Gassan, 1999]** Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*, 24(2), 221-274.
- [Blumenthal, 2001]** Blumenthal, D. (2001). *Contribution à la caractérisation de produits complexes non anonymes-application à l'évaluation du confort de l'habitable avant des véhicules automobiles* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Industries Alimentaires (ENSIA)).
- [Bluntzer, 2009]** Bluntzer, J. B. (2009). *Intégration des savoir-faire métier produit-process pour une amélioration de la productivité en développement de produits de style* (Doctoral dissertation, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard).
- [Bocquet, 1998]** Bocquet J.-C., (1998), *Ingénierie simultanée, conception intégrée. Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils*, Editions Hermès, pp. 29-53
- [Bolton et Drew, 1991]** Bolton R. N. & Drew J. H., (1991). A multistage model of customers' assessments of service quality and value. *Journal of Consumer Research*, vol., 17, n° 4, p.375.
- [Bonnet, 1986]** Bonnet, C. (1986). *Manuel pratique de psychophysique*. A. Colin.
- [Bossard et al., 1997]** Bossard P. et coll., (1997). *Ingénierie Concourante. De la technique au social*. Collection Gestion. Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion, Ed. Economica, Paris, pp. 166.
- [Bouarfa et al., 2006]** Bouarfa M., Dia M., Miecerek C., Pense Lhéritier A.M., Dufour Etienne F., (2006). *Développement d'un produit cosmétique et maîtrise des risques associés*, CONFERE, Marrakech.
- [Bouché, 2005]** Bouché N., (2005). *L'évaluation sensorielle chez Decathlon*. Séminaire Stratégie Marketing sensoriel, Juillet, Paris.
- [Brady et Cronin, 2001]** Brady M. K. and Cronin J. J., (2001). Some New Thoughts on Conceptualizing Perceived Service Quality: A Hierarchical Approach, *Journal of Marketing*, vol. 65, Juillet, pp. 34-49.
- [Brangier et Barcenilla, 2003]** Brangier E. et Barcenilla J., (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser*. Editions d'Organisation, pp. 262.
- [Brangier, 2003]** Brangier, E., Barcenilla, J. (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser : Adapter les technologies à l'homme*. Paris: Editions d'Organisation. 2003. 261p. ISBN: 2-7081-2900-7.
- [Brezet et Van Hemel, 1997]** Brezet, H., Van Hemel, C., United Nations Environment Programme. Industry and Environment (Paris)., Rathenau Instituut (# The# Hague)., & Delft

University of Technology (Delft). (1997). *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption*. H. Böttcher, & R. Clarke (Eds.). UNEP.

[Bringuy, 2004] Bringuy S., (2004). Aiguiser son toucher avec Sensotact®. Contrôles, Essais, mesures.

[Roussel et al., 2008] Roussel, M., & Godefroy, O. (2008). La batterie GREFEX: données normatives. *Godefroy O, GREFEX (éds). Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. Marseille: Solal, 231-52.*

[Buisine et Roussel, 2008] Buisine, S. and Roussel, B. (2008). Analyse de l'usage. La conception industrielle de produits (Vol. 3, pp 43-60). Hermès Sciences.

[Cance, 2008] Cance, C. (2008). *Expériences de la couleur, ressources linguistiques et processus discursifs dans la construction d'un espace visuel: l'habitacle automobile* (Doctoral dissertation, Université de la Sorbonne nouvelle-Paris III).

[Cardello et al., 2003] Cardello A.V., Winterhalter C. & Shutz H.G., (2003). Predicting the handle and comfort of military clothing fabrics from sensory and instrumental data: development and application of new psychological methods. *Textile Research Journal*, vol. 73, n°3, pp. 221-237.

[Carman, 1990] Carman J. M., (1990). Consumer perceptions of service quality: An assessment of the SERVQUAL dimensions. *Journal of Retailing*, vol. 66, n° 1, pp. 33-55.

[Carrillo-Hermosilla, 2010] Javier Carrillo-Hermosilla, Pablo del Río, Totti Könnölä, (2010). Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies, *Journal of Cleaner Production*, Volume 18, Issues 10 11, July 2010, Pages 1073-1083, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.014>.

[Cayeux et Mercier, 2002] Cayeux, I., Mercier, C., Le Quéré, J. L., & Étiévant, P. X. (2003). Sensory evaluation of interaction between smell and taste-application to sourness. In *Flavour Research at the Dawn of the Twenty-first Century-Proceedings of the 10th Weurman Flavour Research Symposium, Beaune, France, 25-28 June, 2002*. (pp. 287-292). Editions Tec & Doc.

[Chandra et Rustgi, 1998] Chandra, R., & Rustgi, R. (1998). Biodegradable polymers. *Progress in polymer science*, 23(7), 1273-1335.

[Charrier et al., 2013] Charrier, M., Mahdjoub, M., Bazzaro, F., Sagot, J.-C., (2013), Intégration de l'ergonome dans le processus de créativité du designer industriel : application a une conception architecturale centrée sur l'usage, CONFERE, 4 – 5 JUILLE, BIARRITZ.

[Chitescu et al., 2003] Chitescu, C., Galland, S., Gomes, S., & Sagot, J. C. (2003, May). Virtual reality within a human-centered design methodology. In *5th International Conference on Virtual Reality—Laval* (pp. 99-104).

[Choulier, 2008] Choulier, D. (2008). *Comprendre l'activité de conception*. Université de technologie de Belfort-Montbéliard.

[Churchill et Surprenant, 1982] Churchill G. A., & Suprenaut C., (1982). An investigation into the determinants of customer satisfaction. *Journal of Marketing Research*, vol. 19, p.491.

[Cotteret, 2006] Cotteret M.-A., (2012). Qu'est-ce que la métrologie? Page consultée en ligne : <http://www.metrodiff.org/cmsms/index.php/histoire.html> , (Consultée le 19.03.2012).

[Crochemore et al., 2004] Crochemore S., Nesa D. et Courdec S., (2004). Analyse sensorielle des matériaux d'habitable automobile: toucher/vision, Les techniques de l'ingénieur, chapitre AM 3-292.

[Cronin et Taylor, 1992] Cronin Jr, J. J., & Taylor, S. A. (1992). Measuring service quality: a reexamination and extension. *The journal of marketing*, 55-68.

[Cross, 2000] Cross, N. (2000). *Engineering design methods: strategies for product design* (Vol. 58). Wiley Chichester, UK.

[Cross, 2008] Cross, N. (Ed.). (2008). *Engineering design methods-strategies for product design* (4th ed.). Chichester: Wiley & Sons.

[Crul et Diehl, 2009] Crul, M., & Diehl, J. (2009). *Design for sustainability, a step-by-step approach*. UNEP, United Nations Publications.

[Dacremont, 2003] Dacremont, C. (2003). Croustillant: aspects méthodologiques de la mesure sensorielle d'une caractéristique de texture complexe. *Anthropology of food*, (1).

[Damasio, 2008] Damasio, A. (2008). *Descartes' error: Emotion, reason and the human brain*. Random House.

[Davis, 2003] Davis, G. (2003). Characterization and characteristics of degradable polymer sacks. *Materials characterization*, 51(2), 147-157.

[Davis et Song, 2006] Davis, G., & Song, J. H. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial crops and products*, 23(2), 147-161.

[de Boissieu, 2010] De Boissieu, F. (2010). *Toucher artificiel à base d'un microcapteur d'effort: traitement du signal et des informations associées* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG).

[De La Bretesche, 2000] De La Bretesche, B. (2000). *La méthode APTE, Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle*. Editions Petrelle, Paris. ISBN : 2-84440-019-1.

[De Wilde, 2003] De Wilde, B. (2003). Compostable packaging-a potential or a threat for compost. In *Proceedings of Workshop 'Biological Treatment of Biodegradable Waste-Technical Aspects* (pp. 8-10).

[De Wilde, 2003] De Wilde, B. (2003). Plastiques biodégradables: emballages compostables, point de la situation. *Pack News*, 154.

[Deegan et al., 2009] Deegan, K. C., Koivisto, L., Näkkilä, J., Hyvönen, L., & Tuorila, H. (2010). Application of a sorting procedure to greenhouse-grown cucumbers and tomatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 43(3), 393-400.

[Depledt, 2009] Depledt F., (2009). *Evaluation sensorielle -Manuel méthodologique*, 3ème édition, Lavoisier, Paris, pp. 524.

[Deterre et al. 2002] Deterre R., Vergneault C. Sarda A., (2002). Le doigt thermique : une réponse innovante à la caractérisation sensorielle des produits, Extrait du colloque S.I.A, Société des ingénieurs de transport automobile et ferroviaire.

[Deterre et Sarda, 2002] Deterre R., Sarda A., (2002). Dispositif de mesure du rendu thermique d'un matériau. Brevet n° FR0210749, déposé par la société Renault SAS au nom des sociétés Renault, Total Fina Elf, Visteon, Valéo, Trèves.

[Detienne, 2006] Détienne, F., Visser, W., & Tabary, R. (2006). Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative. *Psychologie de l'interaction*, 21, 22, 283-307.

[Devalan, 2007] Devalan, P. (2007). *Ecoconception des composants mécaniques*. Ed. Techniques Ingénieur.

[DiMaio et Salcudean, 2003] DiMaio S.P. & Salcudean S.E., (2003). Needle insertion modeling and simulation. *IEEE Transactions on Robotics & Automation*, vol. 19, pp. 864–875.

[Domingo, 2013] Domingo, L., Brissaud, D., & Mathieux, F. (2013, August). Implementing scenario to better address the use phase in product ecodesign. In *International conference on engineering design ICED 2013*.

[Ducalet et Laforcade, 2000] Ducalet, P., & Laforcade, M. (2000). Penser la qualité dans les institutions sanitaires et sociales. *Paris, Seli*.

[Duchamp, 1988] Duchamp, R. (1988). *La conception de produits nouveaux*. Hermès.

[Duchamp, 1999] Duchamp, R. (1999). *Méthodes de conception de produits nouveaux*. Hermès science publications.

[Dumont et Crochemore, 2007] Dumont, Crochemore J., (2007). An example of a new parameter in perceived quality: instrumental characterization of touch, RENAULT-France, 13ème Congrès Métrologique, Lille.

[Egawa et al., 2002] Egawa, M., Oguri, M., Hirao, T., Takahashi, M., & Miyakawa, M. (2002). The evaluation of skin friction using a frictional feel analyzer. *Skin Research and Technology*, 8(1), 41-51.

[El Hajj et al., 2009] El Hajj N., Dheilly R.M., Aboura Z., Benzeggagh M.L. et Queneudec M., (2009). Procédé de fabrication des composites 100% végétaux : Effet de la granulométrie des étoupes de lin et de l'ajout des bios liants, JNC 16, Toulouse, France.

[Eurofins, 2012] Eurofins Scientific France, (2006). Page consultée en ligne : <http://www.eurofins.fr/> (consultée le 10.02.2006).

[FD X 150-101, 2007] NF X 50-151, (2007). Management de la Valeur - Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel.

[Fechner, 1907] Fechner, G. T. (1907). *Elemente der psychophysik* (Vol. 2). Breitkopf & Härtel.

[Ferrer et al., 2012] Ferrer J.B., Negny S., Cortes Robles G., Le Lann J.M., Eco-innovative design method for process engineering, *Computers & Chemical Engineering*, Volume 45, 12 October 2012, Pages 137-151, ISSN 0098-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.06.020>.

[Field et al., 2001] Field, F. R., Clark, J. P., & Ashby, M. F. (2001). Market drivers for materials and process development in the 21st century. *Mrs Bulletin*, 26(09), 716-725.

[French, 1998] French, M. (1998). *Conceptual design for engineers*. Springer.

[Fritsch, 2001] Fritsch A., (2001). Le toucher bientôt au cahier des charges, *Industries et Techniques*, n° 831, pp.34-36.

[Gaillard et al., 2006] GAILLARD, P., MAGnEn, C., & BILLIÈRES, M. (2006). Expertise phonétique: une réflexion vers la notion de «surdité phonologique. *Sensolier (éd.) Les expertises sensorielles: nature et acquisition. Paris: Le Sensolier*, 11-14.

[Gepshtein et Banks, 2003] Gepshtein, S., & Banks, M. S. (2003). Viewing geometry determines how vision and haptics combine in size perception. *Current Biology*, 13(6), 483-488.

[Germain, 2010] Germain F., (2010). Marché de l'automobile - Les matériaux verts et l'automobile: applications présentes et futures, Journée technique Pôle Européen de Plasturgie, Bellignat.

[Giboreau et al., 2007] Giboreau, A., & Body, L. (2007). Le marketing sensoriel. *Paris: Vuibert*.

[Goda and Cao, 2007] Goda K. and Cao Y., (2007). Research and Development of Fully Green Composites Reinforced with Natural Fibers. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 1, n° 9, pp. 1073-1082.

[Gotlieb et al., 1994] Gotlieb J. B., Grewal D. and Brown S. W., (1994). Consumer Satisfaction and Perceived Quality: Complementary or Divergent Constructs? *Journal of Applied Psychology*, vol. 79, n° 6, pp. 875-885.

[Griffiths et Kulke, 2002] Griffiths P. & Kulke T., (2002). Clothing movement—visual sensory evaluation and its correlation to fabric properties. *Journal of Sensory Studies*, vol. 17, pp. 229–255.

[Grönroos, 1984] Grönroos C., (1984). A Service Quality Model and Its Marketing Implications, *European Journal of Marketing*, vol. 18, pp. 36-44.

[Gross et Kalra, 2002] Gross R. A., Kalra B., (2002). Biodegradable polymers for the environment, *Science*, vol. 297, pp. 803–807.

[Guéguen, 2005] Guéguen N., (2005). *Statistique pour psychologues – Cours et exercices*, 3 e édition, Editeur Dunod, Paris.

[Guerlesquin, 2012] Guerlesquin G., (2012). Articulation Ergonomie – Design – Conception Mécanique : Approche Méthodologique de la Convergence Multidisciplinaire, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Thèse de doctorat, Sciences pour l'Ingénieur – Génie mécanique, Montbéliard, pp. 163.

[Guerra, 2008] Guerra A.S., (2008). Métrologie sensorielle dans le cadre du contrôle qualité visuel, Université de Savoie, Spécialité : Génie Industriel, Thèse de doctorat Préparée au sein de SYMME SYstèmes et Matériaux pour la MEcatronique en convention avec Patek Philippe SA.

[Gunasekaran, 2012] Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2012). Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 35-47.

[Gungor et Gupta, 1999] Gungor A., Gupta S. M., (1999). Issue in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey, *Computer and Industrial Engineering*, vol. n° 36, pp. 811-853.

[Halada, 1992] Halada K. *Ecomaterials*. *Bull Jpn Inst Metals* 1992; 31:505–12.

[Halada, 2001] Halada K, Yamamoto R. *The current status of research and development on ecomaterials around the world*. *MRS Bull* 2001;11:871–9.

[Halada, 2003] Halada, K. (2003). Progress of ecomaterials toward a sustainable society. *Current opinion in solid state and materials science*, 7(3), 209-216.

[Hall, 1962] Simon, H. A. (1969/1996). *The sciences of the artificial* (3rd, rev. ed. 1996; Orig. ed. 1969; 2nd, rev. ed. 1981) (3 ed.). Cambridge, MA: MIT Press.

[Harjula et al. 1996] Harjula T., Rapoza B., Knight W. A., Boothroyd G., (1996). Design for disassembly and the Environment. *Annals of the CIRP*, vol. 45, n° 1.

[Hauschild et al., 2004] Hauschild M.Z., Jeswit J. Alting L., (2004). Design for Environment – Do we get the focus right?, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 53, n°1, pp. 1-4.

[Heijenrath et Peijs, 1996] Heijenrath R., Peijs T., (1996). Natural fiber mat reinforced thermoplastic composite based on flax fibers and polypropylene, *Advanced composites letters*, vol. 5, n°3, pp. 81-85.

[Hemel et al., 2002] C. van Hemel, J. Cramer, (2002). Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs, *Journal of Cleaner Production*, Volume 10, Issue 5, Pages 439-453.

[Hernandez, 2012] Vargas Hernandez, N., Okudan Kremer, G., Schmidt, L. C., & Acosta Herrera, P. R. (2012). Development of an expert system to aid engineers in the selection of design for environment methods and tools. *Expert Systems with Applications*, 39(10), 9543-9553.

[Hillis et al., 2002] Hillis J.M., Ernst M.O., Banks M.S. & Landy M.S., (2002). Combining sensory information: mandatory fusion within, but not between, senses. *Science*, vol. 298, pp. 1627–1630.

[Ijomah et al., 2007] Ijomah, W. L., McMahon, C. A., Hammond, G. P., & Newman, S. T. (2007). Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(6), 712-719.

[ISO 11035, 1995] ISO 11035, 95, (1995). Analyse sensorielle - Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel, par approche multidimensionnelle – AFNOR.

[ISO 13299, 2003] ISO 13299, (2003). Analyse sensorielle – Méthodologie – Directives générales pour l'établissement d'un profil sensorielle – AFNOR.

[ISO 14040, 1997] ISO 14040, (1997). Management environnemental. Analyse du cycle de vie. Principe et cadre.

[ISO 4287, 12085, 13565] ISO – (2006). Normes d'état de surface et matrice GPS, NF EN ISO 4287 – Termes, définitions et paramètres d'état de surface ; NF ISO 12085 – Paramètres liés aux motifs ; NF ISO 13565 – Caractérisation des hauteurs par la courbe de taux de longueur portante.

[ISO 5492, 1992] ISO 5492 – (2006). Sensory analysis: vocabulary, Norme internationale ISO/DIS 5492, La Plaine Saint Denis : AFNOR Editions.

[ISO 8402, 1994] ISO 8402 : 1994, (1994). Quality management and quality assurance – Vocabulary, International Organization for Standardization.

[ISO 868, 2003] ISO 868, (2003). Détermination de la dureté par pénétration au moyen d'un duromètre (dureté Shore), Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

[ISO/TR 14062, 2002] ISO/TR 14062. (2002). Environmental management, integrating environmental aspects into product design and development. Technical report, ISO, Geneva

[Issa et al., 2004] Issa M., Schacher L. & Adolphe D., (2004). Les invariants dans la caractérisation tactile des étoffes. 2ème Journée du Sensorier, Sensorialités et données verbales, 7 Octobre, Paris.

[Jakobsen, 1987] Jakobsen K., (1987). Design principles with special reference to aluminium, Aluminium, Skanaluminium, pp. 56-57.

[Janin, 2000] Janin M., (2000). Démarche d'éco-conception en entreprise un enjeu: construire la cohérence entre outils et processus, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers – ENSAM, Thèse de doctorat, Institut Conception, Mécanique et Environnement Chambéry, Paris.

[John et Thomas, 2008] John M.J. and Thomas S., (2008). Biofibres and Biocomposites, Carbohydrates Polymers, vol. 71, pp. 343-364.

[Jordan, 2000] Jordan P.W., (2000). Designing Pleasurable Products, London, Taylor and Francis Edition.

[Julian et al., 2012] Julián Pérez, F., Méndez González, J. A., Espinach Orús, X., Verdaguer Pujadas, N., Mutjé Pujol, P., & Vilaseca Morera, F. (2012). Bio-based composites from stone groundwood applied to new product development. © *BioResources*, 2012, vol. 7, núm. 4, p. 5829-5842.

[Jung, 2011] Jung C. Yang, Lewis J. (2011). Chen, Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method, *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, Issues 9–10, June–July 2011, Pages 998-1006, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.014>.

[Kano et al., 1984] Kano N., Seraku N., Takahashi F. et Tsuji S., (1984). Attractive quality and must-be quality, *Hinshitsu. The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, pp. 39-48.

[Karana et al., 2008] Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (2008). Material considerations in product design: A survey on crucial material aspects used by product designers. *Materials & Design*, 29(6), 1081-1089.

[Karana et al., 2009] Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (2009). Meanings of materials through sensorial properties and manufacturing processes. *Materials & Design*, 30(7), 2778-2784.

[Karana et al., 2010] Karana, E., Hekkert, P., & Kandachar, P. (2010). A tool for meaning driven materials selection. *Materials & Design*, 31(6), 2932-2941.

[Karlsson et Luttrupp, 2006] Karlsson R., Luttrupp C., (2006). EcoDesign : What's happening ? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue, *Journal of Cleaner Production*, n° 14, pp. 1291-1298.

[Kazazian, 2003] Kazazian T., (2003). *Design et développement durable : Il y aura l'âge des choses légères*, Victoires Editions.

[Khatib et al., 2004] Khatib O., Brock O., Chang K.-S., Ruspini D., Sentis L. & Viji S., (2004). Human-centered robotics and interactive haptic simulation. *International Journal of Robotics Research*, vol. 23, pp. 167–178.

[Klauss et Bidlingmaier, 2004] Klauss M., Bidlingmaier W., (2004). Pilot scale field test for compostable packaging materials in the city of Kassel, Germany. *Waste Manage*, vol. 24, pp. 43–51.

[Kobayashi, 2006] Kobayashi H., (2006). A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 20, Issue 2, April 2006, Pages 113-125, ISSN 1474-0346, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2005.11.002>.

[Kotler et Dubois, 1997] Kotler P., Dubois B., (1997). *Marketing Management*, 9ème édition, Paris : Publi-Union Editions.

[Kreutzmann et al., 2007] Kreutzmann S., Thybo A. K. & Bredie W.L.P., (2007). Training of a sensory panel and profiling of winter hardy and coloured carrot genotypes. *Food Quality and Preference*, vol. 18, n° 3, pp. 482-489.

- [**Labbe et al., 2004**] Labbe D., Rytz A. and Hugi A., (2004). Training is a critical step to obtain reliable product profiles in a real food industry context: Food Quality and Preference, vol. 15, n° 4, pp. 341-348.
- [**Lacheray et al., 2007**] Lacheray C., Lebas P., Pontivianne C., Savary X., Schmit P., Streiff F., (2007). La terre crue en Basse-Normandie, de la matière, à la manière de bâtir, édition CRÉCET de Basse-Normandie, pp. 76.
- [Ladwein, 1999] Ladwein R., (2009). Le comportement du consommateur et de l'acheteur, Editions Economica.
- [**Lazorthé, 1986**] Lazorthé G. (1986) L'ouvrage des sens. Paris : Flammarion.
- [**Le Moigne et al., 2008**] Le Moigne M., Maury C., Bertrand D., Jourjon F., (2008). Sensory and instrumental characterisation of Cabernet Franc grapes according to ripening stages and growing location, Food Quality and Preference, vol. 19, pp. 220-231.
- [**Lederman et Klatzky, 1987**] Lederman S. J., Klatzky, R. L., (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition, Cognitive Psychology, vol. 19, n°3, pp. 342–368.
- [**Lederman et Klatzky, 2009**] Lederman S. J., Klatzky R. L., (2009). Haptic perception: A tutorial, Attention, Perception Psychophysics, vol. 71, n° 7, 1439-1459.
- [**Lefebvre et al., 2009**] Lefebvre A., Bassereau J.F., Pensé-Lheritier A.M., Rivère C., Harris N. & Duchamp R., (2009). Recruitment and training of a sensory expert panel to measure the touch of beverage packages: Issue and methods employed. Food Quality and Preference, vol. 21, n° 1, pp. 156-164.
- [**Lefebvre, 2006**] Dumenil – Lefebvre A., (2006). Intégration des aspects sensoriels dans la conception des emballages en verre : mise au point d'un instrument méthodologique à partir des techniques d'évaluation sensorielle, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers – ENSAM, Thèse de doctorat, Paris.
- [**Lewis et al., 1993**] Lewis R.C., Booms B.H., (1993). The Marketing Aspects of Service Quality, Emerging Perspectives on Service Marketing, Berry L.L., Shostack L. et G. U. Eds., American Marketing Association, Chicago, pp. 99-107.
- [**Lhéritier, 2013**] Lhéritier A.-M., (2013). Intégration sensorielle et sociétale dans la conception produit. Levier d'innovation dans le secteur des bio-industries, Université de Grenoble, Mémoire HDR, Paris, pp.136.
- [**Loewy, 1990**] Loewy R., (1990). La laideur se vend mal. Editions Gallimard, pp. 414.
- [**Lorcks, 1998**] Lorcks J., (1998). Properties and applications of compostable starch-based plastic material, Polym. Degrad. Stab., vol. 59, pp. 245–249.
- [**Loréal, 2012**] L'Oréal, (2012). Sensory Analysis. Disponible sur Word Wild Web, Page consultée en ligne : <http://www.loreal.fr> (consultée le 06.04.2012).
- [**Loudjom et al., 2013**] Loudjom Tawoue, B.G., Padayodi, E., Atcholi, K.-E., Beda, T., (2013). Potentiel des plantes tannifères du Cameroun dans la formation de bio-résines pour les éco-matériaux : étude comparative des propriétés de résines synthétiques et de résines

naturelles. Proceedings Journées Jeunes Chercheurs: Eco-composites et Composites Bio-Sourcés, ISAT – Nevers, France, pp. 23.

[**Luttropp, 2006**] Luttropp, C., & Lagerstedt, J. (2006). Ecodesign and the Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15e16), 1396e1408.

[**Maeder, 1995**] Maeder G., (1995). From Dream to Reality: which strategy for new materials?, VDI Berichte n° 1235, pp.321-340.

[**Maeder, 1998**] Maeder G., (1998). Le choix des matériaux dans l'industrie automobile, *Matériaux et Techniques*, n° 7-8, France, pp. 39-47.

[**Magurno, 1999**] Magurno A., (1999). Vegetable fibres in automotive interior components, *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 1999; vol. 272, pp. 99–107.

[**Mahdjoub et al., 2013**] Mahdjoub, M., Al khatib, A., Bluntzer, J.B., & Sagot, J. C. (2013). Multidisciplinary convergence about “product-use” couple: Intermediary object's structure, Seoul, South Korea, p.10.

[**Mahdjoub, 2007**] Mahdjoub M., (2007). La réalité virtuelle pour une conception des systèmes mécaniques centrés sur l'utilisateur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Thèse de doctorat, Sciences pour l'Ingénieur – Génie mécanique, Montbéliard, pp. 180.

[**Markides et Geroski, 2004**] Markides, C. C., & Geroski, P. A. (2004). *Fast second: How smart companies bypass radical innovation to enter and dominate new markets* (Vol. 325). Wiley. com.

[**Marsh, 2003**] Marsh G., (2003). Next step for automotive materials, *Materials today*, vol. 6, n°4, pp. 36-43.

[**Marsot, 2002**] Marsot J., (2002). Conception et Ergonomie. Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à main. Note scientifique et technique, n° 219, pp. 69.

[**Martin et Williams, 2003**] Martin D.P., Williams S.F., (2003). Medical applications of poly-4-hydroxybutyrate: a strong flexible absorbable biomaterial. *Biochem. Eng. J.* vol. 16, pp. 97–105.

[**McInnis et Joworski, 1989**] McInnis D.J., Jaworski B.J., (1989). Information Processing from Advertisements: Toward an Integrative Framework. *Journal of Marketing*, vol. 53, pp. 1-23.

[**Mehinagic et al., 2003**] Mehinagic E., Royer G., Bertrand D., Symoneaux R., Laurens F., & Jourjon F., (2003). Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible NIR spectroscopy of apples belonging to different cultivars. *Food Quality and Preference*, vol. 14, pp. 473–484.

[**Meilgaard et al., 2007**] Meilgaard M., Civille G. V. & Carr B. T., (2007). *Sensory Evaluation Techniques*, 4th edition Boca Raton : CRC Press.

[Meniszez et Bassereau, 2004] Meniszez L., Bassereau J.-F., (2004). Evaluations sensorielles et optiques de l'état de surface des papiers couchés, Paris.

[Middleton et Tipton, 1998] Middleton J.C., Tipton A.J., (2008). Synthetic biodegradable polymers as medical devices, *Med. Plast. Biomater., Mag.* march 1998, pp. 30–39.

[Midler, 1994] Midler C., (1994). Le Développement du management des projets dans l'industrie automobile, le cas de Renault, *Actes Gestion industrielle et qualité*, Renault Design Alsace.

[Millet et al., 2004] Millet D., Bistagnino L., Camous R., Aoussat A., (2004). Integration of new dimensions in the design process; application to the environmental dimension, *Methods and Tools for Cooperative and integrated Design*, S. Tichkiewitch & D. Brissaud Editors, Kluwer Academic Publishers, pp. 209-222.

[Millet, 2003] Millet D., Bistagnino L., Lanzavecchia C., Camous R., (2003). L'entreprise face au développement durable : changement de paradigme et processus d'apprentissage, *Nature Sciences Sociétés*, n° 11 (2), pp.146-157.

[Mohanty et al., 2002] Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10(1-2), 19-26.

[Mojet et Köster, 2005] Mojet J. and Köster E.P., (2005). Sensory memory and food texture, *Food Quality and Preference*, vol. 16, pp. 251-266.

[Naes & Risvik, 1996] Naes T. & Risvik E., (1996). Multivariate analysis of data in sensory science In *Data Handling in Science and Technology series*, vol. 16, Amsterdam : Elsevier.

[Nesa et al., 2004] Nesa D., Crochemore S., Courdec S., (2004). Analyse sensorielle des matériaux d'habitacle automobile : olfaction, *Les Techniques de l'Ingénieur*, chapitre AM 3 291, pp. 8-10.

[Nesa et Courdec, 2004] Nesa D., Courdec S., (2004). Automobile : olfactive sensory analysis, *Congrès Colloque Sage Elastomères et Polymères : perception sensorielle*, n° 829, pp. 34-40, Paris.

[Nestlé, 2003] Nestlé, (2012). Création d'un Groupe de Recherche Nestlé-EPFL en perception sensorielle, Page consultée en ligne : <http://www.nestle.fr/nutrition/desproduitsoptimises> (consultée le 06.04.2012).

[XP V09-500, 2000] XP V09-500 : 2000 : « Analyse sensorielle – Méthodologie –Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques en laboratoire d'évaluation sensorielle ou en salle en conditions contrôlées impliquant des consommateurs » (Indice de classement : V09-500).

[Ngassa et Truchot, 1999] Ngassa A., Truchot P., (1999). Transfer d'une méthodologie de conception de produits dans une PME, 14eme Congrès Français de Mécanique, Toulouse, pp.7.

[**Ngobo, 1997**] Ngobo P. V., (1997). Qualité perçue et satisfaction des consommateurs: un état des recherches, *Revue Française du Marketing*, vol. 163, n°3, pp. 67-79.

[**Norman, 2005**] Norman D., (2005). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*, Basic Books, A member of the Perseus Books Group; New York, pp. 272.

[**Norme ISO 9000, 2000**] ISO 9000 : 2000, (2000). *Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire*, International Organization for Standardization.

[**O'Mahony et Hautus, 2008**] O'Mahony M. & Hautus M.J. (2008). The signal detection theory ROC curve: some applications in food sensory sciences. *Journal of Sensory Studies*. vol. 23, pp. 186-204.

[**Oakley et al., 2001**] Oakley I., Brewster S. & Gray P., (2001). Communicating with feeling. *Proc. of the 1st Int. Workshop on Haptic Human-Computer Interaction*, eds. S. Brewster & R. Murray-Smith, Springer-Verlag: Berlin, pp. 61–68.

[**Oliver, 1997**] Oliver R. L., (1997). *Satisfaction: A behavioural perspective on the consumer*, New York: Irwin/McGraw-Hill.

[**Ornetzeder et al., 2007**] Ornetzeder M., Hertwich E.G., Hubacek K., Korytarova K., Haas W., (2007). The environmental effect of car-free housing : A case in Vienna, *Ecological Economics* vol. 6 n° 5, pp. 516 – 530.

[**Ostrosi et al., 2012**] Ostrosi, E., Haxhijaj, L., & Fukuda, S. (2012). Fuzzy modelling of consensus during design conflict resolution. *Research in Engineering Design* , 23 (1), 53-70.

[**Oumarou, 2013**] Oumarou S., Padayodi E., Atcholi K-E., Beda T., (2013). Elaboration d'un éco-matériau par un procédé adapté au contexte économique-social du Cameroun : application à l'élaboration de panneaux de particules en bois de cotonnier et liants naturels. *Proceedings Journées Jeunes Chercheurs: Eco-composites et Composites Bio-Sourcés*, ISAT – Nevers, France, pp. 21.

[**Paci, 2004**] Paci K. E., (2004). *Interactions physico-chimiques et sensorielle dans le yaourt brasse aromatisé: quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la saveur?*, Institut National Agronomique Paris-Grignon These de doctorat, Paris.

[**Padayodi et al., 2011**] Padayodi E., Atcholi K.E., Soulama S., Sagot J.C. (2011). Study of vegetable resins from *Grewia venusta* mucilage and *Bombax costatum* calyx for bio-sourced materials process. 18ème Colloque international des Sciences de la Conception et de l'Innovation (CONFERE), 30 juin et 1^{er} juillet, Belfort-Montbéliard, 12p.

[**Padayodi, 2013**] Padayodi E., (2013). Éco-conception: étude comparative de l'impact environnemental d'une pièce en éco-composite/lin vs composite/verre, SeT-IRTES (EA-7274), UTBM, Journées Jeunes Chercheurs : Eco-composites et Composites Bio-Sourcés, ISAT – Nevers, France.

[Parasuraman et al., 1988] Parasuraman A., Zeithaml V. A. and Berry L. L., (1988). SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality, *Journal of Retailing*, vol. 64, n° 1, pp. 12-40.

[Parasuraman et al., 1991] Parasuraman A., Berry Leonard L. and Zeithaml Valarie A., (1991). Refinement and Reassessment of the SERVQUAL Scale, *Journal of Retailing*, vol. 67, n° 4, pp. 420-450.

[Parasuraman et al., 1994] Parasuraman A., Zeithaml Valarie A. and Berry Leonard L., (1994). Reassessment of Expectations as a Comparison Standard in Measuring Service Quality : Implications for Further Research,,*Journal of Marketing*, vol. 58, pp. 111-124.

[Peck et Childers, 2006] Peck J., Childers T. L., (2006). If I touch it I have to have it: Individual and environmental influences on impulse purchasing, *Journal of Business Research* vol. 59, pp. 765–769.

[Perrin, 2001] Perrin F., (2001). Intégration des accessoires d'un chauffe-eau électrique dans un bloc hydraulique – L'augmentation de la crédibilité d'un projet au cours du processus d'innovation. Ecole National Supérieur d'Arts et Métiers – ENSAM, Mémoire de DEA, Labo CPI, Paris.

[Perrin, 2005] Perrin-Bruneau, F. (2005). *Proposition d'une démarche d'intégration de nouvelles méthodes en conception: éléments pour la définition du rôle de l'intégrateur'méthodes'* (Doctoral dissertation, Arts et Métiers ParisTech).

[Perry, 2012] Perry, N., Bernard, A., Laroche, F., & Pompidou, S. (2012). Improving design for recycling–Application to composites. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(1), 151-154.

[Petropoulos et al., 2009] Petropoulos, G., Carlson, T. N., Wooster, M. J., & Islam, S. (2009). A review of Ts/VI remote sensing based methods for the retrieval of land surface energy fluxes and soil surface moisture. *Progress in Physical Geography*, 33(2), 224-250.

[Pigosso, 2010] Pigosso, D. C., Zanette, E. T., Ometto, A. R., & Rozenfeld, H. (2010). Ecodesign methods focused on remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 18(1), 21-31.

[Pillou, 2004] Pillou J.-F., (2013). Qualité – Introduction, Page consulté en ligne : <http://www.commentcamarche.net/contents/999-mise-en-place-d-une-demarche-qualite>, (consultée le 25.07.2013).

[Plastics Europe, 2001] Plastics Europe (Association of Plastics Manufacturers in Europe) Plastics in Europe. An analysis of plastics consumption and Recovery in Europe, 2004.

[Poilâne et al., 2008] POILANE C., VIVET A., BEN DOUDOU B., AYACHI M., CHEN J., (2008). Traction de fibre unitaire et mesure des déformations en champ complet. Application à la fibre de lin, Laboratoire de recherche sur les propriétés des matériaux nouveaux (L.R.P.M.N), EA4257, Université de Caen Basse-Normandie, IUT d'Alençon.

[Pomian et al., 1997] Pomian J.-L. et coll., (1997). Ingénierie & Ergonomie. Eléments d'ergonomie à l'usage des projets industriels. Editions Cépaduès, Toulouse, pp. 260.

[Prud et al., 2003] Prudhomme G., Zwolinski P. et Brissaud D., (2003). Integrating into the design process the needs of those involved in the product life cycle. *Journal of Engineering Design*, vol. 14, n° 3, pp. 333-353.

[Pugh, 1991] Pugh, S. (1991). *Total design: integrated methods for successful product engineering*. Addison-Wesley Publishing Company Workingham, UK.

[Purcell, 1998] Purcell, A., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology. *Design studies*, 19 (4), 389-430.

[Puyou, 1999] Puyou J-B., (1999). Démarches d'écoconception en entreprise, Techniques de l'Ingénieur, G 6 050.

[PSY 99] Grand Dictionnaire de la Psychologie. Larousse, deuxième édition, (1999). ISBN : 2-0350-1050-0.

[Quarante, 2001] Quarante D., (2001). *Eléments de design industriel*, Edition 3e éd., Editeur Polytechnica, Paris, pp. 685.

[Rabetafika et al., 2006] Rabetafika H.N., Paquot M., Dubois P., (2006). Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 10, n° 3, pp. 185 – 196.

[Rabin et Gordon, 2004] Rabin E. & Gordon A.M., (2004). Influence of fingertip contact on illusory arm movements. *Journal of Applied Physiology*, vol. 96, pp. 1555–1560.

[Ribeiro et al., 2013] Ribeiro, I., Peças, P., & Henriques, E. (2013). A Life Cycle Framework to support materials selection for Ecodesign: a case study on Biodegradable Polymers. *Materials & Design*.

[Richards et al., 2000] Richards C., Rosen J., Hannaford B., Pellegrini C. & Sinanan M., (2000). Skills evaluation in minimally invasive surgery using force/torque signatures. *Surgical Endoscopy—Ultrasound and Interventional Techniques*, vol. 14, pp. 791–798.

[Romano, 2008] Romano, R., Brockhoff, P. B., Hersleth, M., Tomic, O., & Næs, T. (2008). Correcting for different use of the scale and the need for further analysis of individual differences in sensory analysis. *Food Quality and Preference*, 19(2), 197-209.

[Romon et al., 2010] Romon N., Holzinger G., Issa S., Pense-Lhéritier A.M., (2010). Démarche d'innovation en formulation, CONFERE, Montbéliard.

[Romon, 1998] Romon F., (1998). Stratégie de l'entreprise et gestion des projets innovations, Techniques de l'Ingénieur, traité de Génie Industriel, A 5 020, pp. 18.

[Rouvray et al., 2012] de Rouvray A., Bassereau J.F., Millet D., (2012). Développement et Intégration des connaissances sensorielles et sémiotiques dans la conception des meubles. Page consultée en ligne : <http://site.gulliver.com> (consultée le 13.03.2012).

[Rouvray, 2006] de Rouvray A., (2006). Intégration des préférences émotionnelles et sensorielles dans la conception de produits d'ameublement : proposition d'une méthode

d'ingénierie affective, Ecole National Supérieur d'Arts et Métiers – ENSAM, Thèse de doctorat, Spécialité Génie Industriel, Paris.

[Rust et Oliver, 1994] Rust R. T. and Oliver R. L., (1994). Service Quality: Insights and Managerial Implications from the Frontier, Service Quality: New directions in Theory and Practice, Eds. Rust R. T. et Oliver R. L., Thousand Oaks, CA: Sage Publications, pp. 1-19.

[Rust et al., 1995] Rust R., Zahorik A., Keiningham T., (1995). Return on Quality (ROQ) : Making Service Quality Financially Accountable, Journal of Marketing, vol. 59.

[Rutot et Dubois, 2004] Rutot D., Dubois P., (2004). Les (bio) polymères biodégradables : l'enjeu de demain ? Chim. Nouv., vol. 86, pp. 66–75.

[Sagot et al., 2003] Sagot J.-C., Gouin, V., & Gomes, S. (2003). Ergonomics in product design: safety factor, Safety Science, vol. 41, Issues (2-3), pp. 137-154.

[Sagot, 1996] Sagot J.-C., (1996). Pour améliorer simultanément moyens de production et conditions de travail : l'Ergonomie. La Technique Moderne, n° 6-7, pp. 7-12.

[Sagot, 1999] Sagot J.-C., (1999). Ergonomie et conception anthropocentrée. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches, Nancy, pp. 267.

[Sagot et Charrier, 2012] Sagot, J.-C., Charrier, M., (2012). La réalité virtuelle comme support à l'innovation et à l'approche sensorielle. XVème Journée Evaluation Sensorielle : Innovation sensorielle, 29 mai, Ecole de Biologie Industrielle, Cergy (95).

[Santini, 2010] Santini, A., Herrmann, C., Passarini, F., Vassura, I., Luger, T., & Morselli, L. (2010). Assessment of Ecodesign potential in reaching new recycling targets. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1128-1134.

[Santolaria et al., 2011] Santolaria M., Oliver-Solà J., Gasol C. M., Morales-Pinzón T., Rieradevall J., (2011). Eco-design in innovation driven companies: perception, predictions and the main drivers of integration. The Spanish example, Journal of Cleaner Production 19, pp. 1315-1323.

[Sauvageot et Brémaud, 2008] Sauvageot F. & Brémaud D., (2008). Comment comparer les performances de jurys effectuant des profils sensoriels sur les mêmes produits mais dans des pays différents : une proposition de l'AFNOR. 6ème Journée du sensoriel Diversités culturelles et sensorialités, Paris.

[Sauvageot et Dacremont, 2001] Sauvageot F. & Dacremont C., (2001). L'évaluation sensorielle à la portée de tous – Les premiers pas en évaluation sensorielle, 4ème Ed., Dijon : Ensba – Université de Bourgogne.

[Sauvageot et al., 2005] Sauvageot F., Urdapilleta I., Peyron D., (2005). Within and between variations of texts elicited from nine wine experts, Food Quality and Preference, In Press, Corrected Proof.

[Sauvageot et al., 2008] Sauvageot F. et al., (2008). *Comment comparer les performances de jurys effectuant des profils sensoriels sur les mêmes produits mais dans des pays différents :*

une proposition de l'AFNOR. 6ème Journée du sensolier *Diversités culturelles et sensorialités*, Paris le 9 Octobre.

[Sauvageot et al., 2009] Sauvageot F., Herbreteau V., Shepherd M. & Dacremont C., (2009). A comparison between nine laboratories performing triangle tests, Soumis à *Food Quality & Preference*.

[Sauvageot et Dacremont, 2001] Sauvageot F. & Dacremont C., (2001). L'évaluation sensorielle à la portée de tous – Les premiers pas en évaluation sensorielle, 4ème Ed., Dijon : Ensba – Université de Bourgogne.

[Schiffman 2007] Schiffman R.S (2007) *Sensation and perception, An integrated approach.* (5thEd.) New York : J. Wiley & sons.

[Scott, 2000] Scott G., (2000). "Green" Polymers, *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 68, pp. 1–7.

[Sedaghati et al., 2005] Sedaghati, R., Dargahi, J., & Singh, H. (2005). Design and modeling of an endoscopic piezoelectric tactile sensor. *International journal of solids and structures*, 42(21), 5872-5886.

[Sensotact, 2012] Sensotact, (2012). Page consultée en ligne : http://presse.cyberpro.fr/annonce_sensotact_premier_referentiel_tactile_magalie_demoete.html (consultée le 15.02.2012).

[Sieffermann et Taréa, 2005] Sieffermann J.-M., Taréa S., (2007). Consumer opinion on gel textural characteristics, In the 6th Pangborn Sensory Science Symposium, Harrogate, UK.

[Silva, 2014] Silva, R. D. C. D. S., Minim, V. P. R., Silva, A. N. D., & Minim, L. A. (2014). Number of judges necessary for descriptive sensory tests. *Food Quality and Preference*, 31, 22-27.

[Simon, 1969] Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial.* Cambridge, MA.

[Sirieix et Filser, 2002] Sirieix L. et Filser M., (2002). La valorisation de l'expérience de restauration hors domicile : l'apport des théories de la recherche de variété et du réenchantement, Actes des 1ères Journées Normandes de Recherche sur la Consommation, Sociétés et Consommation, Rouen, pp. 264-278.

[Song et al., 2005] Song, H., Eynard, B., Lafon, P., & Roucoules, L. (2005). Towards Integration of CAx Systems and a Multiple-View Product Modeller in Mechanical Design. *Acta polytechnica*, 45(3).

[Soufflet, 2005] Soufflet I., (2005). Le profil sensoriel permet-il de refléter la perception de la "main des étoffes" ? Impact de l'expertise et du contexte sur l'organisation perceptive, Université de Bourgogne, Thèse de Doctorat.

[Soulama et al., 2011] Soulama S., Padayodi E., Atcholi K-E., Sagot J-C., Beda T. and Sanda K. (2011). Investigation on the opportunities of vegetable resins from *Grewia venusta* mucilage and *Bombax costatum* calyx for green materials processing. 10^e atelier du ReMOA (Réseau Matériaux Ouest Africain), 31 octobre au 03 novembre, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 12p.

[**Soulama et al., 2013**] Soulama, S., Padayodi, E., Atcholi, K.-E., Naon, B., (2013). Mise en œuvre et détermination des propriétés d'un matériau biosourcé : compound en polymère renforcé de charges végétales issues de résidus de la biomasse non alimentaire, SeT-IRTES (EA-7274), UTBM, Journées Jeunes Chercheurs : Eco-composites et Composites Bio-Sourcés, ISAT – Nevers, France.

[**SSHA, 1998**] SSHA, (1998). Evaluation sensorielle: manuel méthodologique, 2ème Ed., Paris: Lavoisier, Coll. Tec. & Doc.

[**Stevens, 1975**] Stevens S.S., (1975). Psychophysics : introduction to its perceptual, neural, and social prospects, Wiley, New-York.

[**Stone et Sidel, 2004**] Stone H. & Sidel J.L., (2004). Sensory Evaluation Practices, 3rd Ed., San Diego : Elsevier Academic Press.

[**Stone et al., 2012**] Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. A. (2012). *Sensory evaluation practices*. Academic Press.

[**Sauer et al., 2002**] Sauer, J., Wiese, B. S., & Rüttinger, B. (2002). Improving ecological performance of electrical consumer products: the role of design-based measures and user variables. *Applied Ergonomics*, 33(4), 297-307.

[**Tannan et al., 2007**] Tannan, V., Dennis, R. G., Zhang, Z., & Tommerdahl, M. (2007). A portable tactile sensory diagnostic device. *Journal of neuroscience methods*, 164(1), 131-138.

[**Tassinari, 2006**] Tassinari, R. (2006). Pratique de l'analyse fonctionnelle, Dunod. Paris.

[**Teas, 1993**] Teas K. R., (1993). Expectations, Performance Evaluation and Consumer' perception of Quality and Satisfaction, *Journal of Marketing*, vol. 57, pp. 18-34.

[**Technologies clé, 1997**] L'ingénierie centrée sur l'homme. (1997). Rapport issu des Technologies Clés, disponible au centre de documentation du Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications.

[**Technologies clé, 2000**] Technologies clé à l'horizon 2005, (2000). Rapport du ministère de l'Industrie, éditions de l'industrie, Paris.

[**Tharanathan, 2003**] Tharanathan R.N., (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future, *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 14, pp. 71–78.

[**Tiger, 1992**] Tiger L., (1992). *The Pursuit of Pleasure*, Boston: Little, Brown and Company.

[**Truchot et al., 1997**] Truchot, P., Duchamp, R., & Guidat, C. (1997). L'approche pluridisciplinaire de la conception de produits: une science de l'innovation. *Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel*.

[**Tse et Wilton, 1988**] Tse D.K. and Wilton P.C., (1988). Model of Consumer Satisfaction Formation: An Extension, *Journal of Marketing Research*, vol. 25, n° 2, pp. 204-212.

[**Ullman, 2009**] Ullman, D.G. (2009) *The mechanical design process*, 4 ed., McGraw-Hill

Higher Education, New York.

[**Urdalipeta et al., 2001**] Urdapiletta I. Ton Nu C., Saint-Denis C., Huon de Kermadec F., (2001). *Traité d'évaluation sensorielle, aspects cognitifs et métrologiques des perceptions*, Paris, Editions Dunod.

[**Vadcard, 1996**] Vadcard P., (1996). *Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produits*, Ecole National Supérieur d'Arts et Métiers – ENSAM, Thèse de doctorat, Sciences appliquées, Paris.

[**Vuilleumier et al., 2008**] Vuilleumier C., Van de Waal M., Fontanas H., Cayeux I. & Rebetez P.A. (2008). Multidimensionnal visualisation of physical and perceptual data leading to a creative approach in fragrance development. *Perfumer & Flavorist*, vol. 33, pp. 54-61.

[**Wambua et al., 2003**] Wambua P., Vans J., Verpoest I., (2003). Natural fibres : can they replace glass in fibre reinforced plastics?, *Compos Sci Tech.*, vol. 63. pp. 1259-64.

[**Weil-Barais, 2005**] Weil-Barais A. (2005) *L'homme cognitif*. Presses Universitaires de France, Paris : Coll. Quadrige.

[**Xiaoyan, 2012**] Xiaoyan Wu, Research on design management based on green remanufacturing engineering, (2012). *Systems Engineering Procedia, Volume 4, 2012, Pages 448-454, ISSN 2211-3819, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sepro.2012.01.009>*.

[**Xiu-Li et al., 2003**] Xiu-LI W., Yang K., Wang Y.Z., (2003). Properties of Starch blends with biodegradable Polymers. *J. Macromol. Sci., Part C – Polymer Reviews*, vol. 43, n° 3, pp. 385–409.

[**Yannou et Bonjour, 2006**] Yannou B., Bonjour E., (2006). *Évaluation et décision dans le processus de conception*. Hermès Science publications: Lavoisier.

[**Yu et al., 2006**] Yu L., Dean K. and Li L., (2006). Polymer blends and composite from renewable resources, *Prog. Polym. Sci.* vol. 31, pp. 576-602.

[**Zani, 2003**] Zani M.L., (2003). La mesure de rugosité ?, *Mesures* vol. 758.

[**Zeithaml, 1988**] Zeithaml V. A., (1988). Consumer Perceptions of Price, Quality, and Value: A Means- End Model and Synthesis of Evidence, *Journal of Marketing*, vol. 52, pp. 2-22.

CHAPITRE VII

ANNEXES

Annexe 1

Grille d'évaluation – Descripteurs

Liste des descripteurs	Types de mouvements								
	Le toucher tangentiel			Le toucher orthogonal			Le toucher statique		
									
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Abrasif									
Absorbant									
Accrochant									
Aérien									
Agréable									
Agrippant									
Argileux									
Attachant									
Bosselé									
Brut									
Chaud									
Collant									
Désagréable									
Doux									
Dur									
Duveloux									
Epais									
Fibreux									
Froid									
Glissant									
Granuleux									
Grattant									
Hétérogène									
Humide									

Irritant									
Léger									
Lisse									
Lourd									
Moelleux									
Moite									
Mou									
Piquant									
Rêche									
Relief									
Résistant									
Rigide									
Rugueux									
Sablé									
Solide									
Souple									
Soyeux									

Annexe 2

Fiche de renseignements généraux

Sujet N° : **(à compléter par l'expérimentateur)**

Sexe :

M F

Age :

Evaluation de l'évaluation sensorielle

Avez-vous déjà fait partie d'un panel d'expert sur l'évaluation sensorielle?

OUI NON

Avez-vous déjà participé à un test d'évaluation sensorielle?

OUI NON

Participez-vous actuellement à des tests consommateurs (en laboratoire ou à domicile) pour un autre organisme?

OUI NON

Annexe 3

Grille d'évaluation – Descripteurs communs retenus pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 avec les surfaces brutes

Les descripteurs	Echantillon 1				
	1 - Accord	2	3	4	5 - Désaccord
Accrochant	1	2	3	4	5
Bosselé	1	2	3	4	5
Brut	1	2	3	4	5
Dur	1	2	3	4	5
Fibreux	1	2	3	4	5
Lisse	1	2	3	4	5
Relief	1	2	3	4	5
Résistant	1	2	3	4	5
Rigide	1	2	3	4	5
Rugueux	1	2	3	4	5
Solide	1	2	3	4	5

Annexe 4

Les résultats de dureté pour le Matériau Bio-Sourcé FL_S20

Type de matériau	N° d'échantillon	Dureté Shore instantanée [Shore D]	Moyenne Dureté Shore instantanée [Shore D]	Dureté Shore stabilisé [Shore D]	Moyenne Dureté Shore stabilisé [Shore D]
Bio-Sourcé FL _S 20	S_11	68	68,4	67	64,8
		68		64	
		67		69	
		67		62	
		72		62	
	S_12	68	66,8	67	64,8
		66		64	
		70		69	
		65		62	
		65		62	
	S_13	71	71,4	68	69,6
		72		68	
		74		73	
		66		66	
		74		73	
	S_21	64	68	62	64,2
		72		60	
		68		66	
		68		66	
		68		67	
	S_22	70	72	68	70,4
		75		74	
		72		70	
		70		68	
		73		72	
	S_23	65	63	60	61,2
		60		60	
		60		58	
65		65			
65		63			
S_31	72	65,6	72	65,2	
	63		63		
	67		67		
	64		62		

		62		62	
	S_32	72	67,2	70	65,4
		60		58	
		72		68	
		67		67	
		65		64	
	S_33	72	72,6	70	71,4
		72		70	
		72		71	
		72		72	
		75		74	
	S_41	78	79,6	77	78,2
		80		79	
		80		78	
		81		80	
		79		77	
	S_42	80	80,8	78	79,2
		82		80	
		80		78	
		80		79	
		82		81	
	S_43	80	80,8	79	79,2
		81		80	
		81		79	
		81		79	
		81		79	
	S_51	82	82,6	80	80,4
		82		82	
		82		80	
		83		79	
		84		81	
	S_52	82	84,4	81	81,4
		84		80	
		84		82	
		86		82	
		86		82	
	S_53	77	79,6	76	78,2
		80		79	
		80		78	
		81		79	
		80		79	

Annexe 5

Les résultats de dureté pour le Matériau Bio-Sourcé FL_U20

Type de matériau	N° d'échantillon	Dureté Shore instantanée [Shore D]	Moyenne Dureté Shore instantanée [Shore D]	Dureté Shore stabilisé [Shore D]	Moyenne Dureté Shore stabilisé [Shore D]
Bio-sourcé FL _U 20	U_11	75	76,6	74	75
		78		76	
		78		76	
		75		74	
		77		75	
	U_12	73	77	72	74,4
		83		75	
		77		76	
		77		76	
		75		73	
	U_13	78	77,4	73	74,8
		77		74	
		78		75	
		77		76	
		77		76	
	U_21	68	64,6	63	61
		65		61	
		66		59	
		59		58	
		65		64	
	U_22	71	63,6	66	61,8
		65		65	
		56		56	
		63		63	
		63		59	
	U_23	69	68,8	62	62,6
		69		63	
		68		62	
69		63			
69		63			
U_31	77	78	75	74,8	
	78		74		
	78		75		
	80		75		
	77		75		

	U_32	78	78	76	75,8
		77		75	
		80		78	
		78		75	
		77		75	
	U_33	78	75,2	75	72,2
		75		73	
		74		70	
		73		70	
		76		73	
	U_41	77	77,2	75	74
		77		73	
		77		72	
		78		75	
		77		75	
	U_42	78	78,8	75	77
		80		78	
		80		78	
		78		77	
		78		77	
U_43	77	76,4	74	74,8	
	76		74		
	77		76		
	75		74		
	77		76		
U_51	68	69	66	67,2	
	68		67		
	70		69		
	67		64		
	72		70		
U_52	67	66,2	66	65,2	
	65		63		
	68		68		
	65		64		
	66		65		
U_53	63	67,8	59	65,4	
	70		68		
	68		65		
	70		70		
	68		65		

Annexe 6

Les résultats de dureté pour le Matériau Synthétique FV20

Type de matériau	N° d'échantillon	Dureté Shore instantanée [Shore D]	Moyenne Dureté Shore instantanée [Shore D]	Dureté Shore stabilisé [Shore D]	Moyenne Dureté Shore stabilisé [Shore D]
Synthétique FV20	V_11	82	85,6	81	83,6
		89		85	
		83		82	
		88		84	
		86		86	
	V_12	89	88,6	88	87,4
		86		85	
		89		88	
		91		89	
		88		87	
	V_13	91	90,6	90	89,2
		92		90	
		90		89	
		90		88	
		90		89	
	V_21	83	84,2	81	82,2
		83		81	
		83		81	
		89		86	
		83		82	
	V_22	85	82,8	85	81,8
		82		81	
		81		79	
		85		84	
		81		80	
	V_23	86	85,6	84	84,4
		85		84	
		86		85	
86		85			
85		84			
V_31	91	88,2	88	86,2	
	88		87		
	91		89		
	85		82		

		86		85	
	V_32	85	82	82	80
		78		78	
		82		80	
		82		80	
		83		80	
	V_33	83	83	83	81,4
		82		82	
		84		80	
		82		80	
		84		82	
	V_41	87	84,2	85	82,6
		83		81	
		88		85	
		80		80	
		83		82	
	V_42	86	86,2	84	84,2
		86		83	
		87		84	
		87		85	
		85		85	
	V_43	82	81,4	81	80,6
		82		81	
		81		80	
		81		81	
		81		80	
	V_51	80	80,8	78	78,8
		81		79	
		80		78	
		81		80	
		82		79	
	V_52	84	82	82	80,4
		82		81	
		80		78	
		83		81	
		81		80	
	V_53	84	83,6	82	82
		85		84	
		85		84	
		84		82	
		80		78	

Annexe 7

Les résultats de rugosité pour les Matériaux Bio-Sourcés FL_S20

Type de matériau	N° d'échantillon	Rugosité [µm]	Moyenne Rugosité [µm]
Bio-sourcé FL_S20	S_11	49,69	49,28
		50,55	
		48,38	
		48,49	
	S_12	55,73	56,53
		55,68	
		57,29	
		57,43	
	S_13	54,89	52,94
		52,27	
		54,50	
		50,11	
	S_21	54,51	52,90
		53,50	
		50,11	
		53,50	
	S_22	29,73	30,307
		29,81	
		30,78	
		30,91	
	S_23	34,22	34,33
		34,72	
		34,12	
		34,24	
	S_31	35,76	34,35
		35,96	
		32,87	
		32,80	
	S_32	40,57	39,90
		40,19	
		39,35	
		39,48	
	S_33	49,17	48,28
		49,32	
		49,74	
		44,90	
S_41	7,47	8,31	
	8,24		
	8,76		
	8,79		

	S_42	6,55	6,26
		6,59	
		5,98	
		5,94	
	S_43	4,50	6,58
		4,95	
		8,40	
		8,48	
	S_51	3,21	3,60
		3,21	
		3,49	
		4,49	
	S_52	3,18	3,41
		3,91	
		3,30	
		3,26	
S_53	3,89	3,82	
	3,89		
	3,75		
	3,75		

Annexe 8

Les résultats de rugosité pour les Matériaux Bio-Sourcés FL_U20

Type de matériau	N° d'échantillon	Rugosité [µm]	Moyenne Rugosité [µm]
Bio-sourcé FL_U20	U_11	4,10	4,48
		4,51	
		4,80	
		4,51	
	U_12	2,30	2,96
		3,38	
		2,62	
		3,55	
	U_13	5,57	5,24
		4,06	
		5,99	
		5,35	
	U_21	14,47	14,82
		14,99	
		14,41	
		15,48	
	U_22	17,24	23,99
		26,30	
		24,65	
		27,79	
	U_23	22,06	23,20
		22,46	
		23,40	
		24,87	
	U_31	4,90	4,99
		4,95	
		5,05	
		5,10	
U_32	7,10	8,27	
	8,15		
	8,88		
	8,95		
U_33	5,63	4,94	
	2,78		
	5,67		
	5,69		
U_41	2,86	2,94	
	2,92		
	2,94		
	3,03		

	U_42	1,78	1,83
		1,82	
		1,91	
		1,80	
	U_43	2,55	2,44
		2,34	
		2,32	
		2,54	
	U_51	35,27	35,03
		35,49	
		34,48	
		34,92	
	U_52	25,29	31,99
		30,22	
		36,72	
		35,73	
U_53	28,93	31,28	
	23,57		
	37,17		
	35,49		

Annexe 9

Les résultats de rugosité pour les Matériaux Bio-Sourcés FV20

Type de matériau	N° d'échantillon	Rugosité [µm]	Moyenne Rugosité [µm]
Synthétique FV20	V_11	1,47	1,40
		1,47	
		1,33	
		1,33	
	V_12	1,28	1,25
		1,24	
		1,24	
		1,25	
	V_13	1,20	1,21
		1,20	
		1,22	
		1,22	
	V_21	4,67	4,41
		3,80	
		4,70	
		4,45	
	V_22	10,66	10,96
		11,62	
		11,93	
		9,63	
	V_23	13,76	12,56
		13,76	
		11,35	
		11,36	
V_31	5,60	5,18	
	4,39		
	4,96		

		5,78	
	V_32	3,98	5,45
		4,02	
		6,87	
		6,91	
	V_33	3,48	7,85
		12,13	
		10,45	
		5,35	
	V_41	9,12	12,41
		14,20	
		13,40	
		12,93	
	V_42	7,44	8,51
		7,46	
		9,65	
		9,47	
	V_43	7,56	7,83
		7,93	
		7,70	
		8,14	
	V_51	22,54	19,07
		22,62	
		15,46	
		15,66	
	V_52	10,04	14,52
		8,20	
		21,93	
		17,90	
	V_53	24,40	29,21
		24,39	
		28,93	
		39,11	

Annexe 10

Grille d'évaluation – Descripteurs communs retenus pour les matériaux bio-sourcés FL20 et les matériaux synthétiques FV20 avec les surfaces finies

Les descripteurs	Produit 1				
	1 - Accord	2	3	4	5 - Désaccord
Agréable	1	2	3	4	5
Doux	1	2	3	4	5
Dur	1	2	3	4	5
Froid	1	2	3	4	5
Glissant	1	2	3	4	5
Lisse	1	2	3	4	5
Moite	1	2	3	4	5
Résistant	1	2	3	4	5
Rigide	1	2	3	4	5
Solide	1	2	3	4	5