

# Thèse

présentée à

**L'UNIVERSITE DE LILLE 1**

**Ecole Doctorale des Sciences Pour l'Ingénieur**

en vue de l'obtention du titre de Docteur dans la spécialité

**Automatique, Génie Informatique, Traitement du Signal et des Images**

par

**Yijun ZHU**

---

## **Contribution à l'évaluation et à la modélisation du bien-être des matériaux textiles habillement par l'utilisation des techniques de calcul avancé**

---

*Thèse co-dirigée par MM. Xianyi Zeng et Ludovic Koehl*

soutenue le 16 décembre 2010

---

### JURY

---

Christian VASSEUR	Professeur, USTL, Villeneuve-d'ascq	Président du jury
Marc DANZART	Professeur, AgroParisTech, Paris	Rapporteur
Serge GUILLAUME	Ingénieur de recherche, UMR ITAP, Cemagref	Rapporteur
Tao JIANG	Maitre de conférences, CESG, Dijon	Examinatrice
Thierry LAGEAT	Directeur, Eurosyn, Paris	Invité
Cyril CHAIGNEAU	Ingénieur textile, Damart Serviposte, Roubaix	Invité
Xianyi ZENG	Professeur, ENSAIT, Roubaix	Directeur de Recherche
Ludovic KOEHL	Professeur, ENSAIT, Roubaix	Co-directeur de Recherche

---



*A mes parents et Xiaoguang*



# REMERCIEMENTS

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre d'une convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE), cofinancée à la fois par la société Damart Serviposte à Roubaix et l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT). Je tiens ici à remercier ces organismes pour leur soutien scientifique et financier. Sans eux, cette thèse n'aurait jamais vu le jour.

Les travaux présentés dans ce mémoire de thèse ont été réalisés au sein de plusieurs équipes qui sont :

- Le laboratoire de recherche de Génie des Matériaux Textiles (**GEMTEX**) de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles (**ENSAIT**) de Roubaix.
- Le département de **R&D** de **Damart Serviposte** de Roubaix
- Le département de **Marketing** de **Damart Serviposte** de Roubaix
- L'équipe d'évaluation sensorielle et de tests consommateurs d'**Eurosyn** à Paris
- Le laboratoire de Systèmes de décision et Intelligence e-Service (**DeSI**) de l'**Université de Technologie de Sydney**, Australie
- L'équipe d'aide à la décision du Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (**SCK•CEN**) de Mol, Belgique
- L'Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (**ERPI**) du Laboratoire de Réactions et Génie des Procédés (**LRGP**) de Nancy

Je commence par exprimer ma plus profonde reconnaissance à mon directeur de recherche, Monsieur Xianyi ZENG, Professeur des universités à l'ENSAIT pour m'avoir accueillie au sein de son équipe, pour m'avoir fait confiance, dirigée et soutenue tout au long de ma thèse. Ses conseils et ses encouragements bienveillants m'ont été très précieux pour accomplir mon travail et rédiger ce mémoire.

Je remercie vivement Monsieur Ludovic KOEHL, Professeur des universités à l'ENSAIT, pour avoir supervisé cette thèse avec un regard critique et des conseils avisés. Son dynamisme et sa patience m'ont beaucoup aidée pendant les trois ans de recherche.

Ma grande gratitude va aussi à Monsieur Cyril CHAIGNEAU, qui dès le début de mes travaux, a suivi mon travail avec beaucoup d'attention, et m'a donné l'opportunité et les moyens nécessaires

à la réalisation de ma thèse. Grâce à la confiance et à la disponibilité dont il a fait preuve à mon égard, j'ai pu réaliser toutes les recherches qui me tenaient à cœur.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Christian VASSEUR, Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, pour avoir accepté de présider la commission d'examen du jury. Je remercie plus particulièrement Monsieur Marc DANZART (Professeur Emérite à AgroParisTech) et Monsieur Serge Guillaume (Ingénieur de recherche à l'UMP ITAP) pour avoir accepté d'être les Rapporteurs de ce mémoire. Mes remerciements vont également à Madame Tao JIANG (Maître de Conférences à l'CESG) et Monsieur Thierry LAGEAT (Directeur à l'EUROSYN), pour avoir accepté d'être examinateurs et de participer au jury, ce qui est pour moi un grand honneur.

Ces travaux de thèse sont indiscutablement le fruit de maintes collaborations internes comme externes, sans lesquelles je n'aurais pas pu réaliser ce que j'ai rapporté dans ce mémoire. Je tiens donc à remercier les personnes avec lesquelles j'ai travaillées tout au long de ces trois années et sans lesquelles je n'aurais pu mener ma thèse.

A cette occasion, j'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Thierry LAGEAT et Madame Aude CHARBONNEAU d'Eurosyn, pour les nombreuses discussions fructueuses, et toute leur expertise dans le domaine de l'évaluation sensorielle et la conduite de tests consommateurs qui m'ont beaucoup servi pour le développement des méthodes d'évaluation multi-sensorielle et émotionnelle.

Je tiens à remercier aussi Madame Jie LU, Professeur à l'Université de Technologie de Sydney, pour ses orientations et son soutien technique lors du lancement du projet FAST.

Je remercie aussi Monsieur Da RUAN, Professeur du Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, pour m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche et m'avoir beaucoup aidée lors de mes séjours de recherche en Belgique.

Ma gratitude va aussi à Monsieur Christian Fonteix et Monsieur Mauricio CAMARGO, professeurs du LRGP, pour leur collaboration de recherche lors du projet GRAISyHM.

Je remercie Madame Marion DUBUS, Madame Aline VERMEERE et Madame Magali FORMEL du département de Marketing de Damart, pour m'avoir conseillée et aidée à réaliser mes rencontres avec les consommateurs dans les magasins Damart.

Un grand merci aussi à toutes les équipes des magasins Damart de Lille, Belle Epine, Haussmann, Nantes, Orléans, Marseille, Valence, Reims, Dijon, Tours et Angoulême, qui m'ont accueillie et ont toujours été disponibles pour moi.

Je remercie Monsieur Oliver MARET, Monsieur Brice TILLMANN, et toute l'équipe de R&D de Damart Serviposte, pour leur aide pendant ces trois ans de thèse.

Je remercie également Madame Manuella FERREIRA, Madame Maryline LEWANDOWSKI, Monsieur François DASSONVILLE, pour leurs expériences en métrologie textile et l'aide précieuse qu'ils m'ont aidée.

J'exprime mes remerciements à toute l'équipe des Enseignants-Chercheurs du laboratoire GEMTEX ainsi qu'au personnel de l'ENSAIT pour leur aide chaleureuse et sympathique durant mes cinq ans de vie d'études en tant qu'étudiant d'ingénieure et doctorante.

Je remercie également Madame Stéphanie DUPONT, Madame Christine SOTO, pour leur disponibilité et leur aide pour résoudre mes « nombreux » problèmes administratifs.

Un grand merci en particulier à mon professeur de français, Monsieur Patrick LEFEBVRE, qui m'a accompagnée pour résoudre les difficultés de la langue du début à la fin de mon expérience en qualité de Doctorante. Ses connaissances, son sérieux et sa générosité m'ont fait découvrir les nombreux aspects de la culture française.

Je remercie aussi tous les thésards et ex-thésards du GEMTEX qui m'ont encouragée, soutenue et avec lesquels j'ai passé de vrais moments de bonheur. Je remercie donc particulièrement Bin ZHOU, Yu CHEN, Yan ZHANG, Audrey MANSO, Gauthier BEDEK, Jiyong HU, Rhadia ABDJELIL, Stojanka PETRUSIC, Marion AMIOT, Awa DOUMBIA, Vanessa PASQUET, Ludivine MEUNIER, Claire GRELAKOWSKI, Gwladys BENISTANT, Aurélie CAYLA, Gaurav AGARVAL, Zhebin XUE, Lichuang WANG, Mohamed DIMASSI, Inès BOUFATEH, Jalloul ELFERHI, Marie DE SAXCE, Jana, etc.

Bien sûr, la liste ne serait pas complète si je ne remerciais pas mes copains et copines qui m'ont accompagnée durant ces six années d'étude en France : Oncle Hai, Xiao-lai, Famille DAO, Xiao-li et Chen, Shuang et Ying, François, Nathalie, Claire et Thomas, Richard, Jing et Xiang, Heidi et Bango, Yu-peng, Si-liang, Xi-en, etc.

Je tiens enfin à remercier mes parents qui m'ont encouragée à relever le défi de réaliser une thèse dans un pays « romantique » mais dont la langue et la culture m'étaient inconnues. Je termine en remerciant infiniment mon époux, Xiaoguang DENG, pour toute la patience, l'aide et l'amour qu'il m'a témoigné durant toute ma période de thèse. Les conseils inspirés de son expérience m'ont beaucoup aidée pour avancer plus rapidement dans mon travail et comprendre plusieurs méthodes d'analyse en relation avec mes recherches. Il est ma motivation et ma force pour entreprendre chaque nouvelle journée de ma vie.





# Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>CHAPITRE 1 CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>- 5 -</b>
1.1 ENJEUX SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL .....	- 5 -
1.2 BIEN-ETRE DANS LES PRODUITS D'HABILLEMENT .....	- 7 -
1.2.1 Ontologie du bien-être pour les produits textile et d'habillement .....	- 8 -
1.3 CONCEPTION DE PRODUITS D'HABILLEMENT .....	- 12 -
1.4 EVALUATION MULTI-SENSORIELLE .....	- 13 -
1.5 METHODOLOGIES PROPOSEES .....	- 17 -
1.5.1 Principes et schéma général .....	- 17 -
1.5.2 Identification des besoins des consommateurs .....	- 21 -
1.5.3 Sélection des paramètres physiques pertinents .....	- 22 -
1.5.4 Détermination de l'espace de fonctionnement .....	- 22 -
1.5.5 Modélisation du bien-être et sa relation avec les composants de conception .....	- 23 -
1.5.6 Evaluation globale des prototypes .....	- 23 -
1.5.7 Techniques de modélisation .....	- 24 -
1.6 BILAN DU CHAPITRE .....	- 25 -
<b>CHAPITRE 2 ACQUISITION DES DONNEES MULTI- SENSORIELLES ET INSTRUMENTALES.....</b>	<b>- 27 -</b>
2.1 STRUCTURE GENERALE POUR L'ACQUISITION DES DONNEES .....	- 27 -
2.2 ENQUETE AUPRES DES CONSOMMATEURS .....	- 28 -
2.2.1 Contexte de l'étude .....	- 28 -
2.2.2 Réalisation d'un questionnaire .....	- 30 -
2.2.3 Exemple pratique d'un questionnaire du bien-être par évaluation multi-sensorielle auprès des consommateurs .....	- 34 -
2.2.4 Bilan .....	- 40 -
2.3 ACQUISITION DES DONNEES INSTRUMENTALES .....	- 40 -
2.3.1 Méthodes existantes pour mesurer le toucher textile par des propriétés mécaniques et physiques .....	- 42 -
2.3.2 Appareils de mesure .....	- 43 -
2.3.3 Méthodes utilisées pour l'acquisition des données instrumentales .....	- 49 -
2.4 ACQUISITION DES DONNEES HUMAINES .....	- 50 -
2.4.1 Evaluation du toucher par les experts .....	- 50 -
2.4.2 Acquisition de données propres à l'image véhiculée par la marque .....	- 52 -
2.4.3 Evaluations multi-sensorielles des produits finis auprès des consommateurs .....	- 54 -
2.5 BILAN .....	- 59 -
<b>CHAPITRE 3 MODELISATION DE LA RELATION ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES TEXTILES ET LES DESCRIPTEURS SENSORIELS .....</b>	<b>- 61 -</b>
3.1 PRINCIPE DE LA LOGIQUE FLOUE ET MODELISATION FLOUE .....	- 61 -
3.1.1 Ensembles flous .....	- 62 -
3.1.2 Fonctions d'appartenance .....	- 63 -
3.1.3 Règles floues .....	- 65 -
3.1.4 Opérateurs logiques flous .....	- 65 -
3.1.5 Système d'inférence floue (SIF) .....	- 66 -
3.1.6 Bilan .....	- 77 -

3.2	SELECTION DES PARAMETRES PHYSIQUES PERTINENTS PAR RAPPORT AUX DESCRIPTEURS SENSORIELS .....	- 78 -
3.2.1	Problème de sélection des paramètres physiques pertinents .....	- 78 -
3.2.2	Méthode de sélection des variables pertinentes.....	- 83 -
3.2.3	Formalisation du problème de sélection des variables pertinentes.....	- 83 -
3.2.4	Critère de sensibilité floue.....	- 84 -
3.2.5	Algorithme de sélection des variables pertinentes .....	- 87 -
3.2.6	Un exemple d'application .....	- 87 -
3.2.7	Bilan .....	- 90 -
3.3	MODELISATION .....	- 91 -
3.3.1	Détermination de l'espace de fonctionnement du modèle.....	- 91 -
3.3.2	Un exemple d'application .....	- 94 -
3.4	BILAN.....	- 103 -
 <b>CHAPITRE 4 MODELISATION DU BIEN-ETRE ET SA RELATION AVEC LES COMPOSANTS DE CONCEPTION .....</b>		<b>- 105 -</b>
4.1	INTRODUCTION .....	- 105 -
4.2	DISSONANCES ENTRE LES CRITERES DU BIEN-ETRE.....	- 106 -
4.2.1	Formalisation du problème.....	- 106 -
4.2.2	Analyse de l'inclusion des informations pour les critères du bien-être.....	- 107 -
4.2.3	Résultats .....	- 109 -
4.3	PREVISION DU BIEN-ETRE DES CONSOMMATEURS SELON LES CARACTERISTIQUES SENSORIELLES DES PRODUITS.....	- 110 -
4.3.1	Formalisation des données .....	- 112 -
4.3.2	Similarité entre les descripteurs sensoriels et les critères du bien-être par utilisation des relations floues .....	- 115 -
4.3.3	Elimination des corrélations entre les descripteurs sensoriels.....	- 116 -
4.3.4	Modélisation de la relation entre les descripteurs sensoriels et le critère du bien-être .....	- 117 -
4.3.5	Un exemple d'application .....	- 120 -
4.4	EVALUATION MULTI-SENSORIELLE DES PRODUITS INDUSTRIELS .....	- 125 -
4.4.1	Formalisation des données .....	- 125 -
4.4.2	Un exemple d'application .....	- 127 -
4.5	REALISATION DES PROGRAMMES DE CARACTERISATION DES CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 129 -
4.5.1	Choix du logiciel .....	- 129 -
4.5.2	Description des programmes développés sous Scilab .....	- 129 -
4.5.3	Module 1 : Des critères du bien-être vers les descripteurs sensoriels et les mesures instrumentales .....	- 130 -
4.5.4	Module 2 : Des descripteurs sensoriels vers les critères du bien-être .....	- 132 -
4.5.5	Module 3 : Des mesures instrumentales vers les critères du bien-être .....	- 133 -
4.5.6	Module 4 : Des évaluations multi-sensorielles vers les critères du bien-être .....	- 134 -
4.5.7	Module 5 : Des descripteurs sensoriels et des évaluations multi-sensorielles ver les critères du bien-être .....	- 136 -
4.5.8	Module 6 : Des mesures instrumentales et des évaluations multi-sensorielles ver les critères du bien-être .....	- 138 -
4.6	BILAN.....	- 141 -
 <b>CHAPITRE 5 EVALUATION GLOBALE DES PROTOTYPES INDUSTRIELS.....</b>		<b>- 143 -</b>
5.1.	INTRODUCTION .....	- 143 -
5.2.	STRUCTURE HIERARCHISEE D'EVALUATION DES PROTOTYPES SATISFAISANT LE BIEN-ETRE DES SENIORS.....	- 145 -
5.3.	METHODE D'EVALUATION GLOBALE A NIVEAUX MULTIPLES.....	- 146 -
5.4.	EXEMPLE D'APPLICATION.....	- 150 -
5.5.	BILAN.....	- 154 -
 <b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>- 155 -</b>

---

<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>- 161 -</b>
<b>ANNEXE 1 LES IMAGES DECRIVANT LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE.....</b>	<b>- 177 -</b>
<b>ANNEXE 2 ENQUETE AUPRES DES CONSOMMATEURS .....</b>	<b>- 178 -</b>
<b>ANNEXE 3 MODELE DE SOUS-VETEMENT .....</b>	<b>- 188 -</b>
<b>ANNEXE 4 MODELE DE VETEMENT.....</b>	<b>- 189 -</b>
<b>ANNEXE 5 COUPE &amp; STYLE SELON CRITERE DU BIEN-ETRE .....</b>	<b>- 190 -</b>
<b>ANNEXE 6 DONNEES ACQUISES A PARTIR D'UNE ENQUETE DU BIEN-ETRE DES CONSOMMATEURS .....</b>	<b>- 193 -</b>
<b>ANNEXE 7 MATIERES TEXTILES SELECTIONNEES POUR LES TESTS INSTRUMENTAUX ET LES TESTS SENSORIELS.....</b>	<b>- 194 -</b>
<b>ANNEXE 8 APPAREILS UTILISES POUR LE MESURE DU TOUCHER TEXTILE.....</b>	<b>- 195 -</b>
<b>ANNEXE 9 LES DONNEES INSTRUMENTALES ACQUISES .....</b>	<b>- 196 -</b>
<b>ANNEXE 10 PROTOCOLE D'EVALUATION DU TOUCHER POUR 17 ECHANTILLONS (GAMME DE T-SHIRTS).....</b>	<b>- 203 -</b>
<b>ANNEXE 11 RESULTATS D'EVALUATIONS DU TOUCHER POUR 17 ECHANTILLONS (GAMME DE T-SHIRTS).....</b>	<b>- 207 -</b>
<b>ANNEXE 12 LISTES DES TERMES ASSOCIES A CHAQUE CRITERE DU BIEN-ETRE .....</b>	<b>- 208 -</b>
<b>ANNEXE 13 LISTE COMMUNE DES TERMES ASSOCIES A CHAQUE CRITERE DU BIEN-ETRE .....</b>	<b>- 216 -</b>
<b>ANNEXE 14 RESULTATS DE SIMILARITE MOYENNE ENTRE LE TOUCHER DES PRODUITS (TEXTILES ET T-SHIRTS) ET LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE ..</b>	<b>- 217 -</b>
<b>ANNEXE 15 LES REFERENCES DE STYLE DES T-SHIRTS.....</b>	<b>- 218 -</b>
<b>ANNEXE 16 LES REFERENCES DE COULEUR DES T-SHIRTS.....</b>	<b>- 219 -</b>
<b>ANNEXE 17 RESULTATS DE SIMILARITE ENTRE LES STYLES DES T-SHIRTS ET LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE .....</b>	<b>- 220 -</b>
<b>ANNEXE 18 RESULTATS DE SIMILARITE ENTRE LES COULEURS DES T-SHIRTS ET LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE .....</b>	<b>- 221 -</b>
<b>ANNEXE 19 RESULTATS DE SIMILARITE ENTRE LES PRODUITS FINIS (T-SHIRTS) ET LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE.....</b>	<b>- 222 -</b>
<b>ANNEXE 20 RESULTATS DE RELATION DES PARAMETRES PHYSIQUES POUR LE DESCRIPTEUR SENSORIEL « DUVETEUX » .....</b>	<b>- 231 -</b>
<b>ANNEXE 21 SIMILARITE ENTRE LES 11 ETOFFES ET LES 13 DESCRIPTEURS SENSORIELS.....</b>	<b>- 238 -</b>
<b>ANNEXE 22 DISTRIBUTION DES SIMILARITES FLOUES ENTRE LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE ET 11 PRODUITS .....</b>	<b>- 239 -</b>
<b>ANNEXE 23 RESULTAT DE COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES DESCRIPTEURS ET LE CRITERE DU BIEN-ETRE .....</b>	<b>- 240 -</b>
<b>ANNEXE 24 RESULTAT DE L'EVALUATION GLOBALE DES PROTOTYPES DE VETEMENTS POUR LE BIEN-ETRE DES SENIORS .....</b>	<b>- 241 -</b>

# Liste des tableaux

TABLEAU 2-1 POIDS DES ASPECTS DU BIEN-ETRE .....	- 39 -
TABLEAU 2-2 EXEMPLE DE RELATIONS ENTRE LES GRANDS ENSEMBLES DE PARAMETRES [BISHOP, 1996] .....	- 41 -
TABLEAU 2-3 TESTS MECANQUES ET PHYSIQUES POUR LE TOUCHER TEXTILE .....	- 42 -
TABLEAU 2-4 LES PARAMETRES DES DIFFERENTS MODULES DU KES - F .....	- 45 -
TABLEAU 3-1 LISTE DE PARAMETRES PHYSIQUES AYANT UNE GRANDE SENSIBILITE POUR LE DESCRIPTEUR « DUVETEUX » .....	- 88 -
TABLEAU 3-2 COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LES PARAMETRES PHYSIQUES AYANT UNE GRANDE SENSIBILITE POUR LE DESCRIPTEUR « DUVETEUX » ( $A=0,5$ ) .....	- 88 -
TABLEAU 3-3 ESTIMATION DU NOMBRE DE CLASSES PAR K-MEANS .....	- 95 -
TABLEAU 3-4 ENTREES/SORTIE NORMALISEES DU MODELE .....	- 96 -
TABLEAU 4-1 COEFFICIENT DE RECOUVREMENT POUR LES 6 CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 109 -
TABLEAU 4-2 DISSONANCES DES CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 110 -
TABLEAU 4-3 REPARTITION DES PRODUITS SIMILAIRES AUX CRITERES DU BIEN-ETRE (EN POURCENTAGE) .....	- 114 -
TABLEAU 4-4 LES VALEUR DE PERFORMANCE DES CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 114 -
TABLEAU 4-5 RELATION ENTRE $R(S_b, A_j)$ , $R(S_b, T_k)$ ET $R(A_b, T_k)$ .....	- 116 -
TABLEAU 4-6 LES CRITERES DE LA PERFORMANCE DES CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 120 -
TABLEAU 4-7 DEGRES DE SIMILARITE ENTRE LES DESCRIPTEURS ET LE CRITERE DU BIEN-ETRE $T_j$ .....	- 121 -
TABLEAU 4-8 LISTE DEFINITIVE DES DESCRIPTEURS PERTINENTS A $T_j$ .....	- 121 -
TABLEAU 4-9 SIMILARITE DES NOUVELLES ETOFFES PAR RAPPORT AUX DESCRIPTEURS PERTINENTS ET A $T_j$ .....	- 123 -

# Liste des figures

FIGURE 1-1 RELATION ENTRE LA FIDELITE A LA MARQUE ET LE BEC .....	- 6 -
FIGURE 1-2 ONTOLOGIE DU BIEN-ETRE .....	- 9 -
FIGURE 1-3 LA CONCEPTION GENERALE DE PRODUITS D'HABILLEMENT .....	- 12 -
FIGURE 1-4 RELATION ENTRE LA CONCEPTION DE PRODUITS ET LA PERCEPTION DES CONSOMMATEURS .....	- 15 -
FIGURE 1-5 NIVEAUX D'EVALUATION SENSORIELLE DANS LES ENTREPRISES .....	- 16 -
FIGURE 1-6 SCHEMA GENERAL POUR NOTRE ETUDE.....	- 19 -
FIGURE 1-7 MODELE DE LA RELATION ENTRE L'ESPACE SENSORIEL ET L'ESPACE MARKETING.....	- 22 -
FIGURE 2-1 STRUCTURE GENERALE POUR L'ACQUISITION DES DONNEES MULTI-SENSORIELLES ET INSTRUMENTALES .....	- 28 -
FIGURE 2-2 REALISATION DE L'ENQUETE DANS NOTRE ETUDE .....	- 31 -
FIGURE 2-3 REPARTITION DES SUJETS EN FRANCE .....	- 33 -
FIGURE 2-4 STRUCTURE HIERARCHIQUE DU BIEN-ETRE POUR LE SOUS-VETEMENT .....	- 36 -
FIGURE 2-5 POIDS DES CRITERES D'ETOFFE POUR LE BIEN-ETRE DES CONSOMMATEURS .....	- 39 -
FIGURE 2-6 LES DIFFERENTS MODULES DE KES – F.....	- 45 -
FIGURE 2-7 PROFILOMETRE 3D.....	- 48 -
FIGURE 2-8 MACHINE UST.....	- 49 -
FIGURE 2-9 METHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNEES D'EXPERTS .....	- 50 -
FIGURE 2-10 ACP POUR LES DONNEES SENSORIELLES DU TOUCHER .....	- 55 -
FIGURE 2-11 CLASSIFICATION DES T-SHIRTS SELON LES CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 56 -
FIGURE 2-12 CARTOGRAPHIE DES T-SHIRTS SELON LES CRITERES DU BIEN-ETRE .....	- 57 -
FIGURE 3-1 COMPARAISON D'UN ENSEMBLE CLASSIQUE ET D'UN ENSEMBLE FLOU .....	- 63 -
FIGURE 3-2 FONCTION CARACTERISTIQUE ET FONCTION D'APPARTENANCE.....	- 63 -
FIGURE 3-3 FONCTIONS D'APPARTENANCE LINEAIRES PAR MORCEAUX.....	- 64 -
FIGURE 3-4 FONCTION D'APPARTENANCE, VARIABLE ET TERME LINGUISTIQUE.....	- 64 -
FIGURE 3-5 UN SYSTEME D'INFERENCE FLOUE .....	- 67 -
FIGURE 3-6 UN EXEMPLE DE MANIPULATION DE REGLES FLOUES DANS L'APPROCHE MAMDANI .....	- 68 -
FIGURE 3-7 FUZZIFICATION.....	- 68 -
FIGURE 3-8 ACTIVATION .....	- 69 -
FIGURE 3-9 CONJONCTION.....	- 69 -
FIGURE 3-10 AGREGATION DES REGLES .....	- 70 -
FIGURE 3-11 DEFUZZIFICATION PAR CENTRE DE GRAVITE .....	- 70 -
FIGURE 3-12 DEFINITION RECURSIVE DES HYPER-VOLUMES D'ACTIVATION ET D'INHIBITION .....	- 73 -
FIGURE 3-13 SYSTEME D'INFERENCE FLOU DE LA METHODE D'ABE .....	- 73 -
FIGURE 3-14 FONCTION D'APPARTENANCE TRAPEZOÏDALE SYMETRIQUE .....	- 75 -
FIGURE 3-15 FONCTION D'APPARTENANCE TRAPEZOÏDALE ASYMETRIQUE .....	- 75 -
FIGURE 3-16 FONCTION D'APPARTENANCE GAUSSIENNE POUR LE CAS PARTICULIER $\gamma_k=(U_k-U_k)/2$ .....	- 76 -
FIGURE 3-17 UN MODELE CARACTERISANT LA RELATION ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET LE DESCRIPTEUR SENSORIEL.....	- 78 -
FIGURE 3-18 MODELE DE SELECTION DES VARIABLES PERTINENTES .....	- 83 -
FIGURE 3-19 UN EXEMPLE DE MODELISATION DE LA RELATION ENTRE LES CRITERES DE QUALITE ET LES PARAMETRES PHYSIQUES POUR UNE COLLECTION DE SOUS-VETEMENTS.....	- 83 -
FIGURE 3-20 VALEURS FLOUES POUR $\Delta X$ ET $\Delta Y$ .....	- 85 -
FIGURE 3-21 VALEURS FLOUES POUR $SF$ .....	- 85 -
FIGURE 3-22 COMPARAISON DES RESULTATS DE RANG DES PARAMETRES PHYSIQUES SELON LES DEUX METHODES.....	- 89 -
FIGURE 3-23 RELATION SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE ENTRE $Y$ « DUVETEUX » ET LE PARAMETRE PHYSIQUE $X_7$ (EPAISSEUR).....	- 89 -
FIGURE 3-24 RELATION SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE ENTRE $Y$ « DUVETEUX » ET LE PARAMETRE PHYSIQUE $X_{30}$ (RESISTANCE THERMIQUE).....	- 89 -
FIGURE 3-25 RELATION SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE ENTRE $Y$ « DUVETEUX » ET LE PARAMETRE PHYSIQUE $X_{19}$ (COEFFICIENT DE FRICTION CDF RECTO SENS MAILLE).....	- 90 -
FIGURE 3-26 RELATION SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE ENTRE $Y$ « DUVETEUX » ET LE PARAMETRE PHYSIQUE $X_{20}$ (DEVIATION MOYENNE DE CDF RECTO SENS COLONNE) .....	- 90 -

FIGURE 3-27 ALGORITHME GENETIQUE PERMETTANT DE TROUVER LES VALEURS OPTIMALES DES PARAMETRES DE SENSIBILITE POUR LA METHODE D'ABE .....	- 93 -
FIGURE 3-28 MODELE CARACTERISANT LA RELATION ENTRE « DUVETEU X » ET LES DEUX PARAMETRES PHYSIQUES .....	- 94 -
FIGURE 3-29 CLASSES DU DESCRIPTEUR « DUVETEU X » POUR LES 17 PROTOTYPES .....	- 96 -
FIGURE 3-30 HYPER-VOLUME D'ACTIVATION DE $A_{44}(1)$ ET DE $A_{55}(1)$ DU NIVEAU 1 .....	- 98 -
FIGURE 3-31 HYPER-VOLUME D'ACTIVATION DE $A_{45}(2)$ ET DE $A_{54}(2)$ DU NIVEAU 2 .....	- 98 -
FIGURE 3-32 PREDICTION DE LA SIMILARITE ENTRE $P_j$ ET LE DESCRIPTEUR « DUVETEU X » PAR LE MODELE PROPOSE .....	- 101 -
FIGURE 3-33 PERFORMANCE DU MODELE D'ABE SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE .....	- 102 -
FIGURE 3-34 ESPACE DE FONCTIONNEMENT POUR CHAQUE CLASSE DU DEGRE DE SIMILARITE PAR RAPPORT AU DESCRIPTEUR « DUVETEU X » .....	- 103 -
FIGURE 4-1 RELATION ENTRE LES DESCRIPTEURS SENSORIELS ET UN CRITERE DU BIEN-ETRE.....	- 111 -
FIGURE 4-2 DEUX ENSEMBLES FLOUS DECRIVANT LA RELATION ENTRE $T_k$ ET $S_j$ .....	- 113 -
FIGURE 4-3 PREDICTION DE LA SIMILARITE ENTRE $P_j$ ET $T_j$ PAR LE MODELE PROPOSE .....	- 122 -
FIGURE 4-4 PERFORMANCE DE LA METHODE PROPOSEE SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE .....	- 122 -
FIGURE 4-5 PREDICTION DE LA SIMILARITE SUR LES 11 ETOFFES D'APPRENTISSAGE PAR LA REGRESSION LINEAIRE .....	- 123 -
FIGURE 4-6 PERFORMANCE DE LA METHODE DE REGRESSION LINEAIRE SUR LES DONNEES D'APPRENTISSAGE .....	- 123 -
FIGURE 4-7 LISTE DES RANGS DE TOUTES LES ETOFFES PAR RAPPORT A $T_j$ .....	- 124 -
FIGURE 4-8 MODELISATION DE LA RELATION DES ASPECTS MULTI-SENSORIELS DANS L'ESPACE DU BIEN-ETRE .....	- 125 -
FIGURE 4-9 PREDICTION DU DEGRE DE SIMILARITE ENTRE $P_j$ ET $T_j$ PAR LE MODELE D'INTERPOLATION LINEAIRE .....	- 128 -
FIGURE 4-10 PERFORMANCE DE L'INTERPOLATION LINEAIRE DANS LA PREDICTION DE LA SIMILARITE D'UN PRODUIT PAR RAPPORT A $T_j$ .....	- 128 -
FIGURE 4-11 STRUCTURE DES PROGRAMMES DEVELOPPES .....	- 129 -
FIGURE 4-12 INTERFACE DU CHOIX DES INTENSITES DES CRITERES DU BIEN-ETRE POUR MODULE 1 .....	- 130 -
FIGURE 4-13 RESULTATS POUR MODULE 1 .....	- 131 -
FIGURE 4-14 CHOIX D'UN CRITERE DU BIEN-ETRE .....	- 132 -
FIGURE 4-15 RESULTAT DU MODULE 2 .....	- 132 -
FIGURE 4-16 CHOIX D'UN CRITERE DU BIEN-ETRE .....	- 133 -
FIGURE 4-17 ENTREE DES VALEURS DES PARAMETRES PHYSIQUES.....	- 133 -
FIGURE 4-18 RESULTATS DU MODULE 4 .....	- 134 -
FIGURE 4-19 CHOIX D'UN CRITERE DU BIEN-ETRE .....	- 134 -
FIGURE 4-20 ENTREE DES VALEURS DE SIMILARITE DE LA MATIERE PAR RAPPORT AU CRITERE DU BIEN-ETRE .....	- 135 -
FIGURE 4-21 CHOIX DU STYLE ET DE LA COULEUR DU T-SHIRT .....	- 135 -
FIGURE 4-22 RESULTAT DU MODULE 4 .....	- 136 -
FIGURE 4-23 CHOIX D'UN CRITERE DU BIEN-ETRE .....	- 136 -
FIGURE 4-24 ENTREE DES VALEURS DES DESCRIPTEURS SENSORIELS.....	- 137 -
FIGURE 4-25 PREVISION DE SIMILARITE DE LA MATIERE PAR RAPPORT AU CRITERE DU BIEN-ETRE.....	- 137 -
FIGURE 4-26 CHOIX DU STYLE ET DE LA COULEUR DU T-SHIRT .....	- 137 -
FIGURE 4-27 RESULTATS DU MODULE 5 .....	- 138 -
FIGURE 4-28 CHOIX D'UN CRITERE DU BIEN-ETRE .....	- 138 -
FIGURE 4-29 ENTREE DES VALEURS DES PARAMETRES PHYSIQUES.....	- 139 -
FIGURE 4-30 CHOIX DU STYLE ET DE LA COULEUR DU T-SHIRT .....	- 139 -
FIGURE 4-31 RESULTATS DU MODULE 6 .....	- 140 -
FIGURE 5-1 UN EXEMPLE DE LA STRUCTURE HIERARCHISEE POUR L'EVALUATION GLOBALE DES PROTOTYPES (VETEMENTS) SATISFAISANT LE BIEN-ETRE DES SENIORS .....	- 146 -
FIGURE 5-2 STRUCTURE HIERARCHISEE DE L'EVALUATION GLOBALE DES PROTOTYPES .....	- 151 -
FIGURE 5-3 DEGRES DE PREFERENCE GLOBAUX DES PROTOTYPES LIES AUX CRITERES DE L'EVALUATION.....	- 151 -
FIGURE 5-4 DEGRE DE PREFERENCE GLOBAL POUR LE PROTOTYPE $P_j$ .....	- 152 -
FIGURE 5-5 DEGRE DE PREFERENCE RELATIF POUR LE PROTOTYPE $P_j$ .....	- 153 -

# INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, stressés par les pressions multiples du travail et de la vie quotidienne, les consommateurs aspirent résolument au bien-être. Ce phénomène tend à se développer et à se prendre une forte ampleur. Dans le même temps, face à la concurrence de plus en plus intensive au niveau du marché international, l'exploitation des besoins des consommateurs et le développement de nouveaux produits personnalisés à la réaction rapide aux attentes des consommateurs et à coût réduit constituent des stratégies prioritaires pour la plupart des entreprises industrielles. Dans cette situation, la maîtrise des descripteurs sensoriels et émotionnels des produits autour de la notion de bien-être permettra de satisfaire au maximum les spécifications et la cohérence de l'image de marque que l'industrie veut véhiculer ainsi que les attentes de plus en plus complexes issues de l'analyse du marché. La notion de l'image de marque sera définie dans la Section 1.1. Pourtant, Dans la pratique, les critères du bien-être, notion complexe, dépendante du contexte et de la culture, comprennent souvent des incertitudes et des imprécisions dans leur évaluation. De plus, le processus de conception est souvent très coûteux et long à mettre en place. La réalisation de nouveaux produits industriels correspondant à des attentes multidimensionnelles désirées et à des expressions émotionnelles adaptées, obtenue par un faible nombre d'essais et avec une durée limitée, est une préoccupation qui mobilise les énergies de nombreux industriels et chercheurs depuis ces dernières années.

Les solutions apportées à cette problématique s'inscrivent dans le cadre de la « mass customisation » ou « personnalisation de masse », où le principe du « prototypage rapide » est souvent appliqué afin de raccourcir les délais et les coûts de conception. Basé sur les techniques de modélisation et de simulation, cet outil d'aide à la décision permet de prévoir les performances du produit, et de réduire le nombre d'essais par un plan d'expériences optimal préalablement défini.

Dans la pratique, il existe de nombreuses incertitudes et redondances dans la conception d'un produit industriel en raison de la complexité de sa perception sensorielle, de l'exigence émotionnelle sur sa qualité, de l'interaction entre les propriétés sensorielles et fonctionnelles et de l'influence des facteurs humains. Pour le moment, la plupart des outils d'aide à la conception ne sont pas capables de résoudre ce problème. Il est donc nécessaire de développer

de nouvelles méthodes fournissant une aide intelligente à la conception multicritère dans un environnement incertain.

Ce mémoire présente les travaux de recherche réalisés au cours de ma thèse doctorale. Cette thèse s'inscrit dans le cadre de caractérisation des critères du bien-être des matériaux textiles et d'habillement, permettant de réaliser rapidement des prototypes adaptés aux besoins des consommateurs. Elle comprend les objectifs suivants : la mesure de l'influence des paramètres de conception (physiques et sensoriels) sur le bien-être, la détermination de l'espace de fonctionnement possible (les intervalles acceptables des paramètres de conception sélectionnés) par rapport à une demande spécifique du bien-être, la modélisation de la relation entre le bien-être et les paramètres de conception et l'évaluation de la qualité globale des prototypes fabriqués par utilisation des approches d'aide à la décision multicritère. Afin de traiter les incertitudes et les imprécisions liées aux propriétés sensorielles et émotionnelles des produits, exprimées par des expressions linguistiques, et à la connaissance humaine incomplète sur la conception, nous utilisons non seulement les techniques classiques de traitement de données, telles que la classification automatique et l'interpolation linéaire, mais aussi les techniques du calcul avancé comme la modélisation floue, l'algorithme génétique, la fusion de données instrumentales et de la connaissance humaine. Les critères de capacité d'interprétation et de précision sont conjointement pris en compte dans le développement de ces méthodes.

Les méthodes développées dans cette thèse ont été appliquées à la conception de produits d'habillement à destination des seniors en tenant compte des critères du bien-être. Elles ont été appliquées à la mise au point de T-shirts.

Ce mémoire s'organise de la façon suivante :

1) **Contexte de l'étude** (Chapitre 1). Nous présentons l'état de l'art, les enjeux industriels, l'ontologie du bien-être, la conception générale de produits d'habillement, la relation entre l'espace de conception et l'espace du bien-être pour les produits d'habillement, les principes de l'analyse multi-sensorielle et des outils de calcul pour la modélisation et l'aide à la décision.

2) **Compréhension de la notion de bien-être et acquisition de données par les mesures instrumentales et l'évaluation multi-sensorielle** (Chapitre 2). Nous identifions d'abord les critères pour les différents aspects du bien-être (toucher, apparence, odorat, effets sonores, facilité d'entretien, durabilité) au travers d'une enquête réalisée dans les magasins



ciblés pour le produit industriel considéré. Cette enquête s'effectue sur les produits d'une entreprise afin de comprendre la satisfaction et les attentes des consommateurs par rapport aux spécifications de qualité fournies par les experts. Chaque critère du bien-être, correspondant à une image véhiculée par la marque de l'entreprise, est représenté par une série d'images décrivant l'ambiance correspondante. A l'aide des experts industriels, nous collectons d'abord un ensemble de produits représentatifs de l'entreprise. Ensuite, des tests instrumentaux sont réalisés sur un nombre d'appareils dédiés afin de caractériser le toucher par des moyens physiques. De plus, une procédure classique d'évaluation sensorielle descriptive s'effectue par un panel composé d'experts entraînés afin d'évaluer le toucher textile de ces produits. Les descripteurs identifiés dans cette procédure d'évaluation sensorielle représentent la qualité sensorielle des produits. Enfin, une nouvelle procédure, développée dans le cadre de la thèse, permet d'évaluer la pertinence du toucher et de l'apparence (style et couleur) de ces produits représentatifs par rapport aux critères du bien-être en faisant référence aux images d'ambiance obtenues précédemment. Les données acquises seront utilisées dans nos développements ultérieurs.

3) **Modélisation de la relation entre la qualité sensorielle du toucher et les caractéristiques physiques** (Chapitre 3). Ce modèle a pour but de prévoir les descripteurs sensoriels du toucher à partir des mesures physiques et d'interpréter les mesures physiques du toucher par rapport aux descripteurs sensoriels. Il se construit à partir, soit d'une base de données correspondant à un ensemble de produits existants, soit d'une première série de prototypes réalisée lors de la conception d'une nouvelle collection de produits. Ce dernier modèle offre une grande souplesse aux concepteurs pour caractériser la qualité sensorielle des produits. Les paramètres de conception peuvent être sensoriels si un panel sensoriel est disponible dans l'entreprise. Ils peuvent être uniquement physiques pour des raisons de coût et pour une meilleure reproductivité si le panel sensoriel n'est pas disponible. Afin de simplifier ce modèle pour sa mise en œuvre et pour faciliter son interprétation physique, nous développons une méthode permettant de sélectionner, pour un descripteur sensoriel spécifique, un ensemble faible de caractéristiques physiques pertinentes. Nous déterminons ensuite un espace de fonctionnement possible composé des régions des caractéristiques acceptables pour lesquels le produit répond aux spécifications du cahier des charges sensoriel. Cette méthode permet de partitionner l'espace des paramètres physiques de conception et d'extraire des règles floues caractérisant les relations entre les descripteurs sensoriels et les paramètres physiques de

conception. Nous utilisons cet espace de fonctionnement du toucher pour aider les concepteurs à positionner leur produit dans l'espace sensoriel.

4) **Modélisation de la relation entre un critère du bien-être et les composants de conception sensoriels (descripteurs sensoriels pour le toucher, le style et la couleur)** (Chapitre 4). Nous calculons la dissonance entre les critères retenus pour le bien-être afin de mesurer l'inclusion d'information entre eux. Ensuite, nous proposons une méthode originale permettant de prédire le degré de similarité d'un critère du bien-être à partir des données d'évaluation sensorielle. Cette méthode utilise à la fois la relation floue et le calcul de corrélations pour la sélection d'une petite quantité de descripteurs sensoriels pertinents, puis combine ces descripteurs pertinents en utilisant un opérateur d'agrégation pondérée afin de prévoir le degré de similarité entre les nouvelles étoffes et le critère du bien-être. Il permet aux concepteurs de prévoir la perception du consommateur à partir des matières et de concevoir de nouveaux produits d'habillement en adéquation avec l'image véhiculée par la marque. Une procédure de sélection des descripteurs pertinents à un critère du bien-être spécifique a été appliquée afin de simplifier ce modèle. Ensuite, nous présentons une nouvelle méthode de modélisation, également en utilisant l'apprentissage des données multi-sensorielles et la méthode d'interpolation linéaire, afin de bien positionner le nouveau produit par rapport aux produits existants dans l'espace de bien-être. Enfin, l'ensemble des méthodes appliquées et nouvellement développées sur la modélisation (Chapitre 3 et 4) ont été réalisées en logiciel libre Scilab ([scilab.org](http://scilab.org)) et regroupées dans un système complet avec une interface conviviale. Ce système est mis à la disposition de notre partenaire industriel pour la conception de T-shirts en maille et la caractérisation de la notion de bien-être pour les produits de l'entreprise.

5) **Evaluation globale à multicritères flous** (Chapitre 5). Nous proposons une méthode d'évaluation globale à multicritères flous, permettant de sélectionner le prototype le plus pertinent parmi un ensemble des produits existants. Cette méthode utilise des critères d'évaluations linguistiques, organisés dans une structure hiérarchisée. Ceci conduira à des orientations intéressantes pour concevoir de nouveaux produits. En fait, l'évaluation des prototypes est une phase importante avant l'industrialisation de masse. Enfin, nous testons la performance des méthodes développées précédemment au travers d'un exemple présenté dans le Chapitre 3, concernant le cas concret du développement de T-shirts d'une collection de l'entreprise pour le bien-être des seniors.

# Chapitre 1 Contexte de l'étude

*Dans ce chapitre, nous présentons les enjeux scientifiques et industriels du bien-être des consommateurs, en particulier le bien-être dans l'habillement et son ontologie. Ensuite, nous présentons le processus de la conception générale de produits d'habillement. Puis, nous illustrons la relation entre l'espace de conception et l'espace de bien-être. L'analyse multi-sensorielle est introduite pour la conception de produits de bien-être. Enfin, nous proposons un ensemble d'outils de calculs pour la modélisation et l'aide à la décision.*

## 1.1 Enjeux scientifique et industriel

Le bien-être est un état physique et spirituel de l'être humain qui concerne la santé, le plaisir, la réalisation de soi, l'harmonie avec soi et les autres [RYAN, 2001]. Au début, il a été utilisé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) afin d'évaluer l'état de santé d'un individu à partir de sa propre vie. Aujourd'hui, cette notion devient un critère souvent utilisé pour exprimer la satisfaction de l'être humain dans de nombreux aspects, tels que le travail, l'économie, l'éducation, les loisirs, la consommation [ESSAMA-NSSAH, 2000], [SUZANNE, 2005].

La notion de bien-être est multidimensionnelle et complexe. Dans un sens large, il se réfère à la vie bien vécue, une vie riche dans la croissance personnelle, une vie qui reflète le fait de son humanité et de son appartenance à une communauté, et enfin une vie construite à partir d'une sorte de pensée consciente et de réflexion quant à son contenu et son but [BRUTON, 1977].

Dans un contexte industriel, le bien-être renvoie aux sentiments de satisfaction et de mécontentement du consommateur acquis de façon à contribuer à sa qualité de vie [GRZESKOWIAK, 2007]. Pour la problématique traitée dans le cadre de la thèse, cette notion représente le bien-être défini pour l'habillement que veut véhiculer l'industrie textile.

Une grande partie des études sur la satisfaction du consommateur est guidée par la notion théorique selon laquelle la satisfaction du consommateur joue un rôle important dans sa

fidélisation [CUNNINGHAM, 1956] et le bouche à oreille [FORNELL, 1992], [FORNELL, 1996], [OLIVER, 1997], [SZYMANSKI, 2001]. Le but est d'améliorer la satisfaction du consommateur afin d'augmenter le volume de vente, la part de marché et le bénéfice.

Le bien-être du consommateur (BEC) est la perception à mesurer si une marque (un bien de consommation ou un service) joue un effet positif dans les domaines différents créant ainsi une perception générale de l'impact de qualité de vie de cette marque [GRZESKOWIAK, 2007].

Basée sur cette définition, l'un des facteurs importants pour le BEC est la conformité entre l'image véhiculée par la marque et l'image perçue par les consommateurs. L'effet de conformité sur le BEC peut renforcer la fidélité à la marque. Les entreprises s'efforcent de fournir aux consommateurs cette valeur en reliant les sensations spécifiques avec les besoins du marché. Dans la pratique, la perception sur les produits peut être influencée par la valeur expressive de marque [PARK, 1986]. La valeur expressive de marque est définie comme la mesure à laquelle la marque est associée à une image d'utilisateur, avec laquelle les consommateurs peuvent comparer leur propre image. Beaucoup de chercheurs suggèrent que les produits seront probablement achetés et consommés si les consommateurs trouvent une sorte de conformité entre l'image véhiculée par la marque et leur propre image [SIRGY, 1982]. La relation entre la fidélité à la marque et le BEC se schématise selon la Figure 1-1.

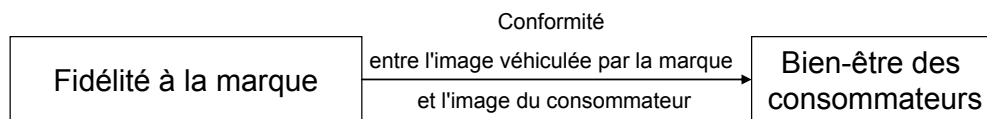


Figure 1-1 Relation entre la fidélité à la marque et le BEC

Beaucoup de chercheurs ont montré que la conformité entre l'image véhiculée par la marque et l'image de soi du consommateur influence la motivation de satisfaction des consommateurs pour acheter la marque et y rester fidèle [SIRGY, 1997]. La satisfaction est une réflexion d'effets positifs dans les différents domaines dans lesquels la marque prédomine. Ainsi, la perception sur l'impact de sa qualité de vie sera très probablement ou directement fondée par la perception qu'a le consommateur de l'effet positif de la marque des produits dans un domaine spécifique. Plus le niveau de conformité est élevé entre l'image véhiculée par la marque et l'image de soi du consommateur, plus grande est la perception du consommateur de l'impact de la marque sur sa qualité de vie.

L'effet de marketing sur le BEC a intéressé de nombreux chercheurs [SIRGY, 2001],

[LEE, 2004], [SIRGY, 2006]. Le marketing influence le BEC, affecte la satisfaction directement dans l'achat des consommateurs et indirectement dans d'autres domaines tels que entre autres, la santé, la sécurité, le travail, la famille, les loisirs et la finance [DAY, 1978], [DAY, 1987], [SAMLI, 1987], [LEELAKULTHANIT, 1991], [SIRGY, 2001]. Dès lors, les entreprises intéressées par la contribution au bien-être de leurs consommateurs devront mettre en place des programmes de marketing conçus pour améliorer la fidélité à la marque. Elles doivent aussi développer la publicité et la promotion en utilisant des messages qui reflètent la sorte d'image d'utilisateur véhiculée par la marque avec laquelle la majorité des consommateurs peuvent s'identifier (i.e. la conformité de soi d'expérience).

L'image véhiculée par la marque est l'un des rares concepts du marketing à être connue du grand public. Selon la définition de Keller [1993], les perceptions portant sur une marque sont reflétées par les associations à la marque détenues dans la mémoire du consommateur. Keller considère que l'image de marque et la notoriété, constituées de son rappel et de sa reconnaissance, sont les deux composantes de la connaissance de la marque. Il classifie les associations à la marque (qui constituent l'image de marque) en trois catégories, de la plus concrète à la plus abstraite :

1. Attributs : Keller distingue les attributs non liés au produit (prix, packaging, les utilisateurs, et l'utilisation des produits ; ces deux derniers peuvent constituer la personnalité de la marque) des attributs liés au produit.

2. Bénéfices : fonctionnels (souvent liés aux besoins physiologiques), expérimentaux (sensations procurées par l'utilisation des produits de la marque), et symboliques (comme par exemple le besoin d'approbation sociale) [PARK, 1986].

3. Attitude envers la marque, définie comme l'évaluation globale d'une marque.

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur la notion de qualité perçue (les bénéfices associés à la marque) pour étudier le BEC dans l'industrie textile et d'habillement.

## **1.2 Bien-être dans les produits d'habillement**

Dans la conception de produits d'habillement fonctionnels, le bien-être est une notion de qualité évaluée par les sens ou la perception qui n'est pas exprimée de façon quantitative [GERSAK, 2002]. Dans les entreprises d'habillement européennes d'aujourd'hui, le développement de nouveaux produits d'habillement fonctionnels se concentre sur des

produits innovants intégrant les concepts modernes. Un produit très novateur est défini comme un produit nouveau qui offre des bénéfices uniques pour les besoins du marché. De plus, il implique un grand défi pour la conception et la production. Le bien-être est l'une des solutions. Un échec de la conception du produit pourrait signifier une grande responsabilité envers le bien-être des consommateurs, une perte de la confiance du public, une perte de financement, ou une perte potentielle de parts de marché et d'un avantage concurrentiel [BROWN, 2004], chaque ingénieur, à son tour, s'attend à ce que chaque nouveau produit ou service, en quelque sorte, soit un plus pour notre santé, notre confort et notre bien-être matériel [BURKE, 1966].

Les produits d'habillement sont les matériaux essentiels qu'on utilise chaque jour afin d'obtenir le confort physiologique et psychologique et, plus fondamentalement, pour garantir que les conditions matérielles de notre corps soient adaptées à la vie. Par conséquent, la recherche sur le confort des produits d'habillement a une signification fondamentale pour l'être humain et l'amélioration de la qualité de vie. D'un point de vue de la gestion des entreprises textiles et habillement, la recherche sur le confort des produits d'habillement permet d'obtenir des avantages durables et compétitifs dans les marchés de consommation moderne.

Le textile peut constituer un lien puissant entre la mode et le design, si lui-même investit les émotions, les aspirations, les valeurs du consommateur en lui offrant de nouvelles sensorialités, des fonctions inédites, au-delà de l'esthétique. C'est l'enjeu essentiel des industries d'habillement : augmenter sa technicité pour répondre à l'imaginaire du consommateur.

### **1.2.1 Ontologie du bien-être pour les produits textile et d'habillement**

L'ontologie du bien-être des consommateurs inclut plusieurs facteurs (cf. Figure 1-2) que nous mesurons en quatre dimensions : cognition, affection, conation et action fidélité [ŞİMŞEK, 2009].

La qualité du produit inclut des critères perçus au cours de l'achat du produit ou de son utilisation. Le toucher et l'apparence sont deux critères primordiaux de qualité pour le bien-être des consommateurs.

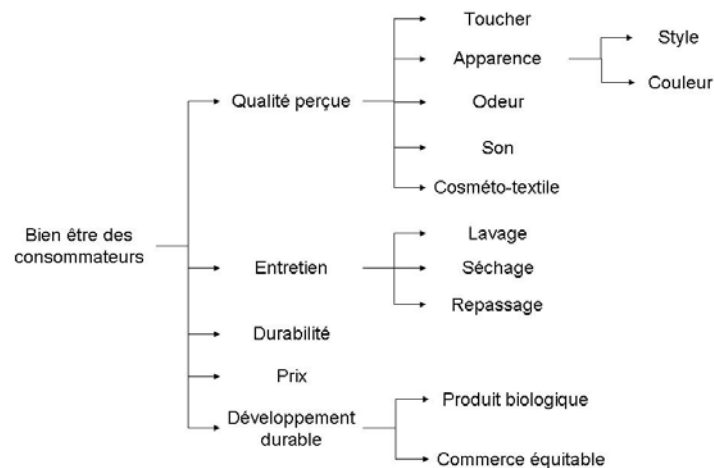


Figure 1-2 Ontologie du bien-être

### ✧ **Toucher**

Instinctivement, le consommateur utilise le sens du toucher au moment de choisir un vêtement afin d'évaluer la qualité de la matière utilisée ainsi que son aptitude à une utilisation spécifique. La façon dont le textile se conformera et se prêtera à son usage est décrite par le sens du toucher [MÄKINEN, 2005]. C'est un aspect indispensable pour le bien-être des consommateurs.

Le toucher, du point de vue mécanique, peut se diviser en six parties : traction, flexion, l'état de surface, cisaillement, compression, poids et épaisseur [HU, 1993]. Selon les applications, chaque aspect de ce sens impliquera un ou plusieurs paramètres différents, ce qui peut être mesuré par les tests instrumentaux ou perçu subjectivement par la main.

### ✧ **Apparence**

L'apparence influence le bien-être social et psychologique des consommateurs. Il y a trois critères principaux : la couleur, le style et la texture. Mais la préférence du style, de la couleur et de la texture dépend du contexte socioculturel, et elle évolue en fonction de l'âge des consommateurs et de la mode. Dans ce travail de thèse, nous nous concentrerons sur la couleur et le style des produits, car il y a peu de différence au niveau de la texture visuelle pour la collection de produits étudiés. L'étude de la texture tactile fait partie du toucher, étudié dans la thèse.

### ✧ **Fragrance**

Dans les années 90, il devenait possible d'ajouter une nouvelle dimension de bien-être

(l'odorat) grâce à la technologie d'encapsulation par exemple. Dans un premier temps, les chercheurs ont mis l'accent sur les fragrances dérivées de fruits (par exemple, la fraise...). Aujourd'hui, il devient intéressant d'explorer davantage l'intérêt et la contribution sur cette nouvelle dimension pour la conception de produits d'habillement satisfaisant le bien-être des consommateurs. Les vêtements parfumés peuvent apporter un confort psychologique dans la vie quotidienne. La demande pour la stimulation olfactive reflète partiellement le rôle de la fragrance dans l'influence de l'état émotionnel et du bien-être. Les fragrances peuvent améliorer l'humeur, promouvoir l'optimisme, détendre ou stimuler, aider à l'évocation de souvenirs personnels, et faciliter les idées créatives [EHRlichman, 1992], [HERZ, 1998].

#### ✧ **Son**

Le bruit de l'étoffe, dont la nuisance était ignorée jusqu'à récemment, intéresse de plus en plus la population en général et en particulier l'industrie textile [CHOL, 2005]. Lorsque les consommateurs mettent leurs manteaux, surtout en hiver, il y a toujours de légers bruits statiques en raison des phénomènes électrostatiques entre les fibres synthétiques. Il affecte également le bien-être des consommateurs. Le claquement d'une couette ou d'un manteau d'hiver induit et participe à l'évaluation du confort et au final de bien-être, tout autant que son fragrance.

#### ✧ **Entretien**

Un entretien aisé est également un aspect important en terme de préférence du consommateur afin de prolonger la durée de vie des vêtements et d'économiser le coût de leur usage. Dans cet aspect, il y a trois critères : le lavage, le repassage et le séchage. Les consommateurs recherchent un entretien facile et économique pour leur bien-être.

#### ✧ **Durabilité**

La durabilité est définie par le nombre de lavages qu'un vêtement peut endurer sans dégradation notable. Et c'est un critère paradoxal pour les consommateurs et pour les entreprises. D'un côté, les consommateurs cherchent un vêtement qu'ils peuvent porter longtemps lavage après lavage. D'un autre côté, les entreprises veulent que les consommateurs continuent à acheter leurs produits, même si leurs anciennes collections ne sont pas encore usées. Alors, il faut trouver un compromis entre le besoin du consommateur et



celui de l'entreprise.

#### ✧ **Prix**

Les consommateurs perçoivent la valeur d'un produit (ou un service) comme une fonction directe de l'échange entre leurs perceptions des bénéfices du produit et le prix. Zeithaml [1988] a décrit la valeur perçue comme le fait de représenter un échange entre « le fait de recevoir » ou composante de bénéfices (ex. : la qualité de service) et « le fait de donner » ou la composante de prix (ex. : les prix monétaires et non-monétaires) du produit (ou du service). Les consommateurs cherchent un produit de bonne qualité avec un prix compétitif. Le prix fixé doit dépendre de la qualité du produit et du pouvoir d'achat du consommateur.

#### ✧ **Développement durable**

Aujourd'hui, la notion de « développement durable » est très à la mode. Il se définit comme un développement qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans compromettre ceux des générations futures.

Les produits biologiques et le commerce équitable sont deux orientations importantes pour le bien-être des consommateurs dans cet aspect. Les produits « bio » signifient que les produits que nous mangeons ou utilisons ne contiennent aucun élément chimique de synthèse fabriqué par l'homme. Les produits bios sont cultivés, fabriqués de manière naturelle ; l'intervention de l'homme est une collaboration avec la nature dans la combinaison des éléments de celle-ci.

Le commerce équitable est un partenariat commercial et un mouvement social qui vise à l'amélioration du droit et des conditions de commerce des travailleurs des pays pauvres, en particulier dans le cadre des échanges internationaux Nord-Sud. Le produit équitable et le produit biologique peuvent être appréhendés comme des solutions offertes aux producteurs des pays du Sud pour obtenir de meilleures conditions d'achat de leur récolte. Ce sont aussi des moyens de s'insérer dans le développement durable prôné par les instances internationales.

### 1.3 Conception de produits d'habillement

Afin de rester compétitives sur le plan international, les entreprises européennes se concentrent sur la conception permettant d'introduire l'imaginaire et l'émotion dans les cultures industrielles et technologiques.

Avant de présenter notre démarche de conception, nous indiquons d'abord la conception générale des produits d'habillement (cf. Figure 1-3) afin de mettre en évidence notre contexte de l'étude [BABAZONO, 2010].

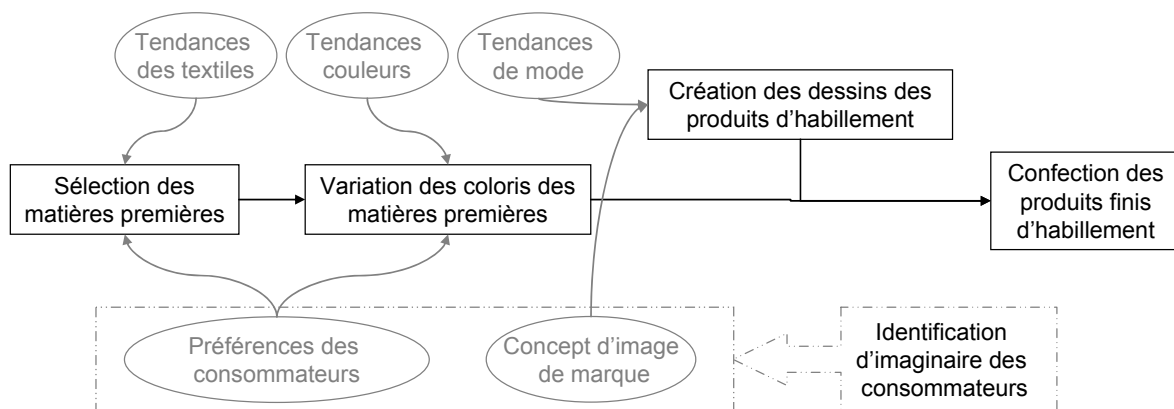


Figure 1-3 La conception générale de produits d'habillement

Pour les industries d'habillement, la notion de bien-être intervient dans toute la chaîne de conception : depuis la sélection de la matière jusqu'à la confection du vêtement.

La conception de produits d'habillement comprend essentiellement les 4 étapes suivantes :

#### 1 Sélection des matières premières

Le service R&D collecte une grande variété d'échantillons textiles écrus (sans couleur) par tous les moyens : visite des salons, rencontre des fournisseurs, etc. Le choix du textile s'effectue selon la mode et la préférence des consommateurs ciblés par rapport aux propriétés sensorielles du toucher. Cette dernière est identifiée par une étude de marché et des tests consommateurs. Cette collection des textiles constitue un matériau-thèque des échantillons de l'entreprise pour les collections de nouvelle saison.

#### 2 Variation des coloris des matières premières

Il faut réaliser les produits selon la mode du moment. Cette dernière est selon la tendance des couleurs pour les collections de la nouvelle saison et la préférence des consommateurs. Cette dernière est également identifiée par une étude de marché, des tests consommateurs et

des volumes de ventes des produits existants.

### *3 Création des dessins des produits d'habillement*

Les stylistes créent les dessins pour les collections de la nouvelle saison par l'inspiration de la tendance de mode et du concept d'image véhiculée par la marque défini par le service marketing selon leur expérience professionnelle.

### *4 Confection des produits finis d'habillement*

Selon les dessins créés par les stylistes, les ingénieurs choisiront la matière et le coloris pour confectionner les produits d'habillement.

Dans cette chaîne de conception, la matière, le coloris et le style sont les éléments primordiaux pour développer un vêtement. Ces trois aspects sensoriels constituent la perception globale des consommateurs sur les produits d'habillement.

## **1.4 Evaluation multi-sensorielle**

Dans le marché concurrentiel actuel, les fonctionnalités d'un produit, la qualité de fabrication ou le rapport qualité/prix ne suffisent plus désormais pour séduire les consommateurs. Ce phénomène apparaît dans plusieurs secteurs, tels que l'automobile, la cosmétique, l'alimentation, le textile, etc. Les consommateurs d'aujourd'hui sont à la recherche d'une expérience sensorielle ou émotionnelle qui procure une perception de bien-être lors de l'achat d'un produit. Pour intégrer ce besoin, les industries ont été amenées à réfléchir à l'intégration du consommateur-utilisateur à chaque stade de la conception/fabrication du produit [GIBOREAU, 2001], [CROSSLAND, 2003], [ROUSSARIE, 2004]. Le consommateur est maintenant présent, non seulement dans les phases classiques d'étude de marché et de définition du besoin des consommateurs (marketing), mais également dans les phases de recherche, de mise en œuvre, et d'évaluation de solutions techniques [PETIOT, 2004].

Pour les consommateurs habituels, un produit d'habillement peut être perçu à deux niveaux [GOLDSTONE, 2000] :

- La perception basique sur les produits, correspondant à des descripteurs sensoriels normalisés utilisés par les concepteurs dans la conception. Elle est indépendante du contexte social et culturel des produits et des consommateurs. Ces descripteurs sensoriels normalisés peuvent être utilisés directement par des créateurs pour développer de nouveaux produits. Les

descripteurs perçus correspondants peuvent être « lisse », « moelleux » pour le toucher de la matière et « brillant », « couleur pâle » pour l'apparence textile.

- La perception des consommateurs dans un contexte social et culturel [BRANGIER, 2003], notamment un certain nombre de concepts complexes tels que le style, le confort, le bien-être et le développement durable. Chaque concept complexe est un critère de conception abstrait proposé par le département marketing. Il représente une expérience sociale et culturelle et devra évoluer avec la société. Les créateurs de produits ont souvent des difficultés à comprendre et à caractériser ces concepts, qui sont assez éloignés de leurs critères classiques fonctionnels et sensoriels. Pour aider les créateurs à contrôler ces concepts et les intégrer dans la conception de produits, nous avons besoin de décomposer chaque concept complexe et abstrait en une série d'ambiances ou de critères relativement concrets. Par exemple, au sein d'une entreprise, le « bien-être » procuré par des produits d'habillement peut être décomposé en 6 critères « Chaleur », « Dynamisme », « Protection », « Relaxation », « Fraîcheur » et « Liberté ». Chaque critère d'évaluation s'associe avec une série d'images véhiculée par la marque d'entreprise décrivant l'ambiance correspondante (cf. Annexe 1).

Pour l'industrie textile et habillement, il est important d'intégrer les perceptions basiques des consommateurs sur les produits, les concepts complexes ainsi que les caractéristiques physiques des propriétés fonctionnelles telles que l'isolation thermique, de façon conforme dans la conception de nouveaux produits d'habillement afin de satisfaire aux exigences des consommateurs aux différents niveaux (niveau fonctionnel, niveau de la perception sensorielle basique et niveau social et culturel).

La relation entre la conception de produits industriels et la perception des consommateurs peut se schématiser de la façon suivante (Figure 1-4).

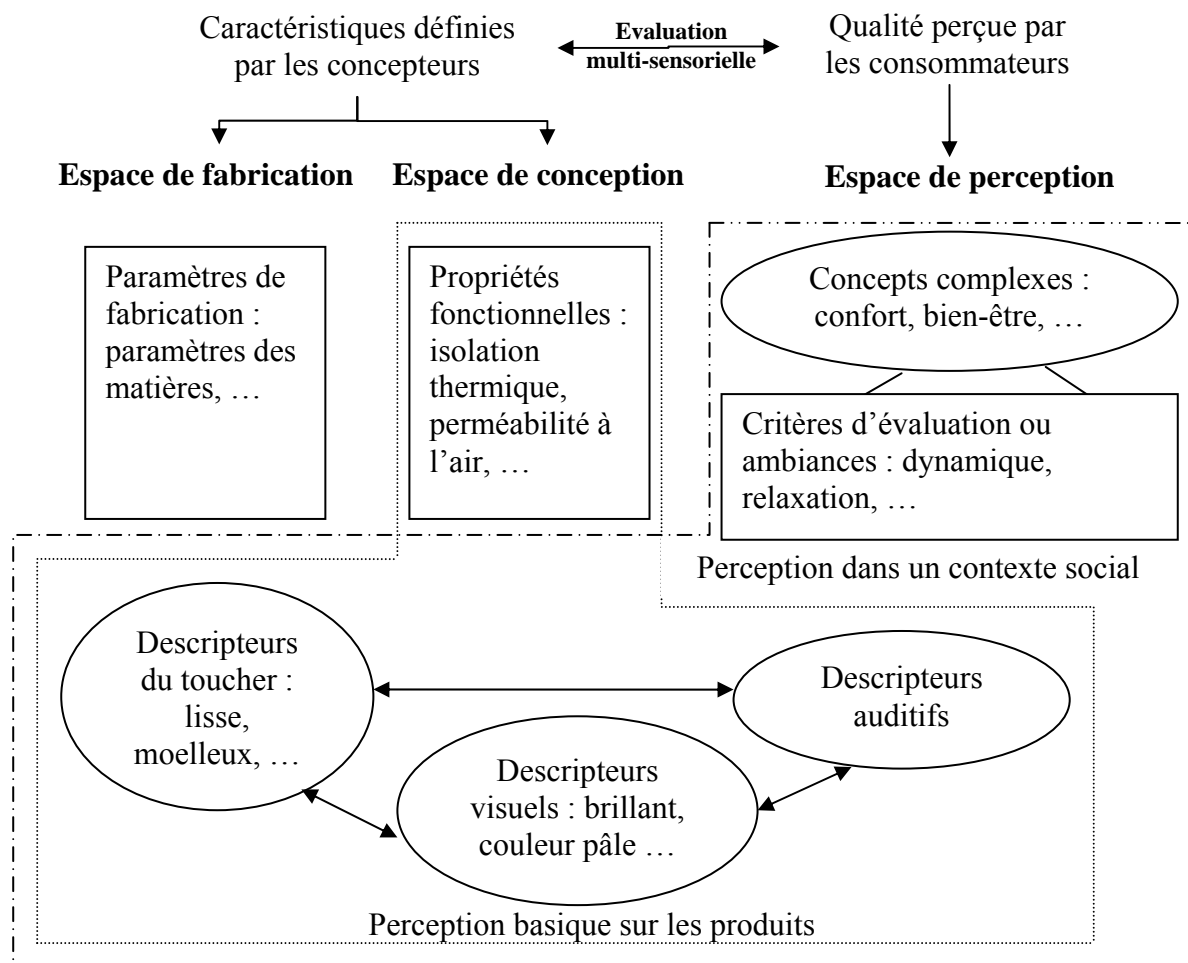


Figure 1-4 Relation entre la conception de produits et la perception des consommateurs

En général, dans les industries modernes, le concept de qualité perçue devient désormais incontournable pour de nombreux produits manufacturés. Un intérêt majeur pour les industriels est de relier la qualité perçue, comprenant les émotions et la perception basique des consommateurs, aux caractéristiques du produit définies par les concepteurs.

Dans ce cadre, l'évaluation sensorielle, plus particulièrement l'évaluation multi-sensorielle, initialement développée dans l'industrie alimentaire [SSHA, 1998], [BLUMENTHAL, 2001] est désormais pratiquée dans de nombreux secteurs industriels [GRABISCH, 1997]. Cette approche est devenue maintenant une méthode compétitive pour le développement de nouveaux produits industriels. Les principaux objectifs de l'évaluation sensorielle se décrivent de la façon suivante :

- améliorer le contrôle qualité des produits pour lequel une mesure instrumentale est délicate à interpréter par la perception humaine,
- suivre la production,

- développer de nouveaux produits,
- comprendre les préférences des consommateurs et caractériser le marché.

Aujourd'hui, l'évaluation sensorielle est largement utilisée dans les industries en particulier dans le contrôle qualité, la conception de produits et le marketing. Elle concerne également d'autres domaines spécialisés tels que l'évaluation des risques, l'évaluation des investissements et l'évaluation de la sécurité.

Une définition classique de l'évaluation sensorielle est donnée par Stone [1993] et Dijksterhuis [1997] comme suit :

*L'évaluation sensorielle est une discipline scientifique permettant de mesurer, d'analyser et d'interpréter les réactions aux caractéristiques du confort textile quand les sensations visuelles, gustatives, olfactives, tactiles et auditives sont perçues.*

A la lueur d'un tour d'horizon des applications de l'évaluation sensorielle dans l'entreprise, nous apprenons qu'il y a deux types d'applications majeures (cf. Figure 1-5) : la conception de produits et le ciblage de consommateurs en termes de préférences pour les produits. En général, dans un cycle de conception du produit, le service de recherche et développement prend en considération à la fois les produits et les consommateurs, alors que pour le service marketing de l'entreprise, seuls les consommateurs sont pris pour cible dans leur étude.

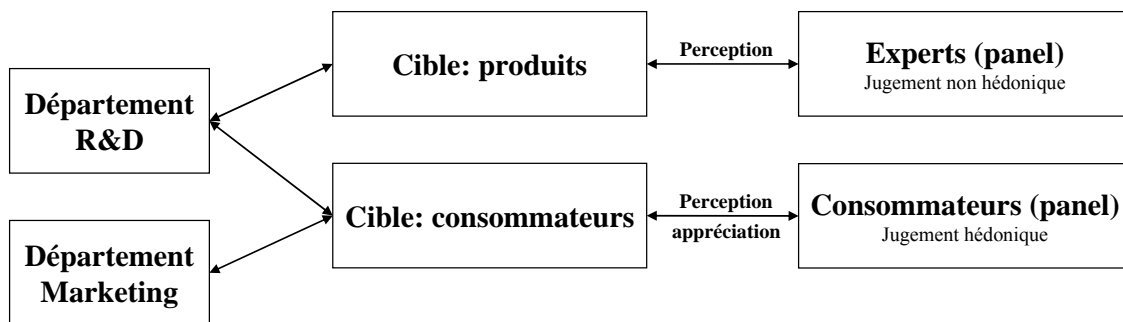


Figure 1-5 Niveaux d'évaluation sensorielle dans les entreprises

En focalisant sur les produits, nous utilisons généralement un groupe d'experts entraînés pour les évaluer afin de quantifier « objectivement » leurs caractéristiques sensorielles. Ce type d'évaluation est appelé « perception » sans jugement d'ordre personnel. Les experts utilisent leurs connaissances professionnelles pour tenter de cartographier au mieux la perception du produit évalué. Normalement, leurs évaluations se détachent complètement d'un jugement hédonique [DANZART, 1998]. En revanche, au niveau des consommateurs

privés d'entraînement et de connaissance d'ordre professionnel, l'évaluation sensorielle s'exprime au travers d'une appréciation relative par rapport à leur préférence et pour un contexte d'application du produit. Il se peut qu'une partie des consommateurs aient ou non une connaissance a priori de la qualité du produit. Par conséquent, au cœur de leur évaluation sensorielle, les deux types d'évaluation coexistent : « la perception » et « l'appréciation ».

La « multi-sensorialité », qui consiste à jouer simultanément sur plusieurs sens, permet ainsi de rassurer le consommateur sur la réalité de sa consommation, qui devient une expérience enrichissante, voire épanouissante.

L'évaluation multi-sensorielle a pour objet de formaliser et de caractériser les concepts complexes orientés vers les consommateurs comme le confort, le style, le bien-être, la santé et le développement durable. La caractérisation de ces concepts permet de concevoir et de développer de nouveaux produits industriels adaptés au marché et aux exigences sociales. L'évaluation multi-sensorielle peut aussi compenser les défauts d'un sens de perception en améliorant d'autres sens pour obtenir la perception de satisfaction générale des produits industriels. C'est particulièrement significatif dans la vente à distance et le commerce électronique dans lesquels seulement les informations visuelles et parfois auditives des produits peuvent être transmises aux consommateurs.

Parmi de nombreux secteurs industriels, l'industrie automobile et l'industrie cosmétique jouent un rôle de leader dans le développement et les applications des techniques d'évaluation multi-sensorielle. Dans de nombreux groupes internationaux en automobile, il existe des départements de recherche spécialisés en caractérisation et agrégation des réactions à cinq sens de la clientèle aux différentes composantes des véhicules. Les résultats des études multi-sensorielles sont systématiquement pris en compte dans la conception de nouveaux véhicules personnels afin d'optimiser simultanément l'efficacité de voyage, la sécurité et le confort.

## **1.5 Méthodologies proposés**

### **1.5.1 Principes et schéma général**

De nombreux outils d'aide à la décision ont été développés pour la conception industrielle de produits [LIMAYEM, 1999], [YANNOU, 2002], [MERLO, 2008]. Ces outils

sont appelés outils d'aide à la conception. Dans le cadre de différents travaux de recherche menés au laboratoire GEMTEX, plusieurs systèmes d'aide à la conception sont proposés [ZHOU, 2007], [DENG, 2008], [KOEHL, 2008].

Dans le contexte de compétition internationale actuel, les concepteurs de produits d'habillement sont contraints d'innover en permanence afin de satisfaire des spécifications nouvelles et d'être réactifs face à l'évolution du marché désormais mondialisé. Les nouveaux enjeux sont, aujourd'hui, de développer des produits d'habillement qui apporteront le confort et le bien-être au porteur (dans l'espace, dans l'habitat) ou une préférence personnelle perçue selon tous les aspects (esthétique, toucher, odorat).

Les travaux effectués dans cette thèse ont pour objectif de construire des outils d'aide à la conception destinés à caractériser la notion de bien-être et de relier cette notion et d'autres critères de marketing aux paramètres techniques des composants textiles afin d'améliorer la perception sensorielle de l'image véhiculée par la marque. Ainsi, nous souhaitons particulièrement développer un outil optimal pour aider les concepteurs à concevoir rapidement les produits d'habillement désirés. Cet outil devra permettre une meilleure compréhension des positionnements des produits industriels correspondant à l'image véhiculée par la marque de l'entreprise.

Ainsi, nous proposons un schéma général pour la conception de produits d'habillement correspondant à l'image véhiculée par une marque de l'entreprise (cf. Figure 1-6). Cette démarche permet de satisfaire les cahiers des charges sensoriels et émotionnels par l'intégration des caractéristiques multi-sensorielles et les critères du bien-être. Logiquement, cette démarche se divise en cinq étapes : *Définir* – *Mesurer* – *Analyser* – *Améliorer* – *Maîtriser* (DMAAM) [LAMPRECHT, 2006].



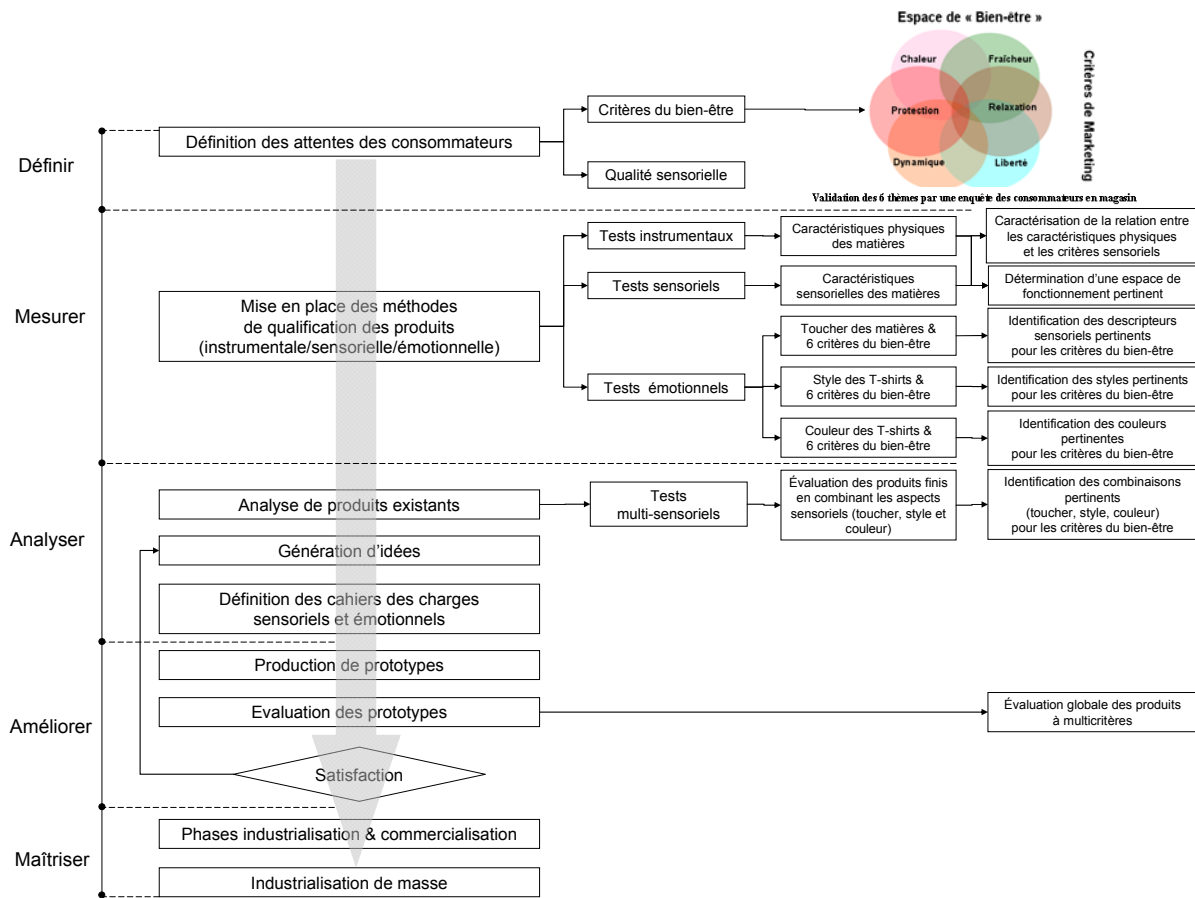


Figure 1-6 Schéma général pour notre étude

*Etape 1 : Définition des attentes des consommateurs (Définir)*

Avant de démarrer le processus de conception, l'analyse des attentes des consommateurs est une phase indispensable. Nous en sommes aujourd'hui à une prise de conscience que le consommateur est roi, que la concurrence est partout, et qu'il ne suffit plus de concevoir et de fabriquer des produits conformes à leurs exigences considérées comme un ensemble de critères [GAUTIER, 1995]. En effet, ces critères comprenant désormais non seulement la qualité sensorielle, mais aussi les besoins émotionnels (critères du bien-être) pour les produits, etc. L'analyse des attentes des consommateurs doit comprendre l'identification de l'importance de la qualité sensorielle et l'image véhiculée par la marque dans le marché.

*Etape 2 : Mise en place des méthodes de qualification des produits (instrumentale/sensorielle/émotionnelle) (Mesurer)*

Les attentes des consommateurs sont ensuite interprétées puis quantifiées par un ensemble de propriétés physiques et sensorielles. Les propriétés physiques des produits sont déterminées par les méthodes de mesures instrumentales. Pour cela, il faut choisir les appareils appropriés et déterminer les paramètres pertinents de mesure ainsi que les conditions de mesure. Les

propriétés sensorielles sont déterminées par une évaluation sensorielle, comprenant la création et l'entraînement des panels, et l'établissement des protocoles d'évaluation. Les résultats d'évaluation sensorielle sont proches du comportement des consommateurs, mais comprennent souvent des incertitudes et des imprécisions. Dans la pratique, un panel n'est souvent pas disponible dans l'entreprise. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les relations entre les propriétés physiques et les descripteurs sensoriels afin de remplacer partiellement les évaluations humaines et de réduire des incertitudes et des imprécisions rencontrées dans ces évaluations. De plus, pour caractériser la notion de bien-être pour l'image véhiculée par la marque d'une entreprise, plusieurs aspects sensoriels (toucher, style et couleur) peuvent être étudiés, de manière indépendante, par une évaluation sensorielle et émotionnelle. Ceci permet d'identifier les descripteurs pertinents décrivant le toucher textile, les styles et les couleurs.

*Etape 3 : Analyse de l'existant, génération d'idées, définition des cahiers des charges sensoriels et émotionnels*

La conception d'un nouveau produit d'habillement peut s'inspirer des composants textiles existants au niveau de la matière, du style et de la couleur et ayant des perceptions similaires. Une combinaison de ces composants répondant au cahier des charges sensoriels et émotionnels peut être obtenue après une séance de génération d'idées selon les résultats d'analyse multi-sensorielle. Une séance de créativité (ou brainstorming) [BIGAND, 2008], [EVANS, 2004] est souvent recommandée dans cette situation. Le résultat obtenu représente une piste de travail qui sera expérimentée au cours des étapes suivantes et reconsidérée en cas de non satisfaction.

*Etape 4 : Expérimentation, prototypage (Améliorer)*

Une difficulté majeure dans l'innovation de produits d'habillement est la maîtrise des besoins sensoriels et émotionnels des consommateurs. En effet, le développement de produits finis passe généralement par la combinaison des composants textiles (matières, styles, couleurs, accessoires, ...) correspondant à leurs besoins. Dans tous les cas de figure, la phase de réalisation de prototypes est incontournable. Les techniques de plan d'expériences [ERIKSSON, 2000] sont des outils d'aide à la conception, permettant de réaliser et d'optimiser l'emploi des ressources et d'extraire un maximum d'informations sur les prototypes réalisés. Dans la pratique, limités par le temps et le coût de conception et de fabrication, les industriels n'ont généralement pas la possibilité d'essayer un grand nombre de combinaisons de matières, de styles et de couleurs. C'est la raison pour laquelle nous proposons une évaluation globale

multicritère des prototypes, permettant de vérifier les idées de conception, de trouver des pistes optimales pour les nouveaux prototypes, et de déterminer, de façon systématique, les spécifications dans les cahiers des charges sensoriels et émotionnels [LU, 2008a].

*Etape 5 : Contrôler la fabrication en masse (Maîtriser)*

Enfin, la dernière étape a pour but de passer de l'échelle du laboratoire (prototypage) à l'échelle industrielle (fabrication en masse), en effectuant bien sûr la recherche des partenaires pour la production, la distribution et la commercialisation des produits d'habillement.

### **1.5.2 Identification des besoins des consommateurs**

Dans notre approche, nous réalisons tout d'abord une enquête auprès des consommateurs pour la prise de décisions de développement selon différents aspects de bien-être des consommateurs.

Pour les produits d'habillement, le toucher textile et l'apparence sont considérés dans cette enquête comme des aspects prédominants pour la conception de nouveaux produits.

Pour acquérir des données sur le toucher textile, nous qualifions un ensemble d'étoffes représentatives par utilisation de différents appareils, et réalisons une étude d'évaluation sensorielle par des panélistes entraînés et des études d'évaluation émotionnelle par des consommateurs.

Ensuite, nous proposons un modèle caractérisant la relation entre les critères du bien-être (variables de sortie ou réponses) et les aspects sensoriels (variables d'entrée ou facteurs). Ce modèle, illustré à la Figure 1-7, représente les relations entre la perception du consommateur aux composants sensoriels sélectionnés par le concepteur et les critères liés au bien-être d'une image véhiculée par la marque.

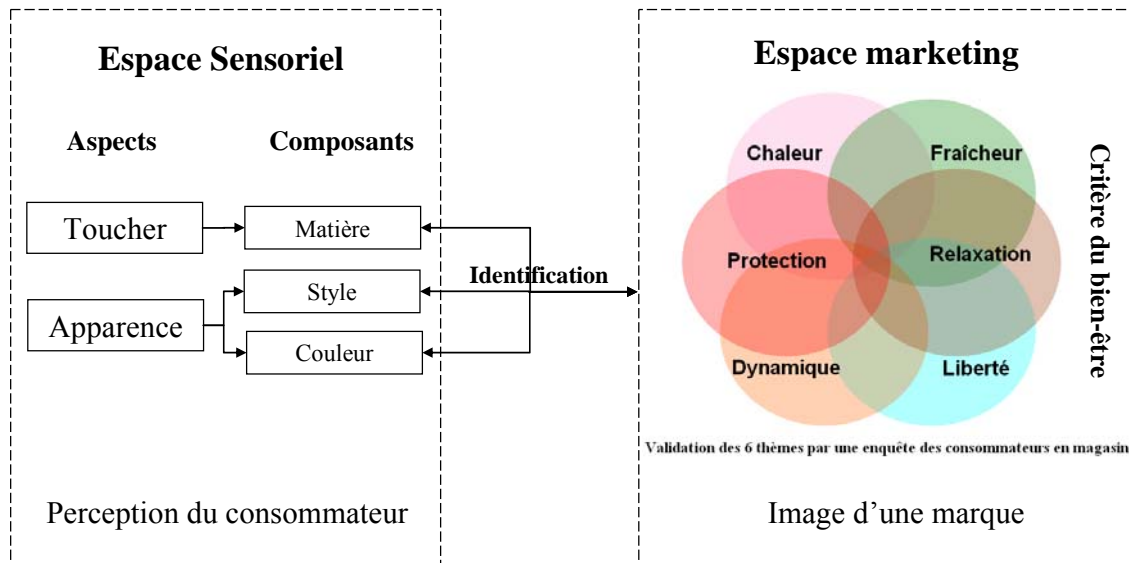


Figure 1-7 Modèle de la relation entre l'espace sensoriel et l'espace marketing

### 1.5.3 Sélection des paramètres physiques pertinents

Pour l'aspect du toucher, une sélection (qualitative) des paramètres physiques est d'abord établie par les experts afin de limiter le champ d'investigation. Dans un second temps, une méthode permettant d'évaluer le degré d'influence (appelé aussi sensibilité) de ces différents paramètres sur chacun des descripteurs sensoriels est proposée [ZHU, 2009b]. Cette méthode sera par la suite utile à la sélection finale (quantitative) des paramètres physiques qui sont les plus pertinents. Le but est ici de réduire la complexité de notre modèle en limitant le nombre d'interactions possibles entre les variables d'entrée. Cela a aussi pour conséquence d'aider à la compréhension du comportement de la matière, d'appréhender l'influence des paramètres physiques.

La méthode que nous proposons permet d'identifier les paramètres physiques pertinents sur chaque descripteur sensoriel désiré à l'aide des techniques floues.

### 1.5.4 Détermination de l'espace de fonctionnement

Nous présentons une méthode permettant de déterminer l'espace de fonctionnement à partir des produits existants [DENG, 2008]. Cette méthode permet de partitionner l'espace des paramètres physiques et d'extraire des règles floues caractérisant les relations entre les paramètres physiques et les descripteurs sensoriels. Elle conduira à définir une espace de

fonctionnement des paramètres physiques pertinents qui répond au cahier des charges. Cet espace de fonctionnement obtenu permet de bien positionner de nouveaux prototypes afin de choisir les prototypes proches des descripteurs sensoriels désirés. Il est un outil d'aide à la conception pour le positionnement des produits dans l'espace instrumental.

### **1.5.5 Modélisation du bien-être et sa relation avec les composants de conception**

Nous identifions l'inclusion des informations entre les 6 critères du bien-être afin de s'assurer que les images associées à chaque critère correspondent bien à l'image des consommateurs. Ensuite, nous proposons une nouvelle méthode de modélisation de la relation entre les descripteurs sensoriels basiques et les critères du bien-être en utilisant les techniques floues [BOUCHON-MEUNIER, 2000], [ZADEH, 1999], [ZADEH, 2001], [ZADEH, 2005] et d'agrégation de données [BOUCHON-MEUNIER, 1998], [DUBOIS, 2004]. Ce modèle permet aux concepteurs de trouver les descripteurs sensoriels basiques les plus pertinents pour un critère du bien-être prédéfini et de prévoir le degré de similarité du nouveau produit par rapport à ce critère afin de fabriquer le prototype le plus approprié satisfaisant les besoins spécifiques des consommateurs.

Puis, nous agrégeons les degrés de similarité obtenue à partir du modèle précédent avec les degrés de similarité obtenue à partir des tests émotionnels (style et couleur) en utilisant la méthode de l'interpolation linéaire [KAHYA, 2005]. Cette méthode permet aux concepteurs de bien positionner le nouveau produit par rapport aux produits existants dans l'espace de bien-être.

Enfin, nous développons des programmes en Scilab (plateforme libre et gratuite de calcul numérique) réalisant les modèles proposés avec une interface conviviale. Ce système permet à l'entreprise de déterminer le positionnement du nouveau prototype par rapport à la collection existante, aussi bien en prévision qu'en caractérisation sur les critères du bien-être étudiés (chaleur, dynamisme, relaxation, fraîcheur, protection et liberté).

### **1.5.6 Evaluation globale des prototypes**

Le but de l'évaluation des prototypes est de mesurer le niveau de préférence global d'un

prototype par rapport aux critères multiples de qualité définis. Cette évaluation implique couramment plusieurs critères quantitatifs et qualitatifs. C'est-à-dire qu'ils comprennent des mesures physiques et des appréciations humaines, tirées d'un panel d'évaluateurs (experts spécialisés en produits et en marketing). Elle est reliée aux exigences fonctionnelles et émotionnelles définies dans la première phase de conception et peut intégrer des descripteurs linguistiques.

Il existe souvent des incertitudes et des imprécisions lors de l'évaluation des prototypes déjà fabriqués ou des produits existants, car une quantité d'informations linguistiques est utilisée dans ce processus, comme dans un grand nombre de critères qualité. Ces informations comprennent les poids des critères d'évaluation, les poids des évaluateurs, ainsi que leurs jugements par rapport aux prototypes. Les approches mathématiques classiques ne sont pas disponibles ou peu adaptées pour traiter ces descripteurs linguistiques. Dans ce contexte, nous proposons une technique d'aide à la décision multicritère utilisant la logique floue, particulièrement efficace pour combiner des évaluations linguistiques et des mesures physiques [LU, 2008a], [LU, 2008b], [LU, 2009].

### **1.5.7 Techniques de modélisation**

Comme nous l'avons vu précédemment, notre approche repose sur trois modèles : le modèle qui caractérise les relations entre les paramètres physiques et les descripteurs sensoriels, le modèle qui caractérise les relations entre les critères du bien-être et les composants de conception, le modèle qui évalue globalement les prototypes existants. Dans les ouvrages parus, il existe trois types de modèles : les modèles analytiques basés sur la théorie physico-chimique et mécanique [MAO, 2007], [RACHED, 2008]; les modèles statistiques basés sur l'expérimentation et l'analyse de données d'entrée et de sortie [LI, 2006b], [HUANG, 2007]; et enfin les modèles dits « intelligents » utilisant les techniques de calcul avancé et basés sur la combinaison des données numériques et des connaissances humaines [GUILLAUME, 2004b], [MELIN, 2004], [KOEHL, 2005].

En raison de la structure complexe des produits et de l'environnement incertain de la production, les théories physico-chimiques et mécaniques sont généralement indisponibles et/ou insuffisantes pour construire un modèle analytique. Les modèles statistiques peuvent être classés en deux types : les modèles asymétriques et les modèles symétriques [KOEHL, 2006].

Les modèles asymétriques permettent de prédire un ensemble de données à partir d'un autre. La régression partielle des moindres carrés (Partial Least Squares Regression), la régression en composantes principales et l'analyse de redondance [VAN, 1991] sont des méthodes typiquement utilisées dans cette catégorie. En revanche, les modèles symétriques permettent de trouver des relations entre deux ensembles de données étudiées. L'analyse des corrélations canoniques [VAN, 1983], l'analyse de procruste [GOWER, 1975], l'analyse factorielle multiple [ESCOFIER, 1994] et STATIS [LAVIT, 1988] sont des méthodes très utilisées dans ce cas.

Dans la pratique, la performance des techniques statistiques de modélisation varie en fonction du problème traité, car celui-ci est fortement lié à la quantité et à la qualité des données d'apprentissage. Ces techniques statistiques sont généralement très efficaces dans le cas où le modèle est construit avec un grand nombre de données d'apprentissage. Dans notre contexte, le problème essentiel est d'optimiser les paramètres de modélisation mesurés avec néanmoins une contrainte essentielle : la prise en compte d'une faible quantité de données d'apprentissage mesurées.

Parmi les techniques intelligentes, les techniques floues et les réseaux de neurones ont été appliqués avec succès afin de modéliser les relations industrielles complexes et non-linéaires dans un contexte de conception de nouveaux produits [VASILIU, 2001], [LI, 2006b], [VOISIN, 2008]. Dans notre situation, les techniques floues sont préférées pour établir les trois modèles dédiés à la conception de produits. Le choix est aussi lié à leur capacité de traiter des données dans un environnement complexe et incertain, en plus de celle de permettre la prise en compte de données et de bases de connaissances linguistiques.

## 1.6 Bilan du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons proposé un état de l'art du bien-être dans les produits d'habillement, sa relation avec l'image d'une marque et l'ontologie du bien-être. Nous avons présenté notre contexte de l'étude sur l'analyse multi-sensorielle de nouveaux produits industriels à forte valeur ajoutée pour le bien-être des consommateurs. Ce contexte peut se généraliser par association avec les autres situations de conception industrielle. Puisque les produits d'habillement sont en général sélectionnés dans un environnement de conception complexe et incertain, des solutions précises, interprétables et flexibles sont nécessaires pour

aider les concepteurs à comprendre le comportement sensoriel de la matière, la relation entre le bien-être et les composants de conception ainsi qu'à évaluer globalement des prototypes déjà fabriqués ou des produits existants. Dans cette thèse, nous nous intéressons à développer des outils d'aide à la conception pour caractériser le bien-être et de relier cette notion et d'autres critères de marketing aux paramètres techniques des composants textiles. Des techniques intelligentes, en particulier la modélisation floue, seront utilisées dans nos développements suivants.



# Chapitre 2 Acquisition des données multi-sensorielles et instrumentales

*Dans ce chapitre, nous identifions d'abord les critères selon les différents aspects de la notion complexe du bien-être (toucher, apparence, odorat, effets sonores, facilité d'entretien, durabilité) au travers d'une enquête réalisées dans les magasins ciblés. Ensuite, nous collectons un ensemble de produits représentatifs de l'entreprise à l'aide des experts industriels. Des tests instrumentaux, ainsi qu'une procédure classique d'évaluation sensorielle descriptive, sont réalisés pour évaluer le toucher textile des produits sélectionnés. Afin d'identifier l'image véhiculée par la marque de l'entreprise, nous développons une méthode permettant d'associer des termes concrets avec les 6 critères du bien-être définis par le département Marketing de l'entreprise. Enfin, de nouvelles méthodes d'évaluation de style et de couleur ainsi qu'une méthode d'évaluation multi-sensorielle des produits finis sont présentées en faisant référence aux images d'ambiance des critères du bien-être. Les données acquises seront utilisées dans nos développements suivants.*

## 2.1 Structure générale pour l'acquisition des données

La première étape de notre travail de thèse est d'acquérir des données multi-sensorielles et instrumentales. La structure générale des données acquises pour notre étude est présentée Figure 2-1.

Pour la conception de produits d'habillement, les critères du bien-être et les trois aspects sensoriels les plus importants (le toucher, le style et la couleur) sont identifiés par une enquête auprès des consommateurs (Section 2.2). Les sens de l'odorat et de l'audition sont identifiés comme des aspects moins importants selon l'enquête des consommateurs, présentée dans la Section 2.2.3. Les méthodes pour l'acquisition des données instrumentales sont présentées sur un ensemble des produits textile représentatif (Section 2.3). Ensuite, nous utilisons une méthode d'évaluation sensorielle classique pour étudier le toucher de cet ensemble de

produits (Section 2.4.1). Les données instrumentales et sensorielles acquises sont utilisées pour la modélisation de la relation entre les paramètres physiques et les descripteurs sensoriels (Chapitre 3). Des termes concrets associés aux 6 critères du bien-être sont obtenus par une méthode proposée dans la section 2.4.2. Des données multi-sensorielles sont acquises par une méthode originale (Section 2.4.3). Les données multi-sensorielles et instrumentales sont ainsi utilisées pour la modélisation du bien-être et sa relation avec les composants de conception et l'évaluation globale des prototypes industriels (Chapitre 4, 5).

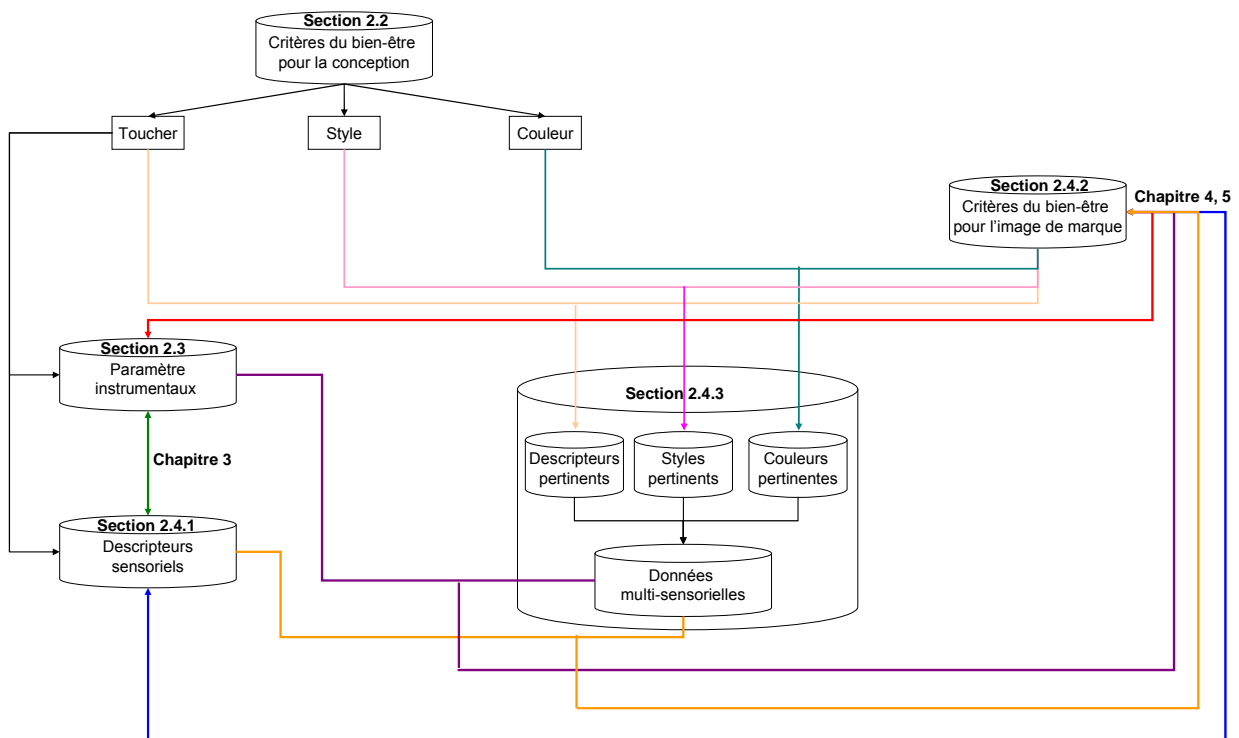


Figure 2-1 Structure générale pour l'acquisition des données multi-sensorielles et instrumentales

## 2.2 Enquête auprès des consommateurs

### 2.2.1 Contexte de l'étude

Dans les deux dernières décennies, plusieurs méthodes pour mesurer le bien-être du consommateur (BEC) ont été proposées [DAY, 1978], [DAY, 1987], [LEELAKULTHANIT, 1991], [LEE, 2002]. Pourtant, ces efforts ont été restreints aux mesures macroscopiques, soit les mesures du BEC à travers une variété d'expériences sur le marché, ou une variété de biens et de services de consommation. Dans de nombreux secteurs industriels tels que le textile et le cosmétique, ces mesures macroscopiques du BEC sont souvent utilisées afin de caractériser la

qualité des produits, le comportement d'un milieu de consommateurs, et les effets d'une marque particulière.

Les études de marché sont apparues avec le développement de nouveaux produits. Dans l'économie de marché, la production doit être conforme à la consommation, c'est-à-dire que l'utilité du produit doit correspondre le plus exactement possible aux attentes des consommateurs. Par conséquent, l'entreprise doit connaître les besoins des consommateurs afin de fabriquer le produit adéquat avec juste le niveau de qualité requis. Alors, la création et la mise en place d'enquêtes [KE, 2000] est une première étape afin d'identifier leurs besoins. Ces enquêtes ont pour objectif la gestion et la prise de décisions finales de développement au sein des entreprises.

Dès lors, l'identification des besoins des consommateurs se décompose en trois parties :

- 1) Les consommateurs ou les utilisateurs du produit ou du service sont la cible des études de marché.
- 2) Les méthodes scientifiques pour mener à bien les enquêtes de marché : planification, acquisition, enregistrement, analyse et interprétation des résultats.
- 3) L'aide à la décision pour les décideurs de l'entreprise à partir des résultats d'analyse et d'évaluation obtenus.

Dans notre projet, les personnes âgées de 50 et plus (seniors) sont le cœur de cible de l'entreprise. Selon l'INSEE [COUDIN, 2006], les seniors pèsent en France plus d'un tiers de la population actuelle et représenteront 40% de la population française en 2020. Selon une étude du CREDOC [HÉBEL, 2010], les seniors disposeraient d'une revenu de 122 milliards d'euros, soit 43% des revenus en France. Les seniors sont en train de devenir les meilleurs consommateurs : ils sont de plus en plus nombreux, souvent plus aisés financièrement que le reste de la population. Les seniors d'aujourd'hui sont de plus en plus en meilleure santé par rapport à ceux des générations antérieures. Ils offrent un segment de marché d'une grande opportunité pour la société.

Dans ce contexte, l'objectif de notre recherche est de réaliser un questionnaire pour qualifier la notion de bien-être en identifiant les critères importants afin de développer des produits répondant à la notion de bien-être des consommateurs en intégrant les différents aspects sensoriels, comme l'apparence, le toucher ou encore la fragrance.

Les enjeux de cette étude ont donc trait à la définition sans ambiguïté du bien-être au niveau du consommateur, à l'élaboration des spécifications multi-sensorielles des produits et au suivi qualité du produit pour valider la cohérence avec l'attente des consommateurs.

## 2.2.2 Réalisation d'un questionnaire

Le questionnaire est un outil primordial pour l'étude de marché. Son rôle est de refléter au mieux le marché et d'enregistrer les données originales sur ce marché cible.

Il existe un grand nombre d'exemples dans les ouvrages sur les études de marché. Selon les environnements différents du marché et les caractéristiques propres à chaque entreprise, l'élaboration des enquêtes est différente. Cependant, l'enquête par le biais de questionnaires est regardée par les experts du marché comme une méthode très efficace.

En général, « *d'après Ke [2000], un questionnaire se décompose en trois parties : le préambule, le texte et l'appendice. Le préambule explique essentiellement le sujet, la finalité et la signification de l'enquête. Il remercie les consommateurs qui remplissent ces questionnaires. Pour les inciter à répondre, il peut même présenter des lots à gagner. Le texte est la partie essentielle du questionnaire. Normalement, nous concevons un ensemble de questions auxquelles les consommateurs sont invités à répondre. Dans l'appendice, nous enregistrons des informations sur le profil des consommateurs afin d'affiner l'analyse à l'étape de l'analyse statistique.* »

Mais, en considérant la spécificité de la cible de l'entreprise, le plan de construction n'est pas tout à fait suivi. La plupart des consommateurs de la cible de l'entreprise sont les seniors qui réagissent lentement et se fatiguent facilement. Il faut éviter de leur demander de lire un long texte. Du coup, l'introduction de l'enquête est présentée oralement devant les consommateurs pendant l'enquête.

Dans tous les questionnaires, des points essentiels doivent être respectés :

1. Préciser le but des enquêtes est un fondement dans la conception du questionnaire.

Le point essentiel consiste à préciser le but et le contenu des enquêtes. Pourquoi faisons-nous l'enquête ? Que devons-nous savoir quand nous faisons l'enquête ? Le but général des enquêtes de marché est de fournir un rapport aux décideurs de l'entreprise afin qu'ils puissent établir la stratégie de planification à court terme ou d'établir une politique ou une stratégie concrète pour une période déterminée ou pour résoudre certaines difficultés. En tous cas, il faut connaître le but de l'enquête très clairement avant même la réalisation du questionnaire. De plus, nous devons concrétiser le but de l'enquête avec la rédaction d'un plan préalable à la conception du questionnaire. Le contenu des enquêtes concerne les problèmes liés aux désirs, à la conception, aux habitudes autant qu'aux attitudes : il peut être de conception abstraite (par exemple sur le rêve, la philosophie des peuples, etc.) ou alors

ancré dans le concret (par exemple sur les habitudes d'achat, les préférences sur les marques de produits).

2. Préciser la cible des enquêtes, choisir les termes et la forme appropriés.

La conception de questionnaires doit être pertinente. Pour les individus, à différents niveaux, il faut avoir un objet défini en vue du choix des questions. Nous devons considérer soigneusement les niveaux d'instructions, l'âge et les capacités de coopération des individus soumis à l'enquête. En considérant que les seniors sont notre cible, il faut utiliser des caractères assez grands et faciles à lire pour eux. Et il faut aussi faire des ajustements sur l'écrit pour que les questions soient bien compréhensibles pour les gens interrogés.

3. Prendre en considération l'utilisation postérieure des résultats d'enquête.

Il faut penser à l'exploitation des données pendant la conception du questionnaire. Une bonne enquête doit considérer suffisamment l'aspect du dépouillement. Par exemple, les formes de réponses des consommateurs doivent être faciles à enregistrer et à analyser.

4. Utiliser des récompenses pour motiver les gens à participer à l'enquête.

En raison du manque d'enthousiasme de la plupart des consommateurs interrogés, il est difficile de lancer des études de marché. C'est la raison pour laquelle, nous incitons les gens à répondre en leur offrant des bons d'achat.

5. Rationalisation du nombre de questions, logique et normalisation des questions.

Sans doute, le nombre de questions est aussi un facteur primordial pour un questionnaire réussi.

Dans notre étude, nous avons réalisé le questionnaire des consommateurs en cinq étapes (cf. Figure 2-2).

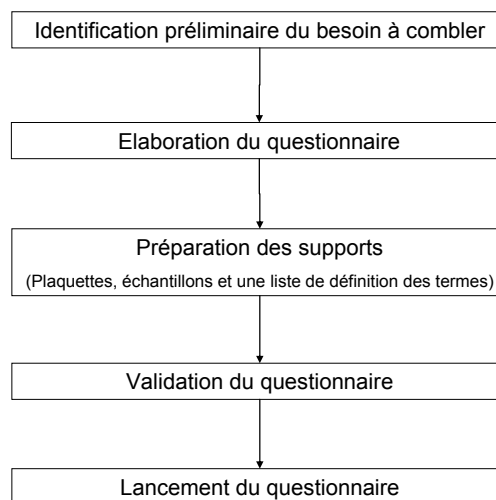


Figure 2-2 Réalisation de l'enquête dans notre étude

Nous avons d'abord identifié les besoins de l'entreprise. Ensuite, le questionnaire est élaboré suite à des entretiens individuels avec les consommateurs cibles à domicile. Il faut éviter des conflits éventuellement rencontrés dans les différentes questions proposées afin de maintenir la conformité logique dans la rédaction. Pour faciliter le remplissage du questionnaire, nous avons regroupé les questions en différentes parties.

Selon les résultats des entretiens dans le travail de MARTIN [2006], nous avons réalisé les plaquettes d'ambiance (cf. Annexe 1) représentant les six critères du bien-être définis par les expériences du département marketing de l'entreprise ainsi que les plaquettes des images pour l'aspect visuel des vêtements. Pour étudier le toucher des vêtements, 20 échantillons textiles sont retenus selon différents types de matières, synthétiques, naturelles ainsi que des mélanges entre différentes fibres (coton, chlorofibre/modal, polyamide/coton, polyester, modacrylique/acrylique, polyamide/élasthane, chlorofibre/soie, polyester/rhovyl). Ces échantillons sont aussi choisis selon différentes épaisseurs, différents états de surface, et différents types d'armure ou de contexture (gaufré, interlock, dentelle, jacquard, jersey, interlock richelieu, molleton, côte 2x2, bouclette).

Pour les textiles parfumés, quatre fragrances sont sélectionnées chez différents sous-traitants et des essais de parfums sont effectués sur un tricot en microencapsulation. Les fragrances de ces textiles parfumés sont « Growing forest », « Romantic Rose », « Lovely lavender » et « Alpine ».

Pour que les consommateurs comprennent les termes utilisés dans le questionnaire sans ambiguïté, nous avons préparé une liste de définition de ces termes après avoir discuté avec eux pendant les entretiens.

Après avoir collecté tous les supports nécessaires, nous devons valider le questionnaire par une épreuve réelle. Par conséquent, il faut le tester dans un petit cercle ciblé et le modifier en fonction des résultats recueillis. Le test de validation permet d'atteindre le but final de l'étude de marché et de conduire à une analyse précise des données. Nous avons lancé ce test de validation en interne à l'entreprise. Le nombre total de sujets est de 8 femmes, 1 homme. Parmi ces sujets, 2 personnes sont dans la tranche d'âge de 55 à 65 ans, et 7 personnes ont moins de 55 ans. Chaque sujet remplit le questionnaire individuellement au cours d'un RDV pris à l'avance. Le temps utilisé pour remplir un questionnaire est en moyenne de 33 minutes.

Après l'étude, notre questionnaire paraît trop long, mais il est complet : il contient plusieurs aspects sensoriels pour la notion de bien-être : apparence, toucher, sonorité,

odorat, ... Chaque partie est indispensable pour connaître la notion de bien-être des consommateurs. Le questionnaire étant long, c'est la raison pour laquelle nous offrons un bon d'achat de 15 euros afin que les consommateurs interrogés répondent à toutes les questions dans une durée relativement importante et qu'ils soient assez nombreux.

Nous avons aussi décidé de tester le questionnaire au magasin Gambetta de Lille pendant deux jours afin de tester la réaction des seniors en magasin. Après ces deux jours de test, nous avons trouvé que les personnes âgées répondaient au questionnaire plus lentement que nous l'avions imaginé. Pour cela, nous avons modifié le questionnaire : nous leur demanderons de cocher les réponses au lieu de classer leurs réponses par ordre de préférence.

Par ailleurs, pour diminuer le temps de réponse au questionnaire (Annexe 2), nous avons divisé les questions en deux parties :

- La 1<sup>ère</sup> partie obligatoire : ce sont les questions sur les informations des consommateurs (Questions 1-1 – 1-6), la notion générale du bien-être (Questions 2 – 3-7), l'aspect visuel (Questions 4-1-1 – 4-3-1), l'aspect tactile pour le sous-vêtement (Questions 5-1-1 – 5-1-4), l'entretien (Questions 6-1 – 6-3), le cosméto-textile (Questions 8-1 et 8-2), autres questions (Questions 9 – 12) et le pouvoir d'achat (Questions 13 – 22).

- La 2<sup>ème</sup> partie facultative : il s'agit de questions sur l'aspect tactile pour le haut (Questions 5-2-1 – 5-2-4) et sur le parfum du textile (Questions 7-1-1 – 7-5).

#### Répartition des sujets en France

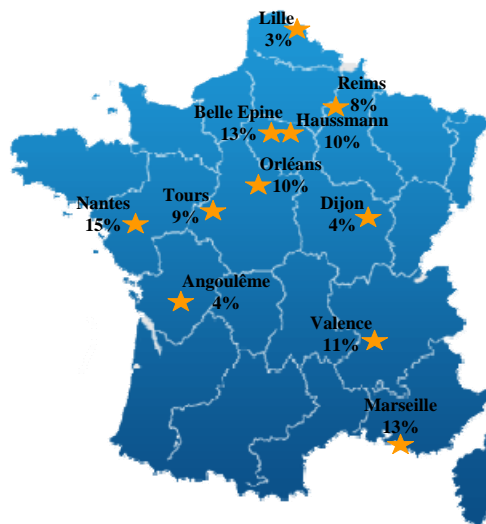


Figure 2-3 Répartition des sujets en France

Après la modification du questionnaire, nous avons lancé cette grande enquête dans 11 magasins de l'entreprise française (cf. Figure 2-3). Les étoffes utilisées pour cette enquête

sont pour la fabrication de sous-vêtements et de vêtements de nuit des seniors. 275 consommateurs cibles sont interrogés dans cette enquête. Le questionnaire est présenté à l'Annexe 2. Les supports de l'enquête sont dans l'Annexe 3, 4, 5. Les résultats de l'enquête sont dans l'Annexe 6. Les détails des résultats de l'enquête sont précisés dans le rapport [ZHU, 2007]. Les images des vêtements sont fournies par le département de marketing de l'entreprise. Ces images correspondent bien aux ambiances souhaitées par les consommatrices de la marque ciblée. Les seniors se projettent dans une image qui ne correspond pas à leur âge.

### **2.2.3 Exemple pratique d'un questionnaire du bien-être par évaluation multi-sensorielle auprès des consommateurs**

#### ◆ L'objectif

Qu'est ce que le bien-être pour la cible de l'entreprise? Sous quels aspects pourrions-nous développer les produits? Est-ce que nous pouvons adjoindre une nouvelle dimension (la senteur aux produits)? Quels sont les critères importants pour les consommateurs au niveau du style de produit et de l'entretien? Quelle est la matière que nous pouvons utiliser afin de renforcer l'image de bien-être de l'entreprise?...

Les objectifs de cette enquête sont les suivants :

- Caractériser les critères du bien-être des consommateurs selon différents axes : le toucher, la fragrance, l'apparence,...
- Chercher des pistes de développement de produits innovants selon les besoins des consommateurs.

Ces objectifs seront réalisés au travers d'une grande enquête auprès des consommateurs.

Dans cette étude, nous nous concentrons sur le développement de nouveaux vêtements du bien-être pour les seniors. Lors de la sélection de vêtements, les consommateurs intéressés par la notion de bien-être ont souvent les exigences spécifiques suivantes [BROWN, 1993] :

- ✓ Ils préfèrent les vêtements qui améliorent l'apparence, qui augmentent l'indépendance, qui apportent le confort, et qui possèdent plusieurs fonctionnalités telles que la protection contre chaleur.
- ✓ Ils sont sensibles aux conditions physiques du porteur.
- ✓ Ils sont très attentifs à la facilité de changement de vêtements.



- ✓ Ils sont très attentifs au mode d'entretien.
- ◆ Une structure hiérarchique du bien-être des produits textiles

Pour formaliser la notion de bien-être, une structure hiérarchique basée sur les informations issues d'une enquête des consommateurs seniors sur les étoffes représentatifs de la société, est proposée dans la Figure 2-4 [ZHU, 2008]. Les exigences précédentes, organisées sous forme de critères et d'aspects sensoriels, sont prises en compte dans cette structure hiérarchique.

Au premier niveau, cette structure permet de décomposer le concept du bien-être en cinq aspects : le toucher, la fragrance, le son, l'apparence et l'entretien.

Au deuxième niveau, 12 critères sont présentés pour la sensation tactile (cf. Figure 2-4). Ces critères sont générés par les consommateurs dans un test préliminaire du toucher sur 20 étoffes sélectionnées.

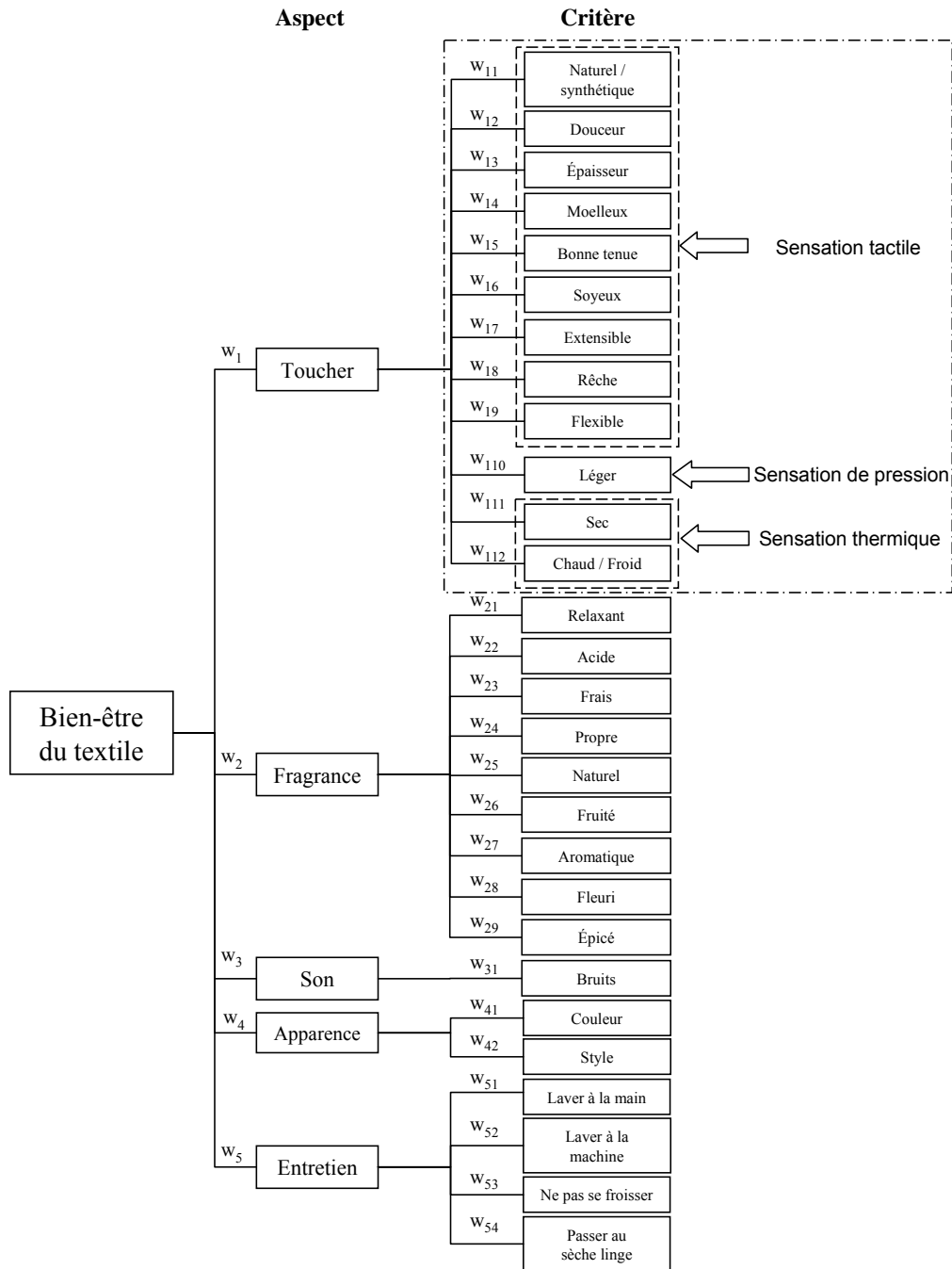


Figure 2-4 Structure hiérarchique du bien-être pour le sous-vêtement

Aujourd’hui, par l’utilisation des procédés de traitement spéciaux liés à la technologie avancée, les fibres synthétiques peuvent également fournir aux porteurs une sensation de matière naturelle. Dans la pratique, un grand nombre de seniors préfèrent cette sensation « naturelle » quand ils portent des vêtements. Ainsi, cette sensation est un critère important lorsque les seniors prennent la décision d’achat de produits d’habillement. De plus, la douceur des étoffes est souvent utilisée par les consommateurs pour décrire le confort des produits d’habillement. L’épaisseur signifie la dimension entre deux surfaces d’une étoffe. Le

moelleux décrit la surface d'une étoffe couverte de poils doux et fins. La bonne tenue décrit une étoffe ayant une bonne manière de se tenir. Le terme « soyeux » évoque une étoffe ayant une surface lisse et brillante qui reflète la lumière comme la soie. Extensible concerne la capacité de l'étoffe à s'étirer. Rêche est utilisé pour décrire la friction de surface, ce qui signifie la résistance au glissement. Flexible porte sur la facilité de pliage du produit. Léger décrit une étoffe avec une faible masse surfacique. Sec retranscrit la sensation d'humidité. La fraîcheur et la chaleur d'une étoffe au toucher de la peau sont les sensations liées aux transferts de chaleur et de masse entre l'étoffe et la peau [LI, 2006b].

Dans la Figure 2-4, la sensation olfactive est composée de neuf différents termes. Ces termes sont également générés dans le test préliminaire par les consommateurs, lorsqu'ils sentent 4 différentes étoffes parfumées développées par l'entreprise.

La fragrance relaxante peut soulager la tension ou de l'anxiété comme une fragrance de lavande, et la fragrance acide peut être agréable comme une fragrance de citron. La fragrance fraîche confère une sensation de légèreté, alors que la fragrance propre rappelle la fragrance du linge fraîchement lavé. La fragrance naturelle est la fragrance de la verdure. La fragrance fruitée rappelle l'aspect ou la saveur du fruit. La fragrance aromatique donne une sensation d'arôme parfumé. La fragrance fleurie rappelle l'odeur de fleurs. La fragrance épicée est une fragrance piquante telle que celle des épices ou des poivres.

Le bruit de l'étoffe, longtemps considéré comme inexpressif, est de plus en plus investigué par l'industrie textile et d'habillement [CHOL, 2005]. Lorsque les consommateurs mettent leurs manteaux, surtout en hiver, il y a toujours de légers bruits électrostatiques qui affectent également le bien-être des consommateurs. Aussi, cette simulation auditive est intégrée dans la structure du bien-être.

Dans le bien-être, l'aspect visuel est également important pour les seniors. Il a deux critères principaux : la couleur et le style. Mais la préférence du style diffère en fonction de l'âge des seniors. Les jeunes seniors (50-65 ans) sont intéressés principalement par leur apparence professionnelle dans leur milieu social. Pour les seniors plus de 65 ans, ils sont plus intéressés à l'aisance des vêtements, car la plupart d'entre eux aiment les vêtements qui assurent la liberté de mouvement dans leurs activités quotidiennes.

Une procédure pratique d'entretien est également un aspect considérable dans la préférence du consommateur afin de prolonger la durée de vie des vêtements et d'économiser le coût d'entretien. Dans cette structure, il y a quatre critères : laver à la main, laver à la

machine, ne pas se froisser et passer au sèche linge. Ces contraintes d'entretien influencent le bien-être du consommateur.

◆ Estimation des pondérations des aspects et des critères

Pour les différentes exigences de consommateurs, les poids d'importance de chaque critère et de chaque aspect du bien-être sont différents. L'estimation de ces poids d'importance pour les critères et chacun des aspects permet de comprendre, de façon globale, la décomposition du bien-être dans l'ensemble des applications concernées. La procédure d'estimation du poids peut se diviser en deux étapes suivantes :

**Étape 1 : Estimation des poids des critères**

Le poids d'aspect  $i$  est défini comme  $w_i$  et le poids du critère  $j$  appartenant à l'aspect  $i$  comme  $w_{ij}$ . La valeur de chaque poids est booléenne ( $0, 1$ ).  $0$  signifie que le critère n'est pas important. Inversement,  $1$  signifie que le critère est important. Chaque consommateur donne une réponse ( $0$  ou  $1$ ) à chaque critère. Le poids d'un critère décrivant un aspect est obtenu en calculant le pourcentage du nombre des réponses  $1$  (important) par rapport au nombre total de réponses des consommateurs dans les évaluations de cet aspect. Les données acquises pour chacun des critères liés au bien-être sont dans l'Annexe 6.

Dans la Figure 2-5,  $s$  est le seuil du taux de réponses positives des consommateurs par rapport à l'importance des critères de bien-être. Chaque critère dont le taux de réponses positives est supérieur à  $s$  est considéré comme critère pertinent de bien-être. Selon les experts en marketing, nous définissons  $s = 50\%$ . Cela signifie qu'un critère de bien-être est pertinent si plus que la moitié des sujets pensent qu'il est important pour leur bien-être. Nous pouvons constater que la sensation des matériaux naturels ou synthétiques, la douceur, l'épaisseur, l'extensibilité, la légèreté et la sensation chaud / froid sont importantes pour le bien-être des consommateurs. Il est évident que les consommateurs préfèrent une étoffe chaude et épaisse pour la protection en hiver. Une étoffe naturelle est psychologiquement importante pour les seniors, car ils ne peuvent pas accepter la sensation synthétique de leurs sous-vêtements. Les vêtements extensibles peuvent faciliter les mouvements des seniors, de la même façon que des vêtements légers leur permettent de moins ressentir de pressions désagréables. Les fragrances fraîches et relaxantes sont importantes pour la sensation olfactive, car elles peuvent détendre leur seniors dans leur vie quotidienne. Comme les seniors sont moins tolérants envers

l'environnement sonore, le bruit devient aussi un critère important quand ils portent les vêtements. Dans l'aspect d'entretien, le critère le plus important est le lavage à la machine en raison des économies de temps et de facilité de mise en œuvre.

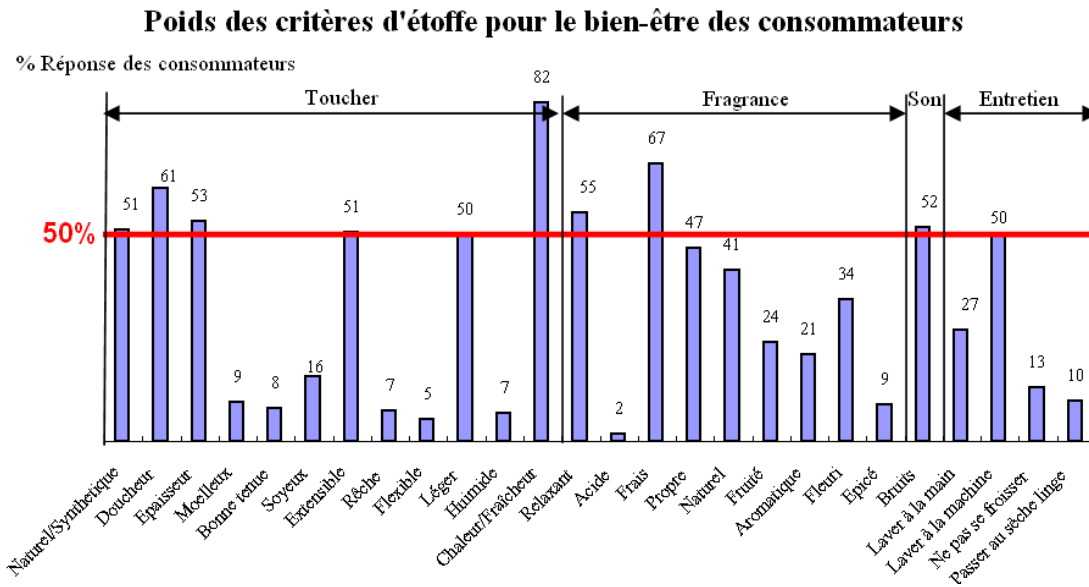


Figure 2-5 Poids des critères d'étoffe pour le bien-être des consommateurs

**Étape 2 : Mise en place des poids pour chaque aspect**

Selon la question 12 du questionnaire (cf. Annexe 2), le poids d'aspect  $w_i$  est calculé comme le ratio du nombre de réponses égales à 1 des consommateurs (cf. Annexe 6) pour cet aspect rapporté au nombre total des évaluations des consommateurs. Les poids sont indiqués dans le Tableau 2-1.

Tableau 2-1 Poids des aspects du bien-être

Toucher	Apparence	Fragrance	Son	Entretien
40%	49%	2%	1%	22%

Selon le Tableau 2-1, nous pouvons constater que l'apparence occupe la première place pour la décision d'achat des vêtements des seniors. Il montre que les seniors sont plus intéressés par la coupe et la couleur de vêtement lors de leur achat. En outre, le toucher est également une sensation indispensable lorsque les seniors portent les vêtements, car il influence directement leur confort physique et psychologique. L'entretien est aussi considéré comme crucial par les seniors en raison du temps et du coût des entretiens à l'usage. En revanche, la sensation olfactive et la sensation auditive sont des aspects additionnels pour leur

bien-être. Les seniors accordent une moindre importance à ces deux derniers aspects sensoriels. Néanmoins, ces deux aspects pourront être un développement potentiel pour l'amélioration du bien-être des produits d'habillement.

#### **2.2.4 Bilan**

Pour le bien-être des consommateurs par rapport aux étoffes, une structure hiérarchique est formalisée. Elle se compose d'un nombre d'aspects dont chacun comprend un ensemble de critères d'évaluation. Nous avons utilisé cette structure pour décrire la préférence des consommateurs en menant une étude de marché dans un contexte de développement de produits d'habillement pour le bien-être des seniors. Puis, nous avons estimé les poids des critères et des aspects afin de comprendre la composition du bien-être pour l'ensemble des consommateurs. Dans la section suivante, les données instrumentales et humaines seront collectées et nous nous concentrerons sur l'aspect tactile et visuel des étoffes dans la structure du bien-être des consommateurs. Les aspects olfactif et auditif, jugés moins importants, ne seront pas traités dans ce mémoire. Néanmoins, les techniques utilisées pourraient intégrer ces aspects.

### **2.3 Acquisition des données instrumentales**

Le toucher textile peut être généralement évalué par des mesures physiques, en utilisant des dispositifs instrumentaux appropriés, ainsi que une évaluation sensorielle retournée par des experts ou des panélistes entraînés (homme utilisé comme appareil de mesure) ou non. L'évaluation sensorielle du toucher permet de générer un nombre de descripteurs sensoriels, tels que la douceur et l'aspect lisse, et des notes d'évaluation pour chaque descripteur selon leur sensibilité et leur expérience. Elle est plus proche du comportement des consommateurs mais comprend des incertitudes et des imprécisions. Dans la pratique, un panel sensoriel est souvent coûteux et n'est pas toujours disponible. L'idée de fournir des tests mécaniques ou thermiques pertinents et normalisés permet de remplacer partiellement les évaluations humaines et de réduire des incertitudes et des imprécisions rencontrées dans ces évaluations. Néanmoins, la perception évaluée par l'homme est toujours la référence. Il est toujours très délicat de trouver une suite de mesures physiques capables de caractériser tous les aspects

ressentis humainement. Les mesures physiques, caractérisant de manière partielle des perceptions humaines, conduisent à des valeurs précises des caractéristiques mécaniques et thermiques et sont donc préférées par les entreprises pour caractérisation du toucher. Pourtant, ces mesures sont difficilement interprétables par rapport à la perception humaine du toucher.

En recherche textile, certains chercheurs ont essayé de développer des méthodes d'évaluation mécaniques, adaptées à une ou plusieurs catégories d'étoffes particulières. D'autres chercheurs ont essayé de définir des tests physiques qui pourraient être reliés directement à toutes les contraintes appliquées à l'étoffe lors des tests humains du toucher [SLATER, 1993], [WESTON, 1997].

Tableau 2-2 Exemple de relations entre les grands ensembles de paramètres [BISHOP, 1996]

Descripteurs subjectifs	Propriétés physiques associées
Épais	épaisseur, masse surfacique, compressibilité
Plein	épaisseur, compressibilité, recouvrance de compression, hystérésis de flexion
Lourd	masse surfacique, épaisseur
Ferme	compressibilité, hystérésis de cisaillement et de flexion, recouvrance de traction
Rugueux	rugosité, frottement, hystérésis de cisaillement et de flexion, épaisseur, masse surfacique
Flexible	rigidité de flexion, épaisseur, masse surfacique, hystérésis de cisaillement, compressibilité
Rigide	hystérésis de flexion, masse surfacique, hystérésis de cisaillement, compressibilité
Fin	épaisseur, masse surfacique, rugosité
Lisse	rugosité, frottement, pilosité
Chaud	conductivité thermique, épaisseur, pilosité

Dans le Tableau 2-2, nous relierons quelques descripteurs sensoriels les plus connus, évalués par un groupe de panélistes, aux catégories de paramètres physiques. En fait, ces relations sont qualitatives. Pour générer des relations quantitatives entre les tests physiques et les évaluations humaines, nous devons créer une grande base de données représentative rassemblant les mesures des paramètres physiques et sensoriels pour une même gamme

d'échantillons. Ces relations dépendent aussi énormément du type d'étoffes utilisées et de leur usage final (contexte de l'application).

### 2.3.1 Méthodes existantes pour mesurer le toucher textile par des propriétés mécaniques et physiques

Afin d'étudier les propriétés physiques des matériaux textiles, les chercheurs en mécanique ont développé de nombreux appareils de mesures et continuent à mettre en place de nouveaux outils de mesures. Certaines méthodes développées sont largement utilisées dans le contrôle qualité des textiles. Les méthodes de mesures les plus connues forment la base des normes nationales et internationales telles que la normalisation nationale du Royaume-Uni (BS), la société américaine pour les essais et les matériaux (ASTM), l'organisation internationale de normalisation (ISO).

. Cependant, l'amélioration des systèmes de métrologie existants et le développement de nouveaux appareils de mesures pour les matériaux textiles constituent encore une orientation privilégiée pour les activités de recherche en mécanique [SLATER, 1993], [WESTON, 1997].

Le Tableau 2-3 présente un ensemble de propriétés physiques et mécaniques les plus utilisées pour caractériser la qualité du toucher textile :

Tableau 2-3 Tests mécaniques et physiques pour le toucher textile

Propriétés physiques	Tests et appareils [BISHOP, 1996]	Paramètres mesurés	Références
Flexion	Flexomètre, Planoflex, Gurley, Olsen, Shirley cyclique, Cantilever de Peirce	Longueur de flexion, rigidité de flexion, module de flexion	[ABBOTT, 1982], [PEIRCE, 1978]
Drapé	Drape-o-mètre MIT, FRL, Cusick	Coefficient de drapé, longueur de drapé, nombre de nœuds	[CHU, 1963], [WINN, 1984]
Traction	Machines de traction (Instron, Hounsfield, etc....)	Courbe traction, déformation, extensibilité, recouvrement, hystérésis, module d'Young initial	[CHEN, 1992], [DAVID, 1985], [KAWABATA, 1980], [MAHAR, 1983]



Cisaillement	Appareils universels de cisaillement, Mörner et Eeg-Olofsson, Behre	Courbe cisaillement déformation, module et hystérésis de cisaillement	[HALLOS, 1990], [OWEN, 1985], [SUDNIK, 1978]
Compression	Appareils universels de compression, compressomètre Schiefer	épaisseur, courbe pression – épaisseur, compressibilité, module et hystérésis de compression	[KAKIAGE, 1977], [KAWABATA, 1978a], [PEIRCE, 1978], [SCHIEFFER, 1979]
Frottement	Appareils universels de friction, Friction mètre	Coefficient statique et dynamique de frottement	[JACOBSEN, 1992], [KIM, 1980]
Chaleur	Plateaux chauffants, méthode de densité	conductivité et diffusivité thermique	

Cette liste a été essentiellement présentée par Kim [1975] dans la conférence AATCC en 1975. Les auteurs ont mesuré par eux-mêmes une vingtaine de paramètres physiques pour 25 étoffes et étudié les corrélations existant entre ces paramètres physiques. Ces paramètres physiques ont été choisis par les experts selon leur expérience et considérés comme les plus pertinents pour représenter le toucher textile. Les forces contrôlant la déformation des étoffes sont mesurées par les paramètres suivants :

- Flexion : rigidité de flexion élastique, longueur et hystérésis de flexion, recouvrement de flexion,
- Drapé : coefficient de drapé,
- Cisaillement : force de cisaillement, profondeur de cisaillement, module initial de cisaillement, recouvrance en cisaillement,
- Compression : compressibilité, dureté, résilience de compression,
- Traction : extensibilité, module d'Young initial, recouvrement en traction,
- Masse surfacique,
- Frottement : coefficient statique et dynamique de frottement

### 2.3.2 Appareils de mesure

- Le KES-F (Kawabata Evaluation System for Fabrics)

Kawabata a créé son KES-F en 1972 [KAWABATA, 1978b], [KAWABATA, 1982] sur la base des travaux précédents sur les propriétés mécaniques des étoffes et de son travail avec la HESC (Congress of Scientists on the Human Environment) sur l'évaluation du toucher et de la qualité des étoffes. Il a identifié le besoin d'une instrumentation permettant de mesurer les paramètres appropriés le plus rapidement possible avec une grande précision et une parfaite reproductibilité.

Le système KES-F a été largement décrit dans plusieurs publications [KAWABATA, 1978b], [KAWABATA, 1982], [KAWABATA, 1989], [KAWABATA, 1991], [SLATER, 1993] et constitue une référence dans le secteur textile. Un bref résumé est cependant nécessaire pour la suite de notre travail.

Ce système est constitué de 5 modules différents, qui ont été développés par Kato Tekko co., Kyoto, Japon, en collaboration avec Kawabata. Le premier KES-F a été produit en 1971. Quelques modifications mineures ont été réalisées pour produire les 5 modules mécaniques initiaux, auxquels est venu se rajouter un dernier appareil mesurant les propriétés thermiques des étoffes :

- KES-FB1 : module de traction et de cisaillement
- KES-FB2 : module de flexion
- KES-FB3 : module de compression
- KES-FB4 : module d'état de surface : frottement, rugosité
- Thermolab : module thermique

Au début, ces instruments ont été reliés à des traceurs mécaniques pour l'obtention sur papier des graphes représentant les tests mécaniques sur les étoffes. Quelques années plus tard, une interface numérique a permis de relier ces modules à un PC et donc de traiter par l'outil informatique les données physiques des étoffes. Le prix assez élevé peut expliquer en partie le nombre assez réduit de ventes à travers le monde.

En 1991, une version plus automatisée du module de traction – cisaillement a été dévoilée et produite pour une utilisation rapide en industrie (cf. Figure 2-6). Un nouveau capteur ultra sensible de compression a aussi été élaboré comme amélioration du module de compression conventionnel.

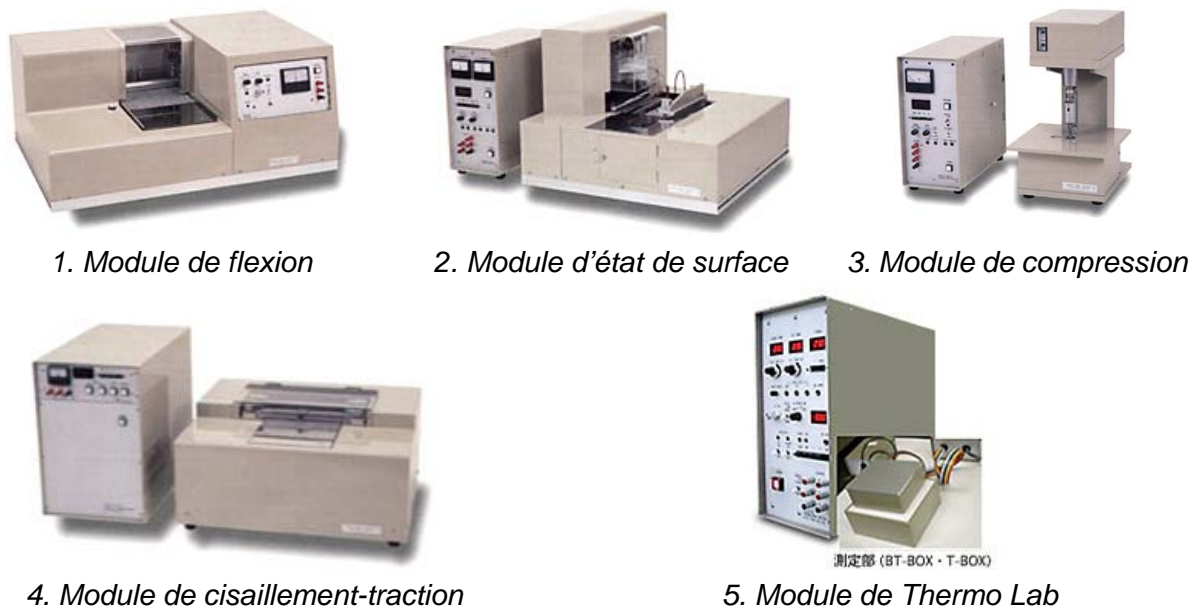


Figure 2-6 Les différents modules de KES – F

Tableau 2-4 Les paramètres des différents modules du KES - F

Instrument	Propriété	Paramètre	Description du paramètre	Unité
KES-FB1	Traction	EMT	Extension à 5N/cm	%
		LT	Linéarité de la courbe traction – allongement	-
		WT	Energie d'extension pour 5N/cm	J/m <sup>2</sup>
		RT	Résilience de traction	%
KES-FB1	Cisaillement	G	Rigidité de cisaillement	gf/cm/deg
		2HG	Hystérésis de cisaillement à 0.5°	gf/cm
		2HG5	Hystérésis de cisaillement à 5°	gf/cm
KES-FB2	Flexion	B	Rigidité de flexion	gf/cm <sup>2</sup> /cm
		2HB	Hystérésis de flexion	gf.cm.cm
KES-FB3	Compression	Lc	Linéarité de compression	-
		Wc	Energie de compression sous 5kPa	gf.cm/cm <sup>2</sup>
		Rc	Résilience de compression	%
		EMC	Compressibilité	-

KES-FB4	Frottement et rugosité	MIU	Coefficient de frottement palpeur/étouffe	-
		MMD	Moyenne quadratique de MIU	-
		SMD	Rugosité géométrique	Micron
Thermolab	Propriété thermique	EQ	Effusivité Qmax	J/cm <sup>2</sup> /s

Les paramètres mesurés par les 5 modules Kawabata initiaux sont représentés dans le Tableau 2-4, pour la traction, le cisaillement et la flexion, il est plus courant, pour le système KES-F de moyenner les valeurs « Chaîne » et « Trame » ou aussi « Colonnes » et « maille » pour le tricot.

Le système KES-F a l'avantage d'être conçu pour les mêmes éprouvettes qui sont donc compatibles pour les différentes mesures sur tous les modules, en considérant que les mesures se fassent dans l'ordre approprié de façon à ce que les tests destructifs interviennent en dernier. Il peut faciliter la préparation des étoffes et augmenter la vitesse de test, mais le temps de mesure pour tous les paramètres sur une étoffe est considérable.

➤ FAST SYSTEM (Fabric Assurance by Simple Testing)

Il s'agit d'un système comportant 3 modules utilisant une méthode développée par l'Organisation de Recherche Scientifique et Industrielle du Commonwealth (CSIRO) en Australie pour mesurer les propriétés des étoffes de laine ou de mélanges avec laine dans leur comportement à la confection [ALLEY, 1976].

Ce système permet d'obtenir 15 paramètres par ses différents modules : compression, flexion, extensibilité. Les résultats obtenus par ces modules sont généralement exploités en traçant une courbe d'aptitude à la confection qui permet de donner une idée exacte sur l'état de l'étoffe lors de sa transformation industrielle : la confection. Bien que les machines FAST soient simples à utiliser et moins coûteuses pour l'entreprise, les résultats de la courbe ne sont pas pertinents pour les étoffes de tricots. Les mesures du système KES-F sont plus précises, complètes et effectives et largement utilisées dans les laboratoires de recherche et les entreprises. Pour cela, nous avons utilisé les machines KES-F dans notre étude.

➤ FAMOUS (Fabric automatic measurement and optimisation universal system)

La machine FAMOUS, développée par STYLIOS [2005], a pour l'objectif de réduire le coût, le temps de mesure et la complexité de la machine par rapport les machines existantes. L'ordre de mesure est comme suit : flexion, cisaillement, l'état de surface, compression, traction. Néanmoins, l'efficacité de mesure pour les étoffes de tricots reste à prouver.

➤ Appareils de mesure universels

1 Tribomètre multidirectionnel, lamelle vibrante, rugosimètre optique

Tribomètre multidirectionnel, développé par l'école nationale supérieure des industries textile de Mulhouse (ENSITM), permet d'effectuer des mesures tribologiques qui s'ajoutent aux informations données par le KES-FB4. Elaboré par Bueno *et al.* [1995], il permet d'évaluer le critère rugosité – frottement d'une étoffe en mouvement circulaire par l'intermédiaire d'un capteur qui permet de saisir le signal périodique. Un logiciel approprié permet, par une analyse de Fourier, de décomposer le signal obtenu en une série de fonctions simples et de tracer un autospectre caractéristique de l'éprouvette testée.

Le même porte – échantillon et la même unité de traitement de signal sont utilisés, cependant, le capteur change et le balancier disparaît. En effet, il s'agit ici d'une plaque précontrainte encastrée-libre-appuyée-libre. Cette plaque, appelée lamelle vibrante est instrumentée afin d'obtenir les fréquences propres de vibration. Lors de la rotation de l'éprouvette sous le palpeur, celui-ci est soumis aux effets liés aux aspérités rencontrées ainsi qu'à ceux liés au frottement de la surface en contact, le mouvement est rendu possible grâce au balancier. Un capteur piézo-électrique, fixé sur la face supérieure du balancier mesure l'accélération instantanée verticale du balancier. Le signal ainsi obtenu est injecté dans une unité de traitement numérique des données.

Le principe de la mesure de rugosimètre optique est d'éclairer l'étoffe par un rayon lumineux et de mesurer le rayon réfléchi par cette étoffe à l'aide d'un photorécepteur. Le signal obtenu subit le même traitement que le signal provenant de l'accéléromètre du tribomètre multidirectionnel. L'autospectre obtenu présente donc les fréquences relatives au relief de l'étoffe considérée. Le maximum et l'énergie de ces pics caractérisent l'état de surface. En effet, lorsque la surface de l'étoffe est modifiée, l'énergie lumineuse est également affectée. Un écrasement de la structure augmente la réflexion directe et une création de pilosité diminue cette réflexion directe en augmentant la réflexion diffuse.

Mais la précision des paramètres mesurés dans ces machines n'est pas suffisamment élevée pour différencier notre gamme des étoffes.

## 2 Profilomètre 3D



Figure 2-7 Profilomètre 3D

Le profilomètre 3D est un appareil de mesure topographique à balayage (cf. Figure 2-7). Le capteur mesure l'altitude d'un point de l'échantillon à un instant donné et la platine sur laquelle il est positionné permet de déplacer l'objet à étudier pour palper complètement la zone de mesure.

Dans la majorité des cas, la sonde utilisée est un capteur optique (lumière blanche) utilisant le principe optique de l'aberration chromatique, qui focalise en chaque point de mesure, la longueur d'onde du spectre sur une dynamique verticale en 300nm et un spot de 5 $\mu$ m environ (spécificités de notre capteur). Le signal retour est analysé par un spectrophotomètre qui traduit chacune des longueurs d'onde mesurées en distances entre la lentille et la surface de l'échantillon.

L'utilisation de la sonde optique nécessite que la surface de l'échantillon analysé ait un pouvoir réfléchissant suffisant. Dans le cas contraire, un capteur mécanique (avec contact) peut être utilisé. Lorsque le capteur oscille verticalement, il déplace un noyau magnétique à l'intérieur d'une bobine, modifiant l'ajustement d'un circuit électronique. La position verticale du capteur est ensuite traduite en une tension qui est numérisée par la centrale. Cette machine permet d'acquérir les microtopographies de profils ou de surfaces par balayage (logiciel Altisurf 500) avec reconstructions 2D et 3D (logiciel Altimap). La technique de balayage n'est pas destructive grâce aux mesures sans contact avec les étoffes testées. Elle est plus adaptée pour mesurer les gammes des étoffes dans notre étude afin de compléter les données de l'état de surface testée par KES-F.

### 3 UST (Universal surface tester) (cf. Figure 2-8)

La surface d'étoffe est scannée mécaniquement au long d'une ligne droite en trois étapes afin de reproduire l'effet tactile par les doigts sous une faible contrainte. Et la déformation totale, la déformation élastique et la déformation permanente sont évaluées et enregistrées. Nous pourrions compléter les informations sur l'état de surface des nos étoffes. Ces résultats pourraient rendre notre interprétation plus complexe.

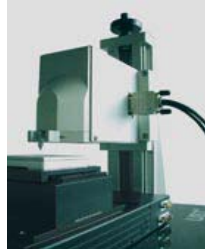


Figure 2-8 Machine UST

#### 2.3.3 Méthodes utilisées pour l'acquisition des données instrumentales

Dans notre étude, nous avons choisi 17 matières textiles représentatives pour une collection de sous-vêtements (cf. Annexe 7). Afin de caractériser et de différencier ces échantillons, nous avons choisi les paramètres suivants : le cisaillement, la flexion, la compression, le frottement et la rugosité, les propriétés thermiques, la masse surfacique, l'épaisseur, la traction, le drapé, la déformation et les propriétés de texture. La liste des paramètres utilisés dans notre étude est donnée Annexe 8. Selon [PAN, 1985], [BISHOP, 1996], [KAWABATA, 1996], elle affecte le plus la sensation du toucher pour notre gamme des étoffes.

Tous les échantillons testés sont des tricots. Leurs propriétés varient avec le sens (sens colonne et sens maille) et la face (recto et verso). Ainsi, nous avons testé les échantillons dans les deux sens pour la flexion, le cisaillement, la traction, le frottement et la rugosité, et la déformation. De plus, nous avons aussi testé les échantillons en deux faces pour le frottement et la rugosité, la déformation, l'effusivité  $Q_{max}$  et les propriétés de texture. Au total, 65 paramètres sont rassemblés pour caractériser cet ensemble d'échantillons. Comme les propriétés de traction de nos étoffes sont en dehors de l'intervalle de mesure sur la machine KES-F en raison d'une grande extensibilité, nous avons utilisé la machine de traction MTS pour les remplacer.

La répétitivité et la reproductibilité des mesures ont une importance primordiale. En effet,

des changements de conditions atmosphériques, d'opérateurs... peuvent fausser les résultats. C'est pour cela que pour la totalité de nos échantillons, les mesures sur un module ont été faites dans la majorité des cas dans la même journée et au sein d'un laboratoire contrôlé en température et humidité relative.

Les données instrumentales sont fournies dans l'Annexe 9.

## 2.4 Acquisition des données humaines

### 2.4.1 Evaluation du toucher par les experts

L'évaluation sensorielle vise à « décrire objectivement le produit par les êtres humains ». Pour l'évaluation de nos étoffes textiles, un panel de 12 personnes a été recruté selon un test de sélection et un entretien. Il a ensuite été entraîné pour évaluer le toucher des étoffes textiles. L'acquisition des données d'experts consiste en trois étapes (cf. Figure 2-9). L'objectif est de trouver un minimum de descripteurs tactiles permettant de décrire au mieux les étoffes textiles avec le maximum d'efficacité.

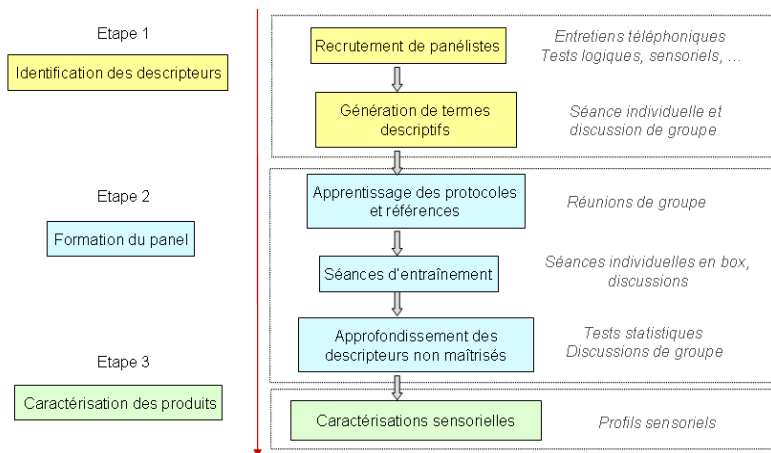


Figure 2-9 Méthodologie d'acquisition des données d'experts

#### Etape 1 : Identification des descripteurs

12 candidats, coutumiers des tests sensoriels sur d'autres gammes de produits, sont recrutés pour notre étude de toucher.

*La construction du vocabulaire du profil descriptif [PARK, 2000]*

- Génération d'une liste exhaustive de termes : des séances pendant plusieurs semaines sont nécessaires à cette étape. Les personnes formant les groupes de tests remplissent chacune une liste de termes. Suit une discussion animée par un expérimentateur, visant à obtenir



encore plus de termes, tout en rappelant et maintenant les conditions d'une « bonne description », à la recherche d'un consensus.

- Au cours d'un premier tri « qualitatif », nous gardons les termes satisfaisant une description pertinente : tout terme cité plus d'une fois, clairement défini sans ambiguïté au niveau sémantique, et non hédonique.

- En vue d'un second tri « quantitatif », nous commençons par énoncer trois exigences que nous imposons aux descripteurs. Ils doivent être « discriminants », c'est-à-dire conduire à une séparation des produits. Ils doivent être « indépendants » et enfin « monodimensionnels ».

Pour rendre ces conditions exploitables, nous passons par un tableau de notes. Pour tous les termes de la liste restante, chaque panéliste cote tous les produits par une note de 0 à 5. Nous commençons par conserver les termes au vu de leur fréquence de citation et de la somme des notes auxquelles ils ont donné lieu. Vient ensuite une démarche appuyée sur des analyses multidimensionnelles : la première étape consiste à faire une ACP (Analyse en Composantes Principales) sur la matrice produits/descripteurs. Cette analyse est destinée avant tout à définir l'espace produit qui nous servira de référence au cours des étapes ultérieures. Les étapes suivantes consistent à enlever des descripteurs en supprimant les redondances et en privilégiant les descripteurs les plus discriminants. Après une série d'éliminations, l'ensemble des panélistes passent à l'étape « test » qui permettra, cette fois, d'obtenir l'évaluation sensorielle qui sera prise en compte pour l'établissement de l'évaluation définitive du produit. 13 termes pertinents sont enfin obtenus pour l'évaluation de nos étoffes.

Pour cela, des protocoles d'évaluation et les références sont déterminés par les panélistes pour chaque descripteur (cf. Annexe 10).

### **Etape 2 : Formalisation du panel**

Les objectifs de cette étape sont les suivants :

- ✧ Constituer un outil commun de mesure grâce à l'utilisation par le groupe des descripteurs, de leur définition et de l'étalonnage de leurs intensités sur des échelles de jugement.
- ✧ Familiariser les panélistes à l'usage de cet outil descriptif.
- ✧ Uniformiser les évaluations en apprenant aux panélistes les règles qui les régissent.

6 séances de formation ont été réalisées permettant aux panélistes de se familiariser avec les descripteurs et les protocoles d'évaluation et d'affiner leurs capacités sensorielles. Au

cours de chaque séance, 3 ou 4 descripteurs ont été travaillés. Pour chaque descripteur, les bornes des échelles ont été validées et les échantillons textiles ont été classés sur l'échelle (par ordre d'intensité croissante).

A l'issue de la formation, les 12 juges ont obtenu un niveau de performance permettant une bonne discrimination des échantillons et une caractérisation des textiles fiable et précise.

3 critères sont analysés pour évaluer les performances du panel :

- Pouvoir discriminant : capacité à percevoir des différences significatives entre produits
- Répétabilité : aptitude à donner, dans des conditions d'utilisation définies, des réponses très voisines lors de l'application du même signal d'entrée [AFNOR, 1984]
- Consensus : aptitude de chacun de ses membres à juger et ordonner de la même manière différents signaux de même intensité.

L'analyse de la variance est utilisée pour analyser les performances individuelles. L'analyse factorielle multiple (AFM) est utilisée pour analyser les performances globales du panel. Après 6 séances de formations, le panel est discriminant et très répétable sur l'ensemble des descripteurs. Les panélistes sont consensuels sur l'ensemble des descripteurs.

### **Etape 3 : Caractérisation des produits**

Les 17 étoffes textiles de format A4 ont été caractérisées par le panel d'experts sensoriels conformes aux normes AFNOR [1984]. Une présentation des étoffes en monadique séquentielle a été mise en place pour notre étude. L'ordre de présentation des étoffes est aléatoire (Carrés latins) afin d'éviter les effets d'ordre. Les étoffes sont codées à trois chiffres.

Les experts sensoriels évaluent les étoffes derrière un rideau pour que l'évaluation tactile soit réellement monomodal. Chaque étoffe a été caractérisée deux fois pour vérifier la fiabilité des évaluations. Elles ont été évaluées sur une face, celle au contact du corps, et dans un sens vertical, correspondant au sens du port.

Les données sensorielles sont présentées Annexe 11.

#### **2.4.2 Acquisition de données propres à l'image véhiculée par la marque**

La définition de l'image véhiculée par la marque comme « les perceptions portant sur

une marque reflétée par les associations à la marque détenues dans la mémoire du consommateur » est cohérente avec celles de nombreux autres auteurs [DICHTER, 1985], [ENGEL, 1995], [NEWMAN, 1957]. Une définition plus simple pourrait être « tout ce qu'un consommateur peut associer à une marque donnée ». Mitchell [1982] considère la mémoire comme un réseau d'associations (en anglais *associative network model of memory*) : « Dans ce modèle, les nœuds du réseau représentent les concepts, alors que les arcs sont des liens qui définissent également des relations entre les concepts ». Cette approche a été adoptée dans les travaux portant notamment sur la publicité [FARQUHAR, 1989], [GRUNERT, 1996], sur le capital et l'image de marque [AAKER, 1991], [KELLER, 1993], [ROMANIUK, 1996] ou sur les extensions de marque [ROEDDER, 1998]. Selon Keller, les associations peuvent varier en force, qui rend l'information plus accessible, en favorabilité, et en unicité, c'est-à-dire le degré auquel une association n'est pas partagée avec des marques concurrentes.

Dans notre étude, nous avons tout d'abord échangé avec le département marketing et le département de recherche et développement de l'entreprise, puis les 6 critères (ou thèmes) sont déterminés pour décrire le concept du bien-être en fonction des stratégies et de l'image que souhaite véhiculer la marque de l'entreprise. Pour chaque critère, un nombre d'images dérivant l'ambiance connexe (cf. Annexe 1) sont sélectionnées par le département de marketing axé sur les résultats d'une série d'interviews de consommateurs [ZHU, 2007]. Par exemple, pour décrire le critère « dynamisme », trois images décrivant l'escalade, le tennis et le ballon peuvent être sélectionnées. Ces images permettent de définir un cadre conceptuel du critère du bien-être s'y rattachant et donnent l'occasion aux évaluateurs de comprendre ces critères d'une manière plus concrète.

Ensuite, nous avons construit un panel de consommateurs pour l'évaluation du bien-être des vêtements. L'objectif de cette étude est de s'assurer de l'adéquation des ambiances proposées avec 6 critères du bien-être, de vérifier la bonne compréhension des termes par les consommateurs, et d'enrichir le vocabulaire associé à chaque planche d'ambiance.

L'acquisition des données propre à l'image véhiculée par la marque consiste en 3 étapes [ZHU, 2009a] :

1) Recruter un panel de 20 consommateurs de la cible de l'entreprise, issue des milieux socioculturels bien variés.

2) Chaque membre du panel donne une liste exhaustive des descripteurs concrets décrivant chacun des 6 critères à l'aide de l'ambiance des images correspondantes. Par

exemple, lorsqu'il s'agit d'évaluer le critère « dynamisme », les termes correspondants peuvent être « speed », « énergie », « force » et « souple ». L'ensemble de ces termes permet de mieux comprendre la signification du critère correspondant, ou une ambiance dans le but d'obtenir des résultats d'évaluation plus efficace.

Les résultats sont présentés Annexe 12.

### **2.4.3 Evaluations multi-sensorielles des produits finis auprès des consommateurs**

Dans une entreprise d'habillement, les produits peuvent généralement être caractérisés par trois sources d'information : 1) les mesures physiques à l'aide des appareils appropriés, 2) les évaluations sensorielles classiques effectués par un panel d'experts entraînés, 3) la perception multi-sensorielle des consommateurs impliquant la nature socioculturelle des produits. Fortement liée à l'image véhiculée par la marque, cette dernière peut être considérée comme une combinaison de tous les sens, notamment les sensations tactile et visuelle perçues des produits. Pour comprendre la relation entre cette perception multi-sensorielle et l'image véhiculée par la marque de l'entreprise, nous avons mis en place une nouvelle méthodologie d'évaluation permettant d'identifier les composants sensoriels pertinents (toucher, style et couleur) et les intégrer dans le développement de produits d'habillement (cf. Figure 1-6).

Tout d'abord, nous avons étudié les aspects sensoriels de manière indépendante.

#### **◆ Toucher**

Pour évaluer les similarités du toucher entre les produits (des échantillons des étoffes et de T-shirts) par rapport aux critères du bien-être, 20 consommatrices cibles de l'entreprise sont recrutées.

En raison de la capacité d'évaluation limitée des consommateurs, nous devons réduire la taille des échantillons à évaluer. Nous avons utilisé l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour regrouper les 17 textiles testés en 11 classes selon l'expérience des experts produits et les résultats de l'évaluation sensorielle du toucher dans l'Annexe 11 (cf. Figure 2-10).

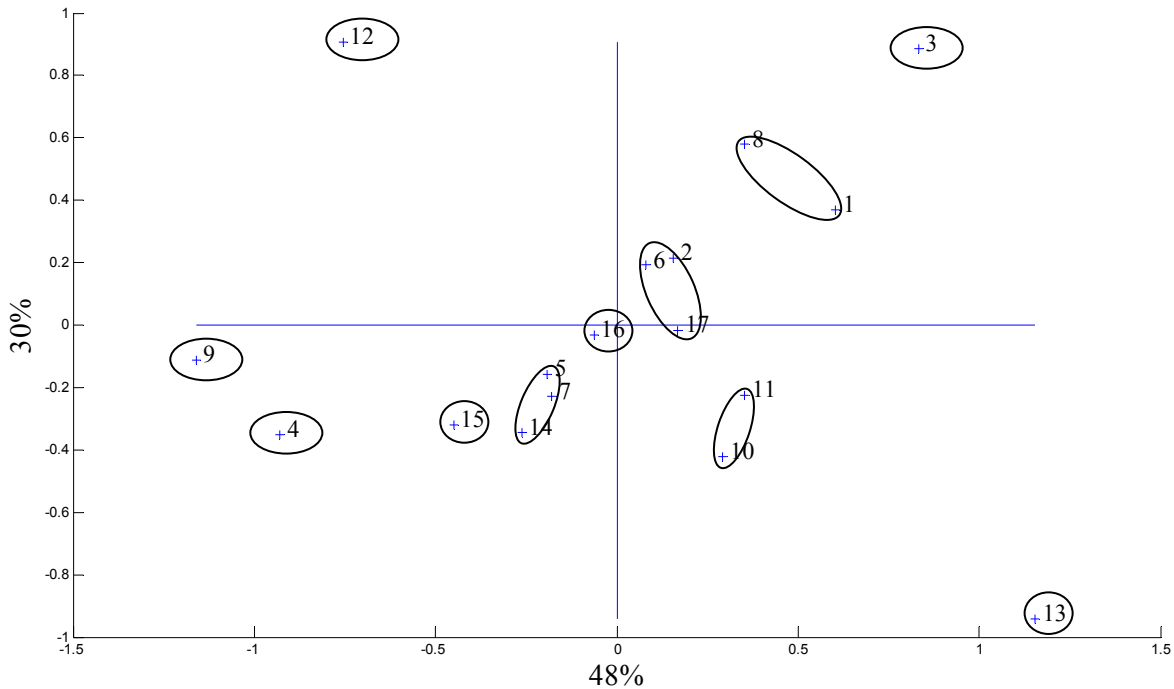


Figure 2-10 ACP pour les données sensorielles du toucher

Les textiles au sein d'une même classe sont considérés comme ayant des propriétés proches. Ensuite, 11 textiles représentatifs sont sélectionnés pour chacune des classes retenues : 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16. Les échantillons de cette étude sont ces 11 étoffes tricotées au format A4 et 11 T-shirts fabriqués à partir de ces mêmes étoffes. Ces échantillons, de couleur blanche, sont les mêmes que ceux qui sont soumis aux tests instrumentaux. Les T-shirts correspondants ont un style unique (T-shirt manche courte). Par conséquent, seule la matière peut être prise en compte dans l'évaluation de ces échantillons. Pour chaque test, les échantillons ont été présentés en comparatif sous forme codée dans un ordre aléatoire.

Nous avons effectué ces tests conformément à la procédure suivante [ZHU, 2010c] :

1) Avant le test, les personnes recrutées ont reçu par mail les 6 planches d'ambiance (images) (cf. Annexe 1) représentant les 6 critères du bien-être. Les sujets ont été sollicités pour proposer, de façon exhaustive, des termes et des idées évoqués par ces ambiances avant la première séance (cf. Annexe 12). Ainsi, au début de la séance, un débriefing a permis de regrouper les idées pour chaque ambiance, et de créer une liste commune des images pour chaque critère (cf. Annexe 13).

2) Les sujets ont ensuite évalué la similarité de l'échantillon présenté par rapport à la planche d'images sur une échelle de proximité en 5 points : 1 - complètement différent, 2 - un peu proche, 3 - proche, 4 - très proche, 5 - identique.

3) Réalisation de la même procédure pour les T-shirts et comparaison des résultats de l'évaluation pour étudier l'impact de la forme (Textiles de format A4 – T-shirt) sur la perception multi-sensorielle dans un contexte social et culturel. Enfin, nous avons obtenu deux matrices des notes d'évaluation représentant les similarités des 11 échantillons et des 11 T-shirts par rapport à l'ensemble des critères du bien-être. Les moyennes d'évaluation de tous les sujets sont présentées Annexe 14.

#### ◆ Apparence (Style, Couleur)

Pour évaluer les similarités des produits par rapport aux critères du bien-être, 100 consommateurs cibles de l'entreprise et issus de milieux socioculturels variés, sont recrutés.

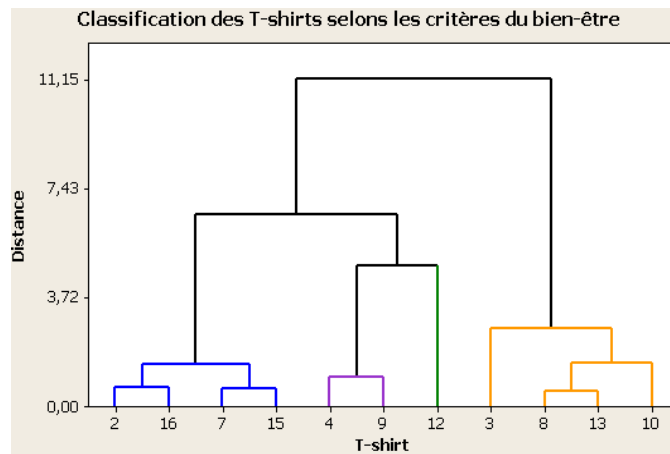


Figure 2-11 Classification des T-shirts selon les critères du bien-être

En raison de coût d'évaluation et de leur capacité limitée d'évaluation, nous avons réduit la taille d'échantillons à évaluer en utilisant la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les 11 T-shirts sont regroupés en 4 classes selon leurs similarités avec les 6 critères du bien-être (cf. Annexe 14, Figure 2-11). La cartographie des T-shirts est obtenue selon les critères du bien-être en utilisant l'ACP (cf. Figure 2-12).

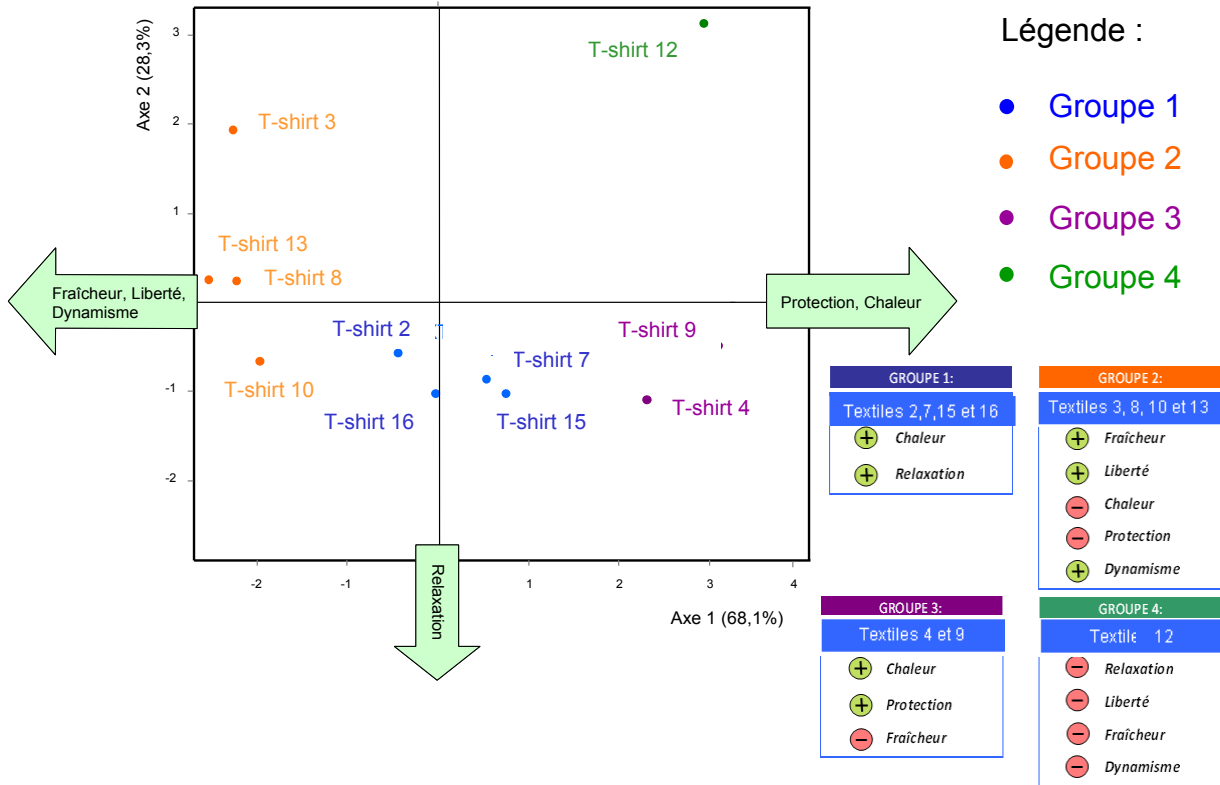


Figure 2-12 Cartographie des T-shirts selon les critères du bien-être

**Groupe 1** (T-shirt 2, 7, 15 et 16) : Les T-shirts appartenant à cette classe sont significativement plus représentatifs des notions de chaleur et de relaxation.

**Groupe 2** (T-shirt 3, 8, 10 et 13) : Les T-shirts de cette classe sont significativement plus caractéristiques des notions de fraîcheur, de liberté et de dynamisme. Au contraire, ils sont opposés aux planches chaleur et protection.

**Groupe 3** (T-shirt 4 et 9) : Les T-shirts de ce groupe sont significativement associés aux notions de chaleur et de protection, et sont opposés à la notion de fraîcheur.

**Groupe 4** (T-shirt 12) : Le T-shirt 12 est le moins associé aux critères du bien-être. Ainsi, ce groupe n'est pas pris en compte pour la suite des études.

3 T-shirts ont été retenus sur les résultats précédents : T-shirt 7, T-shirt 10 et T-shirt 4. Les T-shirts au sein de la même classe sont considérés comme ayant des perceptions proches. Chacune de ces matières a été déclinée en 8 versions (cf. Annexe 15), permettant de faire varier plusieurs paramètres de coupe : amplitude des manches, col montant zippé, dentelles, broderies, T-shirt croisé, empiècement massant, ... Ainsi, 24 T-shirts ont été conçus spécifiquement pour ce test.

1. T-shirt manches longues

2. T-shirt manches longues avec broderie
3. T-shirt manches longues amples
4. T-shirt croisé devant
5. T-shirt col montant zippé
6. T-shirt grande dentelle
7. T-shirt empiècement massant intérieur
8. T-shirt col montant zippé avec poches

11 photos représentant les T-shirts manches longues en 11 coloris sont utilisés pour évaluer la perception de la couleur (cf. Annexe 16). Ces 11 coloris sont les suivants : camel, bleu, rose pâle, blanc, bleu pâle, abricot, gris, violet, rouge, noir et vanille.

L'évaluation consiste en trois étapes [ZHU, 2010a] :

*Étape 1* : Discussion autour des 6 planches d'ambiances et appropriation des 6 critères du bien-être. Une liste commune de termes émotionnels concrets est obtenue à la fin de la discussion. Cette liste aide les consommateurs à évaluer les produits durant le test.

#### *Étape 2 : Evaluation des styles*

Les 24 T-shirts ont ensuite été évalués selon les 6 critères du bien-être. Une note d'évaluation pour le confort global est attribuée à chaque produit. 24 T-shirts sont présentés sous forme codée et dans un ordre aléatoire. Chaque T-shirt est accompagné d'une photo illustrant la coupe au porter. Les consommateurs sont invités à regarder la photo et à toucher le T-shirt. Les évaluations de style des produits selon les 6 critères du bien-être s'effectuent selon une échelle de proximité en 5 points : 1 - complètement différent, 2 - un peu proche, 3 - proche, 4 - très proche, 5 - identiques.

#### *Étape 3 : Evaluation des couleurs*

Les 11 photos sont présentées sous forme codée et dans un ordre aléatoire. Une note d'évaluation pour le confort global et d'évaluation de chaque photo est attribuée à chaque consommateur selon les 6 critères du bien-être. Les évaluations de couleur des produits selon les 6 critères du bien-être s'effectuent selon une échelle de proximité en 5 points : 1 - complètement différent, 2 - un peu proche, 3 - proche, 4 - très proche, 5 - identiques.

Enfin, deux matrices de notes moyennes de similarité des styles et des couleurs sont obtenues pour chaque critère du bien-être (cf. Annexe 17 et Annexe 18).



### ◆ **Produit fini**

Après avoir évalué la similarité de chaque aspect sensoriel (toucher, style et couleur) par rapport à chaque critère du bien-être, un test de consommateurs est organisé afin d'approfondir la connaissance des composants sensoriels qui influencent le jugement des consommateurs dans le choix d'un produit d'habillement.

33 T-shirts sont sélectionnés en variant au maximum des paramètres sensoriels étudiés (matière, coupe, couleur) dans les tests précédents pour une collection de produits (cf. Annexe 19). 100 consommateurs ont été convoqués par groupe de 10 personnes maximum. Les T-shirts ont été présentés à la fois sur cintre et sur table pour la simulation d'une vraie situation d'achat. Les visuels ont été présentés à part, à plat sur des tables.

*Étape 1 : Discussion autour des 6 planches d'ambiances et appropriation des 6 critères du bien-être*

*Étape 2 : Evaluation des 33 T-shirts*

Les 33 T-shirts sont présentés sous forme codée et dans un ordre aléatoire. Chaque référence était présentée sous deux formes : 1) sur cintre en hauteur, afin d'apprécier le T-shirt dans sa globalité ; 2) posée à disposition sur une table, libre au toucher.

Une note d'évaluation pour le confort global a été attribuée. Les 33 T-shirts ont ensuite été évalués selon les 6 critères du bien-être. L'évaluation de ces T-shirts selon les 6 critères s'effectuent sur une échelle de proximité en 5 points : 1 - complètement différent, 2 - un peu proche, 3 - proche, 4 - très proche, 5 - identiques.

## **2.5 Bilan**

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté une structure générale pour la formalisation du concept du bien-être et l'acquisition des données. Ensuite, nous avons lancé une enquête auprès des consommateurs pour identifier leurs perceptions en termes de bien-être pour les différents sens (toucher, apparence, fragrance et son). Selon les résultats de cette enquête, nous avons mis l'accent sur l'étude de l'influence de l'aspect tactile et visuel du produit sur l'image véhiculée par la marque – le bien-être des consommateurs.

Nous avons commencé par étudier l'aspect tactile du produit, car c'est l'un des critères le plus important dans le choix ou la commande de matières, constituant la première étape dans le processus de conception des produits. L'aspect visuel est déterminé plus tard dans la teinture, la

finition et la confection. Pour caractériser le toucher textile, nous avons effectué des tests instrumentaux sur un ensemble de produits représentatifs d'une collection de l'entreprise. En parallèle, un panel sensoriel, composé d'experts entraînés, est construit afin de caractériser ces produits de façon humaine.

Dans la troisième partie de ce chapitre, nous avons proposé les méthodes pour étudier l'ensemble des aspects sensoriels (toucher, style et couleur) des produits, de façon séparée, en relation avec l'image véhiculée par la marque de l'entreprise (6 critères du bien-être).

Enfin, une méthode a été proposée pour étudier la relation entre la multi-sensorialité des produits et 6 critères du bien-être en combinant ces trois aspects sensoriels. Cette méthode est une démarche plus globale, prenant en compte des interactions entre les trois aspects sensoriels. Les méthodes proposées dans ce chapitre constituent la première partie de nos travaux de recherche – acquisition des données multi-sensorielles et instrumentales.

D'autres méthodologies d'acquisition des données multi-sensorielles sont aussi possibles. Par exemple, la méthodologie de type trade-off utilise un plan d'expériences fractionnés.

Les données instrumentales et sensorielles acquises dans la section 2.3 et 2.4.1 seront utilisées dans le Chapitre 3 pour trouver la correspondance entre les caractéristiques physiques des textiles et les descripteurs sensoriels.

Les données de l'image véhiculée par la marque ainsi que celles des évaluations multi-sensorielles seront utilisées dans le Chapitre 4 et 5 pour la modélisation de l'image véhiculée par la marque d'une entreprise et l'évaluation globale des prototypes industriels.

# Chapitre 3 Modélisation de la relation entre les caractéristiques physiques des textiles et les descripteurs sensoriels

*Dans la première partie du chapitre, nous rappelons les notions de base concernant la modélisation par la technique floue. Ces outils de calcul sont utilisés dans les chapitres suivants pour résoudre les problèmes rencontrés dans la conception de produits d'habillement, où l'évaluation du toucher joue un rôle important. Elle implique à la fois des mesures physiques utilisant des dispositifs instrumentaux et l'évaluation sensorielle donnée par des panélistes entraînés. La modélisation de la relation entre les mesures physiques et l'évaluation sensorielle est importante, car ce modèle peut être utilisé pour déterminer ou prévoir les niveaux de qualité en matière du toucher à partir des mesures physiques normalisées. Dans cette procédure de modélisation, nous développons d'abord une nouvelle méthode permettant de sélectionner un nombre faible de caractéristiques physiques pertinentes mesurant le toucher afin de réduire la complexité du modèle. Ensuite, nous déterminons un espace de fonctionnement composés des régions acceptables des caractéristiques pertinentes pour lesquels le produit répond aux spécifications du cahier des charges sensoriel. Cette méthode permet de partitionner l'espace des paramètres physiques de conception et d'extraire des règles floues caractérisant les relations entre les descripteurs sensoriels et les paramètres physiques de conception. Cet espace de fonctionnement est un outil d'aide à la conception pour le positionnement des produits dans l'espace instrumental. Ces deux modèles proposés ont été validés à l'aide des données réelles collectées pour la conception des T-shirts des seniors.*

## 3.1 Principe de la logique floue et modélisation floue

La logique floue est considérée comme un outil de calcul avancé pour traiter des

connaissances incertaines et imprécises et simuler le raisonnement humain dans la prise de décision. Cette théorie a été proposée par L.A.ZADEH en 1965 [ZADEH, 1965].

Actuellement, la logique floue, comme outil de formalisation et d'analyse, est utilisée dans de nombreux domaines, comprenant la modélisation d'un système complexe, la reconnaissance de formes, l'analyse d'images, l'aide à la décision, etc. Par rapport aux autres techniques de calcul avancé, la logique floue permet de traiter à la fois des données numériques et linguistiques, de formaliser et d'analyser des connaissances qualitatives humaines. Elle est capable de fournir des solutions rapides, robustes et interprétables. Ces avantages sont particulièrement intéressants pour résoudre des problèmes industriels souvent liés à l'empirisme. La commande floue du procédé, le contrôle qualité utilisant la logique floue, et l'aide à la conception multicritère floue sont des applications industrielles représentatives [KIM, 1997], [NA, 1998], [RUAN, 1998], [MASTOROCOSTAS, 2000], [GUILLAME, 2004a], [DESTERCKE, 2007], [HAJJ, 2009].

### 3.1.1 Ensembles flous

Dans la théorie des ensembles classiques, un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble. La notion d'ensemble est à l'origine de nombreuses théories mathématiques. Pourtant, cette théorie a des contraintes pour rendre compte des situations incertaines rencontrées fréquemment. Par exemple, parmi des fruits, il est facile de définir l'ensemble des pommes. Par contre, il sera plus difficile de définir l'ensemble des pommes mûres. Nous concevons bien que la pomme mûrit progressivement. La notion de pomme mûre est donc une notion graduelle.

C'est pour prendre en compte de telles situations qu'a été créée la notion d'ensemble flou. La spécificité des ensembles flous repose sur la notion d'appartenance graduelle : chaque élément appartient partiellement ou graduellement aux ensembles flous qui ont été définis. Les contours de chaque ensemble flou (cf. Figure 3-1) ne sont pas « nets », mais « flous » ou « graduels ».

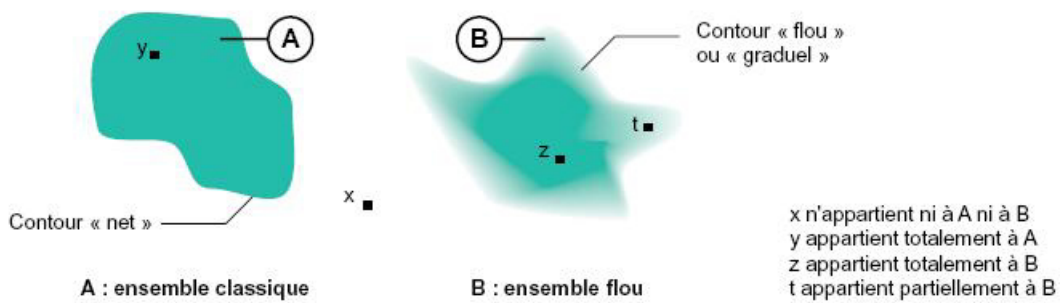


Figure 3-1 Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou

### 3.1.2 Fonctions d'appartenance

Un ensemble flou est défini par sa « fonction d'appartenance », qui correspond à la notion de « fonction caractéristique » en logique classique.

Supposons que nous voulions définir l'ensemble des personnes de « taille moyenne ». En logique classique, nous conviendrions par exemple que les personnes de taille moyenne sont celles dont la taille est comprise entre 1,60 m et 1,80 m. La fonction caractéristique de l'ensemble (cf. Figure 3-2 a) donne « 0 » pour les tailles hors de l'intervalle [1,60 m ; 1,80 m] et « 1 » dans cet intervalle. L'ensemble flou des personnes de « taille moyenne » sera défini par une « fonction d'appartenance » qui diffère d'une fonction caractéristique par le fait qu'elle peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle [0, 1]. A chaque taille possible  $x$  correspondra un « degré d'appartenance »  $\mu_M(x)$  à l'ensemble flou des « tailles moyennes »  $M$  (cf. Figure 3-2 b). La fonction d'appartenance établit un lien entre une valeur numérique et un concept linguistique (ex. « tailles moyennes »).

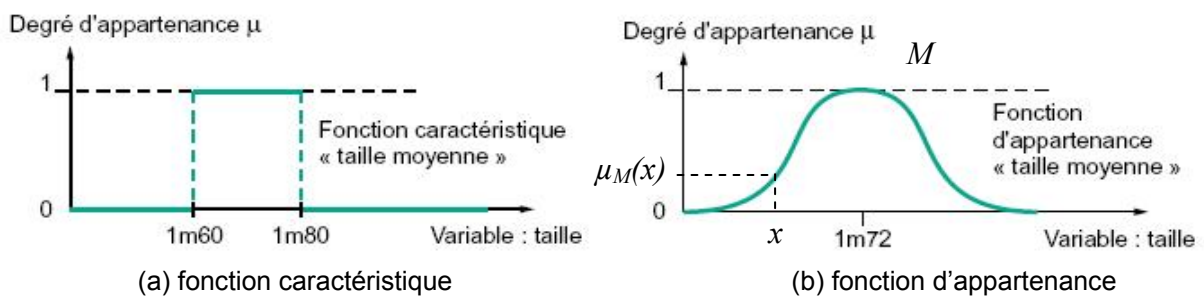
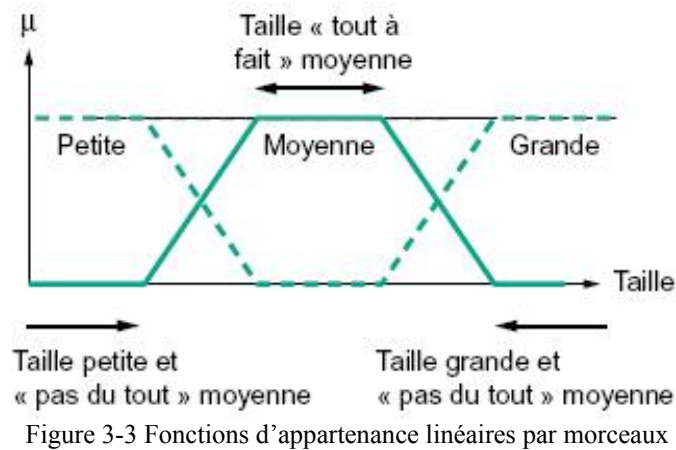


Figure 3-2 Fonction caractéristique et fonction d'appartenance

Les fonctions d'appartenance peuvent théoriquement prendre n'importe quelle forme. Toutefois, elles sont souvent définies par des segments de droites, et dites « linéaires par morceaux » (cf. Figure 3-3).



Plusieurs ensembles flous peuvent être définis sur la même variable, par exemple les ensembles « taille petite », « taille moyenne » et « taille grande ». Ces ensembles flous définissent le partitionnement de cette variable (cf. Figure 3-4). Notons qu’une même valeur peut appartenir à plusieurs ensembles ou sous-ensembles flous, avec des degrés non nuls.

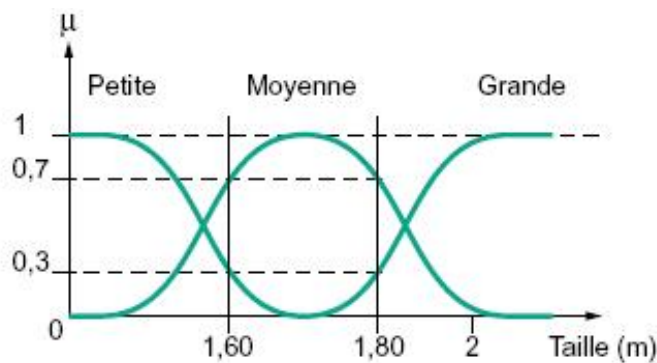


Figure 3-4 Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique

Grâce au recouvrement des sous-ensembles flous, une personne de 1,80 m appartient à l’ensemble « taille grande » avec un degré 0,3 et à l’ensemble « taille moyenne » avec un degré de 0,7. Ce recouvrement des sous-ensembles est à la base de la robustesse des systèmes flous. Il autorise un changement progressif d’état et par conséquent une convergence progressive de la décision. En logique classique, le passage de moyen à grand serait brusque. Une personne de 1,80 m serait par exemple de taille moyenne alors qu’une personne de 1,81 m serait grande, ce qui choque l’intuition. Ainsi, le concept de sous-ensemble flou, permettant une appartenance nuancée, autorise la définition de termes linguistiques graduels tels qu’ils sont manipulés par l’esprit humain.

La variable (par exemple : taille) ainsi que les termes (par exemple : moyenne, grande) définis par les fonctions d’appartenance portent respectivement les noms de variable linguistique et de termes linguistiques. Ainsi, les variables et les termes linguistiques peuvent

être utilisés directement dans des règles.

### 3.1.3 Règles floues

La connaissance humaine est souvent exprimée sous la forme générale de règles du type : *SI X est A, ALORS Y est B.*

Dans cette règle, la proposition « *X est A* » est la prémisse de la règle tandis que « *Y est B* » forme sa conclusion. *X* est la variable floue d'entrée. *Y* est la variable floue de sortie correspondante. *A* et *B* sont des valeurs floues correspondantes.

Un exemple de règle floue est donné ci-dessous :

*SI « la température est élevée », ALORS « la ventilation est forte ».*

Dans ce type de règle, les termes linguistiques *élevée* et *forte* sont représentés par des sous-ensembles flous définis sur l'univers des variables *température* et *ventilation*. Lorsque la prémisse est définie par une seule variable, le degré de vérité est le degré d'appartenance de la valeur au sous-ensemble flou qui correspond à la prémisse.

En général, la base des règles floues peut contenir aussi bien les règles linguistiques des experts que celles induites des données quantitatives mesurées sur des instruments.

### 3.1.4 Opérateurs logiques flous

Les opérateurs permettent de combiner plusieurs propositions de la prémisse, c'est-à-dire de proposer des calculs sur des degrés d'appartenance pour former le degré de vérité. Comme pour la logique classique, nous pouvons définir des opérateurs ET, OU, NON. Les opérateurs logiques flous ne font que la généralisation de la logique classique. L'opérateur ET de la logique classique est bien respecté : 0 ET 1 donne bien 0. L'opérateur OU de la logique classique est bien respecté : 0 OU 1 donne bien 1. L'opérateur négation de la logique classique est bien respecté : NON(0) donne bien 1 et NON(1) donne bien 0.

#### ***Intersection – ET***

L'opérateur logique correspondant à l'intersection d'ensembles est le ET. Les plus employés sont le minimum et le produit. Par exemple, le degré de vérité de la proposition « A ET B » est le minimum des degrés de vérité de A et de B :

$$\mu(A \text{ ET } B) = \text{MIN}(\mu(A), \mu(B)) \quad (3-1)$$

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7.

« Pression Faible » est vraie à 0,5.

« Température Basse ET Pression Faible » est donc vraie à  $0,5 = \text{MIN}(0,7, 0,5)$

#### **Union – OU**

L'opérateur logique correspondant à l'union d'ensembles est le OU. Les plus employés sont le maximum et la somme (limité à 1). Par exemple, le degré de vérité de la proposition « A OU B » est le maximum des degrés de vérité de A et de B :

$$\mu(A \text{ OU } B) = \text{MAX}(\mu(A), \mu(B)) \quad (3-2)$$

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7.

« Pression Faible » est vraie à 0,5

« Température Basse OU Pression Faible » est donc vraie à 0,7.

#### **Complément – NON**

L'opérateur logique correspondant au complément d'un ensemble est le NON. Par exemple,

$$\mu(\text{NON } A) = 1 - \mu(A) \quad (3-3)$$

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7.

« NON Température Basse », que nous utiliserons généralement sous la forme « Température NON Basse », est donc vraie à 0,3.

Remarque : Ici, *MIN*, *MAX* et  $1 - \mu$  ne sont que des exemples.

### **3.1.5 Système d'inférence floue (SIF)**

Un système d'inférence floue comporte trois composantes fonctionnelles séquentielles : fuzzification, inférence et défuzzification. Il peut s'exprimer dans la Figure 3-5 [DUBOIS, 1980], [GUILLAUME, 2001b], [GUILLAUME, 2004b] :



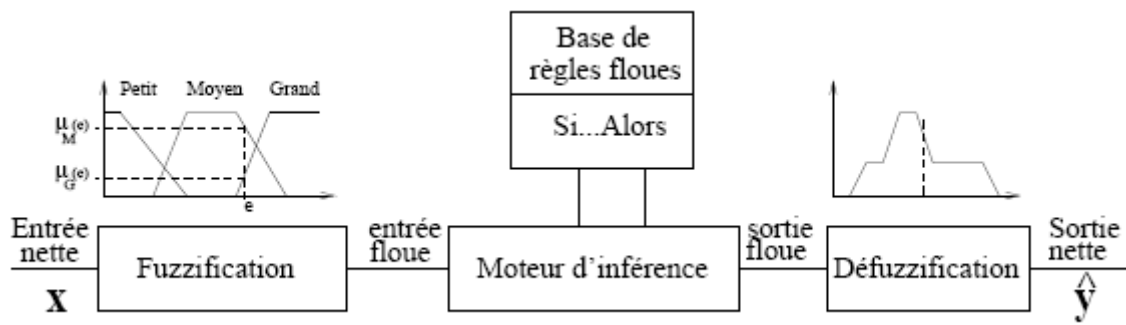


Figure 3-5 Un système d'inférence floue

La procédure de fuzzification permet de transformer les valeurs numériques en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition. Le moteur d'inférence est constitué de l'ensemble des règles. Et la défuzzification permet de transformer le résultat issu de l'agrégation des règles en valeur numérique.

Deux approches primaires permettent de générer des systèmes d'inférence floue : l'approche Sugeno [TAKAGI, 1985] et l'approche Mamdani [1975]. Elles ont été appliquées avec succès à la modélisation et à la commande des systèmes complexes [KOSKO, 1992], [CASTRO, 1995], [NELLES, 1996], [LIN, 1997], [VAN, 2000]. L'approche Mamdani est physiquement plus interprétable car ses règles floues sont généralement extraites à partir des connaissances humaines et les conclusions des règles sont des valeurs floues. L'approche Sugeno s'adapte bien à l'approximation d'une fonction continue car les conclusions de ses règles floues sont des valeurs numériques ou des combinaisons linéaires des variables d'entrée. Ces deux types classiques des modèles d'inférence floue sont présentés et développés comme suit :

### 1. *Système Mamdani*

Dans la section suivante, nous appliquons le modèle Mamdani pour analyser la pertinence des paramètres instrumentaux par rapport à un descripteur sensoriel spécifique. L'introduction de ce type de modèle à logique floue est ci-dessous à travers un même exemple illustratif mentionné précédemment. Dans cet exemple, la procédure d'inférence se schématise dans la Figure 3-6.

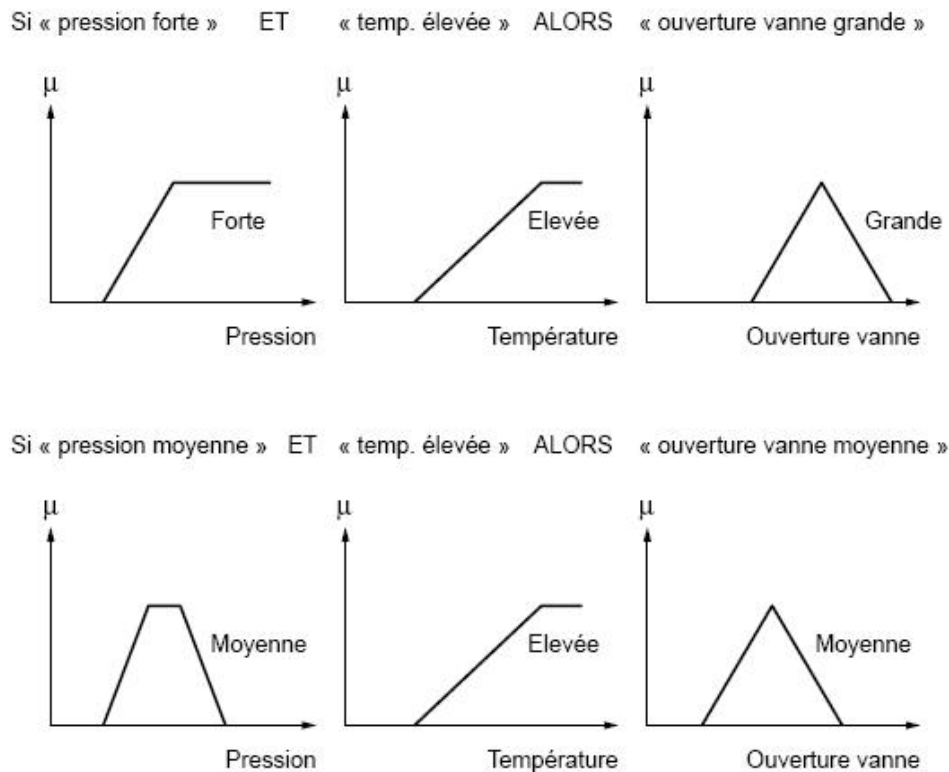


Figure 3-6 Un exemple de manipulation de règles floues dans l'approche Mamdani

Dans l'approche Mandani, le moteur d'inférence comprend les étapes suivantes :

**Etape 1 : Fuzzification**

La fuzzification consiste à évaluer les fonctions d'appartenance utilisées dans les prémisses des règles, comme illustrée dans la Figure 3-7 :

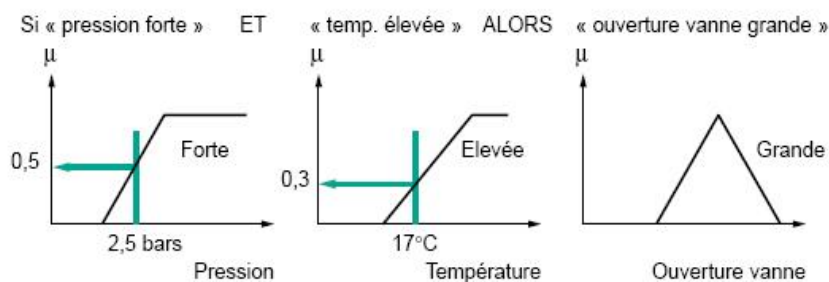
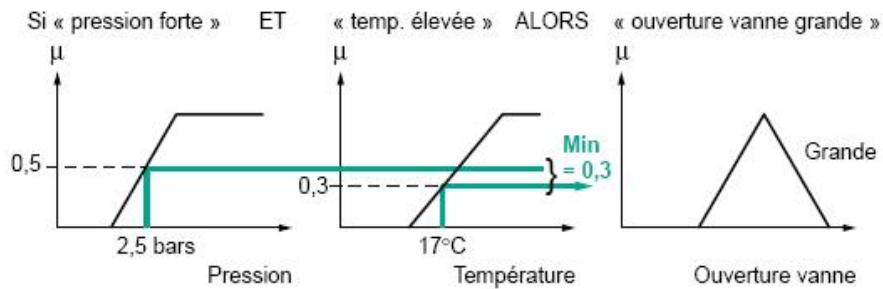


Figure 3-7 Fuzzification

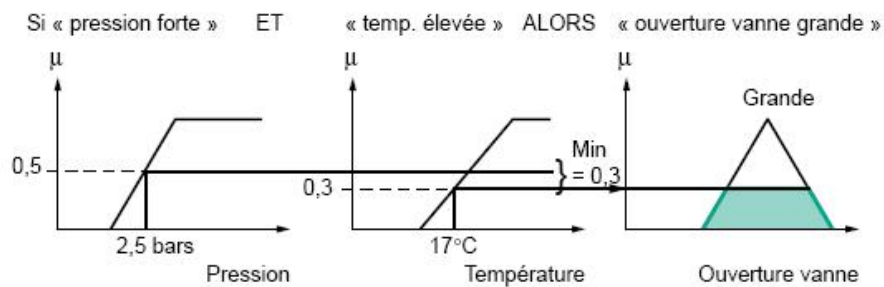
**Etape 2 : Degré d'activation**

Le degré d'activation d'une règle est l'évaluation de ses prémisses par une combinaison logique. Les prémisses sont associées par « ET », qui est réalisé en effectuant le « minimum » entre les degrés d'appartenance des propositions (cf. Figure 3-8).



### Etape 3 : Conjonction

Le degré d'activation de la règle permet de déterminer la conclusion de la règle, c'est la conjonction. Il existe plusieurs opérateurs de conjonction, mais le plus utilisé est le «minimum». L'ensemble flou de la conclusion est construit en réalisant le minimum entre le degré d'activation et la fonction d'appartenance, sorte d'«écrêtage» de la fonction d'appartenance de conclusion (cf. Figure 3-9).



L'ensemble flou de la sortie globale est construit par fusion des conclusions. Cette fusion est réalisée par l'intersection-projection, soit l'intersection de la réalité et de la relation floue correspondante à la règle puis la projection dans l'espace des conclusions. L'exemple suivant présente le cas où deux règles agissent sur une sortie (cf. Figure 3-10). Nous considérons uniquement les règles liées par «union», ainsi nous calculons donc le «maximum» entre les fonctions d'appartenance résultant pour chaque règle.

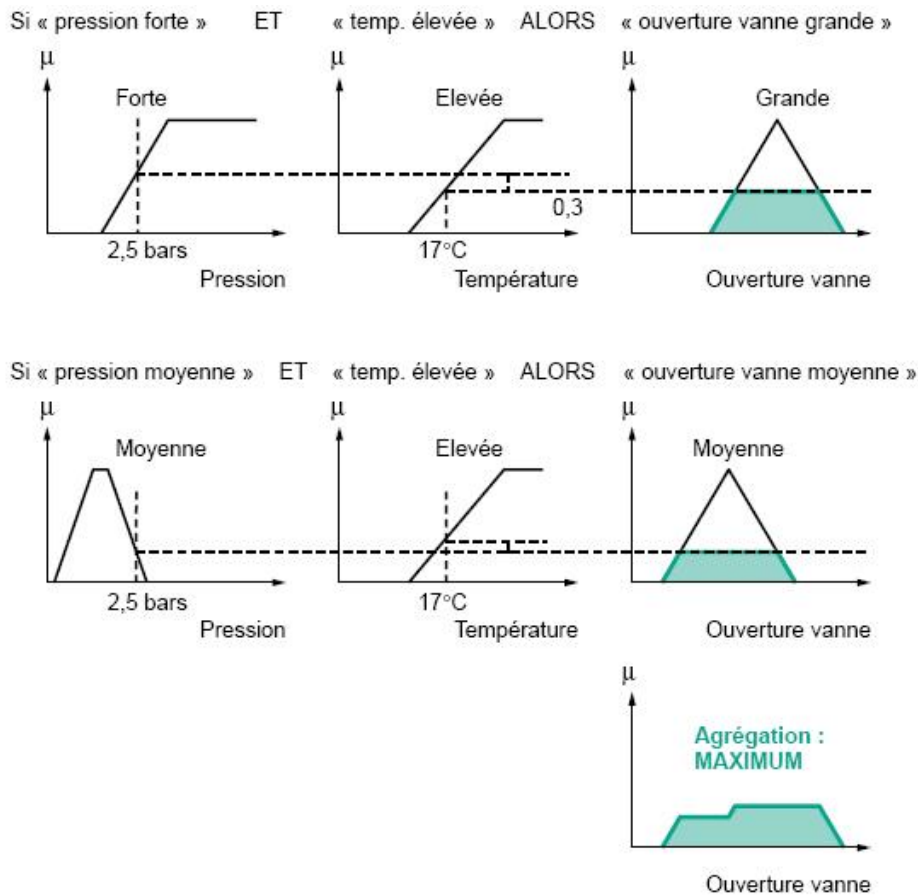


Figure 3-10 Agrégation des règles

**Etape 4 : Défuzzification**

A la fin de l'inférence, l'ensemble flou de la sortie est déterminé mais il n'est pas directement utilisable pour donner une information précise à l'opérateur ou commander un actionneur. Il est nécessaire de passer du « monde flou » au « monde réel », c'est la défuzzification.

Il existe plusieurs méthodes, la plus souvent rencontrée étant le calcul du « centre de gravité » de l'ensemble flou (cf. Figure 3-11).

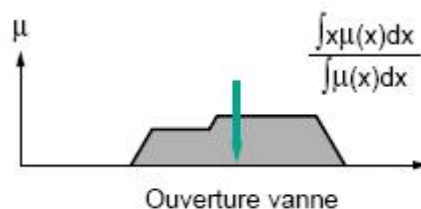


Figure 3-11 Défuzzification par le centre de gravité

**2. Système Sugeno - Extraction des règles issues des données numériques (méthode d'ABE)**

Dans de nombreuses applications industrielles, un modèle d'inférence floue a pour objectif de caractériser une relation complexe entre les variables d'entrée et la variable de sortie. Nous obtenons donc un modèle flou de type multi-entrées/une sortie (MISO).

Dans les ouvrages existants, les techniques d'apprentissage symboliques (AS) [WU, 1999], [LAI, 1992] ont été proposées pour construire des règles floues. Ces techniques posent le problème plus général de l'extraction de régularités basées sur la classification des données d'apprentissage [BROUARD, 2000]. Dans la pratique, ces techniques conduisent à des règles floues interprétables, robustes mais moins précises.

D'ailleurs, les techniques neuro-floues sont largement utilisées pour structurer un ensemble de règles sous la forme d'un réseau de neurones [LIU, 2000], [GUILLAUME, 2001a]. Une autre série de méthodes proposée consiste à rechercher directement les fonctions d'appartenance des prémisses et des conclusions par les Algorithmes Evolutionnaires (AE) [GACOGNE, 1996], [GACOGNE, 1999]. Dans la pratique, les techniques neuro-floues et les AE conduisent à des résultats précis mais moins interprétables.

Selon l'étude de [KOEHL, 2006], la construction d'un modèle flou doit satisfaire les trois critères suivants :

- Précision : sur l'ensemble des données de test, il est capable de générer à sa sortie des valeurs proches de la sortie réelle du système.
- Rapidité : il doit être rapidement établi à partir des données d'apprentissage.
- Interprétation physique : la structure du modèle flou doit être facilement interprétée en utilisant la connaissance spécialisée sur l'aspect physique du système.

Par rapport aux techniques d'extraction de règles floues précédentes, la méthode d'ABE [1995] permet d'établir un compromis entre la robustesse, la complexité de calcul, la précision et la capacité d'interprétation. Ce compromis conduit à des résultats plus efficaces dans la modélisation industrielle par apprentissage de données.

La construction de règles floues est une étape importante dans une démarche de modélisation floue. Ces règles peuvent être extraites à partir des données numériques mesurées sur les variables d'entrée et de sortie pour un ensemble d'échantillons d'apprentissage [TONG, 1980], [TAKAGI, 1985], [CHEN, 1992]. En principe, une méthode d'extraction de règles floues partitionne d'abord l'espace d'entrée en différentes régions et l'intervalle de sortie en sous intervalles, puis cherche à établir des correspondances entre les régions partitionnées et les sous intervalles. Les règles floues sont générées par ces correspondances. Dans la pratique,

l'intervalle de sortie est simple et se divise souvent, de façon uniforme, en sous intervalles. Ainsi, la recherche d'une partition optimale de l'espace d'entrée devient une clé permettant de trouver des règles floues efficaces minimisant des erreurs issues du modèle flou.

Dans notre étude qui est présenté dans la section 3.3, nous avons appliqué la méthode d'ABE [ABE, 1995] afin d'établir des correspondances entre les espaces d'entrée (paramètres physiques) et de sortie (un descripteur sensoriel). La méthode d'ABE, issue du modèle d'inférence floue Sugeno, a été développée sous l'hypothèse que les données d'apprentissage sont déjà affectées aux  $m$  classes préalablement définies. C'est donc une méthode supervisée. Les valeurs numériques de sortie  $y$  sont partitionnées en  $m$  sous-intervalles :

$$C_1 = [y_0, y_1[ : y_0 \leq y < y_1.$$

$$C_2 = [y_1, y_2[ : y_1 \leq y < y_2.$$

...

$$C_m = [y_{m-1}, y_m] : y_{m-1} \leq y \leq y_m.$$

Tout d'abord, dans l'espace des variables d'entrée de dimension  $n$ , noté comme un vecteur de données d'apprentissage  $X = (x_1 \dots x_n)^T$ . Nous construisons, a priori, un ensemble d'hyper-volumes, défini de la façon suivante (cf. Figure 3-12).

Pour la classe  $i$ , l'hyper-volume d'activation du niveau  $l$ , notée  $A_{ii}(l)$ , est défini par :  $A_{ii}(l) = \{X / v_{iik}(l) \leq x_k \leq V_{iik}(l), \forall k\}$ , où  $x_k$  est la  $k^{\text{ème}}$  composante du vecteur  $X$ ,  $v_{iik}(l)$  et  $V_{iik}(l)$  constituent les bornes respectivement inférieure et supérieure de  $x_k$  pour les  $X$  appartenant à la classe  $i$ .

S'il existe des intersections entre différents hyper-volumes d'activation, nous les résolvons de manière récursive, selon la procédure suivante. La région d'intersection entre  $A_{ii}(l)$  et  $A_{jj}(l)$  est définie comme hyper-volume d'inhibition de niveau  $l$ , noté  $I_{ij}(l)$ , soit :  $I_{ij}(l) = A_{ii}(l) \cap A_{jj}(l)$ .

En notant  $w_{ijk}(l)$  et  $W_{ijk}(l)$  les bornes inférieures et supérieures de  $I_{ij}$  sur l'axe  $x_k$ , nous avons  $v_{iik}(l) \leq w_{ijk}(l) \leq W_{ijk}(l) \leq V_{iik}(l)$ .

Si des données appartenant à la classe  $i$  existent dans  $I_{ij}(l)$ , l'hyper-volume d'activation de niveau 2  $A_{ij}(2)$  est défini au sein de  $I_{ij}(l)$ . Cette procédure se répète jusqu'à la résolution de toutes les intersections.

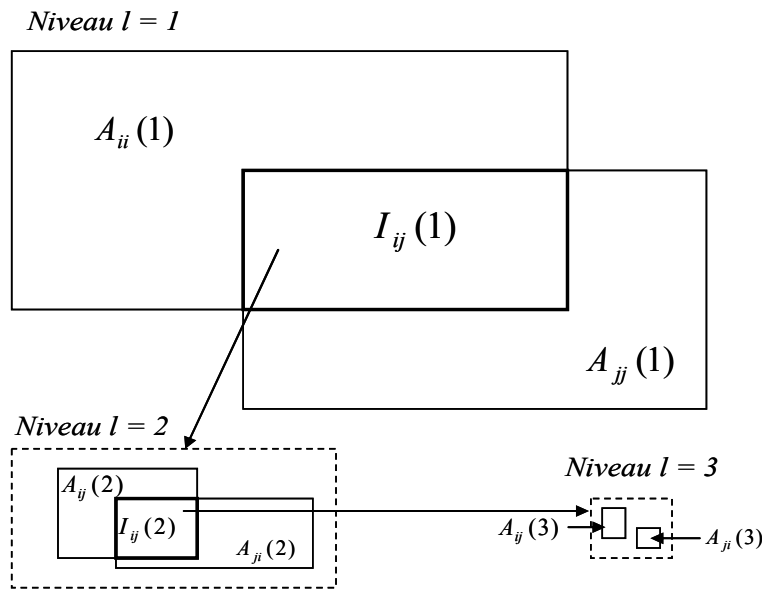


Figure 3-12 Définition récursive des hyper-volumes d'activation et d'inhibition

Une règle floue est générée pour chaque hyper-volume d'activation excluant ses hyper-volumes d'inhibition, causés par les autres hyper-volumes d'activation. La Figure 3-13 propose un système flou, composé d'un réseau d'inférence flou et d'une procédure de défuzzification. Pour un vecteur d'entrée spécifique  $X$ , les degrés d'appartenance pour les sous intervalles (classes) de la sortie  $l$  à  $n$  sont calculés dans le réseau d'inférence. Puis, la sortie  $y$  est calculée par la défuzzification en utilisant ces degrés d'appartenance comme données d'entrées.

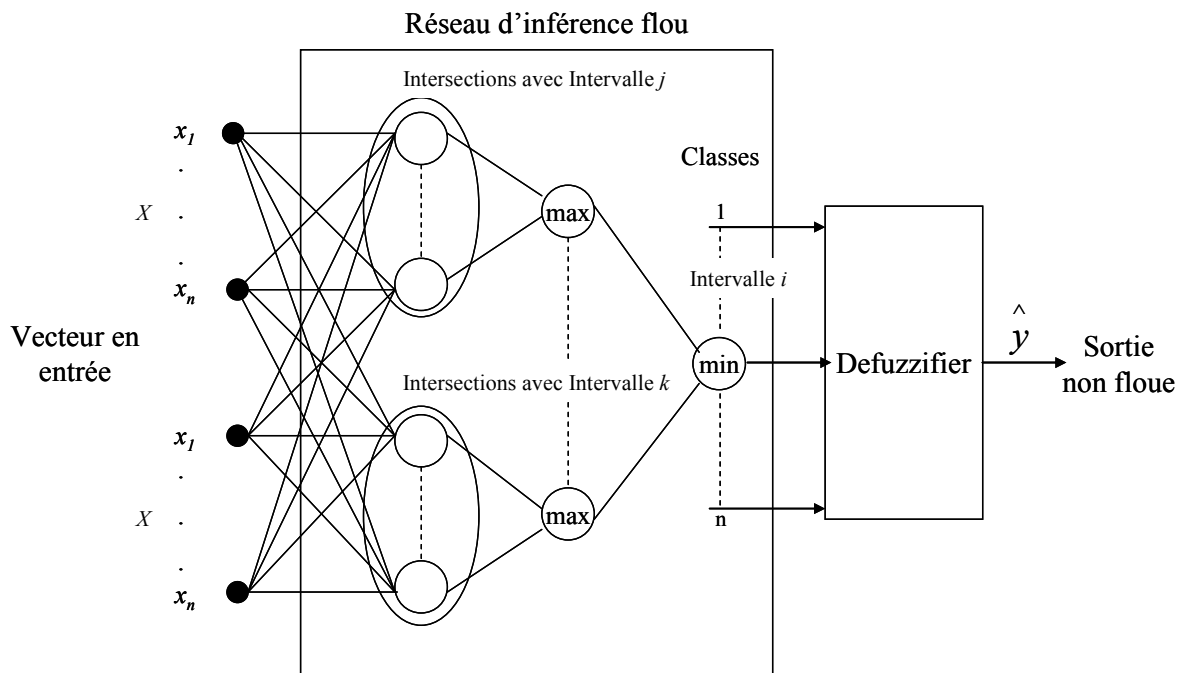


Figure 3-13 Système d'inférence flou de la méthode d'ABE

Dans la première couche du réseau d'inférence flou, l'espace des variables d'entrée dont la partition est définie par les sous-espaces  $A_{ij}(I)$  et  $I_{ij}(I)$ , nous permet d'énoncer les règles floues  $R_{ij}(I)$  de niveau 1  $R_{ij}(I)$  :

*Si  $X \in A_{ij}(I)$  ET  $X \notin I_{ij}(I)$  ALORS  $y \in C_i$ .*

Des fonctions d'appartenance doivent être associées à chacun des sous-espaces (les hyper-volumes d'activation et d'inhibition) des attributs. Nous définissons les fonctions d'appartenance de telle façon que la valeur du degré d'appartenance du vecteur  $X$  présenté en entrée du système d'inférence flou soit maximum (proche de niveau 1) lorsque  $X$  se situe à l'intérieur des hyper-volumes d'activation et d'inhibition et qu'elle décroisse en s'éloignant des hyper-volumes.

Nous nommerons  $m_z(x_k, \gamma_k)$ , le degré d'appartenance en accord avec la fonction d'appartenance de la variable  $x_k$  pour le sous-espace flou  $Z$ .  $\gamma$  est un paramètre de sensibilité.

*Si  $Z=A_{ij}(I)$ , ALORS  $u_k=v_{ijk}(I)$  et  $U_k=V_{ijk}(I)$*

*et si  $Z=I_{ij}(I)$ , ALORS  $u_k=w_{ijk}(I)$  et  $U_k=W_{ijk}(I)$ .*

Les fonctions d'appartenance sont paramétrées et les hyper-volumes d'activation et d'inhibition auront la même forme (trapézoïdale ou gaussienne) mais différeront par le choix de leurs paramètres. Finalement le degré d'appartenance du vecteur d'entrée  $X=(x_1 \dots x_n)^T$  à l'ensemble  $Z$  se définit par :

$$X \in Z, m_z(X) = \min_{k \in \{1, \dots, n\}} m_z(x_k, \gamma_k) \quad (3-4)$$

$$(i, j) \in \{0, 1, \dots, n\}^2, Z = \{A_{ij}(I), I_{ij}(I)\}$$

➤ Fonction d'appartenance trapézoïdale symétrique (cf. Figure 3-14)

La forme de cette fonction d'appartenance est représentée à la Figure 3-14. Les pentes de part et d'autre des bornes de l'hyper-volume pour la variable  $k$  ( $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ ) sont symétriques et égales à  $\gamma$  qui est un paramètre de sensibilité. Plus la pente sera grande, plus la frontière sera abrupte et nous obtenons une appartenance de la variable  $x_k$  à l'ensemble  $Z$  au sens usuel du terme mathématique (0 ou 1). Si la pente devient trop faible, elle tend à recouvrir le noyau d'un autre ensemble  $Z'$  flou et donc à perdre en précision. Pour une variable  $x_k$  et une fonction trapézoïdale symétrique, le degré d'appartenance de la variable  $x_k$  à l'ensemble flou  $Z$  s'exprime par :



$$m_z(x_k, \gamma_k) = \begin{cases} 1 & x_k \in [u_k, U_k] \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_k(u_k - x_k))) & x_k < u_k \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_k(x_k - U_k))) & x_k > U_k \end{cases} \text{ avec } \forall k \in \{1, \dots, n\}, \gamma_k \neq 0 \quad (3-5)$$

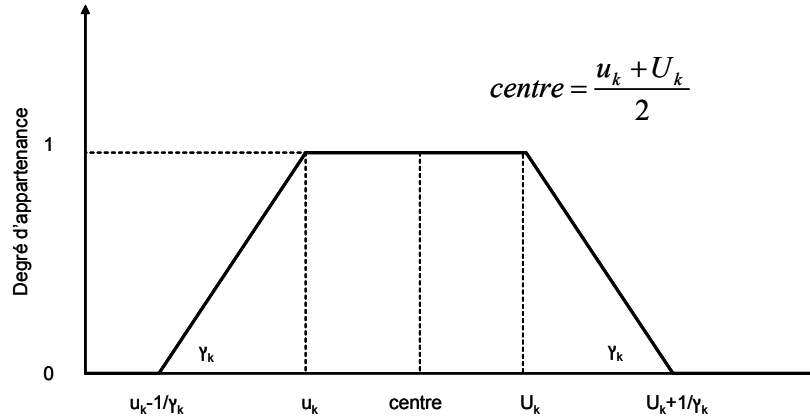


Figure 3-14 Fonction d'appartenance trapézoïdale symétrique

➤ Fonction d'appartenance trapézoïdale asymétrique (cf. Figure 3-15)

Cette forme de fonction d'appartenance se rapproche de la fonction trapézoïdale symétrique excepté le fait que les pentes de part et d'autre sont distinctes. Elle possède donc deux paramètres  $\gamma$  et  $\gamma'$ . Elle s'exprime de façon suivante :

$$m_z(x_k, \gamma_k, \gamma'_k) = \begin{cases} 1 & x_k \in [u_k, U_k] \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_k(u_k - x_k))) & x_k < u_k \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma'_k(x_k - U_k))) & x_k > U_k \end{cases} \text{ avec } \forall k \in \{1, \dots, n\}, \gamma_k \neq 0 \quad (3-6)$$

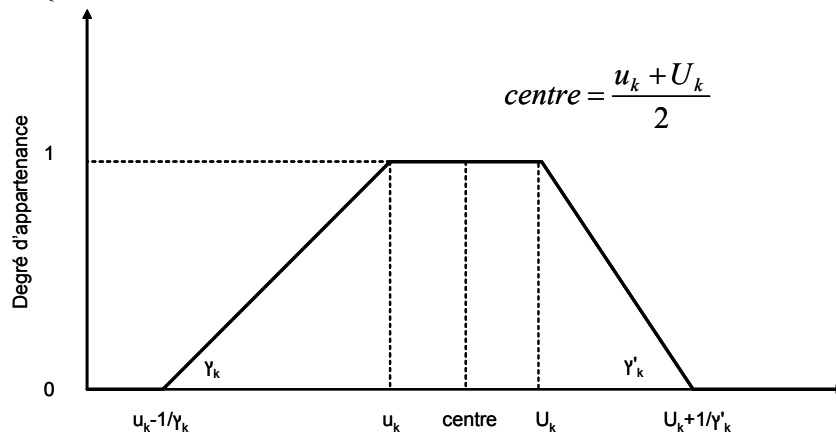


Figure 3-15 Fonction d'appartenance trapézoïdale asymétrique

➤ Fonction d'appartenance gaussienne (cf. Figure 3-16)

Cette fonction présente l'avantage de ne jamais s'annuler et par conséquent de prendre en considération tous les points de l'espace. La valeur maximale 1 est atteinte au centre de la région et les points d'inflexion de la courbe sont positionnés par rapport à la taille de

l'hyper-volume avec un paramètre de sensibilité  $\gamma$ . Elle est définie par :

$$m_z(x_k, \gamma_k) = \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x_k - \text{centre})^2}{\gamma_k^2}\right] \tag{3-7}$$

$$\text{centre} = \frac{u_k + U_k}{2}, \text{ avec } \forall k \in \{1, \dots, n\}, \gamma_k \neq 0$$

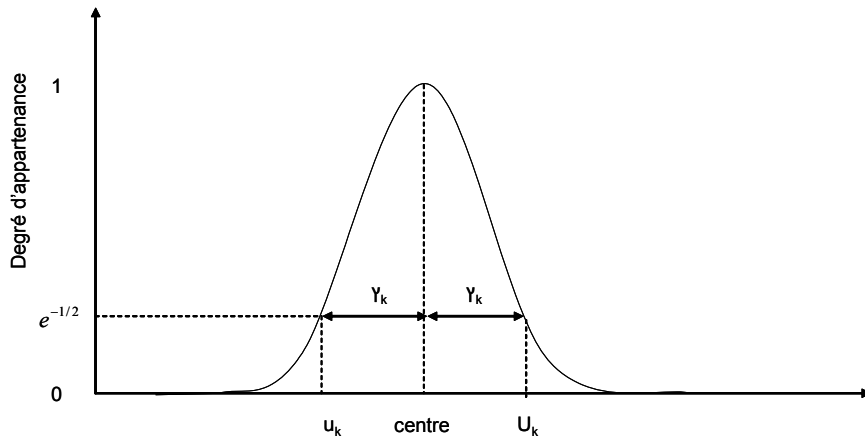


Figure 3-16 Fonction d'appartenance gaussienne pour le cas particulier  $\gamma_k = (U_k - u_k)/2$

Pour une forte valeur du paramètre  $\gamma$ , le noyau de fonction d'appartenance aura tendance à recouvrir le noyau d'un autre et donc à perdre en précision. Inversement, pour une faible valeur du paramètre, nous nous rapprochons de la définition usuelle d'appartenance au sens mathématique (0 ou 1).

Dans la deuxième couche du réseau d'inférence flou (cf. Figure 3-13), les expressions des règles floues de niveau  $l$  comportent des prémisses combinées entre elles par des ET logique. Par conséquent, le degré d'appartenance  $d_{R_{ij}(l)}(X)$  d'une règle floue pour un vecteur d'entrée  $X$  est donné par :

$$d_{R_{ij}(l)}(X) = \max(0, m_{A_{ij}(l)}(X) - m_{I_{ij}(l)}(X)) \tag{3-8}$$

Nous prenons le maximum avec la valeur 0 de façon à être sûr d'obtenir une valeur qui ne pourra pas être négative. Finalement, le degré d'appartenance final d'un vecteur  $X$  à un ensemble de règles floues  $\{l \in \{1, \dots, L\}, R_{ij}(l)\}$  pour tous les niveaux  $l$  s'exprime par :

$$d_{R_{ij}}(X) = \max_{l \in \{1, \dots, L\}} (d_{R_{ij}(l)}(X)) \tag{3-9}$$

Nous prenons le maximum car il s'agit d'une réunion. En effet si l'hyper-volume d'activation  $A_{ij}(l+1)$  existe, il est inclus dans l'hyper-volume d'inhibition  $I_{ij}(l)$ . Les règles de niveaux  $l$  sont combinées entre elles par des OU.

Maintenant le degré d'appartenance  $d_i(X)$  d'un vecteur  $X$  donné entraînant une sortie dans la classe  $i$  est : 
$$d_i(X) = \min_{\substack{i \neq j \\ A_{ii}(I) \cap A_{jj}(I) \neq \emptyset}} (d_{R_{ij}}(X)). \quad (3-10)$$

Dans la dernière couche du réseau d'inférence flou (cf. Figure 3-13), l'opérande minimum nous permet de nous assurer que si la classe de sortie  $i$  entraîne au niveau des régions de l'espace des attributs plus d'un chevauchement avec plus d'une autre classe en sortie, les conflits sont réglés indépendamment. En effet, si  $d_{R_{ij}}(X) = 1$  et  $d_{R_{ik}}(X) = 0$ , cela signifie que  $X$  appartient à l'hyper-volume d'inhibition défini par les classes  $i$  et  $k$  et que de toute façon il ne doit pas être assigné à la sortie de classe  $i$ .

Afin de passer d'une valeur floue de la sortie à une valeur non-floue (interface de défuzzification), la méthode la plus souvent utilisée est basée sur le centre de

$$\text{gravité : } \hat{y} = \frac{\int d_i(X) \cdot y \cdot dy}{\int d_i(X) \cdot dy}.$$

Une bonne méthode pour approcher le centre de gravité, lorsque la sortie  $y$  est comprise dans des classes  $C_i (i \in \{0, \dots, m\})$  définies par un intervalle  $C_i = [C_{i\min}, C_{i\max}]$ , est de considérer le centre de classe  $m_i$  et sa écart-type  $\sigma_i$  et de calculer

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=0}^m d_i(X) \cdot m_i \cdot \sigma_i}{\sum_{i=0}^m d_i(X) \cdot \sigma_i}, \text{ où } m_i = \frac{C_{i\min} + C_{i\max}}{2}, \sigma_i = \frac{C_{i\max} - C_{i\min}}{2} \quad (3-11)$$

$\hat{y}$  est la sortie numérique non floue du système.

### 3.1.6 Bilan

Dans cette section, nous avons présenté les notions de base théoriques utilisées dans cette thèse concernant la modélisation floue. Les techniques floues constituent un outil prioritaire pour ces deux parties en raison de leurs capacités de traitement des incertitudes et des imprécisions. Dans les sections suivantes, nous allons appliquer les techniques présentées précédemment pour sélectionner les paramètres physiques pertinents (Section 3.2) et pour modéliser la relation entre les paramètres physiques et les descripteurs sensoriels sélectionnés (Section 3.3).

## 3.2 Sélection des paramètres physiques pertinents par rapport aux descripteurs sensoriels

### 3.2.1 Problème de sélection des paramètres physiques pertinents

La caractérisation des prototypes (les matières textiles dans notre étude) s'effectue non seulement par les spécifications techniques obtenues par des mesures physiques, mais aussi par l'évaluation sensorielle. Au niveau tactile, un produit textile peut être caractérisé par la perception de la surface du produit, sa perception thermique, sa douceur, et sa rugosité. Les matières textiles sont différentes des autres structures car elles doivent avoir une résistance suffisante et en même temps être flexibles, élastiques et facile à plier et à remettre en état. Alors, l'évaluation du toucher est l'un des attributs importants pour sélectionner les matières appropriées dans la conception de produits d'habillement. Cet élément peut motiver les consommateurs à prendre des décisions d'achat. Dans cette situation, les entreprises d'habillement essaient de développer de nouveaux matériaux avec différentes sensations tactiles afin de satisfaire leurs consommateurs potentiels.

Dans ce contexte, nous avons besoin d'identifier la relation entre les caractéristiques physiques et les descripteurs sensoriels pour que ces deux sources d'information puissent être utilisées de façon coopérative. Cette relation peut être considérée comme un système complexe, dont les variables d'entrée correspondent aux caractéristiques physiques, et les variables de sortie aux descripteurs sensoriels représentant la qualité du produit fini dans l'aspect tactile (cf. Figure 3-17). Comme nous l'avons mentionné dans la section 1.6.3, afin de prévoir le niveau de qualité sensorielle requis du produit de façon systématique, il est utile de construire un modèle mathématique caractérisant les relations entre les descripteurs sensoriels (variables de sortie) et les paramètres physiques (variables d'entrée).

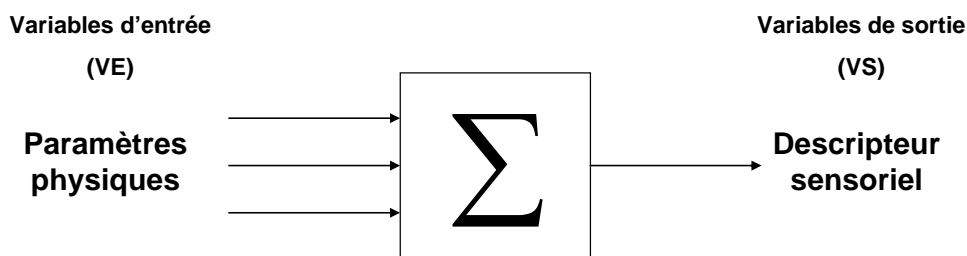


Figure 3-17 Un modèle caractérisant la relation entre les caractéristiques physiques et le descripteur sensoriel

Toutefois, ce modèle est assez complexe car le nombre de caractéristiques physiques est trop grand. En même temps, le nombre de données d'apprentissage du modèle est souvent très limité en raison des contraintes techniques et des coûts des instruments de mesure. En tout cas, il est difficile de modéliser un système complexe avec un grand nombre de variables d'entrée à partir d'une quantité très faible de données d'apprentissage.

Dans la pratique, le toucher textile est généralement influencé par un nombre réduit de caractéristiques physiques. Il est donc important d'identifier ces paramètres pertinents afin de réduire la complexité du modèle et d'obtenir des règles interprétables reliant ces paramètres physiques à chaque descripteur sensoriel du toucher.

Par conséquent, la sélection des variables pertinentes constitue la première étape dans la modélisation de la relation entre les caractéristiques physiques des textiles et les descripteurs sensoriels du toucher. En prenant les paramètres physiques pertinents sélectionnés comme entrées du modèle, la complexité du modèle peut être largement réduite et les résultats obtenus peuvent être plus interprétables. Nous sélectionnons également (à l'aide des experts) un ensemble restreint de descripteurs représentatifs de la qualité sensorielle des produits. Chaque descripteur est considéré comme variable de sortie du modèle. De cette manière, nous obtenons un modèle simple avec peu de variables d'entrée et d'une variable de sortie. Construit à partir d'un nombre faible de données expérimentales, ce modèle peut être très pratique pour prévoir la qualité sensorielle du produit selon les paramètres physiques.

La sélection des paramètres physiques pertinents est un sujet important qui intéresse de nombreux chercheurs dans le but de réduire l'espace de recherche et la complexité du problème traité. Ce sujet a été largement étudié dans la modélisation de systèmes complexes, dans la fouille de données et la reconnaissance de formes. Une définition classique de la sélection de variables pertinentes est donnée par Blum & Langley [BLUM, 1997] :

*« Une variable  $x$  est pertinente par rapport à un cible  $c$ , s'il existe au moins deux exemples  $A$  et  $B$  tels que  $A$  et  $B$  sont uniquement différenciés par  $x$  pour que  $c(A) \neq c(B)$  ».*

De nombreux travaux ont été effectués afin de réduire le nombre de variables (d'entrée et/ou sortie) directement à partir des données. Certains d'entre eux ont été recensés par KOEHL [2006]. Les méthodes sont généralement divisées en deux catégories : l'extraction de variables et la sélection de variables.

Dans la première catégorie, toutes les variables initiales sont projetées dans un sous espace multidimensionnel par minimisation d'un critère représentant la perte d'information.

Cette catégorie comprend notamment l'Analyse en Composantes Principales (ACP) [FUKUNAGA, 1990] et la régression partielle des moindres carrés « Partial Least Squares » (PLS) [LOHMOLLER, 1989], qui effectuent une transformation linéaire des vecteurs des caractéristiques depuis l'espace original vers le sous espace.

Dans la deuxième catégorie, les variables pertinentes sont directement sélectionnées à partir des caractéristiques initiales. Un algorithme de sélection est souvent conçu pour maximiser les distances inter-classes et minimiser les distances intra-classes. Dans cette catégorie, les techniques de recherche les plus utilisées comprennent la Recherche Séquentielle en Avant (Forward Search) et la Recherche Séquentielle en Arrière (Backward Search) [BLUM, 1997].

En général, les méthodes basées sur l'extraction de variables comme l'ACP donnent plus de précision que les méthodes de sélection, mais les variables extraites sont physiquement moins interprétables que les variables sélectionnées [KOEHL, 2006]. En fait, les variables extraites se trouvent souvent dans un espace réduit et il est donc difficile de déterminer les correspondances de l'espace original à partir des valeurs de l'espace réduit. De plus, les méthodes basées sur une dépendance linéaire sont incapables de tenir compte des relations non-linéaires entre l'espace d'entrée et l'espace de sortie. Ces méthodes fonctionnent mieux lorsque le nombre de données mesurées sur les deux espaces d'entrée et de sortie est conséquent. Cela n'est généralement pas le cas dans la conception des produits utilisant l'évaluation sensorielle, dans lequel nous sommes souvent confrontés à un faible nombre d'échantillons disponibles. En outre, les paramètres clés doivent être identifiés pour aider à mieux concevoir les produits par rapport à un critère sensoriel de qualité. Par conséquent, les méthodes de sélection sont plus pertinentes dans le cas de la modélisation de la relation entre les critères de qualité et les paramètres physiques.

Dans les ouvrages existants, les techniques de classification sont des méthodes privilégiées pour sélectionner les variables pertinentes à partir de données d'apprentissage. A l'exception de quelques méthodes de sélection utilisant la classification non supervisée [DEVANEY, 1997], [PENA, 2001], la plupart des méthodes utilisent la classification supervisée. L'objectif de la sélection est d'améliorer l'exactitude de classification ou de prédiction à partir de données d'apprentissage. Parmi elles, les méthodes les plus connues comprennent la technique d'arbre de décision [QUINLAN, 1986], la méthode des plus proches voisins [CARDIE, 2003], la méthode basée sur la mesure d'information mutuelle

[BATTITI, 1994], la méthode utilisant la génération d'hyper-volumes [THAWONMAS, 1997], la méthode de « Wrapper Model » [KOHAVI, 1987] et l'outil de réseaux neurones [LAST, 2001]. Plus récemment, une nouvelle méthode de sélection supervisée a été développée par utilisation de l'algorithme C-Means [MARCELLONI, 2003].

En outre, une nouvelle stratégie évaluant les variables d'entrées en fonction de leur sensibilité aux variables de sortie est définie [LIN, 1998]. Elle développe deux phases : la courbe floue (fuzzy curve) et la surface floue (fuzzy surface) à partir de données d'apprentissage pour ordonner toutes les variables d'entrée et découvrir les corrélations parmi ces variables.

Dans la pratique, la performance des méthodes de sélection utilisant la classification est fortement liée à la quantité et à la qualité des données d'apprentissage et aux méthodes de sélection définies, qui varient en fonction du problème traité. Ces méthodes ne sont pas efficaces pour résoudre certains problèmes industriels, comprenant la sélection des paramètres physiques pertinents rattachés à la qualité du produit. Dans ces problèmes, limités par le coût et le temps de mesures, la quantité de données est souvent trop faible pour constituer une distribution statistique correcte conduisant à des résultats de classification significatifs. Dans ce cas, les critères de sélection utilisant la séparabilité inter-classe et la compacité intra-classe doivent être remplacés par des méthodes utilisant la sensibilité de données comme la méthode du gradient.

Dans les travaux effectués précédemment par notre équipe, une méthode de sélection combinant linéairement la sensibilité des données expérimentales et la conformité de la connaissance humaine a été proposée [KOEHL, 2006]. Cette connaissance physique et les données mesurées peuvent être utilisées de manière complémentaire afin d'améliorer les critères de sélection et de réaliser une validation croisée des résultats obtenus à partir de ces deux sources d'information [DENG, 2008]. Cette méthode définit un critère de performance en postulant un principe de sensibilité de variables d'entrée. Les détails de cette méthode sont donnés comme suit.

Afin de traiter une petite quantité de données d'apprentissage expérimentales, la méthode de sélection basée sur la classification est remplacée par la méthode de sélection basée sur la sensibilité de données numériques. Au lieu d'estimer la séparabilité inter-classe et la compacité intra-classe, la méthode proposée calcule les distances euclidiennes entre les échantillons individuels dans l'espace d'entrée et celles dans l'espace de sortie. En s'appuyant

sur ces distances, nous évaluons la sensibilité des variables soumises à des variations dans l'espace d'entrée par rapport à celles répercutées dans l'espace de sortie. Le critère de sensibilité peut être considéré comme une mesure du contenu d'information incluse dans l'ensemble de toutes les variables d'entrée. Il est défini selon les deux principes suivants :

- 1) *SI une faible variation d'une variable d'entrée provoque une grande variation à la sortie, ALORS la sensibilité de cette variable est grande.*
- 2) *SI une forte variation d'une variable d'entrée provoque une petite variation à la sortie, ALORS la sensibilité de cette variable est petite.*

Lorsque nous éliminons une variable à partir d'un ensemble de variables d'entrée, nous calculons la sensibilité correspondant aux variables d'entrée restantes. Ensuite, nous la comparons avec les valeurs de sensibilité correspondant aux retraits des autres variables d'entrée. Nous considérons que plus la variation de la sensibilité est faible après l'élimination d'une variable d'entrée, plus cette variable est pertinente.

Théoriquement, la méthode de calcul de sensibilité des variables que nous appliquons présente un certain avantage sur la méthode des deux phases utilisant la logique floue proposée par Lin et al. [LIN, 1998]. En fait, notre méthode est capable de prendre en compte toutes les variations d'informations après avoir éliminé une variable d'entrée tandis que l'autre méthode n'évalue que les variations d'informations projetées sur un espace de chaque paire des variables.

Dans notre étude, les entreprises manquent souvent de connaissances complètes sur la relation entre les paramètres physiques sur les produits et les descripteurs sensoriels. Mais dans la pratique, il existe souvent des corrélations entre les paramètres physiques. Afin d'intégrer la corrélation des paires de paramètres physiques, nous avons également défini un critère, appelé critère de corrélation, pour que nous puissions le combiner avec le critère de sensibilité. Le critère de corrélation permet d'estimer l'effet de corrélation entre ces paramètres physiques. De cette manière, la méthode de sélection est combinée de deux sources d'information : les données instrumentales sur le produit, et les caractéristiques sensorielles obtenues fournies par les experts. Cette méthode est capable de prendre en compte à la fois la sensibilité et la corrélation des données dans la sélection.

Par la suite, nous introduisons la méthode pour sélectionner des paramètres physiques pertinents.



### 3.2.2 Méthode de sélection des variables pertinentes

La méthode de sélection des variables pertinentes que nous proposons dans cette section utilise un modèle flou pour le critère de sensibilité et un algorithme de sélection. Le critère de Sensibilité Floue (*SF*) est appliqué pour évaluer la sensibilité de chaque variable d'entrée  $x_k$  par rapport à la sortie  $y_l$  par utilisation d'un ensemble de règles floues prédéfinies (cf. Figure 3-18). Ensuite, un algorithme de sélection est proposé par combinaison du critère de Sensibilité Floue et du critère de Corrélation (*C*) des variables d'entrée. Enfin, nous obtenons une liste des variables pertinentes. En utilisant cette approche, nous pouvons effectivement mieux filtrer les données qui ne varient pas ou dont le champ de mesure est faible et obtenir un rang des variables plus significatif.

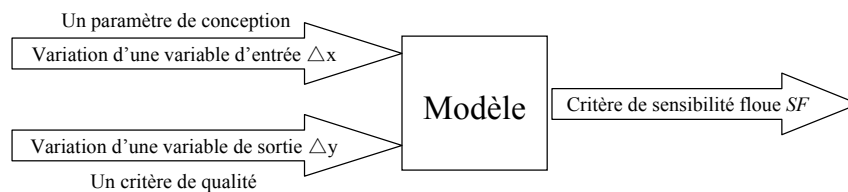


Figure 3-18 Modèle de sélection des variables pertinentes

La méthode proposée est détaillé dans les sections suivantes.

### 3.2.3 Formalisation du problème de sélection des variables pertinentes

Dans la procédure de modélisation de la relation entre un descripteur sensoriel et un ensemble de paramètres physiques, nous considérons les critères fonctionnels de conception comme variables d'entrée, et les qualités sensorielles exigées comme variables de sortie (cf. Figure 3-19). Ce modèle permet de comprendre l'influence des paramètres physiques sur les qualités sensorielles exigées.

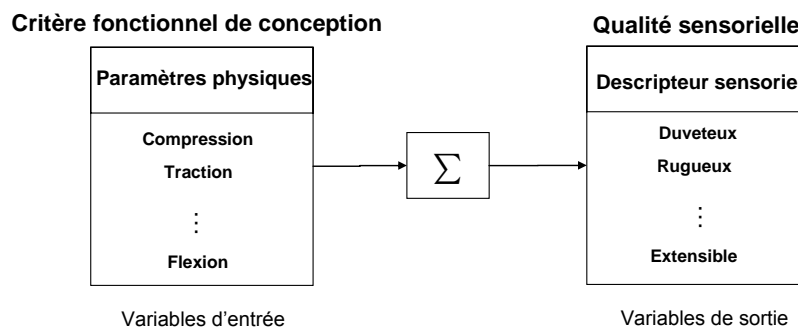


Figure 3-19 Un exemple de modélisation de la relation entre les critères de qualité et les paramètres physiques pour une collection de sous-vêtements

Dans cette section, nous étudions la sélection des variables pertinentes d'entrée par rapport à chacune des variables de sortie, considérée séparément. La correspondance des variables d'entrée en relation avec un ensemble de variables de sortie peut être étudiée par combinaison des résultats de sélection obtenus pour toutes les variables de sortie.

Le problème de sélection des variables d'entrée pertinentes peut s'exprimer de la façon suivante :

Soient  $m$  et  $n$  respectivement le nombre total de variables d'entrée et de sortie. Les variables d'entrée et les variables de sortie sont donc notées respectivement  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  et  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ . La relation entre  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  et une variable de sortie  $y_l$  peut être considérée comme une fonction non linéaire  $f$  telle que  $y_l = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ .

Soient  $X_s = (x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sk}, \dots, x_{sm})^T$  et  $Y_s = (y_{s1}, y_{s2}, \dots, y_{sb}, \dots, y_{sn})^T$  respectivement les vecteurs d'entrée et de sortie correspondant au prototype  $s$  ( $s \in \{1, \dots, z\}$ ). Pour chaque variable, toutes les  $z$  données correspondant aux  $z$  prototypes sont préalablement normalisées dans  $[0, 1]$ , afin de retrancher les effets d'échelle.

### 3.2.4 Critère de sensibilité floue

Le critère de sensibilité floue ( $SF$ ) pour toutes les variables d'entrée est une variable floue et a été défini dans la Section 3.2.1. Ce principe est transformé en une série de règles floues afin d'établir un modèle, dans lequel la variation de  $\Delta x$  (distance euclidienne entre deux vecteurs d'entrée normalisés) et la variation de  $\Delta y$  (distance entre deux scalaires de sortie normalisés) sont prises comme deux variables d'entrée, et la sensibilité floue  $SF$  comme la sortie (modèle  $M$  de la Figure 3-18). Evidemment,  $SF$  est une fonction de  $\Delta x$  et  $\Delta y$ , notée  $SF = M(\Delta x, \Delta y)$ . Ce modèle flou comprend une interface de fuzzification, une base de règles, un mécanisme d'inférence et une interface de défuzzification.

La procédure de fuzzification permet de transformer chacune des variables  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  et  $SF$  en trois valeurs floues : *Petite (P)*, *Moyenne (M)*, *Grande (G)* (cf. Figure 3-20 et Figure 3-21). Le choix des paramètres des fonctions d'appartenance de  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  et  $SF$  a été validé sur une série de données artificielles (données d'Iris) et sur une fonction de test non linéaire [DENG, 2010], [DENG, 2007].

Basé sur les deux principes de sensibilité précédents, nous définissons les règles floues

suivantes :

- 1) Si  $\Delta x$  est petite et  $\Delta y$  est petite, alors  $SF$  est petite.
- 2) Si  $\Delta x$  est petite et  $\Delta y$  est moyenne, alors  $SF$  est grande.
- 3) Si  $\Delta x$  est petite et  $\Delta y$  est grande, alors  $SF$  est grande.
- 4) Si  $\Delta x$  est moyenne et  $\Delta y$  est petite, alors  $SF$  est petite.
- 5) Si  $\Delta x$  est moyenne et  $\Delta y$  est moyenne, alors  $SF$  est moyenne.
- 6) Si  $\Delta x$  est moyenne et  $\Delta y$  est grande, alors  $SF$  est grande.
- 7) Si  $\Delta x$  est grande et  $\Delta y$  est petite, alors  $SF$  est petite.
- 8) Si  $\Delta x$  est grande et  $\Delta y$  est moyenne, alors  $SF$  est petite.
- 9) Si  $\Delta x$  est grande et  $\Delta y$  est grande, alors  $SF$  est moyenne.

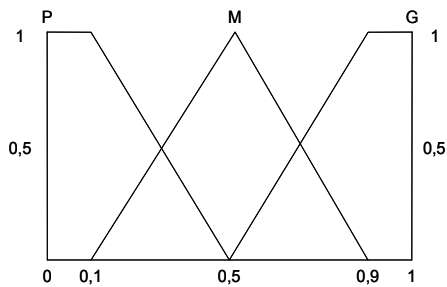


Figure 3-20 Valeurs floues pour  $\Delta x$  et  $\Delta y$

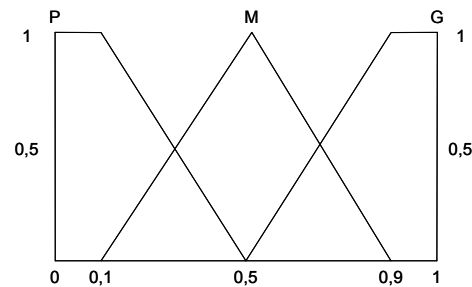


Figure 3-21 Valeurs floues pour  $SF$

Comme la variable de sortie comprend des valeurs floues, nous utilisons la méthode de Mamdani [MAMDANI, 1975] pour fusionner toutes les règles floues et obtenir une sortie défuzzifiée.

Etant donnée une sortie spécifique  $y_l$ , pour chaque paire d'échantillons  $(X_i, y_{il})$  et  $(X_j, y_{jl})$  notée  $(i, j)$ , nous calculons la variation des données d'entrée  $\Delta x_l(i, j) = d(X_i, X_j)$  et la variation des données de sortie  $\Delta y_l(i, j) = d(y_{il}, y_{jl})$ .  $d(X_i, X_j)$  est la distance euclidienne entre deux vecteurs d'entrée  $X_i$  et  $X_j$ .  $d(y_{il}, y_{jl})$  est la distance euclidienne entre  $y_{il}$  et  $y_{jl}$ . La sensibilité correspondant à la paire  $(i, j)$  par rapport à  $y_l$ , notée  $SF_l(i, j)$ , peut être obtenue par calcul du modèle  $M$ , soit  $SF_l(i, j) = M(d(X_i, X_j), d(y_{il}, y_{jl}))$ .  $SF_l(i, j)$  peut être considérée comme une mesure de contenu d'information de toutes les variables d'entrée dans la paire  $(i, j)$  par rapport à la sortie  $y_l$ .

Lorsque nous éliminons  $x_k$  de l'ensemble des variables d'entrée, la variation de sensibilité dans la paire d'échantillons  $(i, j)$  par rapport à la sortie  $y_l$ , noté  $\Delta SF_{k,l}(i, j)$ , peut être calculée ci-dessous :

$$\Delta SF_{k,l}(i, j) = M(\Delta d_k(X_i, X_j), d(y_{il}, y_{jl})) \quad (3-12)$$

où  $\Delta d_k(X_i, X_j) = d(X_i, X_j) - d_k(X_i, X_j)$

$d_k(X_i, X_j)$  est la projection orthogonale de  $d(X_i, X_j)$  sur l'axe  $x_k$ .

$\Delta d_k(X_i, X_j)$  est la variation des données d'entrée restantes après le retrait de  $x_k$

correspondant à la paire d'échantillons  $(i, j)$ . Une faible valeur de  $\Delta d_k(X_i, X_j)$  signifie que la variation des données par rapport à la pair  $(i, j)$  après le retrait de  $x_k$  est faible. Une forte valeur de  $\Delta d_k(X_i, X_j)$  signifie que la variation des données par rapport à la paire  $(i, j)$  après le retrait de  $x_k$  est forte.

$\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \Delta SF_{k,l}(i, j)$  est la variation de la sensibilité correspondant à toutes les paires

d'échantillons pour les variables restantes lors de l'élimination de  $x_k$ .  $m$  est le nombre total de variables d'entrée. Une grande valeur de cette variation signifie que la variable  $x_k$  est moins sensible à la sortie. Une faible valeur de cette variation signifie que  $x_k$  est plus sensible à la sortie.

La sensibilité floue générale  $SF_{k,l}$  est la sensibilité de  $x_k$  pour toutes les paires d'échantillons lors de l'élimination de  $x_k$ . Elle est définie ci-dessous :

$$SF_{k,l} = 1 / \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \Delta SF_{k,l}(i, j) \quad (3-13)$$

Evidemment, si la valeur de  $SF_{k,l}$  est plus grande par rapport aux autres variables d'entrée  $x_p$  ( $p \neq k$ ), alors la variable  $x_k$  est considérée comme la plus sensible car les variables restantes sont moins sensibles à la sortie. Contrairement, si la valeur de  $SF_{k,l}$  est plus faible par rapport aux autres variables d'entrée, alors la variable  $x_k$  est considérée comme la moins sensible car les variables restantes sont plus sensibles à la sortie.

Dans certaines applications industrielles,  $SF_{k,l}$  peut être supérieure à 1, car la variation de la sensibilité correspondant à toutes les paires d'échantillons pour les variables restantes lors de l'élimination de  $x_k$  peut être très faible ( $\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \Delta SF_{k,l}(i, j) < 1$ ). Pour cette raison, le minimum et

le maximum de  $SF_{k,l}$  doivent être normalisés sur l'intervalle  $[0, 1]$ . De cette manière, plus la valeur de  $SF_{k,l}$  est proche de 1, plus la variable  $x_k$  est sensible à la sortie  $y_l$ . Plus la valeur de  $SF_{k,l}$  est proche de 0, plus la variable  $x_k$  est moins sensible à la sortie  $y_l$ .

Afin de simplifier la procédure de sélection des variables pertinents, nous utilisons l'algorithme K-Means [HARTIGAN, 1979] pour classer les valeurs de  $SF_{k,l}$  en plusieurs classes en fonction du problème d'application traité. Et seulement les variables dans la classe la plus élevée ( $CE$ ) sont utilisées pour l'algorithme de sélection dans la section suivante.

Cependant, dans la pratique, il existe souvent des corrélations entre les variables d'entrée. Afin d'enlever la redondance, il est plus logique de sélectionner les variables d'entrée qui sont

plus sensibles à la variable de sortie mais moins corrélées avec les autres variables d'entrée. Pour cette raison, nous avons proposé ci-dessous un critère de corrélation et un algorithme de sélection.

### 3.2.5 Algorithme de sélection des variables pertinentes

Dans cette section, nous définissons d'abord un critère de corrélation ( $R$ ). Pour chaque paire de variables d'entrée, notée  $x_k$  et  $x_p$ , correspondant à de grandes valeurs de sensibilité (classe  $CE$ ), nous calculons le coefficient de corrélation linéaire, noté

$$r_{k,p} = \frac{\sum_{i=1}^z (x_{ik} - \bar{x}_k) \cdot (x_{ip} - \bar{x}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^z (x_{ik} - \bar{x}_k)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^z (x_{ip} - \bar{x}_p)^2}}, \text{ où } \bar{x}_k \text{ et } \bar{x}_p \text{ sont les moyennes de } \{x_{ik}\} \text{ et } \{x_{ip}\}$$

respectivement.

Les deux critères définis précédemment, soit le critère de sensibilité floue  $SF_{k,l}$  et le critère de corrélation  $r_{k,p}$ , sont utilisés pour construire un algorithme de sélection. Cet algorithme a pour objectif de supprimer les variables fortement corrélées avec d'autres variables de la liste obtenue selon le critère de sensibilité, défini dans la section 3.2.4. Le principe de cet algorithme est illustré dans ce qui suit :

- Si  $SF_{k,l}$  appartient à la classe  $CE$ , et  $\max_{k \neq p} |r_{k,p}| < \alpha$  (seuil de corrélation), alors la variable d'entrée  $x_k$  est considérée comme pertinente par rapport à  $y_l$ .
- Si  $SF_{k,l}$  et  $SF_{p,l}$  toutes les deux appartiennent à la classe  $CE$ ,  $|r_{k,p}| > \alpha$  et  $SF_{k,l} > SF_{p,l}$ , alors  $x_k$  est considérée comme pertinente par rapport à  $y_l$ .  $x_p$  est une variable d'entrée corrélée à  $x_k$ , et doit être retirée de cette liste ( $CE$ ).

La valeur de  $\alpha$  est définie par les experts. Plus le seuil  $\alpha$  est petit, moins les variables dans la liste finale sont corrélées entre elles.

Selon ce principe, les variables d'entrée obtenues dans la liste finale sont les variables les plus pertinentes au descripteur sensoriel.

### 3.2.6 Un exemple d'application

Dans cette section, nous appliquons la méthode proposée pour la conception de produits d'habillement des seniors. Dans ce cas, 17 étoffes textiles sont choisies pour l'évaluation du

toucher (cf. Annexe 7). 65 paramètres physiques sont mesurés par des tests instrumentaux (cf. Annexe 9). 13 descripteurs sensoriels sont générés et utilisés pour évaluer chaque produit (cf. Annexe 11).

Par exemple, nous calculons la sensibilité des paramètres physiques pour un descripteur sensoriel « duveteux » à l’aide de l’équation 3-13. Selon la nature de notre application, les valeurs de la sensibilité  $SF_{k,l}$  sont classées en trois classes {petite, moyenne, grande} par l’algorithme de K-Means. Le classement des valeurs de sensibilité des paramètres physiques pour ce descripteur sensoriel est fourni dans le Tableau 1 du l’Annexe 20.

Dans le Tableau 3-1, nous présentons le résultat de classement des paramètres physiques ayant une grande sensibilité pour le descripteur « duveteux ».

Tableau 3-1 Liste de paramètres physiques ayant une grande sensibilité pour le descripteur « duveteux »

Paramètres physiques	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{59}$
Sensibilité	1	0,829	0,826
Rang	1	2	3

Ensuite, nous calculons les coefficients de corrélation pour toutes les paires des paramètres physiques dans le Tableau 3-1 et présentons les résultats dans le Tableau 3-2. Les coefficients de corrélation pour toutes les paires des paramètres physiques sont présentés dans le Tableau 2 du l’Annexe 20.

Tableau 3-2 Coefficients de corrélation entre les paramètres physiques ayant une grande sensibilité pour le descripteur « Duveteux » ( $\alpha=0,5$ )

Paramètre physiques $x_k$	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{59}$
$x_{19}$	1		
$x_{20}$	0,144	1	
$x_{59}$	0,527	0,09	1

Selon la deuxième règle dans l’algorithme de sélection proposé dans la Section 3.2.5,  $x_{59}$  devrait être supprimé car sa valeur de  $SF$  est plus petite que celle de  $x_{19}$  et il est corrélé avec  $x_{19}$ . Nous prenons  $x_{19}$  (Coefficient de friction CDF recto sens maille) et  $x_{20}$  (Déviation moyenne de CDF recto sens colonne) comme les paramètres physiques les plus pertinents liés au descripteur « duveteux ». Ce choix a été validé par les experts produits en fonction de leurs connaissances physiques.

Pour la raison de comparaison, nous calculons les coefficients de corrélation linéaire classique entre les paramètres physiques  $x$  et le descripteur  $y_l$  et obtenons une liste de

classement des paramètres physiques selon ses coefficients de corrélation (cf. Tableau 3 de l'Annexe 20). Selon la méthode de corrélation linéaire, les paramètres physiques les plus pertinentes sont  $x_1$  (Epaisseur) et  $x_{30}$  (Résistance thermique), alors que dans notre méthode de sélection le rang ( $x_1$ ) = 35 et le rang ( $x_{30}$ ) = 31 (cf. Figure 3-22).

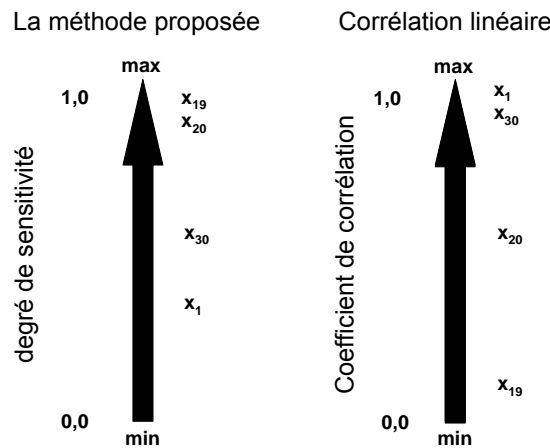


Figure 3-22 Comparaison des résultats de rang des paramètres physiques selon les deux méthodes

L'influence du  $x_1$  et celle du  $x_{30}$  sont fortement surestimées par la corrélation linéaire à cause des proximités des données d'apprentissage (cf. Figure 3-23 et Figure 3-24). Ces résultats sont principalement liés à la similitude des données d'apprentissage sur ces paramètres physiques.

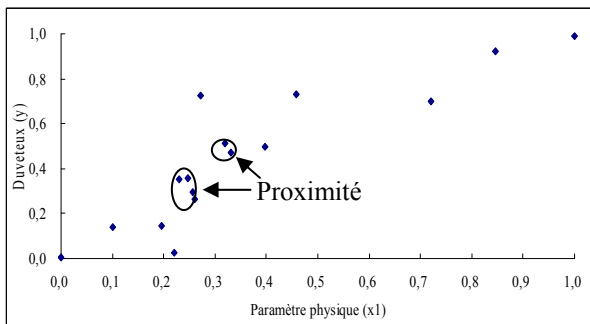


Figure 3-23 Relation sur les données d'apprentissage entre y « duveteux » et le paramètre physique  $x_1$  (Epaisseur)

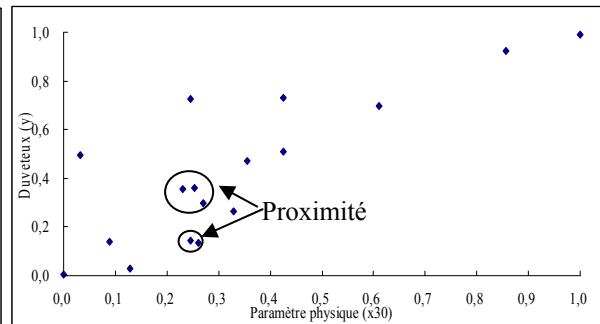


Figure 3-24 Relation sur les données d'apprentissage entre y « duveteux » et le paramètre physique  $x_{30}$  (Résistance thermique)

La Figure 3-22 montre que les paramètres  $x_{19}$  (Coefficient de friction CDF recto sens maille) et  $x_{20}$  (Déviation moyenne de CDF recto sens colonne), générés par la méthode proposée, sont les variables les plus pertinentes, alors qu'ils sont moins importants dans le classement de la corrélation linéaire.

Physiquement, le descripteur « duveteux » devra être lié à la surface de l'étoffe.  $x_{19}$  et  $x_{20}$  sont deux paramètres qui évaluent l'état de surface de l'étoffe tandis que  $x_1$  et  $x_{30}$  n'ont pas de

lien direct, au niveau physique, avec la surface de l'étoffe.

Par conséquent, nous pouvons constater que la méthode de sélection proposée est plus efficace pour traiter notre problème. En fait, le modèle flou proposé est interprétable et capable de s'adapter à la non-linéarité d'une relation complexe et de réduire l'effet de points isolés dans la sélection des variables pertinentes (cf. Figure 3-25 et Figure 3-26). Ces avantages ont été validés par plusieurs séries de données artificielles et des exemples pratiques dans les travaux précédents [DENG, 2007], [DENG, 2010]. Un inconvénient de cette méthode est que la procédure de sélection s'effectue variable par variable. Pour augmenter la précision, elle peut être améliorée par la sélection de plusieurs variables pertinentes ensemble (couples, triplets ...).

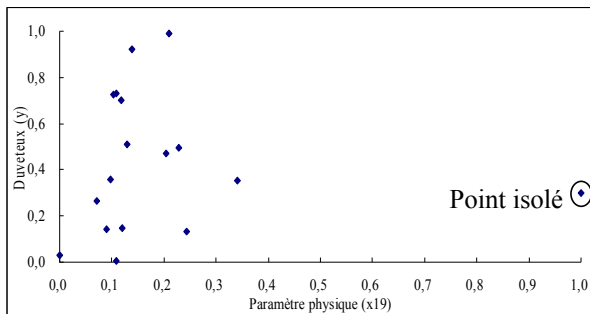


Figure 3-25 Relation sur les données d'apprentissage entre  $y$  « duveteux » et le paramètre physique  $x_{19}$  (Coefficient de friction CDF recto sens maille)

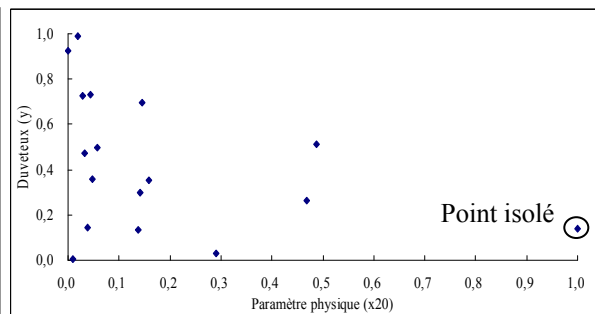


Figure 3-26 Relation sur les données d'apprentissage entre  $y$  « duveteux » et le paramètre physique  $x_{20}$  (Déviation moyenne de CDF recto sens colonne)

### 3.2.7 Bilan

La section 3.2 présente une méthode permettant la sélection des paramètres physiques pertinents par rapport à un descripteur sensoriel spécifique pour la conception de produits d'habillement. Cette méthode combine à la fois la sensibilité des données d'apprentissage et la corrélation entre les paramètres physiques étudiés. Elle permet aux concepteurs d'identifier les prototypes selon un nombre faible de caractéristiques physiques les plus pertinentes afin de répondre aux exigences variées d'applications. Par comparaison avec le rang de la corrélation entre les paramètres physiques et le descripteur, la méthode proposée possède une très bonne capacité de traitement de l'incertitude.



## 3.3 Modélisation

### 3.3.1 Détermination de l'espace de fonctionnement du modèle

En nous appuyant sur le critère flou de sélection présenté dans la section 3.2 pour réduire le nombre des paramètres physiques, nous essayons de déterminer l'espace de fonctionnement des paramètres physiques satisfaisant les descripteurs sensoriels (critères de qualité) prédéfinis.

Dans cette section, une méthode s'applique pour créer cet espace de fonctionnement à partir des données d'apprentissage. Cette méthode utilise la technique ABE [1995] afin d'établir un modèle flou à partir des données d'apprentissage. Comme les règles floues sont basées sur les hyper-volumes de l'espace d'entrée correspondant aux sous-intervalles de la sortie, nous pouvons obtenir des résultats plus interprétables.

Cette méthode comporte deux grandes étapes suivantes :

Etape 1. Définition de degré de similarité d'un prototype par rapport à un descripteur sensoriel spécifique (cf. section 2.4.1).

Etape 2. Modélisation de la relation entre le degré de similarité d'un descripteur sensoriel et ses paramètres physiques pertinents sélectionnés par la méthode d'ABE.

Nous créons un modèle flou de type ABE [1995] (cf. section 3.1.5) afin d'établir une correspondance entre le descripteur sensoriel (intervalle de sortie) et l'espace des paramètres physiques (espace d'entrée) et de découper cet espace d'entrée en différentes régions selon les valeurs du degré de similarité par rapport au descripteur sensoriel. Quelques éléments clés de cette procédure de modélisation sont détaillés ci-dessous.

D'abord, l'intervalle du degré de similarité par rapport au descripteur sensoriel, identifié par l'ensemble des données d'apprentissage, se divise en un nombre de classes par application de l'algorithme de classification K-Means [HARTIGAN, 1979]. Cet algorithme nous permet d'obtenir, sur l'intervalle de sortie, un ensemble de classes de données et les centres de gravité correspondants. Les points médians entre les centres de gravité voisins constituent des séparateurs des sous intervalles. Chaque sous intervalle correspond à un classe de sortie pour le modèle d'ABE.

Dans la pratique, la qualité d'interprétation des règles floues extraites est fortement liée au nombre de sous intervalles de sortie. Si le nombre de données d'apprentissage (prototypes) est limité et le nombre de classes est trop grand, alors il y a peu de données incluses dans chaque classe et les règles floues extraites à partir de ces données sont moins interprétables. De plus, si

le nombre de classes est trop faible, alors les classes ne sont pas discriminantes, et il est possible que des règles floues significatives ne soient pas extraites. En effet, le nombre de sous intervalles ou classes doit être choisi selon la nature du problème à traiter.

Ayant défini des classes pertinentes, nous procédons à la modélisation en deux phases suivantes :

Phase 1 : En prenant les paramètres physiques comme variables d'entrée et le degré de similarité par rapport au descripteur sensoriel donné comme variable de sortie, nous obtenons un modèle à multiples entrées et à une seule sortie.

Phase 2 : En appliquant la méthode d'ABE et les données d'apprentissage mesurées sur les prototypes, nous découpons l'espace d'entrée en hyper-volumes et ainsi obtenons une série de règles floues caractérisant la relation entre ces hyper-volumes et les classes de la sortie. A partir de ce modèle, nous pouvons estimer la classe du descripteur sensoriel pour un prototype quelconque.

Dans le modèle flou de type ABE, les paramètres internes de sensibilité, soit  $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m)^T$ , déterminent la tolérance et la précision des règles floues extraites.  $m$  est le nombre de variables d'entrée. La performance du modèle flou peut être améliorée par réglage des paramètres de sensibilité pour que la distance entre la classe du descripteur sensoriel  $D_s(\gamma)$  et sa valeur estimée  $D'_s(\gamma)$  soit minimisée pour l'ensemble des prototypes d'apprentissage. Cette optimisation s'effectue par application de l'algorithme génétique [GOLDBERG, 1989] implantée en MATLAB<sup>®</sup>.

Cet algorithme (cf. Figure 3-27) nous permet de déterminer la structure interne des fonctions d'appartenance. Il s'agit d'un problème d'optimisation dans un intervalle borné pour toutes les variables ( $\gamma_k > 0, k=1, \dots, m$ ). Dans cet algorithme, nous avons choisi le codage binaire (qui est généralement le plus utilisé).

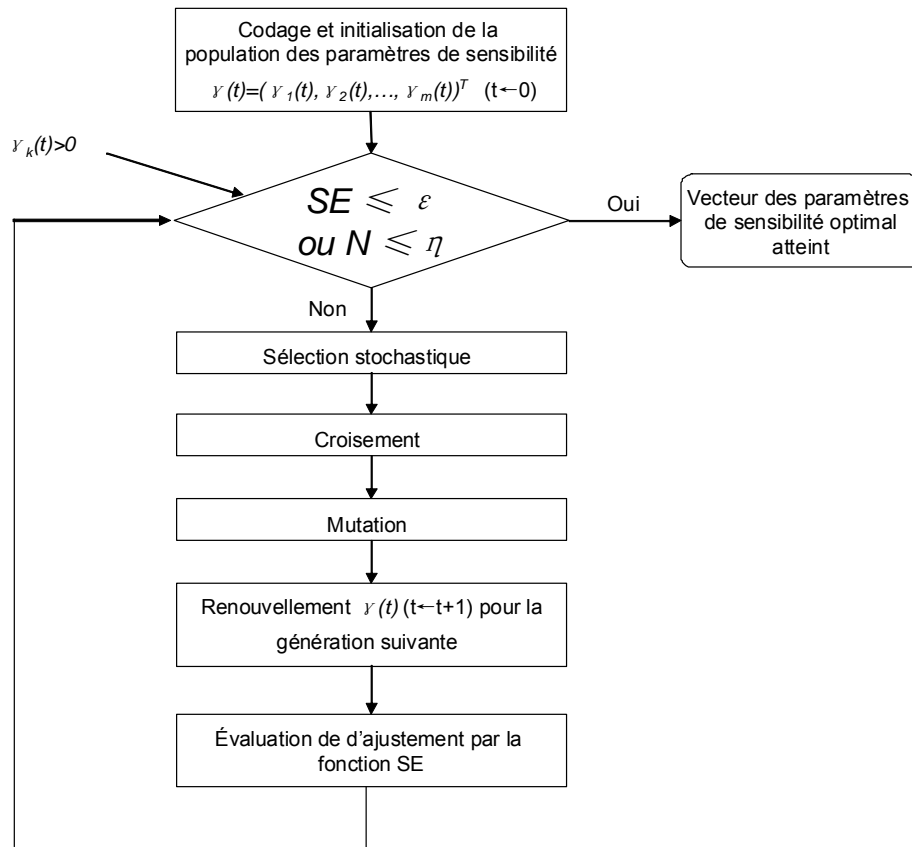


Figure 3-27 Algorithme génétique permettant de trouver les valeurs optimales des paramètres de sensibilité pour la méthode d’ABE

Nous utilisons  $SE = \sum_s^z |D_s - D'_s|$  ( $s=1, \dots, z$ ) pour représenter l’écart entre la sortie du

modèle et la valeur réelle de descripteur sensoriel. Les conditions d’arrêt sont les suivantes :  $SE \leq \epsilon$  et le nombre d’itération  $N \leq \eta$ , où  $\epsilon$  et  $\eta$  sont les seuils d’arrêt prédéfinis.

En utilisant ce modèle flou de type ABE, il est possible de prévoir le degré de similarité d’un produit  $f(X)$  par rapport au descripteur sensoriel sur tout l’espace de fonctionnement des paramètres physiques, et de classer ce produit dans une classe définis précédemment par K-Means. La fonction  $f(X)$  caractérise la distribution du degré de similarité par rapport aux descripteurs sensoriels pour tous les points de fonctionnement dans cet espace.

Nous créons un espace de fonctionnement correspondant à différents classements de degré de similarité au descripteur sensoriel. Les valeurs des paramètres physiques pour l’identification des nouveaux prototypes satisfaisant les descripteurs sensoriels peuvent être extraites à partir de cet espace selon une stratégie définie plus tard. Cet espace de fonctionnement se génère de la façon suivante :

D’abord, nous divisons l’intervalle de chaque paramètre physique en un nombre de sous

intervalles de taille identique, délimités par  $l$  séparateurs. Ces sous intervalles sont indépendants. C'est pour faciliter la constitution de la surface dans l'espace de fonctionnement. De cette manière, l'espace de fonctionnement est découpé en hyper-volumes de taille égale. L'espace de fonctionnement  $X_\lambda$  est l'ensemble des hyper-volumes dans lesquels le classement de similarité au descripteur sensoriel est  $\lambda$ , prédéfini par les experts des produits. Evidemment, l'espace de fonctionnement se constitue d'un nombre limité  $w$  de régions continues à l'intérieur mais séparées entre elles, notée  $Re g_1^\lambda, \dots, Re g_w^\lambda$ .

### 3.3.2 Un exemple d'application

Dans cette section, la méthode proposée est appliquée afin d'identifier les matières d'une collection des T-shirts pour les seniors.

Les méthodes de l'acquisition des données sont présentées dans le chapitre 2. Dans la section 3.2.6, deux paramètres physiques sont sélectionnés pour le descripteur « Duveteux » par utilisation de la méthode de sélection des variables pertinentes. Ces paramètres sont :

$x_1$  : Coefficient de friction CDF recto sens maille

$x_2$  : Déviation moyenne de CDF recto sens colonne

Dans cet exemple, le descripteur « duveteux » est proposé par les experts. Et 17 prototypes sont évalués sur ce descripteur. Le modèle caractérisant la relation entre les paramètres physiques et ce descripteur sensoriel est présenté Figure 3-28.

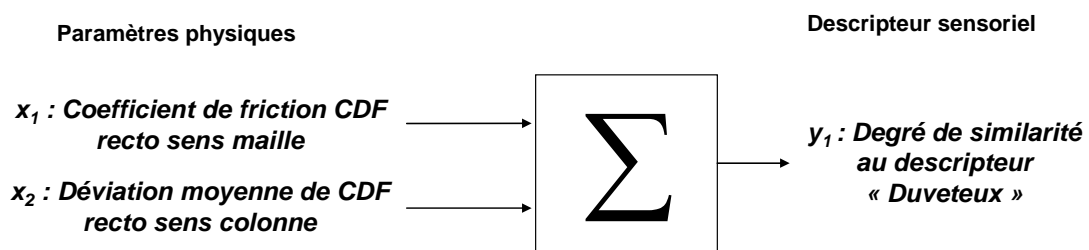


Figure 3-28 Modèle caractérisant la relation entre « Duveteux » et les deux paramètres physiques

L'estimation du nombre de classes dans l'intervalle de la sortie s'effectue par la technique de K-Means (cf. Tableau 3-3). Pour chaque nombre de classes choisi, nous calculons S/C, soit le ratio de la séparabilité inter-classe à la compacité intra-classe. Plus ce ratio est élevé, plus le résultat de classification est discriminant. En revanche, plus ce ratio est faible, moins le résultat de classification est discriminant.

Tableau 3-3 Estimation du nombre de classes par K-Means

Nombre de classe	Ratio (S/C)	Intervalle	Nombre de prototypes
3	55,24	[0; 0,24)	5
		[0,24; 0,60)	7
		[0,60; 1]	5
4	127,82	[0; 0,24)	5
		[0,24; 0,56)	7
		[0,56; 0,84)	3
		[0,84; 1]	2
5	248,42	[0; 0,20)	5
		[0,20; 0,41)	4
		[0,41; 0,61)	3
		[0,61; 0,84)	3
		[0,84; 1]	2
6	303,81	[0; 0,20)	5
		[0,20; 0,41)	4
		[0,41; 0,61)	3
		[0,61; 0,82)	3
		[0,82; 0,96)	1
		[0,96; 1]	1

Dans le Tableau 3-3, lorsque nous définissons 6 classes, le résultat de classification est discriminant, car le ratio S/C est le plus élevé. Pourtant, il n’y a qu’une seule donnée d’apprentissage dans [0,82; 0,96) et [0,96; 1]. Ceci rend les règles floues correspondantes moins générales. En cherchant un compromis entre les capacités d’interprétation des règles floues et de discrimination, nous choisissons donc cinq classes pour l’intervalle de la sortie.

Les cinq classes sont alors définies comme suit : *très grand* [0,84; 1] (prototypes  $p_9, p_4$ ), *grand* [0,61; 0,84) (prototypes  $p_{14}, p_{15}, p_{12}$ ), *moyen* [0,41; 0,61) (prototypes  $p_{16}, p_5, p_7$ ), *petit* [0,20; 0,41) (prototypes  $p_{11}, p_2, p_6, p_{17}$ ) et *très petit* [0; 0,20) (prototypes  $p_{10}, p_1, p_8, p_3, p_{13}$ ). Le classement des prototypes correspondants se schématise Figure 3-29.

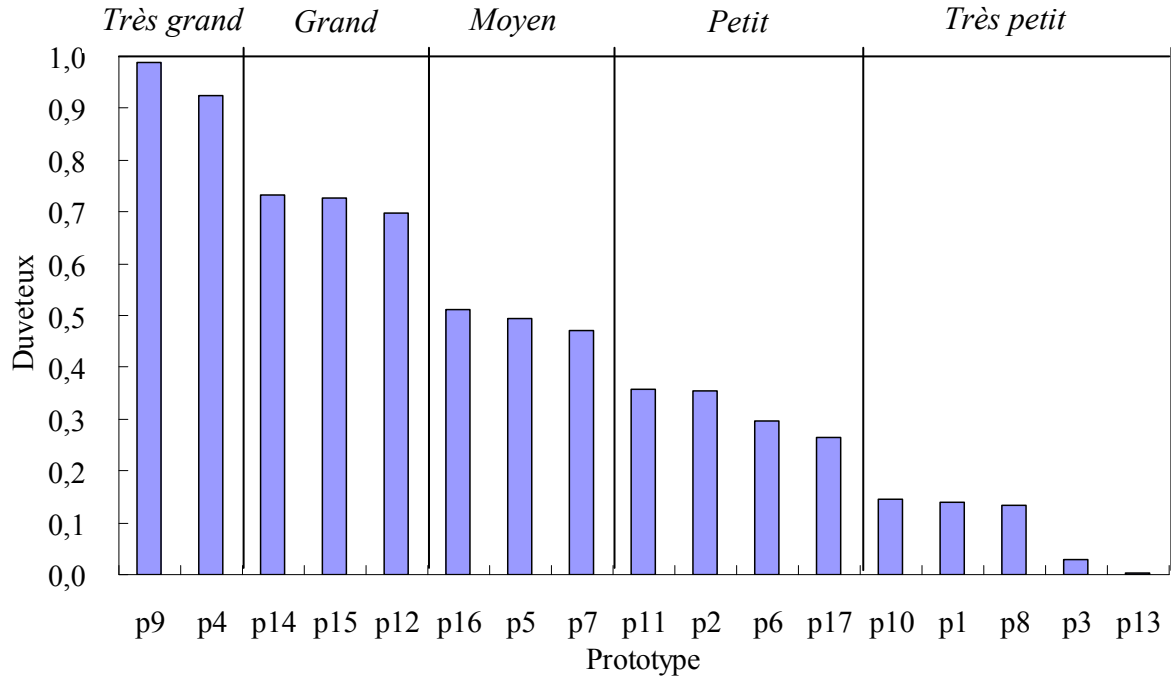


Figure 3-29 Classes du descripteur « Duveteux » pour les 17 prototypes

Tableau 3-4 Entrées/Sortie normalisées du modèle

Prototype	$x_1$ : Coefficient de friction CDF recto sens maille	$x_2$ : Déviation moyenne de CDF recto sens colonne	$D$ : Degré de similarité au descripteur « Duveteux »	$y$ : Classes
$p_9$	0,21	0,02	0,99	1 : Très grand
$p_4$	0,14	0,00	0,92	
$p_{14}$	0,11	0,04	0,73	2 : Grand
$p_{15}$	0,10	0,03	0,73	
$p_{12}$	0,12	0,15	0,70	
$p_{16}$	0,13	0,49	0,51	3 : Moyen
$p_5$	0,23	0,06	0,50	
$p_7$	0,20	0,03	0,47	
$p_{11}$	0,10	0,05	0,36	4 : Petit
$p_2$	0,34	0,16	0,35	
$p_6$	1,00	0,14	0,30	
$p_{17}$	0,07	0,47	0,26	
$p_{10}$	0,12	0,04	0,15	5 : Très petit
$p_1$	0,09	1,00	0,14	
$p_8$	0,24	0,14	0,13	
$p_3$	0,00	0,29	0,03	
$p_{13}$	0,11	0,01	0,00	

Afin d'éliminer l'effet d'échelle des entrées, tous les paramètres physiques sont

normalisés entre  $[0, 1]$ . Les variables d'entrée / sortie du modèle sont présentées Tableau 3-4.

Dans la section 3.2.6, nous avons conclu que, parmi les paramètres physiques sélectionnés,  $x_1$  et  $x_2$  sont les variables plus pertinentes au descripteur sensoriel « duveteux ».

Ensuite, 17 règles sont extraites à partir de ces 17 données d'apprentissage en utilisant la méthode d'ABE. Les résultats sont les suivants :

1. Règle 1 : Si  $x \in A_{11}(1)$  et  $x \notin I_{15}(1)$ , alors le degré de similarité est très grand
2. Règle 2 : Si  $x \in A_{55}(1)$  et  $x \notin I_{51}(1)$ , alors le degré de similarité est très petit
3. Règle 3 : Si  $x \in A_{15}(2)$ , alors le degré de similarité est très grand
4. Règle 4 : Si  $x \in A_{22}(1)$  et  $x \notin I_{24}(1)$ , alors le degré de similarité est grand
5. Règle 5 : Si  $x \in A_{44}(1)$  et  $x \notin I_{42}(1)$ , alors le degré de similarité est petit
6. Règle 6 : Si  $x \in A_{24}(2)$ , alors le degré de similarité est grand
7. Règle 7 : Si  $x \in A_{55}(1)$  et  $x \notin I_{52}(1)$ , alors le degré de similarité est très petit
8. Règle 8 : Si  $x \in A_{33}(1)$  et  $x \notin I_{34}(1)$ , alors le degré de similarité est moyen
9. Règle 9 : Si  $x \in A_{44}(1)$  et  $x \notin I_{43}(1)$ , alors le degré de similarité est petit
10. Règle 10 : Si  $x \in A_{34}(2)$ , alors le degré de similarité est moyen
11. Règle 11 : Si  $x \in A_{33}(1)$  et  $x \notin I_{35}(1)$ , alors le degré de similarité est moyen
12. Règle 12 : Si  $x \in A_{55}(1)$  et  $x \notin I_{53}(1)$ , alors le degré de similarité est très petit
13. Règle 13 : Si  $x \in A_{35}(2)$ , alors le degré de similarité est moyen
14. Règle 14 : Si  $x \in A_{44}(1)$  et  $x \notin I_{45}(1)$ , alors le degré de similarité est petit
15. Règle 15 : Si  $x \in A_{55}(1)$  et  $x \notin I_{54}(1)$ , alors le degré de similarité est très petit
16. Règle 16 : Si  $x \in A_{45}(2)$ , alors le degré de similarité est petit
17. Règle 17 : Si  $x \in A_{54}(2)$ , alors le degré de similarité est très petit

Avec

$$\begin{aligned}
 A_{11}(1) &= \{x / 0.14 \leq x_1 \leq 0.21, 0 \leq x_2 \leq 0.02\} \\
 A_{22}(1) &= I_{25}(1) = I_{52}(1) = A_{22}(1) = \{x / 0.10 \leq x_1 \leq 0.12, 0.03 \leq x_2 \leq 0.15\} \\
 A_{33}(1) &= A_{35}(2) = I_{35}(1) = I_{53}(1) = \{x / 0.13 \leq x_1 \leq 0.23, 0.03 \leq x_2 \leq 0.49\} \\
 A_{44}(1) &= \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 1.00, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\} \\
 A_{55}(1) &= \{x / 0.00 \leq x_1 \leq 0.24, 0.01 \leq x_2 \leq 1.00\} \\
 I_{15}(1) &= I_{51}(1) = \{x / 0.14 \leq x_1 \leq 0.21, 0.01 \leq x_2 \leq 0.02\} \\
 A_{15}(2) &= \{x / x_1 = 0.21, x_2 = 0.02\} \\
 I_{24}(1) &= I_{42}(1) = \{x / 0.10 \leq x_1 \leq 0.12, 0.05 \leq x_2 \leq 0.15\} \\
 A_{24}(2) &= \{x / x_1 = 0.12, x_2 = 0.15\} \\
 I_{34}(1) &= I_{43}(1) = \{x / 0.13 \leq x_1 \leq 0.23, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\} \\
 A_{34}(2) &= \{x / x_1 = 0.23, x_2 = 0.06\} \\
 I_{45}(1) &= I_{54}(1) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 0.24, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\} \\
 A_{45}(2) &= \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 0.10, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\} \\
 A_{54}(2) &= \{x / x_1 = 0.24, x_2 = 0.14\}
 \end{aligned}$$

Nous prenons l'intervalle 4 et l'intervalle 5 comme exemple pour détailler l'étape 1 et l'étape 2 du fonctionnement de la méthode ABE.

*Etape 1: Extraction des règles floues*

Hyper-volume  $A_{44}(I)$  pour l'intervalle 4 ( $p_{11}, p_2, p_6, p_{17}$ ):

$$A_{44}(I) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 1.00, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\}$$

Hyper-volume  $A_{55}(I)$  pour l'intervalle 5 ( $p_{10}, p_1, p_8, p_3, p_{13}$ ):

$$A_{55}(I) = \{x / 0.00 \leq x_1 \leq 0.24, 0.01 \leq x_2 \leq 1.00\}$$

Les intersections entre l'intervalle 4 et l'intervalle 5

Comme il y a des intersections entre deux hyper-volumes d'activation  $A_{44}$  et  $A_{55}$  du niveau 1, nous les découpons de façon récursive, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'intersections entre deux hyper-volumes correspondants. Les Figures 3-30 et 3-31 montrent les 2 niveaux de découpage de l'espace d'entrée.

Niveau 1

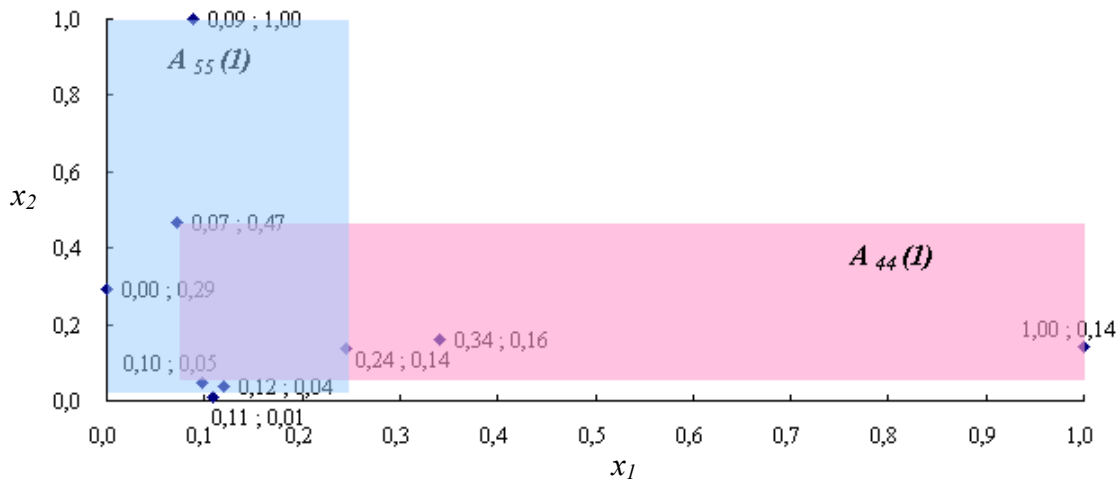


Figure 3-30 Hyper-volume d'activation de  $A_{44}(I)$  et de  $A_{55}(I)$  du niveau 1

$$I_{45}(I) = I_{54}(I) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 0.24, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\}$$

Niveau 2

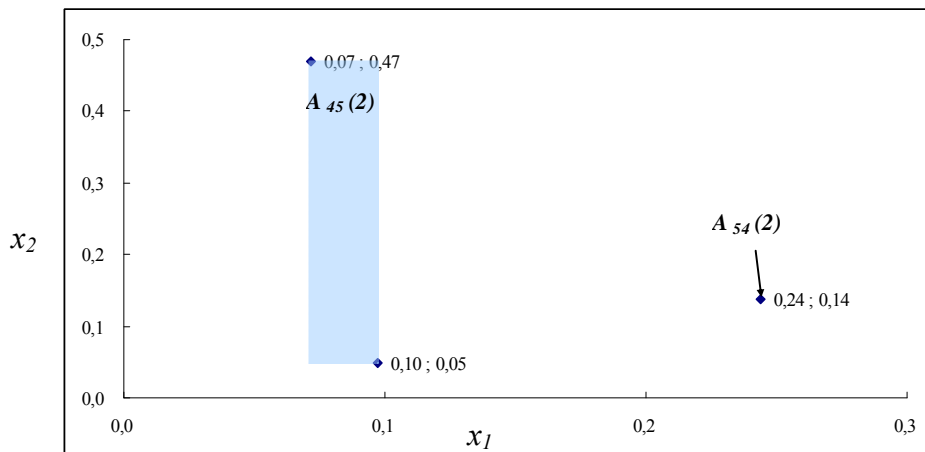


Figure 3-31 Hyper-volume d'activation de  $A_{45}(2)$  et de  $A_{54}(2)$  du niveau 2



$$A_{45}(2) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 0.10, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\}$$

$$A_{54}(2) = \{x / x_1 = 0.24, x_2 = 0.14\}$$

$$I_{45}(2) = I_{54}(2) = \text{null}$$

Règles

Si  $x \in A_{44}(1)$  et  $x \notin I_{45}(1)$ , alors le degré de similarité est petit

Si  $x \in A_{55}(1)$  et  $x \notin I_{54}(1)$ , alors le degré de similarité est très petit

Si  $x \in A_{45}(2)$ , alors le degré de similarité est petit

Si  $x \in A_{54}(2)$ , alors le degré de similarité est très petit

*Etape 2: Fonctions d'appartenance de chaque hyper-volume*

$$A_{44}(1) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 1.00, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\}$$

$$m_{A_{44}(1)}(x,1) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,07 \leq x_1 \leq 1,00 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(x_1 - 0,02))) & \text{si } 0,00 < x_1 < 0,07 \end{cases}$$

$$m_{A_{44}(1)}(x,2) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,05 \leq x_2 \leq 0,47 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(0,05 - x_2))) & \text{si } 0,00 \leq x_2 < 0,05 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(x_2 - 0,47))) & \text{si } 0,47 < x_2 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$A_{55}(1) = \{x / 0.00 \leq x_1 \leq 0.24, 0.01 \leq x_2 \leq 1.00\}$$

$$m_{A_{55}(1)}(x,1) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,00 \leq x_1 \leq 0,24 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(x_1 - 0,24))) & \text{si } 0,24 \leq x_1 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$m_{A_{55}(1)}(x,2) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,01 \leq x_2 \leq 1,00 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(0,01 - x_2))) & \text{si } 0,00 < x_2 \leq 0,01 \end{cases}$$

$$I_{45}(1) = I_{54}(1) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 0.24, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\}$$

$$m_{I_{45}(1)}(x,1) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,07 \leq x_1 \leq 0,24 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(0,07 - x_1))) & \text{si } 0,00 \leq x_1 < 0,07 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(x_1 - 0,24))) & \text{si } 0,24 < x_1 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$m_{I_{45}(1)}(x,2) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,05 \leq x_2 \leq 0,47 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(0,05 - x_2))) & \text{si } 0,00 \leq x_2 < 0,05 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(x_2 - 0,47))) & \text{si } 0,47 < x_2 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$A_{45}(2) = \{x / 0.07 \leq x_1 \leq 0.10, 0.05 \leq x_2 \leq 0.47\}$$

$$m_{A_{45}(2)}(x,1) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,07 \leq x_1 \leq 0,10 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(0,07 - x_1))) & \text{si } 0,00 \leq x_1 < 0,07 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(x_1 - 0,10))) & \text{si } 0,10 < x_1 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$m_{A_{45}(2)}(x,2) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0,05 \leq x_2 \leq 0,47 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(0,05 - x_2))) & \text{si } 0,00 \leq x_2 < 0,05 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(x_2 - 0,47))) & \text{si } 0,47 < x_2 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$A_{54}(2) = \{x \mid x_1 = 0.24, x_2 = 0.14\}$$

$$m_{A_{54}(2)}(x,1) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_1 = 0,24 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(0,24 - x_1))) & \text{si } 0,00 \leq x_1 < 0,24 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_1(x_1 - 0,24))) & \text{si } 0,24 < x_1 \leq 1,00 \end{cases}$$

$$m_{A_{54}(2)}(x,2) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_2 = 0,14 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(0,14 - x_2))) & \text{si } 0,00 \leq x_2 < 0,14 \\ 1 - \max(0, \min(1, \gamma_2(x_2 - 0,14))) & \text{si } 0,14 < x_2 \leq 1,00 \end{cases}$$

Les fonctions d'appartenance des autres hyper-volumes sont générées de façon identique.

*Etape 3: Calcul des degrés d'appartenance des règles floues extraites :*

Après avoir calculé les fonctions d'appartenance de chaque hyper-volume, nous pouvons calculer les degrés d'appartenance des règles floues à l'aide de l'équation 3-8.

$$\begin{aligned} R_1 &= \max(0, mA_{11}(1) - mI_{15}(1)) \\ R_2 &= \max(0, mA_{55}(1) - mI_{51}(1)) \\ R_3 &= mA_{15}(2) \\ R_4 &= \max(0, mA_{22}(1) - mI_{24}(1)) \\ R_5 &= \max(0, mA_{44}(1) - mI_{42}(1)) \\ R_6 &= mA_{24}(2) \\ R_7 &= \max(0, mA_{55}(1) - mI_{52}(1)) \\ R_8 &= \max(0, mA_{33}(1) - mI_{34}(1)) \\ R_9 &= \max(0, mA_{44}(1) - mI_{43}(1)) \\ R_{10} &= mA_{34}(2) \\ R_{11} &= \max(0, mA_{33}(1) - mI_{35}(1)) \\ R_{12} &= \max(0, mA_{55}(1) - mI_{53}(1)) \\ R_{13} &= mA_{35}(2) \\ R_{14} &= \max(0, mA_{44}(1) - mI_{45}(1)) \\ R_{15} &= \max(0, mA_{55}(1) - mI_{54}(1)) \\ R_{16} &= mA_{45}(2) \\ R_{17} &= mA_{54}(2) \end{aligned}$$

*Etape 4 : Calcul des degrés d'appartenance correspondant aux intersections des intervalles à l'aide de l'équation 3-9.*

$$\begin{aligned} I_{15} &= \max(R_1, R_2, R_3) \\ I_{23} &= \max(R_4, R_5, R_6) \\ I_{25} &= \max R_7 \\ I_{34} &= \max(R_8, R_9, R_{10}) \\ I_{35} &= \max(R_{11}, R_{12}, R_{13}) \\ I_{45} &= \max(R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}) \end{aligned}$$

*Etape 5: Calcul des degrés d'appartenance correspondant aux intervalles à l'aide de l'équation 3-10.*

$$d_1 = \min(I_{15}),$$

$$d_2 = \min(I_{23}, I_{25})$$

$$d_3 = \min(I_{34}, I_{35})$$

$$d_4 = \min(I_{34}, I_{45})$$

$$d_5 = \min(I_{15}, I_{25}, I_{35}, I_{45})$$

Etape 6: Défuzzification utilisant l'équation 3-11.

$$\hat{y} = \frac{m_1\sigma_1d_1 + m_2\sigma_2d_2 + m_3\sigma_3d_3 + m_4\sigma_4d_4 + m_5\sigma_5d_5}{\sigma_1d_1 + \sigma_2d_2 + \sigma_3d_3 + \sigma_4d_4 + \sigma_5d_5}$$

où  $m_1 = (1+0,84)/2;$        $\sigma_1 = (1-0,84)/2;$   
 $m_2 = (0,60+0,83)/2;$        $\sigma_2 = (0,83-0,60)/2;$   
 $m_3 = (0,59+0,40)/2;$        $\sigma_3 = (0,59-0,40)/2;$   
 $m_4 = (0,39+0,20)/2;$        $\sigma_4 = (0,39-0,20)/2;$   
 $m_5 = (0,19+0,00)/2;$        $\sigma_5 = (0,19-0,00)/2;$

Etape 7: Optimisation des paramètres de sensibilités par algorithme génétique

En utilisant l'algorithme génétique, nous obtenons les paramètres de sensibilité suivants :  $\gamma_1=9,5$  et  $\gamma_2=11,4$  (taille de population=20, probabilité de croisement=0,8, nombre de génération=8,  $\epsilon=0,27$ ).

Etape 8: Validation

Pour tester la performance du modèle proposé, nous calculons les degrés de similarité prédits sur les 17 données d'apprentissage. Puis, nous comparons ces valeurs prédites avec les valeurs réelles (cf. Figure 3-32 et Figure 3-33). Selon la Figure 3-32, pour la plupart des produits (sauf  $p_5$  et  $p_{16}$ ), la valeur prédite est assez proche de la valeur réelle. L'erreur entre la sortie prévue du modèle et la sortie réelle (RMSE) est 0,08 pour l'ensemble des produits.

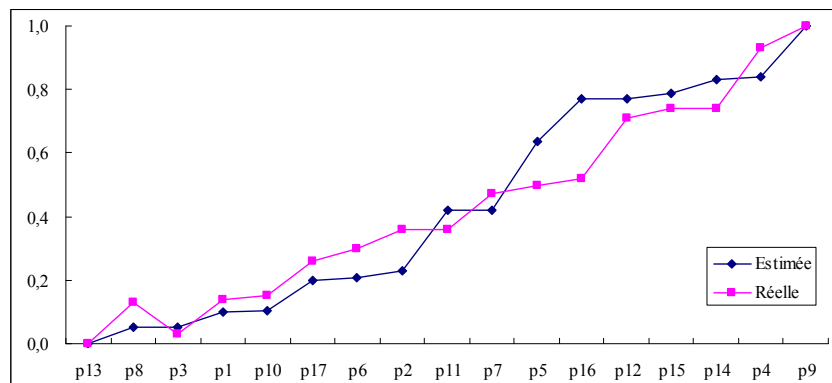


Figure 3-32 Prédiction de la similarité entre  $p_i$  et le descripteur « duveteux » par le modèle proposé

Selon la Figure 3-33, la plupart des données sont autour de la droite ( $y=x$ ) et le coefficient de corrélation de Pearson  $R^2=0,93$ . Cela signifie que le modèle proposé a une bonne performance de prédiction sur ces 17 données d'apprentissage.

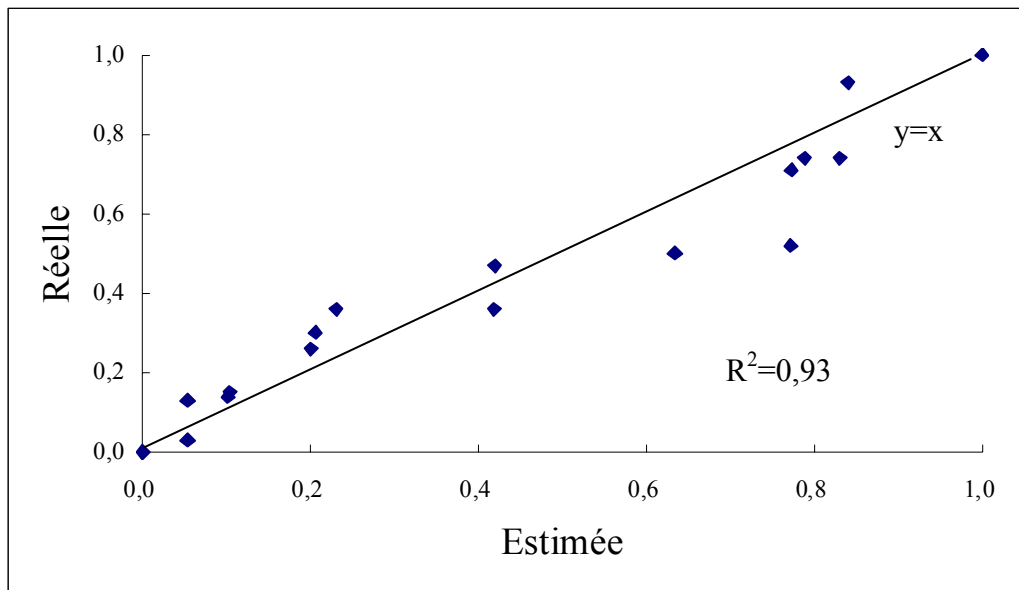


Figure 3-33 Performance du modèle d'ABE sur les données d'apprentissage

*Etape 9: Espace de fonctionnement*

La Figure 3-34 présente l'espace de fonctionnement des paramètres physiques pertinents correspondant à différentes classes du degré de similarité au descripteur « duveteux ». Les régions de chaque couleur  $Re g_i^\lambda$  correspondent à une classe  $\lambda$  ( $\lambda=1, 2, 3, 4, 5$ ) du degré de similarité au descripteur « duveteux », exprimée en terme linguistique. Les cinq classes linguistiques conviennent bien à des expressions des concepteurs pour décrire la qualité sensorielle des produits industriels.

Ce modèle génère des résultats interprétables qui peuvent effectivement aider à concevoir de nouveaux produits satisfaisant à un ou plusieurs descripteurs sensoriels spécifiques. Par exemple, pour les concepteurs, il suffit de mesurer un nouveau prototype sur les paramètres physiques pertinents  $x_1$  et  $x_2$  afin de prévoir la classe du degré de similarité au descripteur « duveteux ».

Dans le modèle proposé, chaque hyper-volume d'activation est généré dans l'espace des deux paramètres physiques pertinents  $x_1$  et  $x_2$ . Il correspond à une règle en excluant ses hyper-volumes d'inhibition, causés par les autres hyper-volumes d'activation. Cela permet de prendre en compte les corrélations entre ces deux paramètres physiques et de générer des résultats plus précis.

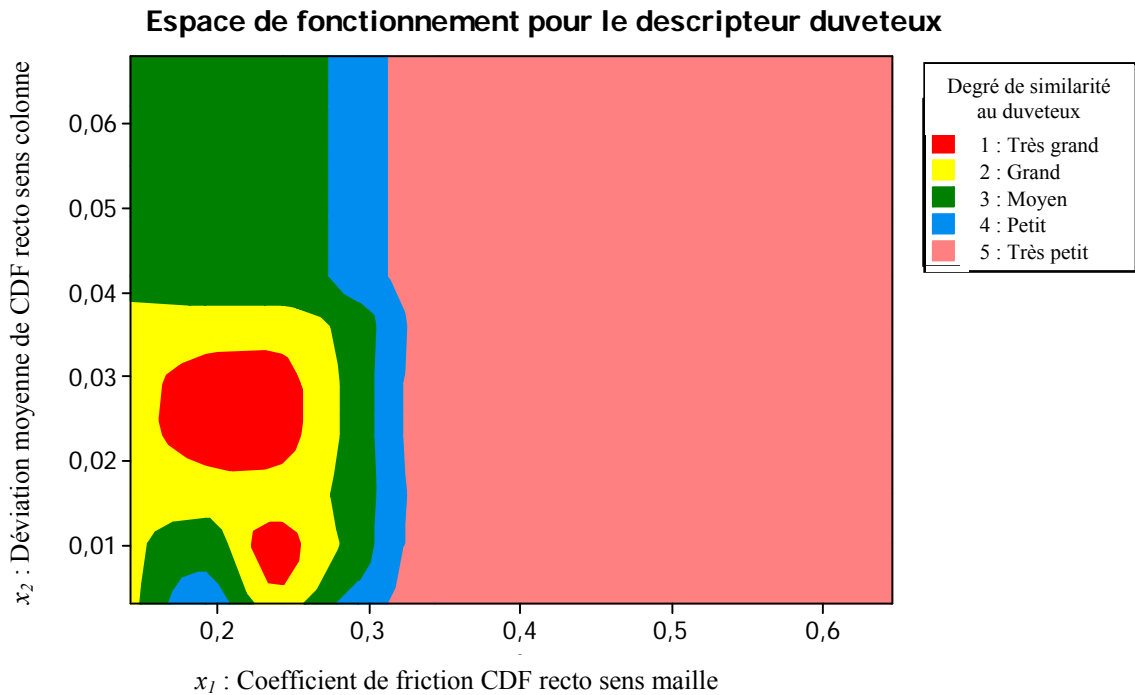


Figure 3-34 Espace de fonctionnement pour chaque classe du degré de similarité par rapport au descripteur « duveteux »

Néanmoins, les hyper-volumes générés dépendent de la répartition des données d'apprentissage et du découpage de l'intervalle de sortie. Dans notre application, comme le nombre de données d'apprentissage est limité, les hyper-volumes et les règles obtenus sont relativement moins généralisables et moins robustes. Le modèle peut être amélioré par ajout de données supplémentaires.

### 3.4 Bilan

Ce chapitre propose d'abord une méthode permettant de mesurer la pertinence des paramètres physiques à partir d'un nombre limité de données expérimentales. L'avantage de cette méthode est la combinaison du critère de sensibilité flou et du critère de corrélation, issu des données expérimentales. Les résultats calculés par la méthode de sélection des paramètres physiques utilisant la logique floue se conforment mieux aux connaissances des experts par rapport au rang de corrélation des paramètres physiques avec le descripteur sensoriel sur une série de données obtenues à travers un exemple pratique lié au développement des produits (T-shirts). Les résultats restent valables lorsque le nombre de données d'apprentissage est faible. En particulier, cette méthode est capable de filtrer les données qui ne varient pas ou dont le

champ de mesure est faible, dans l'espace des données expérimentales disponibles. Cette approche constitue une première étape pour la modélisation du procédé industriel.

Ensuite, une méthode originale est proposée pour déterminer l'espace de fonctionnement des paramètres physiques satisfaisant les descripteurs sensoriels. La technique floue est utilisée pour modéliser cet espace grâce à sa capacité de traitement des incertitudes et des imprécisions. Les règles floues sont extraites à partir des données d'apprentissage numériques en utilisant la méthode d'ABE.

L'espace de fonctionnement obtenu permet de bien positionner de nouveaux prototypes afin de choisir les prototypes proches des descripteurs sensoriels désirés. Cet espace de fonctionnement est un outil d'aide à la conception pour le positionnement des produits. La capacité d'interprétation et la précision du modèle proposé peuvent être améliorées par ajout de données d'apprentissage supplémentaires.

# Chapitre 4 Modélisation du bien-être et sa relation avec les composants de conception

*Dans ce chapitre, nous présentons une méthode de dissonances pour vérifier l'inclusion des informations entre les critères du bien-être. Ensuite, nous utilisons des relations floues, des techniques de corrélation et une opération d'agrégation pondérée pour prévoir le degré de similarité entre les nouveaux produits et un critère du bien-être spécifique à partir des données sensorielles. Cette méthode permet aux concepteurs de prévoir la perception des consommateurs à partir des matières et de concevoir de nouveaux produits d'habillement renforçant l'image véhiculée par la marque de l'entreprise. Puis, nous appliquons la méthode d'interpolation linéaire pour agréger les données multi-sensorielles (le toucher, le style et la couleur). Cette méthode permet aux concepteurs de bien positionner, dans l'espace du bien-être, le nouveau produit par rapport aux produits existants. Enfin, l'ensemble des méthodes appliquées et nouvellement développées sur les procédures de modélisation (chapitres 3 et 4) ont été réalisées en logiciel Scilab et regroupées dans un système intégré avec une interface conviviale. Ce système est mis à la disposition de notre partenaire industriel pour la conception de T-shirts en maille et la caractérisation de la notion de bien-être dans les produits de l'entreprise.*

## 4.1 Introduction

Dans ces dernières années, les consommateurs ont accordé plus d'attention aux aspects émotionnels des produits. Les concepteurs utilisent de plus en plus d'outils caractérisant les émotions des consommateurs dans le processus de conception. Les phrases et les images sont largement utilisées pour explorer les processus cognitifs et émotionnels des consommateurs sur de nouveaux produits [YAMAOKA, 2010], [SOLVES, 2010], [DZOGANG, 2010]. LIU [2010] étudie comment intégrer la musique à la conception pour influencer l'émotion des

consommateurs. L'élaboration des scénarios est aussi largement utilisée par les concepteurs pour relier les concepts abstraits des consommateurs aux paramètres des produits concrets. TENG [2010] intègre le scénario de science fiction dans le développement d'un produit émotionnel. TSAI [2010] relie les perceptions humaines à des émotions dans les différents contextes.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur la modélisation du bien-être et de sa relation avec les composants de conception (toucher, style, couleur) afin d'identifier et de contrôler l'influence des caractéristiques des produits d'habillement par rapport aux critères du bien-être.

Dans la section suivante, nous étudions d'abord les relations entre les critères du bien-être.

## 4.2 Dissonances entre les critères du bien-être

Pour étudier la relation entre les critères du bien-être, nous les évaluons à l'aide d'un certain nombre d'images décrivant les ambiances correspondantes (cf. Annexe 1). Les images de chaque critère ont été soigneusement choisies par le département du marketing de l'entreprise pour que les évaluateurs puissent facilement comprendre les critères abstraits et complexes selon l'ambiance et les éléments concrets de conception dans ces images. La procédure d'évaluation est présentée dans la section 2.4.2.

### 4.2.1 Formalisation du problème

Soit  $T$  un ensemble de  $b$  critères du bien-être décrivant les produits de la même collection,  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b\}$ . Par exemple, le bien-être d'une collection de T-shirt peut être décrit par {chaleur, dynamisme, relaxation, protection}. En général, les critères du bien-être et leurs images d'ambiance associées sont prédéfinis par le département du marketing de l'entreprise.

Soit  $W_k$  un ensemble de  $h$  descripteurs concrets décrivant un critère du bien-être  $t_k$  (ex. : « été », « soleil », « plage » pour le critère « chaleur »),  $W_k = \{w_{k1}, \dots, w_{kh}\}$ .

Soit  $S$  un ensemble de  $n$  produits représentatifs d'une collection,  $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ .

Soit  $P$  un ensemble de  $m$  consommateurs évaluant les similarités entre les produits  $S$  et



les critères  $T, P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ .

Les notes d'évaluation fournies par chaque consommateur  $p_r$  constitue une matrice, notée  $\tilde{X}_r = (\tilde{x}_{irk})_{n \times b}$ , dans laquelle  $\tilde{x}_{irk}$  représente la note d'évaluation linguistique du produit  $s_i$  par rapport au critère  $t_k$ , fournie par le consommateur  $p_r$ . Ces notes d'évaluation du produit  $s_i$  par rapport au critère  $t_k$  prennent des valeurs dans l'ensemble  $\{CD : \text{complètement différent}, PP : \text{un peu proche}, P : \text{proche}, TP : \text{très proche}, I : \text{identique}\}$ .

Pour calculer la moyenne des notes des consommateurs, 5 valeurs linguistiques sont transformées dans l'intervalle  $[0, 1]$ , soit  $CD : 0, PP : 0,25, P : 0,5, TP : 0,75, I : 1$ . C'est un choix de transformation des valeurs linguistiques en valeurs numériques.

$$x_{ik} = \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m x_{irk} \quad (4-1)$$

$x_{ik}$  peut être considéré comme degré de similarité du produit  $s_i$  par rapport au critère  $t_k$  donné par l'ensemble des consommateurs et utilisé pour vérifier si ce critère du bien-être est pertinent. Sa valeur varie aussi entre 0 et 1. 0 signifie que le produit  $s_i$  est éloigné du critère  $t_k$ . 1 signifie que  $s_i$  est complètement pertinent à  $t_k$ . En pratique, un produit est souvent influencé par plusieurs critères du bien-être et nous avons donc  $\sum_{k=1}^b x_{ik} \geq 1$ . Par exemple, un produit d'habillement peut être « sportif » et « décontracté » en même temps.

Dans l'espace marketing, un produit  $s_i$  peut être caractérisé par un vecteur caractéristique, noté  $X_i = (x_{i1} \dots x_{ib})^T$ .

#### 4.2.2 Analyse de l'inclusion des informations pour les critères du bien-être

En général, il existe toujours des chevauchements entre les critères complexes de bien-être tel que le dynamisme et la relaxation. Lors de l'évaluation, les consommateurs ont souvent des confusions pour des critères assez proches.

Nous calculons le coefficient de recouvrement  $CR_{kl}$  entre les deux critères  $t_k$  et  $t_l$

$$CR_{kl} = \frac{nb(W_k \cap W_l)}{nb(W_k \cup W_l)} \quad (4-2)$$

Le coefficient de recouvrement est le ratio du nombre des descripteurs concrets en commun au nombre total des descripteurs concrets couvrant ces deux critères. Plus  $CR_{kl}$  est proche de 1, plus ces deux critères sont synonymes. Plus  $CR_{kl}$  est proche de 0, plus ces deux

critères sont indépendants. En fait, cet indice caractérise la compréhension des critères au niveau conceptuel. Les produits concrets ne sont pas pris en compte dans cette définition. Cet indice permet d'ajuster ou de définir les critères du bien-être de façon optimale et d'entraîner les évaluateurs pour évaluation des produits concrets. Les meilleurs critères du bien-être doivent être bien distingués entre eux et faciles à comprendre pour les consommateurs.

Pour caractériser un critère complexe de bien-être tel que le dynamisme et la relaxation, il faut tenir en compte de sa complexité interne et son extension. En général, il ne faut pas le considérer comme un point simple. Ainsi, il est logique de penser que la dissonance au sein d'un critère du bien-être est supérieure à 0. Si la dissonance au sein d'un critère du bien-être est faible par rapport aux valeurs de dissonance avec les autres critères, cette définition est raisonnable.

Basées sur le résultat d'évaluation de la similarité des produits par rapport aux critères du bien-être dans la section 2.4.3, la dissimilarité entre un produit et un critère et la dissonance entre deux différents critères du bien-être sont définies ci-dessous [ZENG, 2010].

La dissimilarité entre un produit  $s_i$  et un critère  $t_k$  peut être représentée par  $D_{marketing}(s_i, t_k) = 1 - x_{ik}$ .

Ensuite, nous définissons l'exclusion du critère du bien-être  $t_k$  par rapport au critère du bien-être  $t_l$  de la façon suivante :

$$\begin{aligned} I(t_k, t_l) &= \sum_{s_i \in S} x_{ik} \cdot D_{marketing}(s_i, t_l) / \sum_{s_i \in S} x_{ik} \\ &= \sum_{s_i \in S} x_{ik} \cdot (1 - x_{il}) / \sum_{s_i \in S} x_{ik} = 1 - \sum_{s_i \in S} x_{ik} \cdot x_{il} / \sum_{s_i \in S} x_{ik} \end{aligned} \quad (4-3)$$

Si  $\sum_{s_i \in S} x_{ik} \cdot x_{il}$  est proche de 0, cela signifie que les produits proches du critère  $t_k$  sont éloignés du critère  $t_l$  et qu'il y a peu de produits appartenant à  $t_k$  et à  $t_l$  en même temps. Dans ce cas, la valeur d'exclusion  $I(t_k, t_l)$  est proche de 1. Cela correspond bien à la définition de ce critère, soit une grande valeur de  $I(t_k, t_l)$  signifie que  $t_l$  exclut  $t_k$ . De la même manière, si  $\sum_{s_i \in S} x_{ik} \cdot x_{il}$  est une grande valeur, alors le rapport  $\sum_{s_i \in S} x_{ik} \cdot x_{il} / \sum_{s_i \in S} x_{ik}$  devra être proche de 1 et la valeur de  $I(t_k, t_l)$  sera proche de 0. Ceci signifie que les deux critères  $t_k$  et  $t_l$  possèdent beaucoup de produits en commun et que  $t_l$  inclut  $t_k$ .

Un cas particulier est donné ci-dessous. Si les juges ne donnent qu'une réponse sûre pour chaque critère et chaque produit, soit  $x_{ik}=1$  ou 0 pour tout  $i$  et  $k$ , alors  $I(t_k, t_l) = 1 - (\text{le nombre de produits appartenant à } t_k \text{ et } t_l \text{ en même temps}) / (\text{le nombre de produits appartenant à } t_k)$ . Ceci

est conforme à la définition classique de l'exclusion (inclusion) de deux ensembles. Dans ce cas, si  $I=0$ , tous les produits de  $t_k$  appartiennent à  $t_l$ . Si  $I(t_k, t_l)=1$ , aucun produit de  $t_k$  n'appartient à  $t_l$ .

Une valeur non nulle de  $I(t_k, t_l)$  est liée au fait que l'appartenance des produits à un critère est incertaine. Si les degrés d'appartenance sont tous très faibles, cette définition n'est pas significative. Pourtant, dans la pratique, il existe toujours des produits représentatifs proches de chaque critère. Ainsi, cette définition est applicable.

Une concordance entre  $t_k$  et  $t_l$  signifie que  $t_k$  inclut  $t_l$  et  $t_l$  inclut  $t_k$  en même temps. Selon ce principe, la dissonance entre deux critères du bien-être  $t_k$  et  $t_l$  est alors définie par

$$D_{marketing}(t_k, t_l) = \max\{I(t_k, t_l), I(t_l, t_k)\} \quad (4-4)$$

Les critères du bien-être  $t_k$  et  $t_l$  sont proches si leur dissonance est faible. De la même façon, ils sont très éloignés si leur dissonance est grande. Cette dissonance caractérise la relation entre les critères du bien-être au niveau expérimental.

### 4.2.3 Résultats

Les méthodes proposées dans la section précédente ont été validées par un exemple pratique d'évaluation et de conception de T-shirts. Les critères ( $b=6$ ) et les échantillons de T-shirt ( $n=11$ ) ont été choisis dans les sections 2.4.1 et 2.4.3. 20 consommateurs évaluent les similarités des produits par rapport aux critères du bien-être. La liste des termes associés à chaque critère du bien-être est présentée dans l'Annexe 12. Les notes moyennes de chaque produit par rapport à l'ensemble des critères sont fournies dans l'Annexe 14.

Selon l'équation 4-2, nous pouvons calculer le coefficient de recouvrement pour les 6 critères du bien-être (cf. le Tableau 4-1).

Tableau 4-1 Coefficient de recouvrement pour les 6 critères du bien-être

$CR_{kl}$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
$t_1$	/					
$t_2$	0,13	/				
$t_3$	0,43	0,21	/			
$t_4$	0,38	0,23	0,21	/		
$t_5$	0,55	0,04	0,16	0,11	/	
$t_6$	0,28	0,34	0,28	0,20	0,06	/

Nous pouvons constater que les critères  $t_1$  et  $t_5$  sont un peu plus proches tandis que les autres critères sont relativement éloignés entre eux. Pour que les consommateurs distinguent

bien ces critères dans la suite des évaluations (les similarités entre les produits et les critères du bien-être), nous avons organisé une discussion collective entre les consommateurs avant chaque séance d'évaluation afin de les aider à comprendre les différences entre ces critères.

Dans l'espace des produits, nous calculons les dissonances utilisant l'équation 4-4 et obtenons les résultats suivants à partir des 11 produits d'apprentissage (cf. Tableau 4-2).

Nous pouvons constater que les dissonances internes au sein des critères du bien-être  $t_1$ ,  $t_5$  et  $t_6$  (sur la ligne diagonale) sont relativement faibles que les dissonances entre les différents critères. Cela signifie que les produits représentatifs pour chaque critère sont assez proches. Pourtant, ces valeurs de dissonance ne sont pas proches de 0. En fait, il existe des différences entre les produits représentant un même critère. Il existe également des chevauchements entre des différents critères du bien-être.

Tableau 4-2 Dissonances des critères du bien-être

$D_{marketing}(t_k, t_l)$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
$t_1$	0,29					
$t_2$	0,55	0,44				
$t_3$	0,42	0,48	0,41			
$t_4$	0,69	0,38	0,55	0,38		
$t_5$	0,33	0,53	0,43	0,66	0,34	
$t_6$	0,51	0,45	0,43	0,48	0,48	0,35

Pour les différents critères du bien-être,  $t_1$  et  $t_2$ ,  $t_1$  et  $t_4$ ,  $t_3$  et  $t_4$ ,  $t_4$  et  $t_5$  sont relativement éloignés l'un de l'autre ( $D_{marketing}(t_k, t_l) > 0,55$ ).  $t_1$  et  $t_5$  sont relativement proches entre eux ( $D_{marketing}(t_k, t_l) \leq 0,33$ ). Ces résultats, issus des données expérimentales des produits, sont assez proches de ceux du Tableau 4-1, obtenus par des observations conceptuelles des consommateurs sur les images d'ambiance.

### 4.3 Préviation du bien-être des consommateurs selon les caractéristiques sensorielles des produits

La sélection d'étoffes est très importante pour l'industrie de l'habillement. Traditionnellement, les concepteurs choisissent une matière appropriée en utilisant leurs

connaissances et leur expérience. Les paramètres physiques ainsi que les descripteurs sensoriels basiques sont souvent utilisés pour la sélection d'étoffes. La perception et la préférence des consommateurs dans un contexte socio-culturel spécifique influencent fortement la conception de produits d'habillement. Ainsi, la modélisation de la relation entre les descripteurs sensoriels basiques et les critères du bien-être perçus par les consommateurs devient très significative. La pertinence des descripteurs sensoriels à un critère du bien-être est en fait souvent considérée comme l'un des éléments les plus importants pour améliorer l'image véhiculée par la marque de produits. Dans la conception d'un produit d'habillement, la conformité de perception entre les produits et leur image véhiculée par la marque améliore la fidélité des consommateurs sur la marque et réduit le risque et le coût de la conception pour l'entreprise.

La relation entre les descripteurs sensoriels basiques et un critère du bien-être spécifique peut être considérée comme un système complexe dans lequel les descripteurs sensoriels et le critère du bien-être sont pris comme variables d'entrée et de sortie respectivement (cf. Figure 4-1). Ces variables d'entrée et de sortie du modèle peuvent être considérées comme des relations floues. En particulier, chaque variable de sortie correspond à une distribution des évaluations des consommateurs sur cinq valeurs linguistiques. Dans cette situation, la procédure de modélisation peut être réalisée par une série d'opérations sur les relations floues et les ensembles flous [ZADEH, 1999], [ZADEH, 2001], [ZADEH, 2005] et les opérations d'agrégation [DUBOIS, 2004], [BOUCHON-MEUNIER, 1998]. Ce modèle [ZHU, 2010b], [ZHU, 2010d] permet aux concepteurs de trouver les descripteurs sensoriels basiques les plus pertinents pour un critère du bien-être prédéfini et de prévoir le degré de similarité d'un nouveau produit par rapport à ce critère du bien-être afin de fabriquer le prototype le plus approprié.

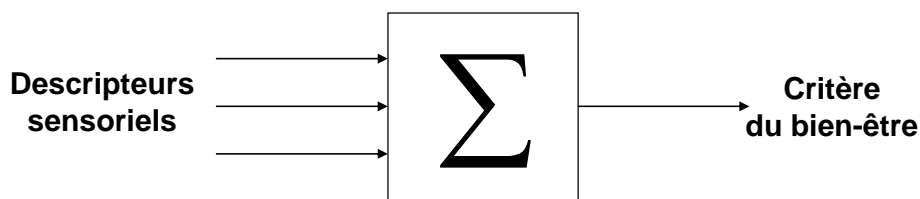


Figure 4-1 Relation entre les descripteurs sensoriels et un critère du bien-être

### 4.3.1 Formalisation des données

Nous utilisons les notions définies dans la section 4.2.1 pour réaliser cette modélisation. Ces notions comprennent les critères du bien-être  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b\}$ , les produits représentatifs à évaluer  $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ , les consommateurs  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , et les similarités moyennes  $x_{ik}$  du produit  $s_i$  par rapport au critère  $t_k$ .

Soit  $A = \{a_1, \dots, a_d\}$  un ensemble de  $d$  descripteurs sensoriels basiques décrivant la collection précédente de produits. Par exemple, une étoffe est décrite par « souple », « épais » et « glissant ».

Soit  $R(s_i, a_j) = (e_{ij})_{n \times p}$ , une matrice de similarité pour tous les produits  $S$  sur les descripteurs sensoriels  $A$ , où  $e_{ij}$  est la note moyenne normalisée de la similarité du produit  $s_i$  par rapport au descripteur  $a_j$ . La similarité du produit  $s_i$  par rapport au descripteur  $a_j$  est évaluée par les panélistes entraînés (cf. Section 2.4.1). Chaque  $e_{ij}$  varie entre 0 et 1. 1 signifie que  $s_i$  est tout à fait pertinent à  $a_j$ . 0 signifie que  $s_i$  n'est pas du tout pertinent à  $a_j$ . Nous considérons que la différence entre ces panélistes entraînés est très faible, car ils ont des connaissances similaires sur les produits évalués.

Pour tous les consommateurs, nous obtenons une distribution statistique sur les cinq valeurs linguistiques (cf. section 4.2.1) pour l'ensemble des résultats d'évaluation obtenus (cf. Section 2.4.3). Dans ce cas, la relation entre le critère du bien-être  $t_k$  et l'étoffe  $s_i$  est exprimée par un ensemble flou défini sur l'ensemble  $\{F_1 = \text{complètement différent}, F_2 = \text{un peu proche}, F_3 = \text{proche}, F_4 = \text{très proche}, F_5 = \text{identique}\}$ , nous avons  $\tilde{X}_{ik} = \left( \frac{N(F_1)}{m} \quad \frac{N(F_2)}{m} \quad \dots \quad \frac{N(F_5)}{m} \right)$ , où  $N(F_q)$  est le nombre d'évaluateurs qui sélectionnent  $F_q$  lors de l'évaluation. Evidemment, la somme de tous les composants  $\tilde{X}_{ik}$  est de 1. Pour simplifier la procédure de calcul, nous transformons les valeurs linguistique  $F_1, \dots, F_5$  en valeurs numériques  $Num(F_q)$ , réparties uniformément dans  $[0, 1]$  :  $Num(F_1) = 0$ ,  $Num(F_2) = 0,25$ ,  $Num(F_3) = 0,5$ ,  $Num(F_4) = 0,75$ ,  $Num(F_5) = 1$ . Cette définition est conforme à la formalisation des variables floues dans de nombreuses applications réelles. D'autres choix pour les valeurs numériques de  $F_q$  peuvent également être acceptables, mais la tendance générale des résultats finaux est similaire. Dans cette situation, deux exemples de la similarité d'une étoffe par rapport à un critère du bien-être sont illustrés Figure 4-2. Les pics sont les maximums locaux de la distribution.

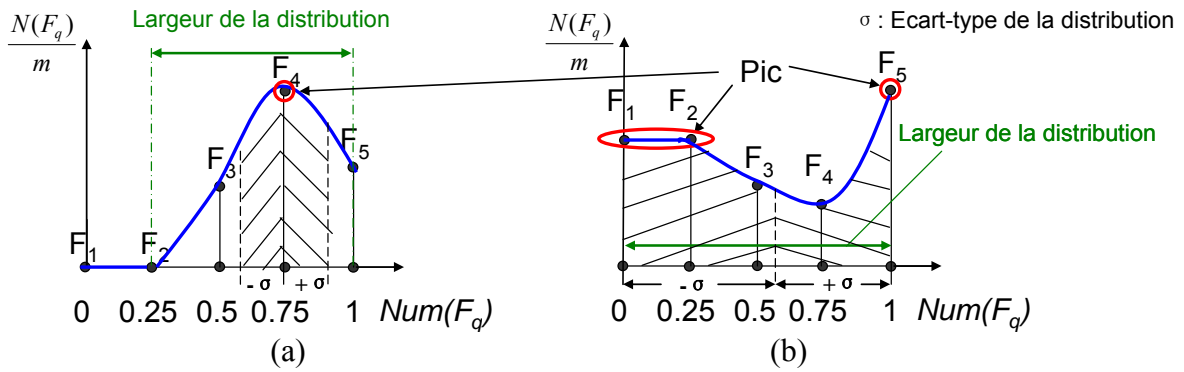


Figure 4-2 Deux ensembles flous décrivant la relation entre  $t_k$  et  $s_i$

La performance de  $\tilde{X}_{ik}$  se caractérise par la distribution correspondante. Les principes suivants doivent être pris en compte. 1) S’il existe plus d’un pic dans la distribution de  $\tilde{X}_{ik}$ , les résultats d’évaluation des différents consommateurs sont diversifiés et la relation entre le critère  $t_k$  et l’étoffe  $s_i$  ne peut pas être clairement identifiée par les consommateurs. Sinon, toutes les données d’évaluation sont centrées sur un pic et les consommateurs partagent leurs avis sur la relation entre  $t_k$  et  $s_i$ . 2) Si la largeur de la distribution des  $\tilde{X}_{ik}$  est petite, alors les résultats d’évaluation pour tous les consommateurs sont plus concentrés et il y a moins de dispersion des avis. Sinon, la dispersion des avis est plus importante. En fait, ces deux principes sont similaires entre eux et le dernier est le raffinement du premier. Par exemple, il y a un pic dans la Figure 4-2 (a) et deux pics dans la Figure 4-2 (b). La largeur de la distribution de Figure 4-2 (a) est plus petite que celle de Figure 4-2 (b). Ainsi, les résultats de l’évaluation de Figure 4-2 (a) sont plus concentrés et plus fiables que ceux de Figure 4-2 (b).

Selon les principes ci-dessus, nous définissons deux critères de performance de l’étoffe  $s_i$  par rapport au critère du bien-être  $t_k$

$$V_{1ik} = N\_peak(\tilde{X}_{ik}) \text{ et } V_{2ik} = Var(\tilde{X}_{ik}) = \sigma^2 \tag{4-5}$$

$N\_peak(\tilde{X}_{ik})$  et  $Var(\tilde{X}_{ik})$  correspondent au nombre de pics et à la variance de la distribution de  $\tilde{X}_{ik}$  respectivement.

Ces critères de performance sont importants dans le calcul suivant, car ils caractérisent le niveau de compréhension de la relation entre l’étoffe  $s_i$  et le critère  $t_k$ . La performance du critère  $t_k$  peut être évaluée par la moyenne des valeurs de performance correspondant à toutes les étoffes. Nous avons

$$V_{1k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{1ik} \text{ et } V_{2k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{2ik} \tag{4-6}$$

Les faibles valeurs de  $V_{1k}$  et  $V_{2k}$  signifient que la relation entre le critère du bien-être  $t_k$  et toutes les étoffes est plus compréhensible pour les consommateurs et la définition de  $t_k$  est plus pertinente. Sinon, le critère du bien-être  $t_k$  est moins pertinent pour la compréhension des consommateurs.

Par exemple, 10 consommateurs évaluent la relation entre les deux échantillons  $s_1$  et  $s_2$  et deux critères du bien-être  $t_1$  « chaleur » et  $t_2$  « dynamique ». Et les consommateurs prennent des valeurs à partir de  $\{CD, PP, P, TP, I\}$ . Les valeurs floues correspondantes sont indiquées dans le Tableau 4-3.

Tableau 4-3 Répartition des produits similaires aux critères du bien-être (en pourcentage)

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$
$\tilde{X}_{11}$	0	0	10	20	70
$\tilde{X}_{21}$	20	60	10	10	0
$\tilde{X}_{12}$	30	20	20	10	20
$\tilde{X}_{22}$	30	20	10	30	10

D'après les résultats ci-dessus, les notes d'évaluation entre le critère du bien-être  $t_1$  et l'étoffe  $s_1$  sont concentrées autour de  $F_5$  et celles de  $t_1$  et  $s_2$  sont concentrées autour de  $F_2$ . Nous considérons que la relation entre  $t_1$  et ces deux échantillons est clairement définie, car il existe un seul pic dans la distribution de  $\tilde{X}_{11}$  et de  $\tilde{X}_{21}$ . En outre, la relation entre  $t_2$  et ces deux échantillons n'est pas clairement identifiée par les consommateurs, car les distributions correspondantes ( $\tilde{X}_{12}$  et  $\tilde{X}_{22}$ ) comprennent deux pics.

Ensuite, les valeurs de  $V_{1k}$  et de  $V_{2k}$  sont calculées et présentées Tableau 4-4. La relation entre le critère du bien-être  $t_1$  et les étoffes est plus facile à identifier par les consommateurs que celle entre  $t_2$  et les étoffes, car la distribution des résultats des consommateurs est concentrée sur un seul pic ( $V_{1k} = 1$ ) et la variance des résultats de la distribution est petite (faible valeur de  $V_{2k}$ ).

Tableau 4-4 Les valeur de performance des critères du bien-être

	$t_1$	$t_2$
$V_{1k}$	1	2
$V_{2k}$	0,05	0,1



### 4.3.2 Similarité entre les descripteurs sensoriels et les critères du bien-être par utilisation des relations floues

Un critère de similarité du produit  $s_i$  par rapport à un critère du bien-être spécifique  $t_k$  peut être obtenue par

$$R(s_i, t_k) = \sum_{q=1}^5 \frac{N(F_q)}{m} * Num(F_q) \quad (4-7)$$

où  $Num(F_q)$  est la valeur numérique de similarité pour  $F_q$ .

En fait, c'est la moyenne des degrés de similarité numérique retournés par tous les consommateurs en utilisant les cinq valeurs linguistiques ( $F_q$ ).

Les similarités des produits par rapport aux descripteurs  $R(s_i, a_j)$  et celles des produits par rapport aux critères du bien-être  $R(s_i, t_k)$  que nous obtenons selon les procédures d'évaluation sont décrites dans les sections 2.4.1 et 2.4.3. Ces similarités peuvent être considérées comme des relations floues. Comme il n'y a pas de mesure directe sur la relation entre  $a_j$  et  $t_k$ , nous établissons le degré de similarité entre eux par l'intermédiaire des produits.

Nous considérons que le descripteur sensoriel  $a_j$  est proche de  $t_k$  s'il existe au moins un produit  $s_i$  qui est proche de  $a_j$  et de  $t_k$  en même temps, et que  $a_j$  est éloigné de  $t_k$  s'il n'y a aucun produit proche de  $a_j$  et de  $t_k$  en même temps. Sous cette hypothèse, la relation entre  $R(s_i, a_j)$  et  $R(s_i, t_k)$  est un t-norme (intersection) et la relation entre les différents produits  $S$  est un t-conorme (union). Comme dans de nombreuses applications existantes [NAKOULA, 1997], [WEBER, 1999], nous interprétons respectivement les relations t-norme et t-conorme par le minimum et le maximum.

Selon les principes des relations floues [WANG, 2009], la similarité d'un descripteur sensoriel  $a_j$  par rapport au critère du bien-être  $t_k$  peut être définie par

$$R(a_j, t_k) = \bigvee_{i=1}^n (R(s_i, a_j) \wedge R(s_i, t_k)) \quad (4-8)$$

La valeur de  $R(a_j, t_k)$  varie entre 0 et 1. Plus  $R(a_j, t_k)$  est proche de 1, plus le descripteur sensoriel  $a_j$  est pertinent par rapport au critère du bien-être  $t_k$ , et inversement.

A titre d'exemple, supposons que nous avons deux étoffes  $s_1, s_2$ , deux descripteurs sensoriels  $a_1, a_2$ , et deux critères du bien-être  $t_1, t_2$ . Les relations floues  $R(s_i, a_j)$  et  $R(s_i, t_k)$  (les valeurs de similarité) ont été obtenues à partir des évaluations des experts et des consommateurs respectivement (cf. Tableau 4-5).

Tableau 4-5 Relation entre  $R(s_i, a_j)$ ,  $R(s_i, t_k)$  et  $R(a_j, t_l)$ 

$R(a_j, s_i)$	$s_1$	$s_2$	$R(s_i, t_k)$	$t_1$	$t_2$
$a_1$	0,3	0,7	$s_1$	0,1	0,7
$a_2$	0,3	0,8	$s_2$	0,9	0,3

$R(a_j, t_k)$	$t_1$	$t_2$
$a_1$	0,7	0,3
$a_2$	0,8	0,3

Selon le Tableau 4-5, bien que l'étoffe  $s_1$  ait de faibles valeurs de similarité par rapport au descripteur sensoriel  $a_1$  et par rapport au critère du bien-être  $t_1$ ,  $R(a_1, t_1)$  est assez grand en raison des grandes valeurs de  $R(s_2, a_2)$  et  $R(s_2, t_1)$ . Ainsi, la similarité d'un descripteur sensoriel par rapport à un critère du bien-être doit être obtenue par la combinaison des valeurs de similarité de l'ensemble des étoffes par rapport au descripteur sensoriel et celles par rapport au critère du bien-être concernés.

Dans notre procédure d'évaluation sensorielle, chaque descripteur sensoriel résume un ensemble de termes similaires mais opposés. A titre d'exemple, « Epais », « Sec » et « Doux » représentent respectivement « Epais-Fin », « Sec-Humide » et « Doux-Rêche ». Chaque terme qui a une influence négative par rapport à un critère du bien-être est remplacé par son antonyme. Dans cette situation, pour simplifier, nous n'étudions que les descripteurs sensoriels pertinents qui ont tous une influence positive sur le critère du bien-être. Le critère du bien-être est considéré comme une combinaison linéaire de ces descripteurs sensoriels pertinents.

Par conséquent, nous calculons le coefficient de corrélation linéaire entre  $R(s_i, a_j)$  et  $R(s_i, t_k)$  afin d'identifier si le descripteur et le critère sont corrélés positivement. Si l'influence d'un descripteur est négative sur le critère, nous remplaçons la similarité des produits par rapport à ce descripteur  $R(s_i, a_j)$  par la similarité des produits par rapport à son antonyme  $R(s_i, a'_j) = 1 - R(s_i, a_j)$  dans l'équation 4-8.

### 4.3.3 Elimination des corrélations entre les descripteurs sensoriels

Pour chaque paire de descripteurs sensoriels, notées  $a_z$  et  $a_j$ , nous calculons leur coefficient de corrélation linéaire, noté  $r_{z,j}$ .

Ensuite, nous proposons une procédure pour éliminer les descripteurs sensoriels fortement corrélés avec les autres. Le principe de cette procédure est illustré ci-dessous.

Nous classons tous les descripteurs sensoriels en fonction de leurs similarités avec le critère  $t_k$ , calculées suivant l'équation 4-8.

Si  $R(a_z, t_k) > \gamma$  et  $\max_{j \neq z} |r_{z,j}| < \delta$ , alors le descripteur  $a_z$  est pertinent à  $t_k$ .

Si  $R(a_z, t_k) > R(a_j, t_k) > \gamma$  et  $|r_{z,j}| > \delta$ , alors le descripteur  $a_j$  est pertinent à  $t_k$  et, en même temps, fortement corrélé avec  $a_z$ , qui est encore plus pertinent à  $t_k$ , et  $a_j$  doit être retiré de la liste des descripteurs sensoriels.

Si  $R(a_z, t_k) < \gamma$ , alors le descripteur  $a_z$  n'est pas pertinent à  $t_k$ , et il doit être retiré de la liste des descripteurs sensoriels.

$\gamma$  représente le seuil de pertinence pour les degrés de similarité d'un descripteur sensoriel par rapport à un critère du bien-être.  $\delta$  est le seuil de redondance pour les coefficients de corrélation entre deux descripteurs sensoriels. Ces valeurs sont définies par les experts en fonction de l'application réelle. Si les concepteurs souhaitent obtenir des descripteurs fortement pertinents au critère du bien-être désiré, ils doivent affecter une grande valeur à  $\gamma$ . S'ils souhaitent obtenir des descripteurs moins corrélés entre eux, ils doivent donner une faible valeur à  $\delta$ . Selon ce principe, les descripteurs obtenus sont moins corrélés entre eux et pertinents au critère du bien-être désiré. Par exemple, pour la conception d'un nouveau produit de protection, nous pouvons définir les seuils  $\gamma=0,85$  et  $\delta=0,4$  pour choisir les descripteurs fortement pertinents par rapport au critère « protection » et moins corrélés entre eux.

#### 4.3.4 Modélisation de la relation entre les descripteurs sensoriels et le critère du bien-être

Selon les règles définies dans la section 4.3.3, nous obtenons  $g$  descripteurs sensoriels  $a_1, \dots, a_g$  pertinents à  $t_k$ . Nous supposons que ces descripteurs sont déjà classés dans un ordre décroissant selon leurs degrés de similarité par rapport à  $t_k$ , calculés par l'équation 4-8. Ensuite, nous voulons déterminer les poids correspondants, noté  $U = (u_{1k}, \dots, u_{gk})$  pour exploiter au mieux l'importance de chaque descripteur et fusionner ces descripteurs plus raisonnablement.

Les rangs des descripteurs ordonnés sont utilisés pour définir les poids dans la prédiction de la similarité d'un nouveau produit par rapport à  $t_k$ . Ces poids sont définis selon les principes suivants : 1) Si la similarité du descripteur  $a_j$  par rapport au critère  $t_k$  est grande ou seulement le rang de cette similarité dans le classement est élevé, alors le poids correspondant est grand. Sinon, ce poids est faible. 2) Si deux valeurs de similarité voisines ont le même rang dans le classement, leurs poids doivent être identiques. En notant les rangs des valeurs de similarité classées par un vecteur  $O = (o_{1k}, o_{2k}, \dots, o_{gk}) = (g, g-1, \dots, 1)$ , nous calculons les poids correspondants selon les principes précédents.

$$u_{jk} = \begin{cases} o_{jk} & R(a_j, t_k) \neq R(a_{j+1}, t_k) \\ \frac{o_{jk} + o_{(j+1)k}}{2} & R(a_j, t_k) = R(a_{j+1}, t_k) \end{cases} \quad (4-9)$$

Par exemple, les valeurs de similarité de quatre descripteurs par rapport à  $t_1$  sont : 0,8, 0,7, 0,7 et 0,6. Le vecteur des rangs pour ces valeurs est :  $O = (4, 3, 2, 1)$ . En utilisant l'équation 4-9, nous obtenons les poids pour ces 4 descripteurs classés : 4, 2,5, 2,5, 1. Les différences entre les valeurs de similarités spécifiques des différents descripteurs ne sont pas significatives. Dans cette situation, le poids défini précédemment permet de renforcer l'importance de chaque rang pour que chaque descripteur soit mieux différencié de l'autre.

Ensuite, nous normalisons le poids  $u_{jk}$  par

$$\tilde{u}_{jk} = \frac{u_{jk}}{\sum_{j=1}^g u_{jk}} \quad (4-10)$$

Après la normalisation, nous obtenons  $\sum_{j=1}^g \tilde{u}_{jk} = 1$ .

Nous considérons que la similarité d'un produit par rapport à un critère spécifique peut être exprimée par la moyenne pondérée des valeurs de similarité de ce produit par rapport à tous les descripteurs sensoriels pertinents. Dans cette situation, nous avons

$$R'(s_i, t_k) = \sum_{j=1}^g \tilde{u}_{jk} R(s_i, a_j) \quad (4-11)$$

où  $R'(s_i, t_k)$  est la valeur de similarité prévue de  $s_i$  par rapport à  $t_k$ .

Pour un nouveau produit  $s$ , sa similarité avec  $t_k$  peut être exprimée par une combinaison linéaire de ses similarités avec toutes ses similarités avec les descripteurs sensoriels pertinents  $a_j$  ( $j=1, \dots, g$ ), pondérées par les rangs de ces descripteurs (niveaux de pertinence ou similarité par rapport à  $t_k$ ). Nous avons

$$R'(s, t_k) = \sum_{j=1}^g \tilde{u}_{jk} R(s, a_j) \quad (4-12)$$

où  $s$  représente le nouveau produit et  $R(s, a_j)$  est obtenue par une évaluation sensorielle classique présentée dans la section 2.4.1. Plus le poids  $\tilde{u}_{jk}$  est grand, plus un descripteur sensoriel  $a_j$  est pertinent par rapport à  $t_k$ . Cela signifie que ce descripteur  $a_j$  joue un rôle plus important dans la prédiction de  $R'(s, t_k)$ . Plus  $\tilde{u}_{jk}$  est petit, moins  $a_j$  est important pour la prédiction de  $R'(s, t_k)$ .

De cette façon, pour un nouveau produit, nous pouvons facilement estimer sa similarité par rapport à un critère du bien-être spécifique à partir des résultats des évaluations sensorielles correspondants pour les descripteurs pertinents.

Dans la pratique, pour que le degré de similarité d'un nouveau produit par rapport à  $t_k$ , calculé à partir de l'équation 4-12, soit comparatif de la valeur réelle correspondante, issue de l'évaluation des consommateurs, nous transformons  $R(s, t_k)$  et sa valeur prévue  $R'(s, t_k)$  sur une échelle identique. Par conséquent, nous obtenons d'abord  $R'(s, t_k)$  normalisé sur l'échelle de  $[0, 1]$  à l'aide de  $\frac{R'(s, t_k) - \min_i(R'(s_i, t_k))}{\max_i(R'(s_i, t_k)) - \min_i(R'(s_i, t_k))}$ . Ensuite, nous le transformons sur l'échelle des

degrés de similarité réels par

$$R_{pre}(s, t_k) = \min_i(R(s_i, t_k)) + (\max_i(R(s_i, t_k)) - \min_i(R(s_i, t_k))) \cdot \frac{R'(s, t_k) - \min_i(R'(s_i, t_k))}{\max_i(R'(s_i, t_k)) - \min_i(R'(s_i, t_k))} \quad (4-13)$$

où  $i \in [1, \dots, n]$ ,  $k \in [1, \dots, b]$

Dans l'équation 4-13,  $R_{pre}(s, t_k)$  peut être considéré comme une estimation de la similarité réelle du nouveau produit  $s$  par rapport au critère du bien-être  $t_k$ .

Plus la valeur de  $R_{pre}(s, t_k)$  est proche de 1, plus le nouveau produit  $s$  est pertinent au critère du bien-être  $t_k$ . Sinon,  $s$  n'est pas pertinent à  $t_k$ .

Cette procédure de modélisation peut se résumer en cinq étapes :

Étape 1 : Vérifier la performance des critères du bien-être à l'aide des équations 4-5 et 4-6.

Étape 2 : Calculer les degrés de similarité des descripteurs sensoriels par rapport aux critères du bien-être à l'aide des équations 4-7 et 4-8.

Étape 3 : Sélectionner les descripteurs sensoriels pertinents et les moins corrélés entre eux par rapport à un critère spécifique du bien-être en utilisant la procédure de la section 4.3.3.

Étape 4 : Calculer le degré de similarité d'un nouveau produit par rapport au critère du bien-être à l'aide d'une procédure d'agrégation des descripteurs avec des poids pondérés en utilisant les équations 4-9, 4-10, 4-11, 4-12.

Étape 5 : Transformer le degré de similarité normalisé obtenu dans l'étape 4 sur l'échelle des degrés de similarité réels en utilisant l'équation 4-13.

### 4.3.5 Un exemple d'application

La méthode proposée est appliquée à une application réelle d'une entreprise. Six critères du bien-être ont été sélectionnés pour décrire l'image véhiculée par la marque correspondant (cf. Annexe 1) et 11 étoffes ont été choisies (cf. Section 2.4.3) pour une évaluation sensorielle du toucher. 13 descripteurs sensoriels ont été générés et utilisés pour évaluer ces produits. 20 consommateurs accordent des degrés de similarité entre les étoffes et les critères du bien-être. Les résultats d'évaluation des experts sur les 11 étoffes avec 13 descripteurs sensoriels sont donnés dans l'Annexe 21, et la distribution des similarités des produits par rapport aux six critères du bien-être sont présentées dans l'Annexe 22.

Nous suivons les étapes de la procédure de modélisation décrite précédemment pour calculer les différents critères.

#### *Étape 1 : Vérification de la performance des critères du bien-être*

Premièrement, nous calculons la performance des critères du bien-être (cf. Tableau 4-6) à l'aide des équations 4-5 et 4-6. Nous pouvons constater que pour chaque critère, il y a un seul pic dans la distribution des notes d'évaluation, et la variance de la distribution est faible. Tous les critères du bien-être sont bien compris par les consommateurs.

Tableau 4-6 Les critères de la performance des critères du bien-être

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
$V_{1k}$	1	1	1	1	1	1
$V_{2k}$	0,08	0,10	0,10	0,08	0,07	0,08

#### *Étape 2 & 3 : Sélectionner les descripteurs pertinents à un critère du bien-être donné.*

Nous calculons les coefficients de corrélation entre les descripteurs et le critère  $t_1$  et les présentons dans l'Annexe 23. Les descripteurs  $a_4$ ,  $a_6$ ,  $a_8$ ,  $a_9$  et  $a_{13}$  ont une influence négative sur le critère  $t_1$  (coefficients de corrélation linéaire  $<0$ ). Nous remplaçons les degrés de

similarité des produits par rapport à ces descripteurs par les degrés de similarité par rapport à leurs antonymes correspondants:  $R(s_i, a'_j) = 1 - R(s_i, a_j)$ .

Ensuite, nous calculons la similarité de tous les descripteurs par rapport à  $t_1$  à l'aide d'équation 4-8. Dans le Tableau 4-7, nous présentons le résultat des descripteurs sensoriels classés dans un ordre décroissant selon leurs valeurs de similarité par rapport au critère du bien-être  $t_1$ . Aussi, nous calculons les coefficients de corrélation pour toutes les paires de descripteurs puis éliminons de fortes corrélations entre eux, et présentons les résultats dans l'Annexe 23. Dans cet exemple, les seuils sont définis comme suit :  $\gamma = 0,7$  et  $\delta = 0,9$ .

Tableau 4-7 Degrés de similarité entre les descripteurs et le critère du bien-être  $t_1$

$a_j$	$a_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_5$	$a'_8$	$a'_9$	$a_7$	$a_{10}$	$a_3$	$a'_6$	$a'_4$	$a_2$	$a'_{13}$
$R(a_j, t_1)$	0,998	0,987	0,981	0,907	0,902	0,754	0,750	0,750	0,716	0,694	0,685	0,675	0,544

Par exemple, pour les descripteurs  $a_1$  et  $a_{11}$ , nous avons  $R(a_1, t_1) > R(a_{11}, t_1) > \gamma$  et  $cc_{11,1} = 0,95 > \delta$ . Puis,  $a_{11}$  est considéré comme le descripteur ayant une forte corrélation avec  $a_1$  et doit être retiré de la liste.

En utilisant la procédure de la section 4.3.3, nous obtenons la liste définitive des descripteurs pertinents. Ces descripteurs sont moins corrélés entre eux et classés selon leurs degrés de similarité à  $t_1$  (cf. Tableau 4-8). Nous constatons que  $a_1$ ,  $a_{12}$ ,  $a_7$ ,  $a_{10}$  et  $a_3$  sont plus pertinents à  $t_1$ .

Tableau 4-8 Liste définitive des descripteurs pertinents à  $t_1$

$a_j$	$a_1$	$a_{12}$	$a_7$	$a_{10}$	$a_3$
$R(a_j, t_1)$	0,998	0,981	0,750	0,750	0,716
$u_j$	5	4	2,5	2,5	1
$\tilde{u}_j$	0,33	0,27	0,17	0,17	0,07

*Étape 4 & 5 : Test de la performance du modèle sur les données d'apprentissage et prévision du degré de similarité d'une nouvelle étoffe à un critère du bien-être spécifique.*

Pour tester la performance du modèle proposé, nous calculons les degrés de similarité prédits à partir de 11 étoffes d'apprentissage à l'aide de l'équation 4-9, 4-10, 4-11, 4-12 et 4-13. Puis, nous comparons ces valeurs prédites avec les valeurs réelles (cf. Figure 4-3 et Figure 4-4). Selon la Figure 4-3, pour la plupart des produits (sauf  $p_4$  et  $p_5$ ), la valeur prédite est assez proche de la valeur réelle. L'erreur entre la sortie prévue du modèle et la sortie réelle (RMSE) est 0,07 pour l'ensemble des produits. Selon la Figure 4-4, la plupart des données sont autour de la droite ( $y=x$ ) et le coefficient de corrélation  $R^2=0,86$ . Cela signifie que la

méthode proposé a une bonne performance de prédiction sur les données d'apprentissage.

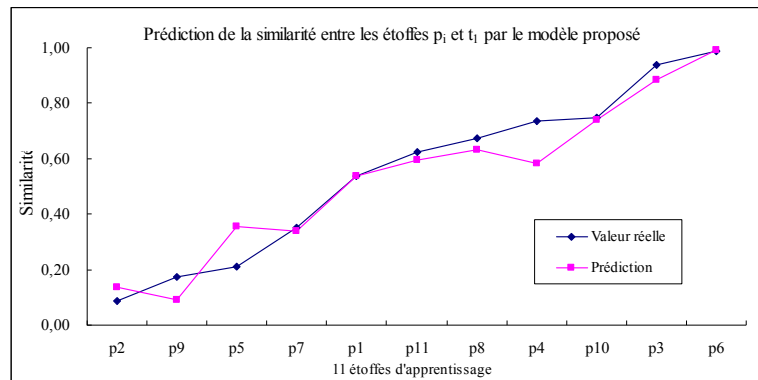


Figure 4-3 Prédiction de la similarité entre  $p_i$  et  $t_l$  par le modèle proposé

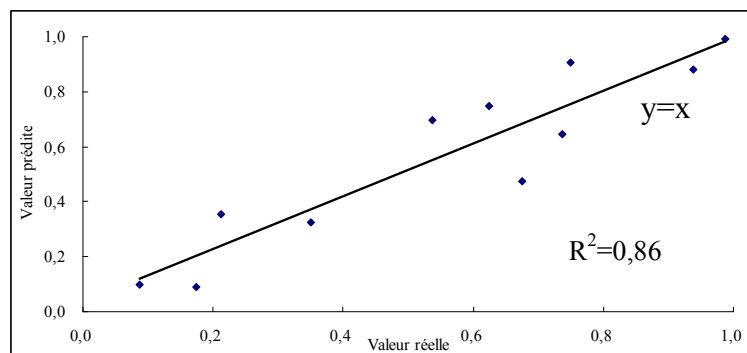


Figure 4-4 Performance de la méthode proposée sur les données d'apprentissage

Pour la raison de comparaison, nous utilisons la régression linéaire pour prédire la similarité des produits par rapport à  $t_l$  sur les 11 données d'apprentissage. Le modèle de la régression linéaire est exprimé par

$$R(S_i, t_k) = -0,620 + 0,278 a_1 + 0,016 a_2 - 0,211 a_3 - 0,057 a_4 + 1,16 a_5 + 0,317 a_6 - 0,197 a_7 - 0,295 a_8 + 0,820 a_9 + 0,334 a_{10} - 0,284 a_{11} + 0,276 a_{12} + 0,132 a_{13}$$

Puis, nous calculons les valeurs prédites des 11 données d'apprentissage et les comparons avec les valeurs réelles (cf. Figure 4-5). Le coefficient de corrélation  $R^2=0,94$ . L'erreur entre la sortie prévue du modèle et la sortie réelle (RMSE) est 0,06. La Figure 4-6 montre que la régression linéaire a aussi une bonne performance de prédiction sur ces 11 données. Selon les résultats précédents, le modèle proposé possède une performance similaire par rapport à la régression linéaire sur les 11 données d'apprentissage. Pourtant, seulement 5 descripteurs sensoriels pertinents sont utilisés dans le modèle proposé tandis que la régression linéaire calcule avec tous les 13 descripteurs sensoriels. Ainsi, le modèle proposé est plus pratique dans des applications industrielles. Sur les données de test, la différence de performance entre ces deux méthodes est plus importante. Ceci est présenté dans le texte



suivant.

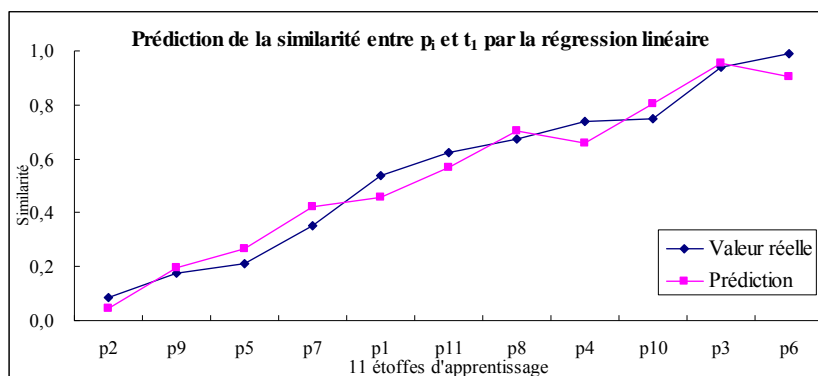


Figure 4-5 Prédiction de la similarité sur les 11 étoffes d'apprentissage par la régression linéaire

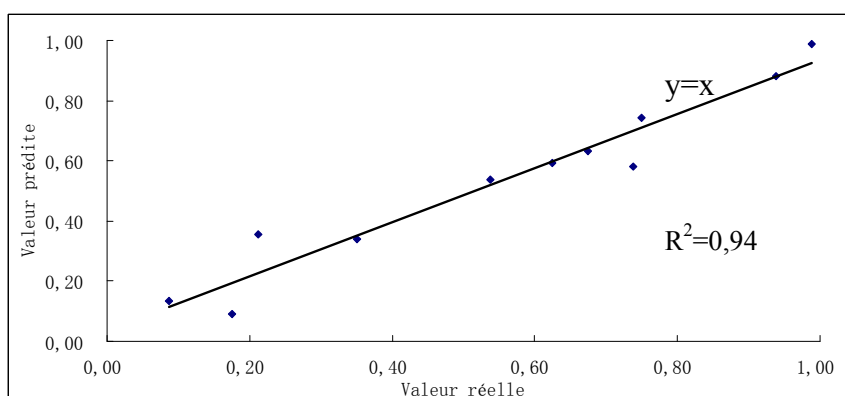


Figure 4-6 Performance de la méthode de régression linéaire sur les données d'apprentissage

Ensuite, nous appliquons ces deux modèles pour prédire la similarité de six nouvelles étoffes  $s_{12}, \dots, s_{17}$  par rapport à  $t_1$ . Les similarités de ces étoffes par rapport aux descripteurs pertinents sont évaluées par un panel entraîné (cf. Tableau 4-9), par comparaison avec les 11 étoffes référentielles précédemment sélectionnées. Ensuite, nous calculons les similarités de ces nouvelles étoffes par rapport au critère du bien-être  $t_1$  et présentons les résultats du modèle proposé et de la régression linéaire dans le Tableau 4-9.

Tableau 4-9 Similarité des nouvelles étoffes par rapport aux descripteurs pertinents et à  $t_1$

$R(s_i, a_j)$	$a_1$	$a_{12}$	$a_7$	$a_{10}$	$a_3$	$R(s_i, t_1)$ par le modèle proposé	$R(s_i, t_1)$ par la régression linéaire
$s_{12}$	0,14	0,12	0,86	0,40	0,65	0,35	0,52
$s_{13}$	0,50	0,49	0,48	0,37	0,41	0,51	0,61
$s_{14}$	0,30	0,24	0,08	0,18	0,51	0,24	0,53
$s_{15}$	0,36	0,30	0,51	0,77	0,38	0,48	0,53
$s_{16}$	0,73	0,57	0,27	0,45	0,32	0,60	0,94
$s_{17}$	0,26	0,40	0,39	0,52	0,41	0,40	0,59

Afin de conforter la définition de notre critère de similarité, nous avons introduit de nouvelles valeurs qualitatives évaluées par des experts et jugées selon trois classes allant de « plus pertinent » à « peu pertinent » en passant par une similarité moyenne. Ces nouvelles valeurs qualitatives sont comparées avec les résultats issus de deux modèles précédents (cf. Figure 4-7).

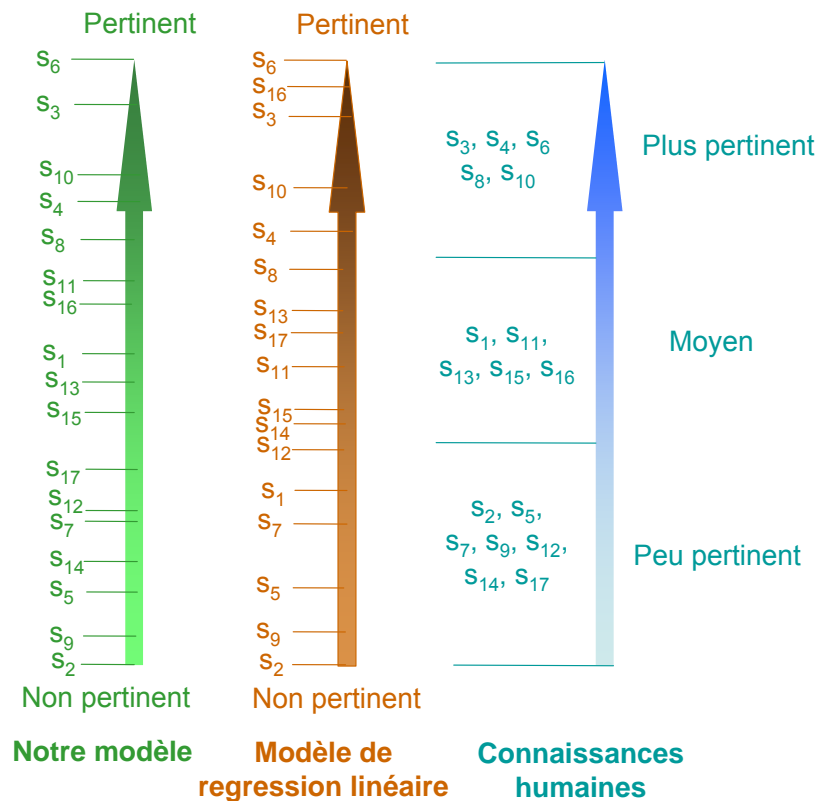


Figure 4-7 Liste des rangs de toutes les étoffes par rapport à  $t_1$

La Figure 4-7 montre que les résultats de la méthode proposée ont une conformité de 100% avec les connaissances des experts produits pour toutes les trois classes (plus pertinent, moyen, peu pertinent). La conformité d'une classe est définie par le taux du nombre de produits conformes au classement des experts par rapport au nombre total de produits assignés à la classe. Les résultats de la régression linéaire sont beaucoup moins cohérents par rapport aux connaissances professionnelles des experts, car leurs conformités pour ces trois classes sont respectivement de 80%, 40% et 71%.

En fait, la méthode proposée peut traiter efficacement l'incertitude de la perception humaine par utilisation des techniques des ensembles flous. En outre, la méthode diminue l'effet de corrélation des variables d'entrée et réduit le nombre de descripteurs à évaluer. Il est donc plus efficace pour les applications industrielles avec un nombre réduit de données d'apprentissage.

## 4.4 Evaluation multi-sensorielle des produits industriels

Cette section a pour but de combiner les données multi-sensorielles (toucher, style, couleur) acquises dans la section 2.4.3 afin de prévoir le degré de similarité d'un produit fini au lieu d'une étoffe par rapport à un critère du bien-être. La méthode d'interpolation linéaire [KAHYA, 2005] est appliquée pour agréger les données de trois sources précédentes.

### 4.4.1 Formalisation des données

D'abord, nous étudions, de manière indépendante, chaque composant de conception (matière, style et couleur) pour un produit fini (un vêtement) dans l'espace du bien-être (cf. Figure 1-6). Ensuite, nous combinons les trois aspects pour modéliser la relation entre un produit fini et les critères du bien-être (cf. Figure 4-8).

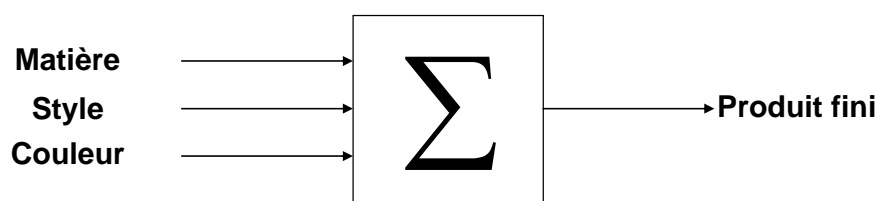


Figure 4-8 Modélisation de la relation des aspects multi-sensoriels dans l'espace du bien-être

Soit  $ME = \{me_1, \dots, me_{mn}\}$  un ensemble de  $mn$  matières d'une collection pour identifier le toucher pertinent dans l'espace du bien-être. Dans notre exemple,  $mn=11$ .

Pour identifier le style pertinent, soit  $SME$  un ensemble de  $smn$  matières représentatives et  $SSE$  un ensemble de  $ssn$  styles représentatifs d'une collection, notés  $SME = \{sme_1, \dots, sme_{smn}\}$  et  $SSE = \{sse_1, \dots, sse_{ssn}\}$  respectivement. Soit  $SE$  un ensemble de  $sn$  T-shirts représentatifs de styles variés d'une collection, noté  $SE = \{se_1, \dots, se_{sn}\}$ . Dans notre exemple,  $sn = 24$ ,  $smn = 3$  et  $ssn = 8$ . Nous n'avons choisi que trois matières car elles sont les plus représentatives et les autres étoffes de  $ME$  peuvent être regroupées autour d'elles (section 2.4.3). L'évaluation des styles s'effectue sur les combinaisons de ces 3 matières représentatives et des 8 styles.

Pour identifier la couleur pertinente, soit  $CE$  un ensemble de couleurs représentatives des produits (T-shirt), noté  $CE = \{ce_1, \dots, ce_{cn}\}$ . Dans notre exemple, nous avons choisi 11 différentes couleurs pour les T-shirts ( $cn = 11$ ). Pour simplifier le traitement, nous n'avons

choisi qu'une seule matière et qu'un seul style lors de l'évaluation des couleurs. Ces couleurs sont évaluées sur les photos des vêtements.

Nous utilisons la notion des critères du bien-être  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b\}$  définies dans la section 4.2.1 pour réaliser cette modélisation. Dans notre exemple, nous avons  $b = 6$ .

Soit  $CM$  un ensemble de  $mm$  consommateurs qui évaluent les similarités de différentes matières par rapport aux critères du bien-être. Nous avons  $CM = \{cm_1, \dots, cm_{mm}\}$ .

Les notes d'évaluation des matières données par les consommateurs  $CM$  forment une matrice, notée  $XM_{ik} = \{xm_{ijk} | j=1, \dots, mm\}$ , où  $xm_{ijk}$  représente la note d'évaluation du produit  $me_i$  en rapport avec le critère du bien-être  $t_k$  donnée par le consommateur  $cm_j$ .

Soit  $CS$  un ensemble de  $sm$  consommateurs qui évaluent les similarités de différents styles (combinaisons des styles et des matières) des T-shirts par rapport aux critères du bien-être. Nous avons  $CS = \{cs_1, \dots, cs_{sm}\}$ .

Les notes d'évaluation des styles données par les consommateurs  $CS$  forment une matrice, notée  $XS_{ik} = \{xs_{ijk} | j=1, \dots, sm\}$ , où  $xs_{ijk}$  représente la note d'évaluation du produit  $se_i$  ayant un style spécifique par rapport au critère du bien-être  $t_k$  donnée par le consommateur  $cs_j$ .

Soit  $CC$  un ensemble de  $cm$  consommateurs qui évaluent les similarités de différentes couleurs des T-shirts par rapport aux critères du bien-être. Nous avons  $CC = \{cc_1, \dots, cc_{cm}\}$ .

Les notes d'évaluation des couleurs données par les consommateurs  $CC$  forment une matrice, notée  $XC_{ik} = \{xc_{ijk} | j=1, \dots, cm\}$ , où  $xc_{ijk}$  représente la note d'évaluation de la couleur  $c_i$  par rapport au critère du bien-être  $t_k$  donnée par le consommateur  $cc_j$ .

Pour simplifier la procédure de calcul, nous normalisons ces notes d'évaluation dans l'intervalle de  $[0, 1]$  en affectant « identiques » à 1, « très proche » à 0,75, « proche » à 0,5, « un peu proche » à 0,25, « complètement différent » à 0. Ensuite, nous calculons les moyennes numériques des notes d'évaluation normalisées ou défuzzifiées pour tous les consommateurs et obtenons

$$XM_{ik} = \frac{1}{mm} \sum_{j=1}^{mm} xm_{ijk} \quad (4-14)$$

$$XS_{ik} = \frac{1}{sm} \sum_{j=1}^{sm} xs_{ijk} \quad (4-15)$$

$$XC_{ik} = \frac{1}{cm} \sum_{j=1}^{cm} xc_{ijk} \quad (4-16)$$

Dans ces définitions,  $XM_{ik}$  peut être considéré comme degré de similarité de la matière  $me_i$  par rapport au critère  $t_k$ ;  $XS_{ik}$  peut être considéré comme degré de similarité du produit

(combinaison du style et de la matière)  $se_i$  par rapport au critère  $t_k$  ;  $XC_{ik}$  peut être considéré comme degré de similarité de la couleur  $ce_i$  par rapport au critère  $t_k$ . Ces degrés de similarité varient entre 0 et 1. 0 signifie que la matière  $me_i$  ou le produit (combinaison du style et de la matière)  $se_i$  ou la couleur  $ce_i$  est éloigné du critère  $t_k$ . 1 signifie que  $me_i$  ou  $se_i$  ou  $ce_i$  est entièrement pertinent à  $t_k$ .

Les produits finis sont répartis dans un espace de dimensions trois (la matière, le style et la couleur), notés  $pf_i = (me_i se_i ce_i)$ . La similarité du produit fini  $pf_i$  par rapport au critère du bien-être  $t_k$  est notée  $y_{ik} = (xm_{ik} xs_{ik} xc_{ik})$ . Pour un nouveau produit fini, nous avons  $pf_{new} = (me_{new} se_{new} ce_{new})$ . La similarité d'un nouveau produit fini  $pf_{new}$  par rapport au critère du bien-être  $t_k$  est notée  $y_{newk} = (xm_{newk} xs_{newk} xc_{newk})$ . La distance euclidienne entre le nouveau produit fini  $pf_{new}$  et un produit existant  $pf_i$  dans cet espace à trois dimensions est

$$dis_{newik} = \frac{1}{3} \sqrt{(xm_{ik} - xm_{newk})^2 + (xs_{ik} - xs_{newk})^2 + (xc_{ik} - xc_{newk})^2} \quad (4-17)$$

Nous pouvons calculer les distances entre un nouveau produit fini et tous les produits existants. Ensuite, nous classons ces produits dans un ordre croissant selon ces distances, puis choisissons deux produits existants les plus proches du nouveau produit pour calculer la note de similarité  $y_{newk}$  par la méthode d'interpolation linéaire. Les principes sont donnés ci-dessous.

Supposons que les deux produits existants  $pf_i$  et  $pf_j$  sont les plus proches du nouveau produit  $pf_{new}$ . La relation entre ces trois produits peut être considérée, de façon approximative, comme une relation linéaire. Leurs valeurs de similarité par rapport au critère du bien-être  $t_k$  sont  $y_{ik}$  et  $y_{jk}$  respectivement.

Ensuite, nous calculons la similarité d'un nouveau produit  $y_{newk}$  en utilisant la méthode d'interpolation linéaire et obtenons

$$y_{newk} = \frac{dis_{newik}}{dis_{newik} + dis_{newjk}} * (y_{jk} - y_{ik}) + y_{ik} \quad (4-18)$$

#### 4.4.2 Un exemple d'application

33 T-shirts ont été sélectionnés et évalués par les consommateurs selon leurs similarités par rapport à un critère du bien-être  $t_1$  (cf. Section 2.4.3 et Annexe 19). Nous appliquons la méthode proposée dans la section 4.4.1 à ces produits puis calculons leurs similarités prédites par rapport à  $t_1$  à l'aide des équations 4-17 et 4-18. Ensuite, nous comparons les valeurs

prédites avec les valeurs réelles évaluée par les consommateurs (cf. Figure 4-9). Selon la Figure 4-9, les valeurs prédites sont très proches des valeurs réelles. L'erreur entre la sortie prévue du modèle et la sortie réelle (RMSE) est 0,005 pour l'ensemble des produits.

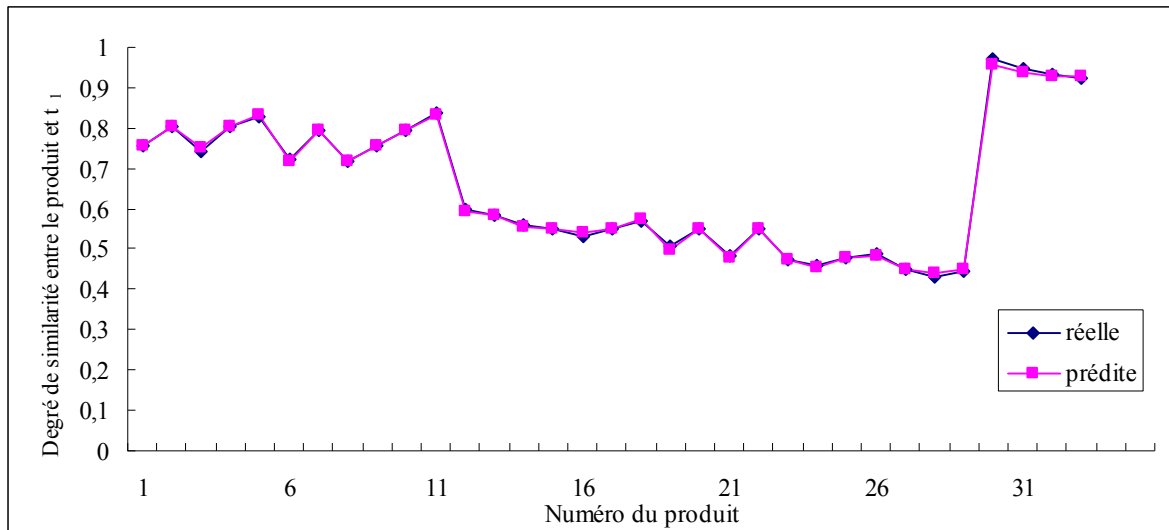


Figure 4-9 Prédiction du degré de similarité entre  $p_i$  et  $t_i$  par le modèle d'interpolation linéaire

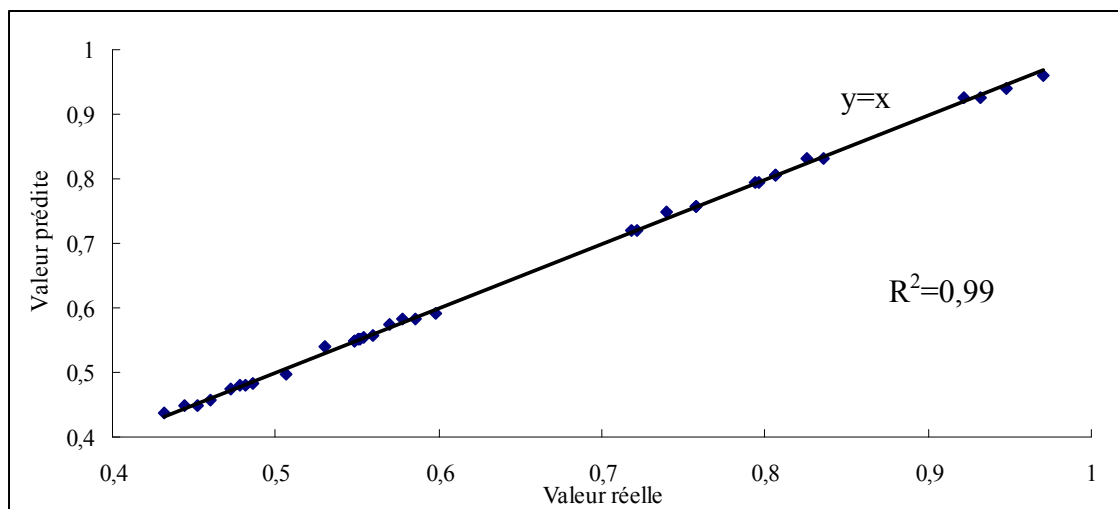


Figure 4-10 Performance de l'interpolation linéaire dans la prédiction de la similarité d'un produit par rapport à  $t_i$

Selon la Figure 4-10, nous pouvons constater que cette méthode a une très bonne performance sur tous les produits, car les données sont autour de la droite ( $y=x$ ) et le coefficient de corrélation  $R^2=0,99$ . En utilisant cette méthode, nous pouvons prédire la perception des consommateurs sur un nouveau produit par rapport à un critère du bien-être à partir des aspects sensoriels (toucher, style et couleur).

## 4.5 Réalisation des programmes de caractérisation des critères du bien-être

Cet outil informatique utilise les méthodes et les données obtenues précédemment pour les procédures de modélisations (Chapitres 3 et 4). Il est simple, facilement accessible et assimilable par l'entreprise, permettant de déterminer le positionnement de T-shirts en maille, aussi bien en prédiction qu'en caractérisation sur les critères du bien-être étudiés (chaleur, dynamisme, relaxation, fraîcheur, protection et liberté).

Cet outil donne en plus les paramètres physiques associés aux différents aspects sensoriels importants pour chacun des critères, et les mesures instrumentales pertinentes par rapport à la caractérisation du toucher.

### 4.5.1 Choix du logiciel

Scilab est un logiciel de calcul numérique développé par l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) et distribué gratuitement sur presque tout type d'ordinateurs (PC Windows, Linux, Unix, MacIntosh). Les informations détaillées sur ce logiciel ainsi que son installation se trouvent sur le site Internet : <http://www.scilab.org>.

### 4.5.2 Description des programmes développés sous Scilab

Il y a six modules pour la conception de nouveaux produits (cf. Figure 4-11) :

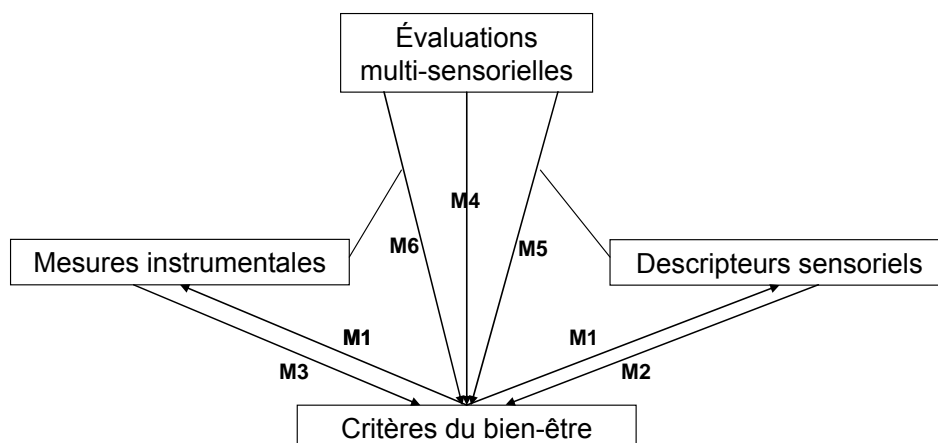


Figure 4-11 Structure des programmes développés

M1 Des critères du bien-être vers les descripteurs sensoriels et les mesures instrumentales

M2 Des descripteurs sensoriels vers les critères du bien-être

M3 Des mesures instrumentales vers les critères du bien-être

M4 Des évaluations multi-sensorielles vers les critères du bien-être

M5 Des descripteurs sensoriels et des évaluations multi-sensorielles vers les critères du bien-être

M6 Des mesures instrumentales et des évaluations multi-sensorielles vers les critères du bien-être

#### 4.5.3 Module 1 : Des critères du bien-être vers les descripteurs sensoriels et les mesures instrumentales

Il y a 6 critères du bien-être : « Chaleur », « Dynamisme », « Relaxation », « Fraîcheur », « Protection », « Liberté ». Pour chaque critère du bien-être, le logiciel fournit 5 intensités pour que l'utilisateur puisse faire le choix : « Très proche », « Proche », « Moyen », « Eloigné » et « Très éloigné ». « Non utilisé » est aussi un choix lors que le critère ne sera pas retenu pour l'évaluation considérée.

Par exemple, pour développer un nouveau produit textile qui a une perception « Très proche » de la « Chaleur » et du « Dynamisme ». Les autres critères ne sont pas pris en compte.

Cliquer sur « Très proche » pour la « Chaleur » et le « Dynamisme », et « Non utilisé » pour « Relaxation », « Fraîcheur », « Protection » et « Liberté ». Une fois que les choix sont faits pour tous les critères, cliquer sur « OK » (cf. Figure 4-12). Les résultats s'afficheront alors dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans le « Console Scilab » (cf. Figure 4-13).

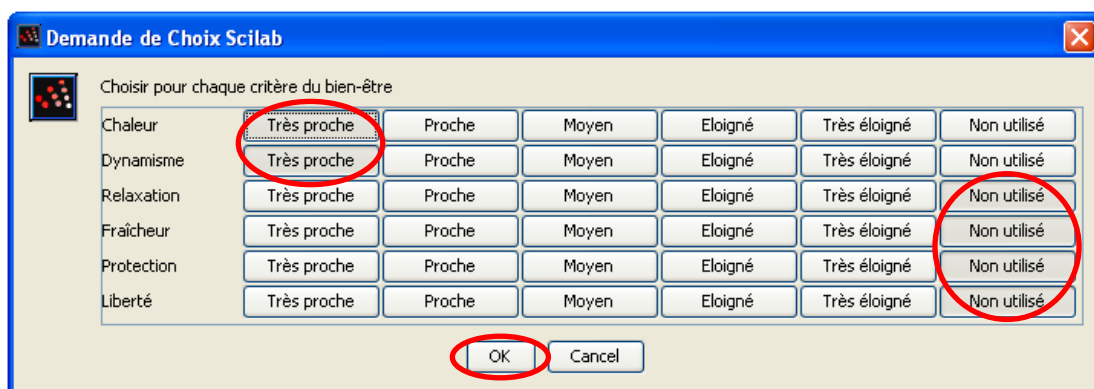


Figure 4-12 Interface du choix des intensités des critères du bien-être pour Module 1

Dans la Figure 4-13, les résultats se composent en 5 parties distinctes :



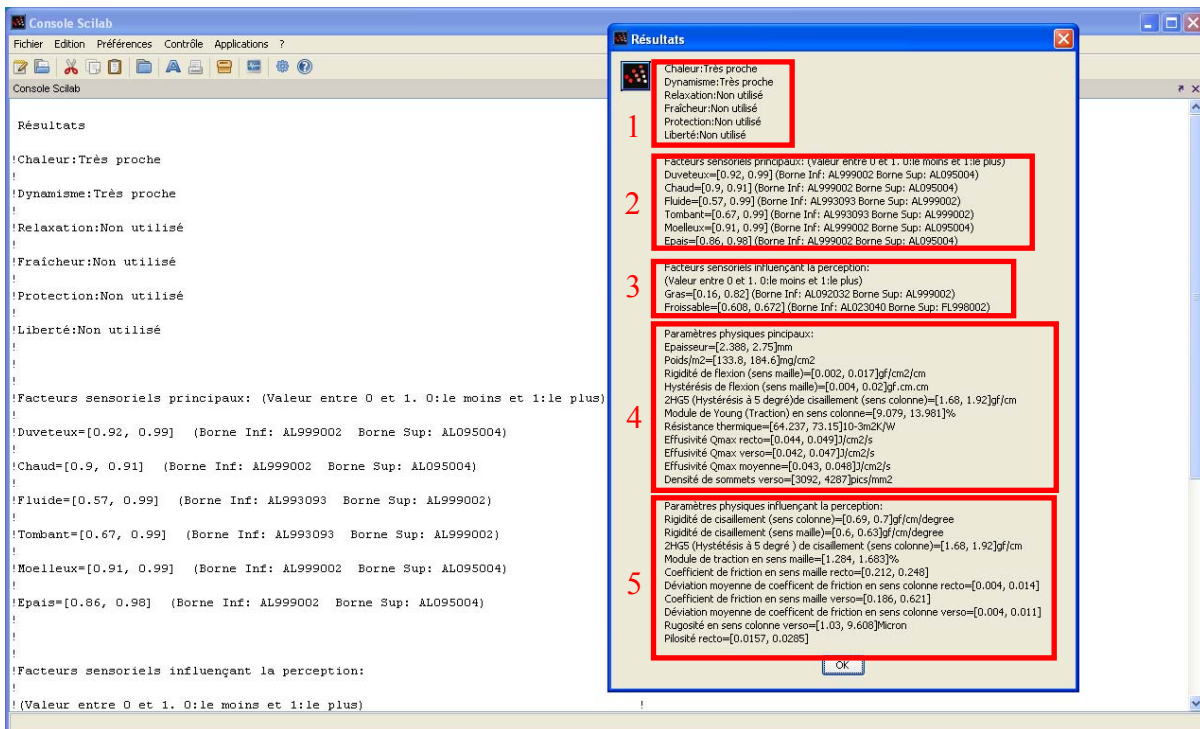


Figure 4-13 Résultats pour Module 1

La partie 1 rappelle le choix des intensités des critères du bien-être.

Les facteurs sensoriels principaux sont affichés dans la partie 2. Ils sont les facteurs les plus pertinents en fonction du choix des critères du bien-être, et classés par leur ordre d'importance. Les plages des facteurs sensoriels représentent les caractéristiques sensorielles de la matière pour atteindre l'intensité désirée du critère. Les valeurs des facteurs sensoriels principaux sont comprises entre 0 (le moins) et 1 (le plus) et représentent une échelle d'intensité. Les bornes supérieures et inférieures de chaque facteur sensoriel affichées sont issues d'une étude du toucher sur les références des produits existants.

La partie 4 reprend les paramètres physiques pertinents qui correspondent aux facteurs sensoriels principaux. Ces paramètres physiques sont classés par l'ordre d'importance. Les plages des facteurs sensoriels indiquent les caractéristiques physiques de la matière pour atteindre l'intensité désirée du (des) critère(s).

Les parties 3 et 5 montrent les valeurs des facteurs sensoriels et des paramètres physiques qui influencent la perception du (des) critère(s) du bien-être en fonction des intensités désirées. Ces facteurs sont classés par l'ordre de pertinence selon un critère de sensibilité qui implique qu'un faible changement de la valeur des facteurs sensoriels ou des paramètres physiques causera une forte variation de la perception du bien-être.

### 4.5.4 Module 2 : Des descripteurs sensoriels vers les critères du bien-être

Dans le module 2, nous choisissons d’abord un critère du bien-être par un double clic de souris (par exemple, dynamisme) (cf. Figure 4-14).

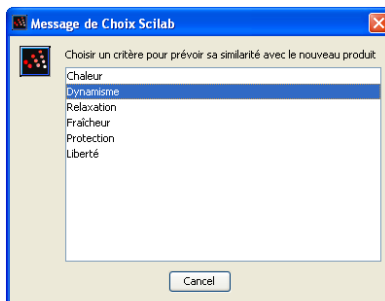


Figure 4-14 Choix d’un critère du bien-être

Ensuite, nous entrons les valeurs des descripteurs sensoriels correspondant à l’échantillon évalué. Les valeurs des descripteurs sensoriels sont obtenues par un test sensoriel du toucher. Il suffit de comparer le nouvel échantillon et les 11 échantillons de référence utilisés selon le protocole d’évaluation. Dans la plupart des cas, la note de la nouvelle étoffe sera comprise entre les notes de 2 échantillons de référence les plus proches. La fenêtre qui s’ouvre n’offre que le choix des descripteurs les plus pertinents pour un critère retenu. Ces descripteurs sensoriels sont classés par l’ordre d’importance. Les valeurs des descripteurs à saisir sont comprises entre 0 et 1. Les résultats des derniers tests sont donnés en Annexe 11. Le protocole d’évaluation est fourni en Annexe 10.

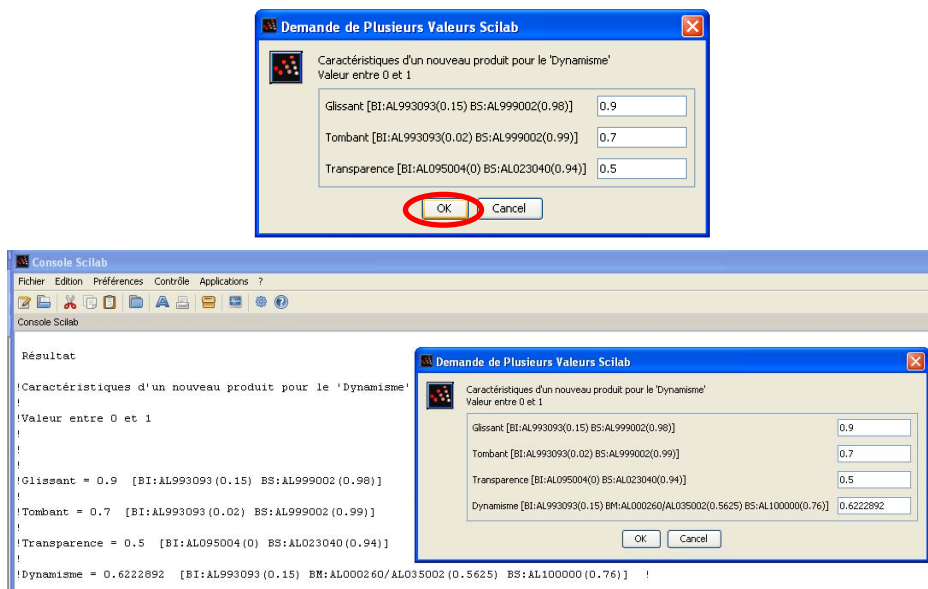


Figure 4-15 Résultat du module 2

Par exemple, « Glissant » est positionné à 0,9, « Tombant » à 0,7 et « Transparence » à

0,5. Ensuite, cliquer sur « OK », les résultats s'afficheront alors dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans la « Console Scilab » (cf. Figure 4-15).

#### 4.5.5 Module 3 : Des mesures instrumentales vers les critères du bien-être

Dans le module 3, nous choisissons d'abord un critère du bien-être par un double clic de souris (par exemple, dynamisme) (cf. Figure 4-16).



Figure 4-16 Choix d'un critère du bien-être

Ensuite, nous entrons les valeurs des paramètres physiques mesurés qui correspondent à l'échantillon à évaluer. Les valeurs des paramètres physiques sont obtenues (cf. Annexe 9) par des tests de mesure physique présentés dans la section 2.3.3. Ces paramètres physiques sont classés par l'ordre d'importance.

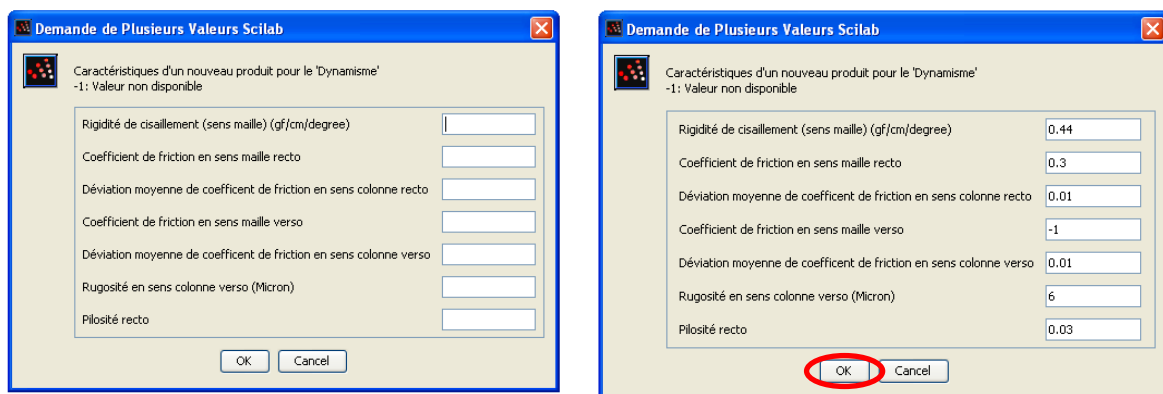


Figure 4-17 Entrée des valeurs des paramètres physiques

Par exemple, « Rigidité de cisaillement (sens maille) » est fixé à 0,44 gf/cm/degre, « Coefficient de friction en sens maille recto » est à 0,3, « Déviatiion moyenne du coefficient de friction en sens colonne recto » est 0,01, « Déviatiion moyenne de coefficient de friction en sens colonne verso » est 0,01, « Rugosité en sens colonne verso » est à 6 Micron et « pilosité recto » est à 0,03. Si une mesure physique est manquante, il faut alors saisir la valeur « -1 » pour ce paramètre. Par exemple, « Coefficient de friction en sens maille verso » est -1.

Ensuite, cliquer sur « OK » et les résultats s'afficheront dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans la « Console Scilab » (cf. Figure 4-18).

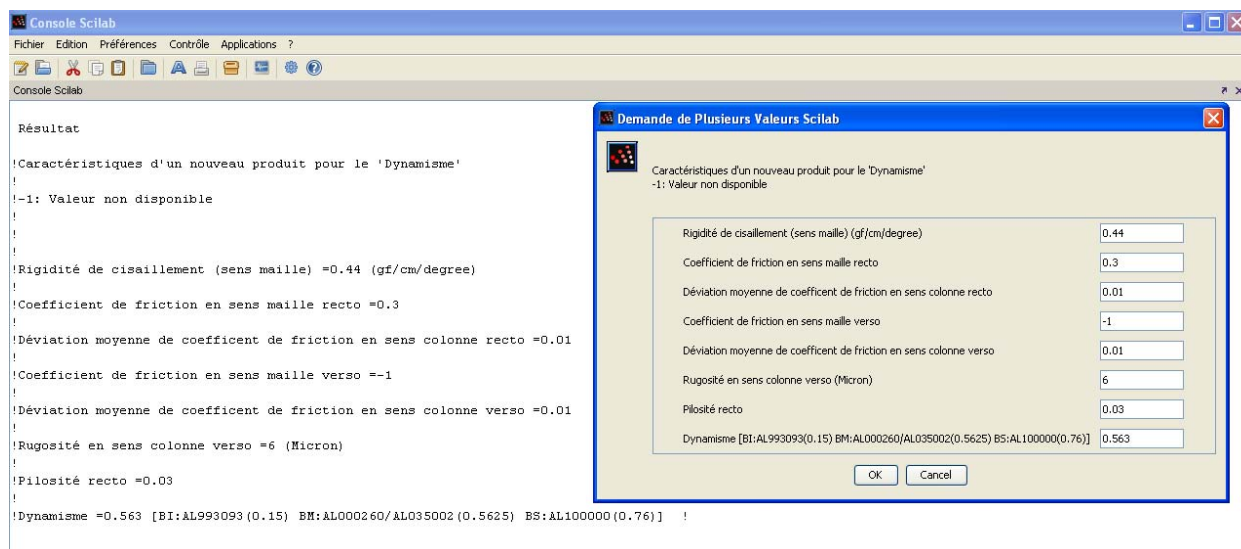


Figure 4-18 Résultats du module 4

#### 4.5.6 Module 4 : Des évaluations multi-sensorielles vers les critères du bien-être

Dans le module 4, nous choisissons un critère du bien-être par un double clic de souris (par exemple, dynamisme) (cf. Figure 4-19).

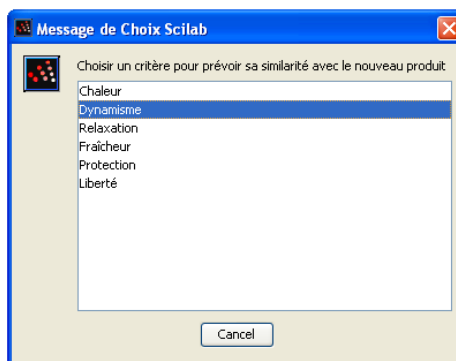


Figure 4-19 Choix d'un critère du bien-être

Nous entrons les valeurs de similarité de la matière par rapport au critère du bien-être. La valeur de similarité entre le nouvel échantillon et le critère du bien-être est issue du résultat de prévision du module 3. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus la valeur est proche de 1, plus la perception de l'échantillon est proche du critère du bien-être et réciproquement.

Par exemple, la valeur de « Dynamisme » est fixée à 0,7. Ensuite, cliquer sur « OK » et les résultats s'afficheront dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans la « Console Scilab » (cf.

Figure 4-20)



Figure 4-20 Entrée des valeurs de similarité de la matière par rapport au critère du bien-être

Puis, nous choisissons le style et la couleur du T-shirt par une succession de doubles clics. Par exemple, le style est « manches longues col ronde avec croisé devant » et la couleur du T-shirt est « abricot » (cf. Figure 4-21). Les résultats s'afficheront dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans la « Console Scilab » (cf. Figure 4-22). Les références des styles et des couleurs des T-shirts testés sont fournies en Annexes 15 et 16.

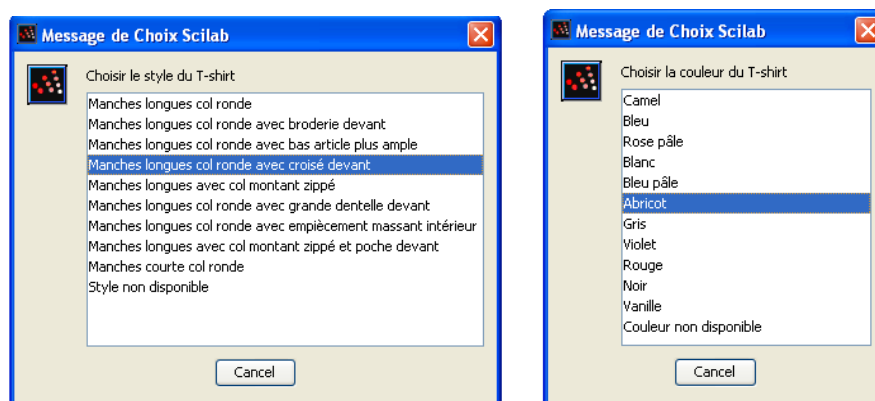


Figure 4-21 Choix du style et de la couleur du T-shirt

Si le style du T-shirt n'est pas dans la liste, il faut choisir « Style non disponible » par un double clic. Dans ce cas, le style ne sera pas pris en compte pour l'analyse multi-sensorielle du produit.

Si la couleur du T-shirt n'est pas dans la liste, il faut choisir « Couleur non disponible » par un double clic. Dans ce cas, la couleur ne sera pas prise en compte pour l'analyse multi-sensorielle du produit.

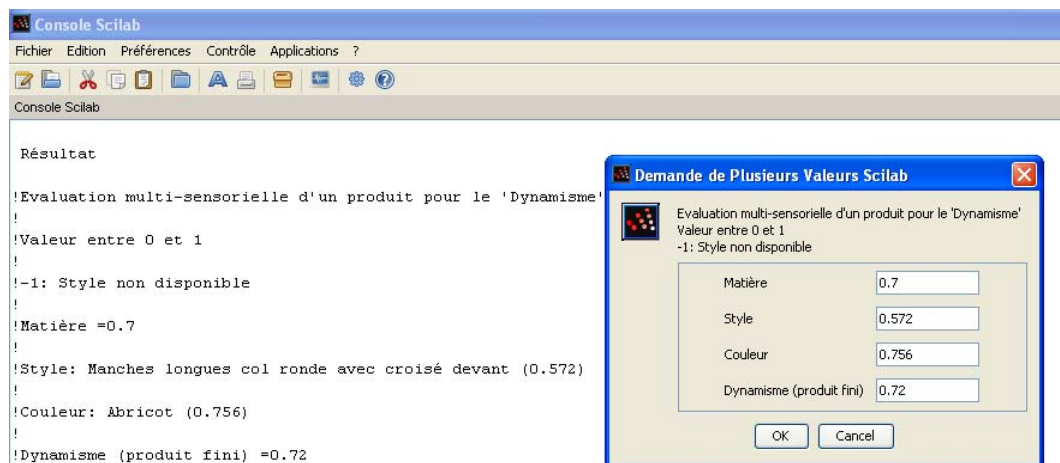


Figure 4-22 Résultat du module 4

#### 4.5.7 Module 5 : Des descripteurs sensoriels et des évaluations multi-sensorielles ver les critères du bien-être

Nous choisissons un critère du bien-être par un double clic (par exemple, dynamisme).

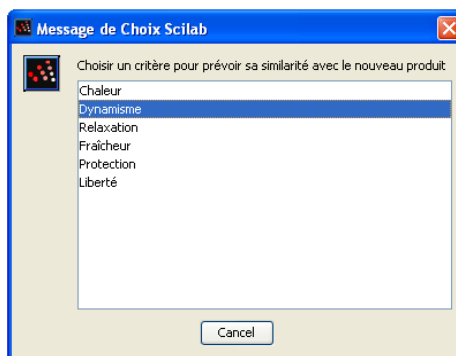


Figure 4-23 Choix d'un critère du bien-être

Ensuite, nous entrons les valeurs des descripteurs sensoriels correspondant à l'échantillon à évaluer. Les valeurs des descripteurs sensoriels sont obtenues par un test sensoriel du toucher. Il suffit de comparer le nouvel échantillon avec les 11 échantillons utilisés dans les derniers tests. Ces descripteurs sont classés par l'ordre d'importance. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Les résultats des derniers tests sont repris en Annexe 11.

Par exemple, « Glissant » est à 0,9, « Tombant » est à 0,7 et « Transparence » est à 0,5. Ensuite, cliquer sur « OK » pour choisir le style et la couleur du T-shirt à évaluer (cf. Figure 4-24).



Figure 4-24 Entrée des valeurs des descripteurs sensoriels

La similarité du produit par rapport au critère sélectionné est ensuite calculée selon la méthode proposée dans la section 4.3. Le résultat s’affichera dans la fenêtre (cf. Figure 4-25).

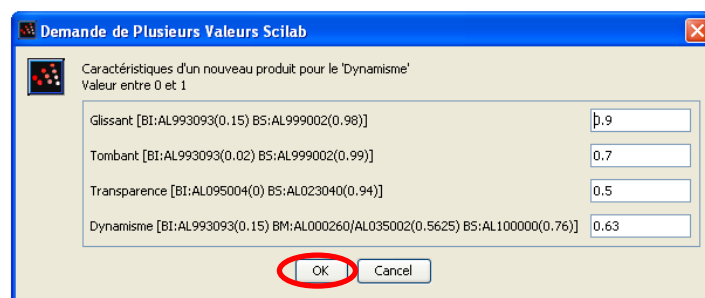


Figure 4-25 Prévission de similarité de la matière par rapport au critère du bien-être

Puis, nous choisissons le style et la couleur du T-shirt dans la liste par doubles clics. Par exemple, le style est « manches longues col rond avec croisé devant » et la couleur du T-shirt est abricot (cf. Figure 4-26). Les références des styles et des couleurs des T-shirts testés sont fournies en Annexes 15 et 16.

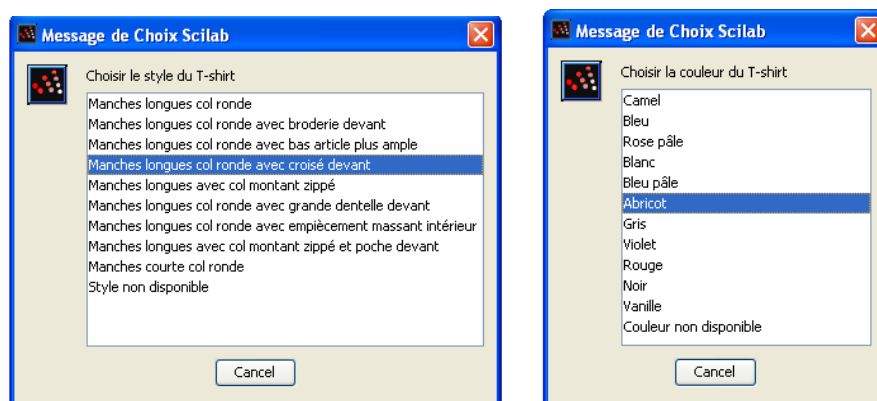


Figure 4-26 Choix du style et de la couleur du T-shirt

Si le style du T-shirt n’est pas dans la liste, il faut choisir « Style non disponible » par un double clic. Dans ce cas, le style ne sera pas pris en compte pour l’analyse multi-sensorielle du produit.

Si la couleur du T-shirt n’est pas dans la liste, il faut choisir « Couleur non disponible »

par un double clic. Dans ce cas, la couleur ne sera pas prise en compte pour l'analyse multi-sensorielle du produit.

Les résultats s'afficheront dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans la « Console Scilab » (cf. Figure 4-27).

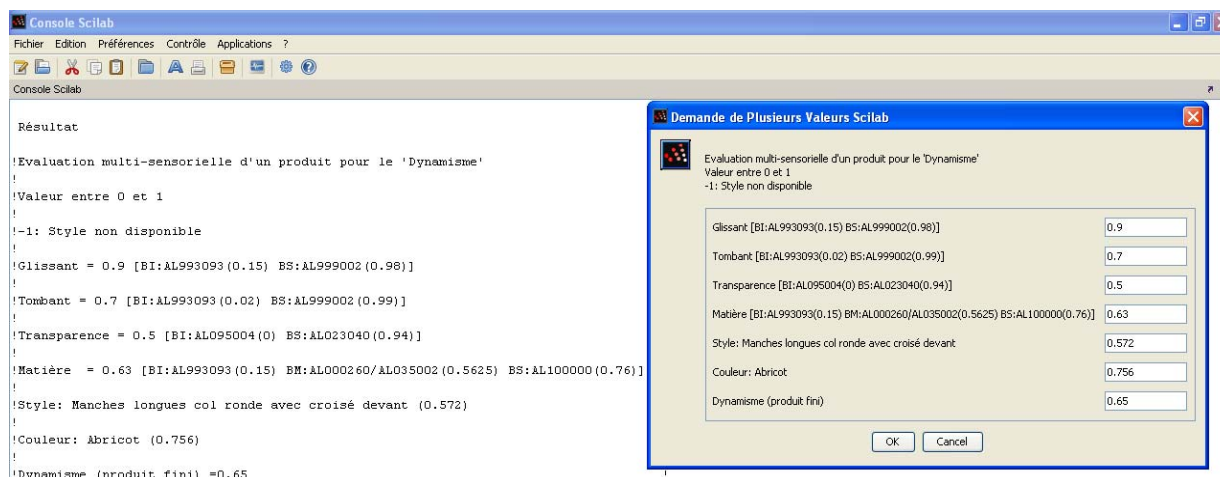


Figure 4-27 Résultats du module 5

#### 4.5.8 Module 6 : Des mesures instrumentales et des évaluations multi-sensorielles ver les critères du bien-être

Nous choisissons d'abord un critère du bien-être par un double clic (par exemple, dynamisme).

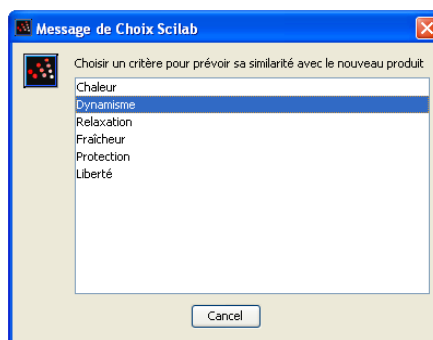


Figure 4-28 Choix d'un critère du bien-être

Ensuite, nous entrons les valeurs de paramètres physiques correspondant à l'échantillon à évaluer. Les valeurs de paramètres physiques sont obtenues (cf. Annexe 9) par des tests de mesure physique sur les appareils présentés dans la section 2.3.2. Ces paramètres physiques sont classés par l'ordre d'importance.



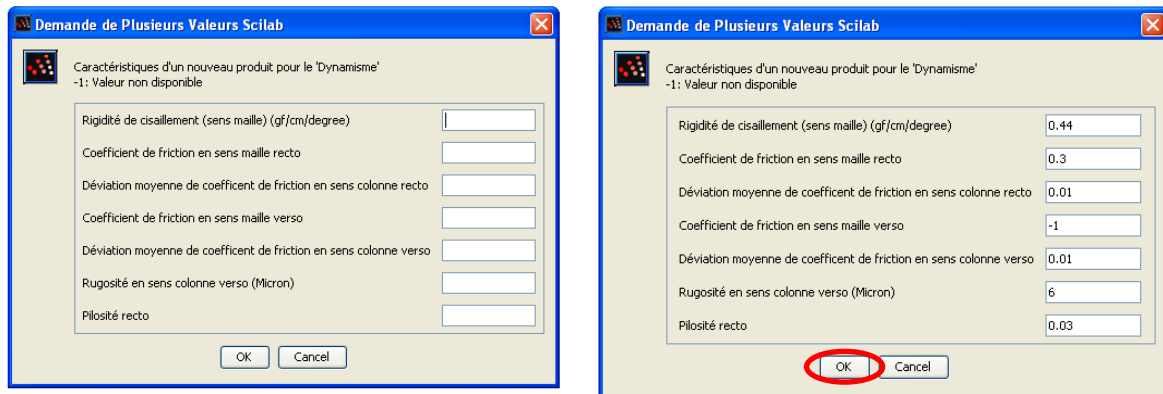


Figure 4-29 Entrée des valeurs des paramètres physiques

Par exemple, « Rigidité de cisaillement (sens maille) » est fixée à 0,44 gf/cm/deg, « Coefficient de friction en sens maille recto » est à 0,3, « Déviation moyenne de coefficient de friction en sens colonne recto » est à 0,01, « Déviation moyenne de coefficient de friction en sens colonne verso » est 0,01, « Rugosité en sens colonne verso » est à 6 Microns et « pilosité recto » est à 0,03. Si un paramètre physique est manquant, alors sa valeur doit être fixée à « -1 ». Par exemple, « Coefficient de friction en sens maille verso » est -1. Ensuite, cliquer sur « OK » pour choisir le style et la couleur du T-shirt à évaluer.

Puis, nous choisissons le style et la couleur du T-shirt par doubles clics. Par exemple, le style est « manches longues col rond avec croisé devant » et la couleur du T-shirt est « abricot » (cf. Figure 4-30). Les références des styles et des couleurs des T-shirts testés sont fournies en Annexes 15 et 16.

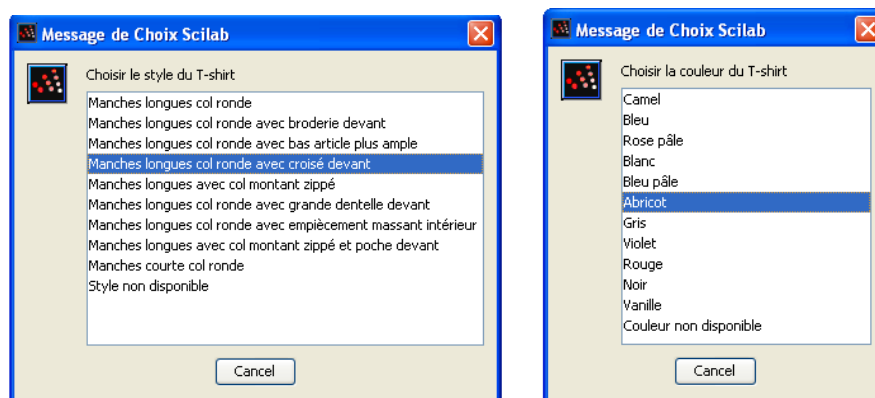


Figure 4-30 Choix du style et de la couleur du T-shirt

Si le style du T-shirt n'est pas dans la liste, il faut choisir « Style non disponible » par un double clic. Dans ce cas, le style ne sera pas pris en compte pour l'analyse multi-sensorielle du produit.

Si la couleur du T-shirt n'est pas dans la liste, il faut choisir « Couleur non disponible »

par un double clic. Dans ce cas, la couleur ne sera pas prise en compte pour l'analyse multi-sensorielle du produit.

Les résultats s'afficheront dans une nouvelle fenêtre ainsi que dans la « Console Scilab » (cf. Figure 4-31).

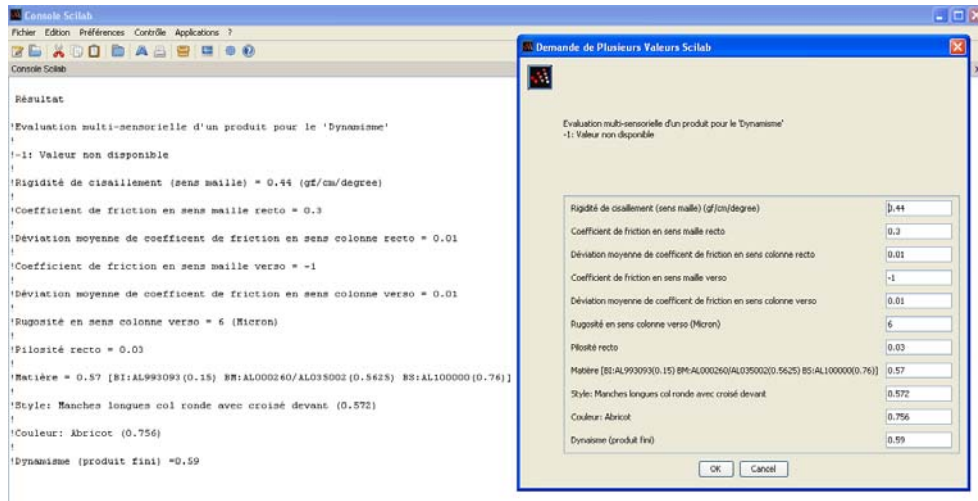


Figure 4-31 Résultats du module 6

## 4.6 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons d'abord analysé les relations entre les 6 critères du bien-être en utilisant deux méthodes différentes afin de s'assurer que les images associées à chaque critère correspondent bien à l'image des consommateurs. La première méthode est basée sur le recouvrement des termes émotionnels décrivant les images d'ambiances pour différents critères du bien-être. C'est une compréhension conceptuelle des consommateurs sur les critères du bien-être. La deuxième méthode est basée sur les informations émotionnelles des produits données par les consommateurs. C'est une perception concrète des consommateurs sur les critères du bien-être avec un support de produits réels. Les résultats de ces deux méthodes sont assez cohérents. De plus, la deuxième méthode montre également les dissonances internes au sein de chaque critère du bien-être. Ces derniers résultats offrent à une entreprise les moyens de déterminer la façon dont est perçue l'image qu'elle souhaite offrir de ses produits manufacturés.

Dans la section 4.3, nous avons proposé une méthode originale permettant de prévoir le degré de la similarité d'un critère du bien-être à partir des données d'évaluation sensorielle. Cette méthode utilise les opérations sur les relations floues, le calcul des corrélations et l'agrégation de données pour sélection d'une quantité réduite de descripteurs sensoriels pertinents et pour une prédiction du degré de similarité de nouvelles étoffes par rapport à un critère du bien-être spécifique. La méthode proposée permet aux concepteurs de prévoir la perception des consommateurs à partir des matières et de concevoir de nouveaux produits d'habillement renforçant l'image véhiculée par la marque de l'entreprise. Les résultats quantitatifs en apprentissage montrent que la méthode proposée et la régression linéaire ont une performance similaire de prédiction sur les données d'apprentissage. Les résultats en test démontrent que la méthode proposée est beaucoup plus performante que la méthode de régression linéaire en termes de conformité aux expériences professionnelles des experts produits. De plus, la méthode proposée s'adapte mieux à des applications industrielles, car le nombre de descripteurs à évaluer (descripteurs pertinents) est relativement faible. Ceci permettra de réduire les coûts et le temps d'acquisition des évaluations sensorielles.

Dans la section 4.4, les données multi-sensorielles collectées dans la section 2.4.3 sont agrégées par application de la méthode de l'interpolation linéaire. Cette méthode permet aux concepteurs de bien positionner le nouveau produit par rapport aux produits existants dans

l'espace de bien-être. La performance de la méthode en apprentissage montre que cette méthode est capable de prédire la similarité d'un produit fini avec une grande précision.

Dans la section 4.5, nous présentons les programmes développés en Scilab pour les procédures de modélisations des chapitres 3 et 4. Le logiciel développé est simple, facilement accessible et assimilable par l'entreprise, permettant de déterminer le positionnement de T-shirts en maille, aussi bien en prévision qu'en caractérisation sur les critères du bien-être étudiés (chaleur, dynamisme, relaxation, fraîcheur, protection et liberté).

# Chapitre 5 EVALUATION GLOBALE DES PROTOTYPES INDUSTRIELS

*L'évaluation globale des prototypes est un processus complexe qui doit prendre en compte de nombreux critères, à la fois variés et parfois difficile à évaluer. Ces critères peuvent se regrouper sur plusieurs niveaux d'agrégation depuis des indicateurs concrets à des aspects plus abstraits. La structure hiérarchisée correspondante est souvent définie par un groupe d'experts en charge de la phase de conception. Ce chapitre propose une méthode floue d'aide à la décision multicritères pour une évaluation globale des prototypes. Cette méthode utilise un ensemble de critères définis dans une structure hiérarchique. La méthode est illustrée au travers d'un exemple de conception de T-shirts pour les seniors.*

## 5.1. Introduction

La conception des produits nécessite souvent une évaluation globale des prototypes fabriqués avant la production de masse (Figure 1-5). Le but de cette évaluation est d'obtenir des informations sur la performance globale du produit, en tenant compte de l'ensemble des critères qualité retenus. Cette évaluation permet également de connaître l'impact de chaque critère qualité sur la performance globale du produit, afin de procéder à des améliorations techniques du produit [STAAT, 2005]. L'évaluation globale peut être réalisée soit en interne, pendant la phase de conception, soit par un panel mixte composé d'experts internes et de consommateurs, avant la phase de commercialisation [DRIVA, 2001]. La confrontation des points de vue consommateurs/concepteurs peut fournir une source d'information très riche.

Plusieurs éléments importants doivent être considérés pour effectuer cette évaluation globale [LU, 2008a] :

Le premier élément est la détermination des critères d'évaluation et de leurs degrés d'importance (poids) correspondants. Pour une évaluation simple des prototypes, tous les

critères qualité se trouvent sur un seul niveau. Pour une situation plus complexe, le processus d'évaluation globale des prototypes comprend souvent des critères multiples répartis en plusieurs niveaux, depuis des indicateurs plus concrets à des aspects plus abstraits.

Le deuxième élément concerne la détermination des évaluateurs, ainsi que les poids de ces évaluateurs. Dans la pratique, un seul évaluateur possède une expertise limitée et il est donc incapable d'évaluer tous les aspects des prototypes. Ainsi, l'évaluation globale a besoin de traiter et d'agrèger les évaluations de plusieurs experts dont les compétences professionnelles sont complémentaires.

Le troisième élément concerne la méthode d'évaluation pour chacun des critères. En particulier, le degré de subjectivité doit être pris en considération. Ainsi un protocole d'évaluation doit être établi, conformément à la mise en œuvre habituelle et normalisée des panels d'évaluation. Par ailleurs, il faut aussi traiter les divergences dans les résultats d'évaluation en intégrant à la fois les niveaux d'expertise des évaluateurs et leurs niveaux de confiance dans les informations obtenues. Par conséquent, le classement final des prototypes sera obtenu par l'agrégation appropriée des évaluations de tous les experts.

Ces trois éléments mentionnés précédemment nécessitent la prise en compte des informations linguistiques. Dans la pratique, le poids des critères, les poids (niveaux d'expertise) des évaluateurs et leurs jugements (notes) sont souvent décrits par des termes linguistiques. Par exemple, pour décrire le poids d'un critère, les termes *moins important* ou *très important* sont souvent utilisés. Pour exprimer une note de préférence du produit, les termes linguistiques *moins satisfaisant* et *très satisfaisant* sont souvent utilisés. L'introduction des variables linguistiques est utile pour traiter les situations trop complexes ou mal définies. Les approches mathématiques classiques ne sont pas suffisamment adaptées pour traiter les variables incertaines. Ainsi, les techniques du flou sont des outils privilégiées pour traiter des évaluations complexes avec des critères linguistiques multiples [MARIMIN, 1998], [KARACAPILIDIS, 2000].

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord une structure hiérarchisée caractérisant le lien entre les critères d'évaluation multiples des prototypes existant en différents niveaux. Basée sur cette structure hiérarchisée, une méthode d'évaluation multicritère est proposée pour l'évaluation globale de prototypes d'habillement.

## 5.2. Structure hiérarchisée d'évaluation des prototypes satisfaisant le bien-être des seniors

La conception de produits d'habillement est très complexe, car ils sont caractérisés par un ensemble très varié de spécifications et de critères qualité. Chaque critère peut également être décomposé en plusieurs sous-critères. L'évaluation globale des prototypes doit prendre en compte de tous les sous-critères apparus.

Dans cette section, nous proposons une structure hiérarchisée générale pour évaluation globale des prototypes (vêtements) satisfaisant le bien-être des seniors (Figure 5-1) [LU, 2010]. Elle comprend trois niveaux : aspects (niveau 1), catégories (niveau 2) et indicateurs (niveau 3).

Pour les produits étudiés, nous avons deux aspects principaux : la perception complexe et la perception basique. La perception complexe représente des ambiances associées à un ou plusieurs concepts socio-culturels définis par le département marketing. Dans notre contexte, ce concept est le bien-être des seniors, caractérisé par un ensemble de critères décrits dans la section 2.4.2. La partie « perception basique » se compose de plusieurs groupes de critères, comprenant les descripteurs sensoriels du toucher et de l'apparence, les critères d'entretien, et les contraintes économiques.

L'évaluation des descripteurs sensoriels a été présentée dans le chapitre 2. Les critères d'entretien comprennent la facilité et le coût d'entretien pour prolonger la durée de vie du produit d'habillement. A titre d'exemple, ces critères peuvent être « laver à la main », « laver à la machine », « ne pas se froisser » et « passer au sèche linge ».

Les contraintes économiques sont principalement liées aux coûts de revient des matières premières et du processus de conception. Elles doivent jouer un rôle important dans la décision finale de l'entreprise.

Les critères présentés Figure 5-1 sont évalués par un groupe d'experts selon leurs connaissances professionnelles. En conséquence, nous devons proposer une méthode efficace afin d'évaluer, de façon systématique, les prototypes et de fournir une aide à la décision en considérant l'ensemble des critères de qualités répartis sur cette structure à trois niveaux.

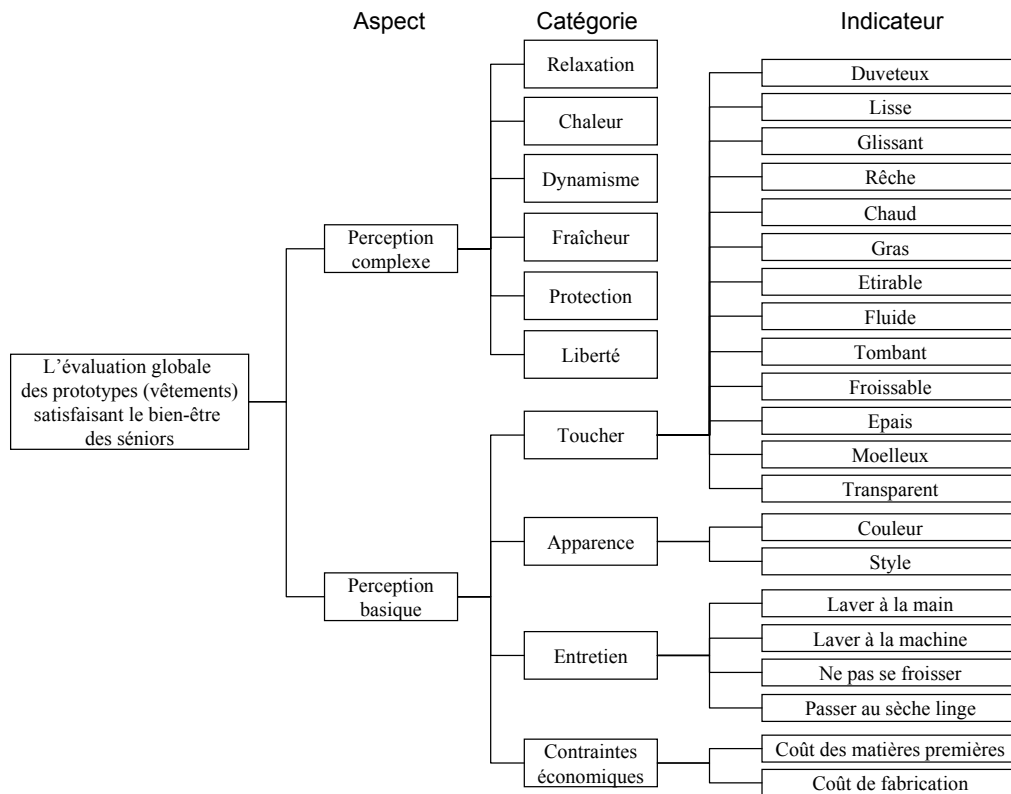


Figure 5-1 Un exemple de la structure hiérarchisée pour l'évaluation globale des prototypes (vêtements) satisfaisant le bien-être des seniors

### 5.3. Méthode d'évaluation globale à niveaux multiples

L'évaluation des prototypes industriels peut être considérée comme un problème d'Aide à la Décision Multicritères (ADM). Par évaluation d'un nombre limité d'alternances prédéterminées, le décideur de l'entreprise obtient la solution la plus pertinente au problème étudié [DYER, 1992], [PARK, 2000]. Ces alternances sont généralement évaluées en plusieurs niveaux dont chacun comprend des critères quantitatifs et qualitatifs.

Les méthodes conventionnelles d'ADM sont généralement des modèles de pondération, qui incluent les opérateurs OWA [WHITAKER, 2007], le processus d'hierarchie analytique (AHP) et le processus de réseau analytique (ANP) [WANG, 2006]. Néanmoins, il y a toujours des débats sur l'efficacité de cette catégorie de méthodes dans un environnement incertain et imprécis [ROY, 1993]. Par exemple, les poids des critères et des niveaux des évaluateurs (experts), ainsi que les résultats de performance des prototypes sont souvent exprimés par des termes linguistiques. Les variables linguistiques doivent être utilisées pour décrire des situations complexes, dans lesquelles les expressions quantitatives et précises ne sont pas



disponibles. Les modèles de pondération ne sont généralement pas efficaces pour traiter les problèmes incluant des variables incertaines. Afin de caractériser la subjectivité et les imprécisions intrinsèques dans le processus d'évaluation, les techniques floues ont été proposées comme une démarche efficace, permettant de formaliser les problèmes de décision où les informations sont subjectives et imprécises [CHANG, 2000]. L'application des techniques floues dans les problèmes d'aide à la décision a été initialement présentée par [ZIMMERMANN, 1987].

Néanmoins, la plupart de méthodes ADM conventionnelles ne prennent en compte que des critères sur un seul niveau, alors que l'évaluation globale des prototypes doit considérer de différents aspects chacun comprenant un ensemble de critères et de sous critères, organisés dans une structure hiérarchisée. Une opération d'agrégation pertinente doit être proposée pour fusionner tous les aspects et les critères avec des poids personnels ou collectifs.

Dans ce chapitre, nous proposons une méthode d'aide à la décision multicritère effectuée en plusieurs niveaux par un groupe d'experts [LU, 2008a], [LU, 2008b], [LU, 2009]. Nous l'utilisons pour une évaluation globale des prototypes (T-shirts) de l'entreprise satisfaisant le bien-être des seniors. Formellement, elle peut être détaillée en trois niveaux de la façon suivante :

### **Niveau 1 : Détermination des prototypes à évaluer, des critères d'évaluation et des poids**

#### *Etape 1 : Création de la structure hiérarchisée d'évaluation*

Nous créons d'abord un groupe de  $n$  experts  $P = \{P_y, y = 1, 2, \dots, n\}$  et un ensemble de  $m$  prototypes à évaluer  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$  ( $m \geq 2$ ).

Les prototypes de  $S$  sont évalués par les experts de  $P$  en trois niveaux dont les critères d'évaluation évoluent depuis des notions abstraites et généralisées vers des notions concrètes.

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_t\}$  est l'ensemble de critères d'évaluation en niveau 1. Ces critères sont les plus abstraits et donc appelés aussi aspects. Chaque aspect  $C_i$  peut se décomposer en un ensemble de critères plus concrets appelés catégories, soit  $C_i = \{C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{ij_i}\}$  avec  $i \in \{1, 2, \dots, t\}$ . Il s'agit des critères d'évaluation en niveau 2. De la même manière, chaque catégorie du niveau 2  $C_{ij}$  peut se décomposer en éléments encore plus concrets, appelés indicateurs. Nous pouvons alors obtenir  $C_{ij} = \{C_{ij1}, C_{ij2}, \dots, C_{ijk_j}\}$  ( $j \in \{1, 2, \dots, j_i\}$ ) en niveau 3. Dans cette structure hiérarchisée, l'évaluation d'un critère plus abstrait du niveau inférieur peut se calculer à partir des évaluations en fonction de sous critères plus concrets du niveau supérieur.

*Etape 2 : Définition des poids pour les experts*

Comme les contextes professionnels et culturels des experts ainsi que leurs sensibilités aux prototypes à évaluer sont différentes, leurs niveaux d'importance ou d'influence dans la prise de décision doivent également être différenciés. Pour cela, dans la méthode proposée, nous attribuons à chaque expert  $P_y$  un poids  $\tilde{v}_y$  ( $y=1,2,\dots,n$ ). Les poids sont généralement des termes linguistiques déterminés avant le processus d'évaluation, soit à travers une série de discussions au sein du groupe d'experts soit par l'animateur du groupe. Dans cette section, les poids prennent des valeurs linguistiques appartenant à l'ensemble  $\{Pas\ Important\ (PI),\ Moins\ Important\ (MI),\ Important\ (I),\ Très\ Important\ (TI),\ Absolument\ Important\ (AI)\} = \{\tilde{c}_1, \tilde{c}_2, \tilde{c}_3, \tilde{c}_4, \tilde{c}_5\}$ .

*Etape 3 : Détermination des poids pour les critères d'évaluation*

Nous prenons  $WC = \{WC_1, WC_2, \dots, WC_t\}$  comme poids pour les aspects du niveau 1. De la même manière, ces poids peuvent prendre des valeurs floues à partir d'un ensemble prédéfini, soit  $\{Pas\ Important\ (PI),\ Moins\ Important\ (MI),\ Important\ (I),\ Très\ Important\ (TI),\ Absolument\ Important\ (AI)\} = \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3, \tilde{a}_4, \tilde{a}_5\}$ .

Ensuite, nous définissons  $WC_{i1}, WC_{i2}, \dots, WC_{ij_i}$  comme poids pour les catégories du niveau 2 associés à l'aspect  $C_i$ . Nous définissons  $WC_{ij1}, WC_{ij2}, \dots, WC_{ijk_{ij}}$  comme poids pour les indicateurs du niveau 3 associés à la catégorie  $C_{ij}$ .  $WC_{ij}$  et  $WC_{ijk}$  prennent également des valeurs à partir de l'ensemble  $\{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_5\}$ .

**Niveau 2 : Génération de préférence individuelle**

*Etape 4 : Génération du degré de préférence d'un prototype pour une catégorie*

Nous définissons  $SC_{ij}^{yk} = \{SC_{ij1}^{yk}, SC_{ij2}^{yk}, \dots, SC_{ijk_{ij}}^{yk}\}$  comme degré de préférence du prototype  $S_k$  par rapport à la catégorie  $C_{ij}$  et à l'expert  $P_y$  avec  $i \in \{1, 2, \dots, t\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, j_i\}$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ,  $y \in \{1, \dots, n\}$ . Dans cette expression, le composant  $SC_{ijz}^{yk}$ , considéré comme le degré de préférence pour l'indicateur  $C_{ijz}$ , est une variable floue qui prend des valeurs à partir de l'ensemble  $\{Pas\ du\ tout\ satisfaisant,\ Peu\ satisfaisant,\ Satisfaisant,\ Plus\ satisfaisant,\ Forte\ satisfaisant,\ Tout\ à\ fait\ satisfaisant\} = \{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \tilde{b}_3, \tilde{b}_4, \tilde{b}_5, \tilde{b}_6\}$ .

*Etape 5 : Calcul du degré de préférence par rapport à un aspect*

Le degré de préférence  $CS_i^{yk}$  du prototype  $S_k$  par rapport à l'aspect  $C_i$  et à l'expert  $P_y$ , ( $i \in \{1, 2, \dots, t\}$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, m\}$  et  $p \in \{1, \dots, n\}$ ) se calcule sur des nombres flous de la façon suivante :

$$CS_i^{yk} = WC_i \times SC_i^{yk} = \sum_{j=1}^{j_i} WC_{ij} \times SC_{ij}^{yk} \quad \text{où} \quad SC_{ij}^{yk} = \sum_{z=1}^{k_{ij}} WC_{ijz} \times SC_{ijz}^{yk} \quad (5-1)$$

*Etape 6 : Calcul du degré de préférence pour l'ensemble des aspects*

Le degré de préférence  $D_k^y$  du prototype  $S_k$  par rapport à l'ensemble des aspects et à l'expert  $P_y$  se calcule sur des nombres flous de la façon suivante :

$$D_k^y = \sum_{i=1}^t CS_i^{yk} \times WC_i \quad (5-2)$$

*Etape 7 : Normalisation du degré de préférence pour l'ensemble des aspects*

Le degré de préférence  $D_k^y$  du prototype  $S_k$  ( $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ) par rapport à l'expert  $P_y$  est normalisé par

$$\bar{D}_k^y = \frac{D_k^y}{\sum_{k=1}^m D_k^y} \quad (5-3)$$

où  $\bar{D}_k^y$  est le degré de préférence normalisé.

### Niveau 3 : Agrégation des résultats pour l'ensemble des évaluateurs

*Etape 8 : Normalisation des poids des experts*

Le poids  $\tilde{v}_y$  ( $y \in \{1, 2, \dots, n\}$ ) de l'expert  $P_y$  ayant été défini à l'étape 2, nous pouvons donc obtenir sa valeur normalisée  $\tilde{v}_y^*$  par

$$\tilde{v}_y^* = \frac{\tilde{v}_y}{\sum_{y=1}^n \tilde{v}_y} \quad (5-4)$$

où  $\tilde{v}_y^*$  est le poids normalisé pour l'expert  $P_y$ .

*Etape 9 : Construction d'un vecteur flou de décision*

Ayant normalisé les poids pour tous les experts, nous pouvons construire un vecteur flou de décision de la façon suivante :

$$(\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \dots, \tilde{r}_m) = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \times \begin{pmatrix} \bar{D}_1^1 & \bar{D}_2^1 & \dots & \bar{D}_m^1 \\ \bar{D}_1^2 & \bar{D}_2^2 & \dots & \bar{D}_m^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{D}_1^n & \bar{D}_2^n & \dots & \bar{D}_m^n \end{pmatrix} \quad \text{où} \quad \tilde{r}_k = \sum_{y=1}^n \tilde{v}_y^* \bar{D}_k^y \quad (5-5)$$

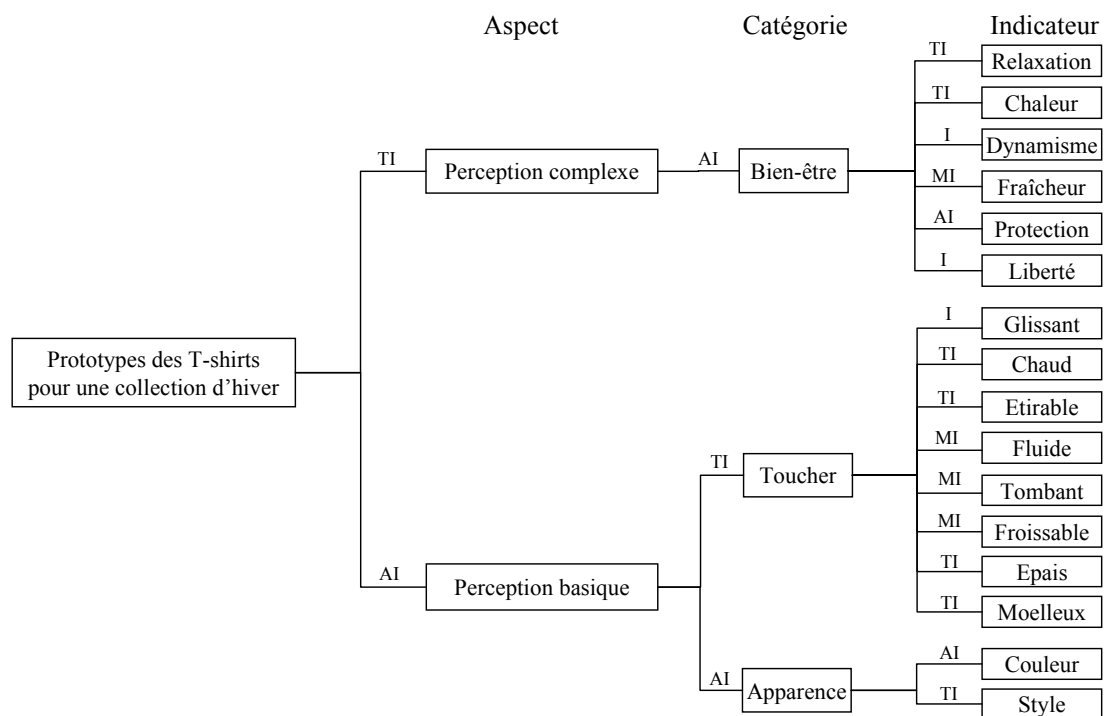
$\tilde{r}_k$  ( $k \in \{1, \dots, m\}$ ) est une valeur floue de décision pour le prototype  $S_k$  après l'agrégation pondérée des évaluations de tous les experts. Sa valeur défuzzifiée est notée  $r_k$ . Elle est comprise entre 0 et 1.  $r_k$  ( $k \in \{1, \dots, m\}$ ) est considéré comme le degré de préférence global du prototype  $S_k$ .

Le prototype  $S_k$  correspondant à la valeur maximale des degrés de préférence globaux  $r_k$  est considéré comme le produit le plus satisfaisant pour l'ensemble des critères de qualité et l'ensemble des experts. En revanche, le prototype correspondant à la valeur minimale des  $r_k$  est considéré comme le produit le moins satisfaisant.

## 5.4. Exemple d'application

Dans cette section, nous proposons d'abord une structure hiérarchisée de l'évaluation globale des prototypes (T-shirts) satisfaisant le bien-être des seniors (Figure 5-2). Pour l'aspect de perception basique, nous ne nous concentrons que sur le toucher et l'apparence. Ensuite, nous appliquons la méthode proposée à cette évaluation globale.

La structure est déterminée selon une collection existante des produits par un ensemble d'experts spécialisés en produits et en marketing. Dans la Figure 5-2, les indicateurs sont évalués subjectivement par les experts en utilisant des valeurs de  $\{\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \tilde{b}_3, \tilde{b}_4, \tilde{b}_5, \tilde{b}_6\}$ .



Poids : {Pas Important (PI), Moins Important (MI), Important (I), Très Important (TI), Absolument Important (AI)}

Figure 5-2 Structure hiérarchisée de l'évaluation globale des prototypes

Dans cet exemple, cinq prototypes de T-shirts sont évalués par cinq experts (Annexe 24). Les degrés de préférence globaux sont donnés Figure 5-3.

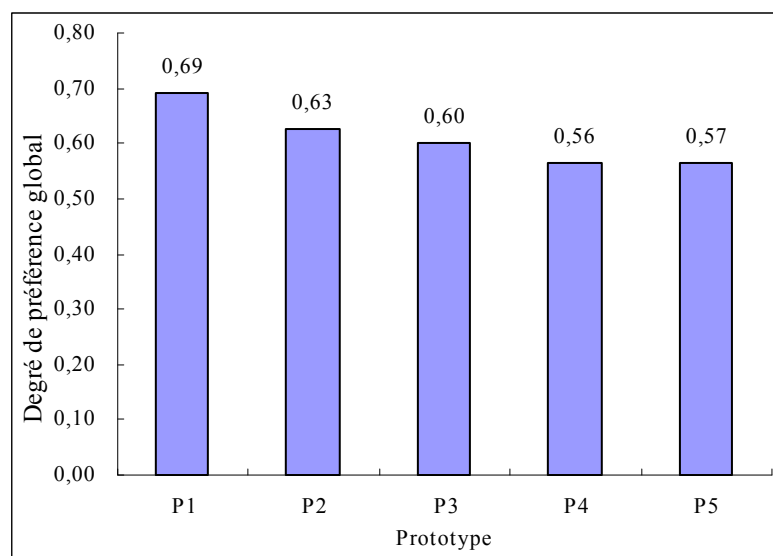


Figure 5-3 Degrés de préférence globaux des prototypes liés aux critères de l'évaluation

Dans la Figure 5-3,  $P_1$  est le prototype le plus satisfaisant et  $P_4$  est le prototype le moins satisfaisant. Le degré de préférence global de  $P_1$  par rapport à l'ensemble des critères d'évaluation est illustré dans la Figure 5-4.

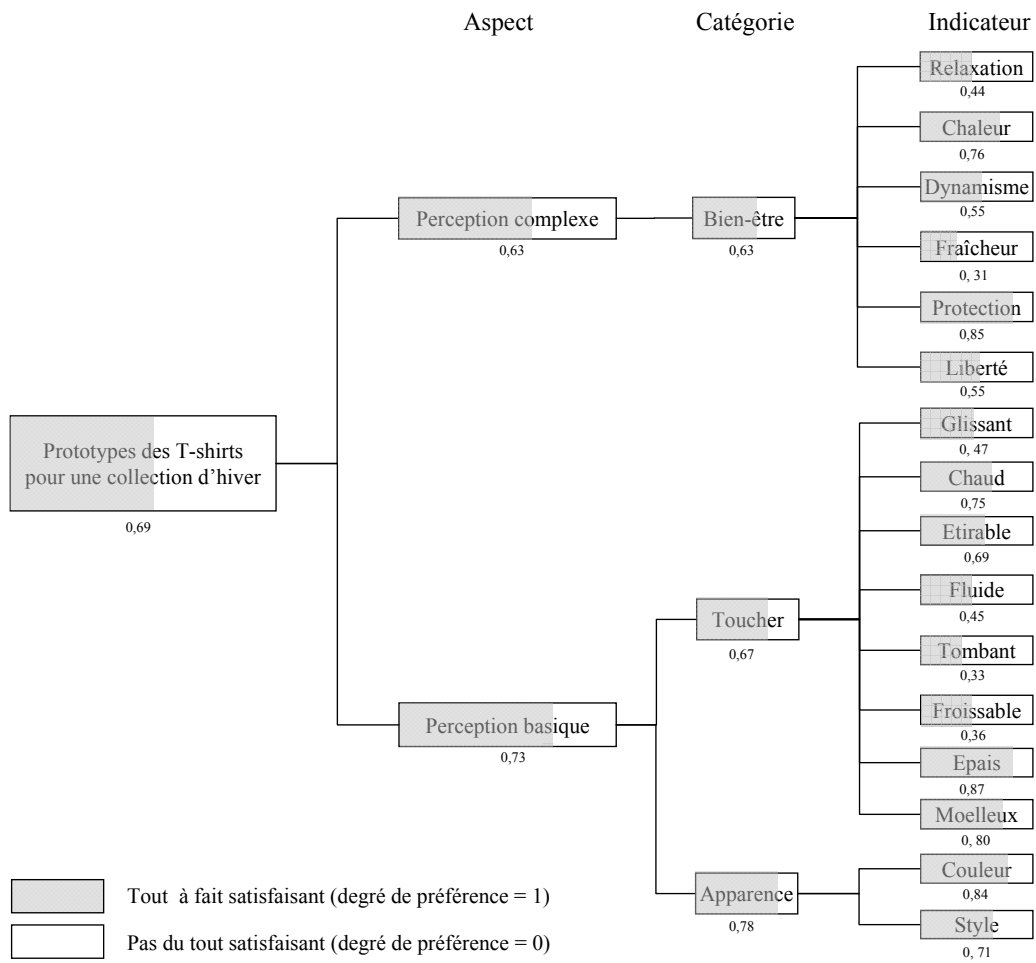


Figure 5-4 Degré de préférence global pour le prototype  $P_1$

Après avoir normalisé les degrés de préférence des prototypes correspondant à chaque critère de qualité sur l'intervalle  $[0, 1]$ , nous pouvons obtenir, pour ce critère, un degré de pertinence relatif. Cela nous permet de comparer l'ensemble des prototypes par rapport à chaque critère de qualité.

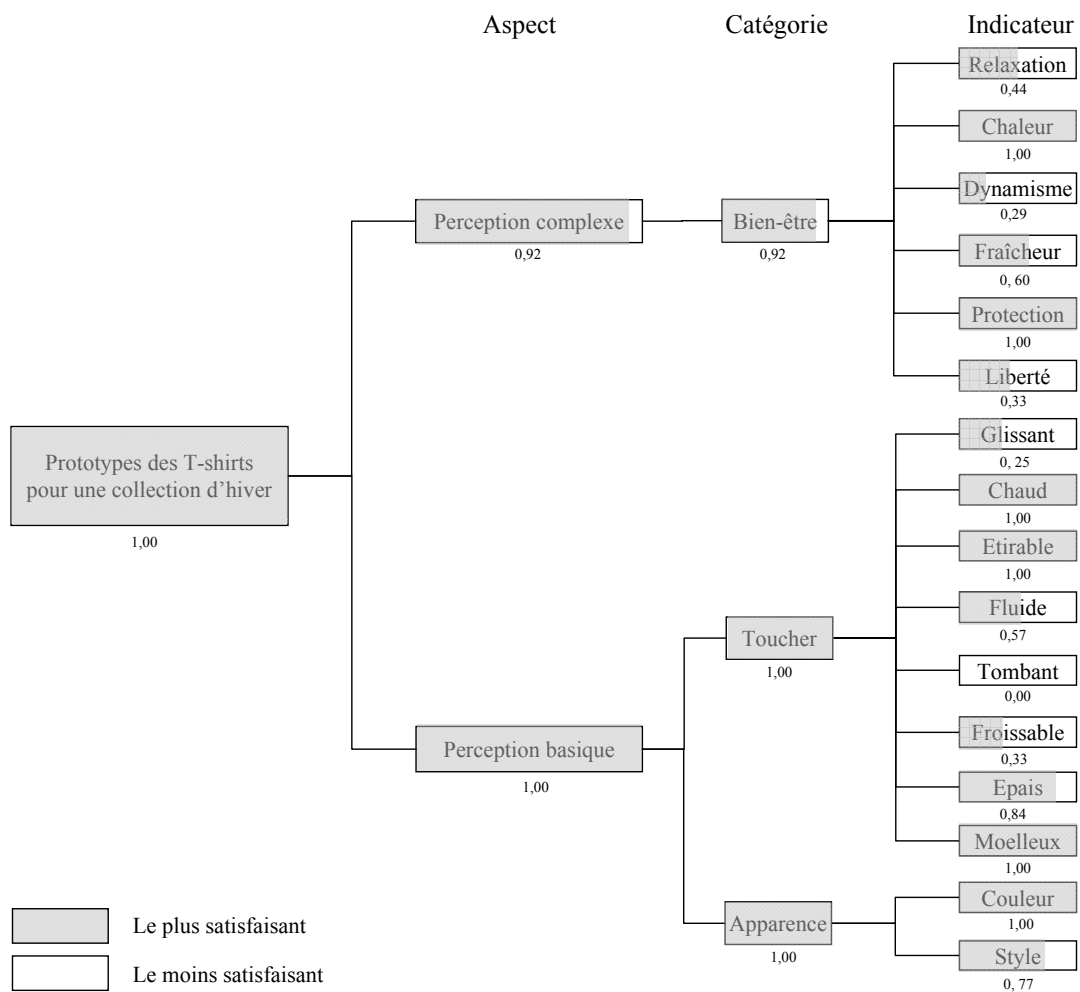


Figure 5-5 Degré de préférence relatif pour le prototype  $P_1$

La Figure 5-5 présente le degré de préférence relatif pour le prototype  $P_1$ . Nous pouvons constater que ce prototype possède le plus grand degré de préférence global. Ceci est principalement lié au fait que ce prototype est le plus favorable pour tous les deux aspects : « perception complexe » et « perception basique », et toutes les trois catégories : « bien-être », « toucher » et « apparence ».

En nous appuyant sur ces résultats, nous pouvons voir que la méthode proposée est flexible et interprétable. D'une part, elle est capable d'agréger les degrés de préférence globaux en considérant les critères de qualité multiples et en utilisant une structure hiérarchisée. D'autre part, le degré de préférence à un aspect ou à une catégorie spécifique peut être utilisé pour étudier l'influence d'un critère particulier sur la performance du produit.

## 5.5. Bilan

Une évaluation globale compréhensible des prototypes est une phase importante avant l'industrialisation de masse. Effectuée par un groupe d'experts de profils différents utilisant des termes linguistiques, cette évaluation globale peut être considérée comme un problème d'aide à la décision multicritère et hiérarchisée. Ainsi, elle comprend certainement des incertitudes et des imprécisions.

Dans ce chapitre, une structure hiérarchisée générale est présentée pour l'évaluation globale des prototypes (vêtements) satisfaisant le bien-être des seniors. Cette méthode permet d'évaluer globalement les prototypes selon les attributs sensoriels (les descripteurs sensoriels du toucher, le style, la couleur) et les critères du bien-être. Les degrés de similarité entre chaque prototype et les descripteurs pourront être prédits à partir des données instrumentales par utilisation du modèle développé dans le Chapitre 3. Les degrés de similarité entre chaque prototype et les critères du bien-être pourront être estimés à partir de ses similarités par rapport aux descripteurs sensoriels selon le modèle développé dans le Chapitre 4. En nous appuyant sur la structure hiérarchisée proposée, nous proposons une méthode floue d'aide à la décision multicritère, effectuée en plusieurs niveaux par un groupe d'experts.

Cette méthode est capable de traiter des critères et des poids linguistiques, et bien adaptée à l'évaluation des notions complexes et incertaines. Elle a été appliquée, avec succès, à la conception des produits d'habillement pour le bien-être des seniors. Cette méthode permet de trouver le prototype le mieux adapté aux critères du cahier des charges fonctionnels et émotionnels. Dans la production de masse, les composants de conception concernés (toucher, style, couleur ...) peuvent être contrôlés selon le prototype identifié. Cette méthode est flexible pour trouver le prototype optimal et pour étudier l'influence d'un critère de qualité spécifique.





consommateurs a été proposée afin d'associer la notion abstraite du bien-être à des critères plus concrets, chacun caractérisé par une série d'images d'ambiances adaptées à la marque de l'entreprise. La perception du bien-être a été donc traduite par une mesure de similarité des produits par rapport à ces critères concrets. Enfin, une méthode a été proposée pour étudier la relation entre les descripteurs multi-sensoriels des produits finis (toucher, couleur, style) et les 6 critères du bien-être. Cette méthode est une démarche générale, prenant en compte des interactions entre les trois aspects sensoriels. Les données du bien-être ainsi que les résultats des évaluations multi-sensorielles ont été utilisés dans les Chapitres 4 et 5 pour la modélisation de l'image véhiculée par la marque d'une entreprise et l'évaluation globale des prototypes industriels.

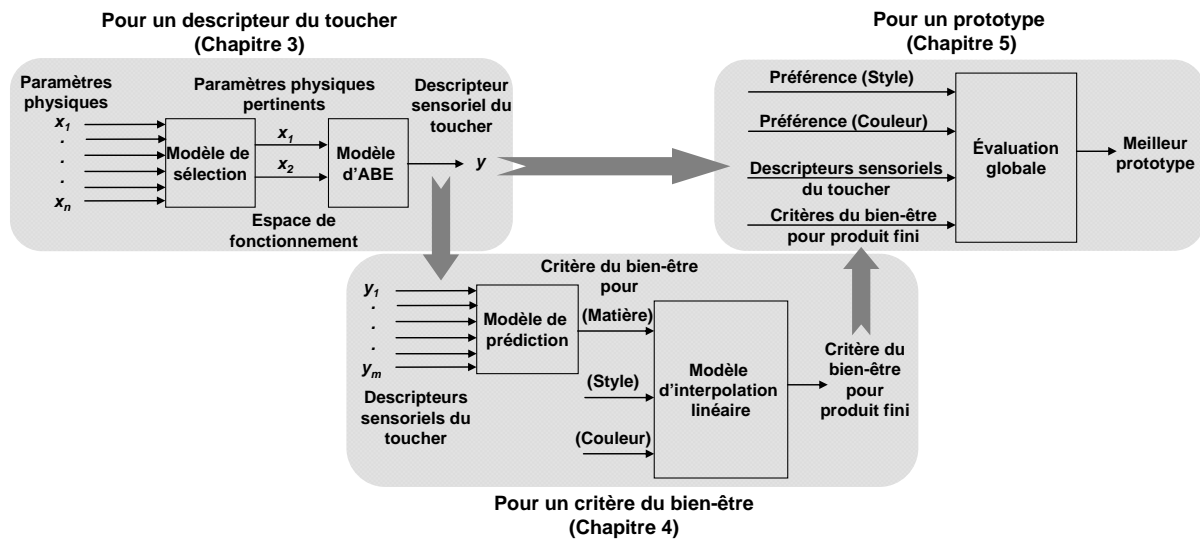


Figure Représentation synthétique des modèles proposés dans le mémoire de thèse

L'ensemble des modèles utilisés ou développés est décrit dans la Figure ci-dessus. Dans le Chapitre 3, nous avons modélisé la relation entre les paramètres physiques des textiles, mesurés sur plusieurs appareils, et les descripteurs sensoriels du toucher, évalués par un panel d'experts entraînés. Cette relation a été modélisée avec un nombre réduit de données d'apprentissage en deux étapes. La première concerne la sélection des paramètres physiques pertinents, par utilisation d'un critère combinant à la fois la sensibilité et la corrélation des variables, afin de réduire la complexité du modèle et le rendre plus interprétable. Dans la deuxième étape, un modèle flou de type ABE a été établi afin de prédire la valeur de chaque descripteur sensoriel à partir des mesures physiques dans l'espace de fonctionnement. Selon nos expériences, le modèle proposé est interprétable et capable de s'adapter à la non-linéarité d'une relation complexe et de réduire l'effet de points isolés.

Dans le Chapitre 4, nous avons analysé les critères du bien-être et modélisé la relation entre les descripteurs sensoriels et chaque critère du bien-être. D'abord, nous avons calculé les dissonances entre les critères du bien-être en nous appuyant sur les données d'évaluation des consommateurs pour un ensemble de produits représentatifs. Un modèle utilisant des opérations sur les relations floues, le calcul des corrélations ainsi que l'agrégation de données ont été ensuite introduits afin de sélectionner des descripteurs sensoriels pertinents du toucher et de prédire les degrés de similarité de nouvelles étoffes par rapport à un critère du bien-être. Les résultats quantitatifs en apprentissage montrent que le modèle proposé et la régression linéaire ont une performance similaire de prédiction sur les données d'apprentissage. Pourtant, sur les données de test, il est beaucoup plus performant par rapport à la méthode de régression linéaire en termes de la conformité aux expériences professionnelles des experts produits. De plus, la méthode proposée n'utilise que des descripteurs sensoriels pertinents. Ceci permet aux industriels de réduire le coût et le temps pour l'acquisition de ces dernières. Ensuite, nous avons agrégé les degrés de similarité obtenus à partir du modèle précédent et les degrés de similarité obtenus à partir des tests émotionnels (style et couleur) en utilisant la méthode d'interpolation linéaire. Cette méthode permet aux concepteurs de bien positionner le nouveau produit par rapport aux produits existants dans l'espace du bien-être. Cette méthode a une très bonne performance sur les 33 produits de la base d'apprentissage. Enfin, nous avons présenté les programmes développés en Scilab pour les procédures de modélisations des Chapitres 3 et 4. Le logiciel développé est simple, facilement accessible et assimilable par l'entreprise, permettant de déterminer le positionnement de T-shirts en maille, aussi bien en prévision qu'en caractérisation sur les critères du bien-être étudiés (chaleur, dynamisme, relaxation, fraîcheur, protection et liberté).

Le logiciel réalisé dans le cadre de cette thèse permettra d'améliorer la qualité de conception de nouveaux produits d'habillement (cf. Figure ci-dessous). A titre d'exemple, pour développer un nouveau T-shirt, étant donnée une nouvelle matière fournie par un fournisseur spécifique, nous utilisons le test sensoriel selon le protocole proposé dans cette thèse, afin de comparer cette matière avec les produits représentatifs de la collection étudiée, dont les correspondances entre les critères de conception (données sensorielles) et les critères de bien-être (attentes des consommateurs) sont calculées à partir de ce logiciel. Par combinaison avec un style et une couleur, ce logiciel permettra aux concepteurs de positionner le produit fini, fabriqué à l'aide de cette matière, dans l'espace de bien-être. Ce

logiciel permettra aussi de prédire des descripteurs sensoriels de conception à partir des données instrumentales réalisées sur cette matière. Ce traitement est significatif si les évaluations sensorielles ne sont pas disponibles.

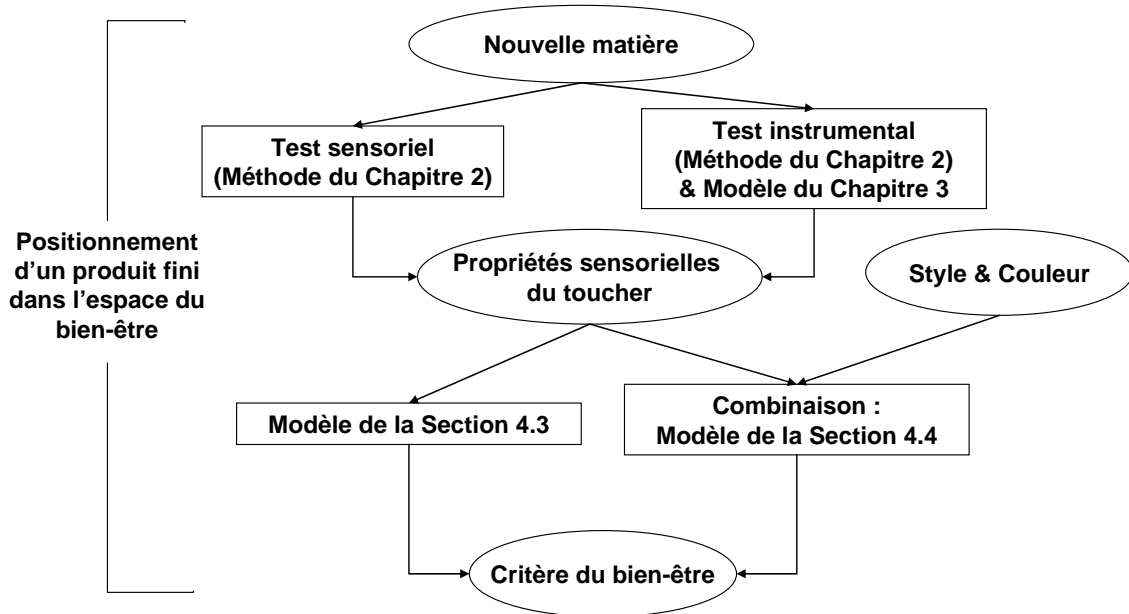


Figure Application du logiciel réalisé pour aider la conception d'un nouveau produit

Nous avons proposé également une méthode floue d'aide à la décision multicritères en tenant compte de tous les aspects abstraits et des indicateurs sensoriels et émotionnels concrets en plusieurs niveaux par un groupe d'experts afin de trouver le prototype le mieux adapté aux critères du cahier des charges sensoriels et émotionnels (chapitre 5). Cette méthode permet d'évaluer globalement chaque prototype selon les aspects sensoriels (les descripteurs sensoriels du toucher, le style, la couleur) et les critères du bien-être. Les degrés de similarité entre le prototype et les descripteurs du toucher pourront être prédits à partir des données instrumentales issues du modèle développé dans le Chapitre 3. Les degrés de similarité entre le prototype et les critères du bien-être pourront être estimés à partir de ses similarités par rapport aux descripteurs selon le modèle développé dans le Chapitre 4. Selon nos expériences, cette méthode d'évaluation globale des prototypes est non seulement capable de traiter des incertitudes, mais aussi flexible pour trouver le prototype optimal et pour étudier l'influence d'un critère de qualité spécifique. Un schéma représentant l'ensemble des modèles et les relations entre eux est représenté dans la figure ci-dessus.

En raison de la durée limitée de la thèse, il reste encore de nombreux champs d'investigation à explorer dans ce domaine de recherche. Trois inconvénients principaux de nos méthodes sont avancés ci-dessous.

- 1) En ce qui concerne la méthode de la sélection des paramètres pertinents (Section 3.2), la procédure de sélection s'effectue variable par variable. Pour augmenter la précision, elle peut être améliorée par sélection de plusieurs variables pertinentes ensemble.
- 2) En ce qui concerne la méthode d'ABE, les hyper-volumes générés dépendent de la répartition des données d'apprentissage et du découpage de l'intervalle de sortie. Dans notre application, comme le nombre de données d'apprentissage est limité, les hyper-volumes et les règles obtenus sont relativement moins généralisables et moins robustes. Le modèle peut être amélioré par ajout de données supplémentaires.
- 3) En ce qui concerne la prévision du bien-être des consommateurs à partir des données sensorielles (Section 4.3), nous considérons qu'un critère du bien-être est considéré comme une combinaison linéaire de ces descripteurs sensoriels pertinents. Pour l'agrégation des données multi-sensorielles, nous appliquons la méthode linéaire pour combiner trois aspects sensoriels (le toucher, le style et la couleur) (Section 4.4). Dans la pratique, leurs relations pourront être améliorées par d'autres méthodes de modélisation non linéaire.
- 4) La robustesse des méthodes proposées pourra être testée avec d'autres collections de données.
- 5) Dans nos études, les consommateurs sont consensuels sur leurs évaluations sensorielles. Dans la pratique, d'autres méthodes pourront être utilisées pour traiter l'hétérogénéité des consommateurs dans l'évaluation.



# BIBLIOGRAPHIE

1. [AAKER, 1991] Aaker D. A. *Managing Brand Equity: capitalising on the value of a brand name*, 1<sup>é</sup> éd. New York: The Free Press, 1991, 299 p.
2. [ABBOTT, 1982] Abbott N.J. Self Twist Cotton Roving. Yarn Properties and Spinnability. *Textile Research Journal* 1982, vol.52, n°3, p.174-178.
3. [ABE, 1995] ABE S., LAN M. Fuzzy rules extraction directly from numerical data for function approximation. *IEEE Trans. on SMC*, 1995, vol.25, n°1, p.119-129.
4. [AFNOR, 1984] AFNOR. *Norme NF T90-003, Août 1984, Essais des eaux - Détermination de la concentration totale en calcium et magnésium -Méthode titrimétrique à l'EDTA*. Paris: AFNOR.1984.
5. [ALLEY, 1976] Alley V. L., McHatton A. D. *A proposed quantitative measure of fabric handle and the relative characterisation of some aerospace materials by handle moduli*. US: Air force geophysics laboratory special report.1976.
6. [BABAZONO, 2010] Kaisei engineering and emotion research International conference, The possibility of predicting luxury brand Lanvin, Balenciaga as examples par BABAZONO S., MORIKAWA H., *et al.* Paris, France, Mars 2-4, 2010.
7. [BATTITI, 1994] Battiti R. Using mutual information for selection features in supervised neural net learning. *IEEE Trans. on Neural Network*, 1994, vol.5, n°4, p.537-550.
8. [BIGAND, 2008] Bigand M. Le projet, mode de conception de produit, volume I: management des hommes, des projets et des informations. *La conception industrielle des produits* / ed. by Yannou B. Paris: Lavoisier.2008, pp.111-116.
9. [BISHOP, 1996] Bishop D.P. *Fabrics: Sensory and Mechanical Properties*, Textile Progress Series 3, 1<sup>é</sup> éd. Manchester: CRC Press, 1996, 67 p.
10. [BLUM, 1997] Blum A. L., Langley P. Selection of relevant features and examples in machine learning. *Artificial Intelligence*, 1997, vol.97, n°1-2, p.245-271.
11. [BLUMENTHAL, 2001] Blumenthal D. *Contribution à la caractérisation de produits complexes non anonymes - Application à l'évaluation du confort de l'habitacle avant des véhicules automobiles*. p.384.Docteur en sciences alimentaires. Ecole nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires, Massy: 2001.

12. [BOUCHON-MEUNIER, 1998] Bouchon-Meunier B. *Aggregation and fusion of imperfect information*, 1 éd. Heidelberg: Physica-Verlag, 1998, 278 p.
13. [BOUCHON-MEUNIER, 2000] Bouchon-Meunier B., Yager R. R., *et al.* *Uncertainty in Intelligent and Information Systems*, Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory, 1é éd. Singapore: World Scientific, 2000, 304 p.
14. [BRANGIER, 2003] Brangier E., Barcenilla J. *Concevoir un produit facile à utiliser*, 1é éd. Paris: Editions d'Organisation, 2003, 260 p.
15. [BROUARD, 2000] Brouard C. Algorithmes d'apprentissage et applications. *Revue d'intelligence artificielle*, 2000, vol.14, n°3-4, p.397-425.
16. [BROWN, 2004] Brown M., Leavitt P., *et al.* *New Product development: A Guide for Your Journey to Best-Practice Processes*, 1é éd. Houston: American Productivity & Quality Center, 2004, 101 p.
17. [BROWN, 1993] Brown P.J. *Consumer choices. Selecting clothes for older people in your care*, Ames, Iowa: Iowa State University Extension Publication Pm-684, 1993.
18. [BRUTON, 1977] Bruton H.J. *On the search for well-being*, 1é éd. Chicago, IL: Univ of Michigan Press, 1977, 227 p.
19. [BUENO, 1995] Bueno M. A. *Caractérisation tribologique des surfaces textiles: application au contrôle des traitements spécifiques d'ennoblissement*. Docteur. Université de Haute Alsace, Mulhouse: 1995.
20. [BURKE, 1966] Burke J.G. *The new Technology and Human Values*, 1 éd. Belmont, Calif.: Wadsworth publishing company, 1966, 408 p.
21. [CARDIE, 2003] Proceedings 11th International Conference on Machine Learning, Using decision trees to improve case-based learning par Cardie C. Amherst, MA, 2003.
22. [CASTRO, 1995] Castro J. L. Fuzzy logic controllers are universal approximators. *IEEE Trans. on SMC*, 1995, vol.25, n°4, p.629-634.
23. [CHANG, 2000] Chang H.C., Dong L., *et al.* Indexing and retrieval in machining process planning using Case-Based Reasoning. *Artificial Intelligence in Engineering*, 2000, vol.14, p.1-13.
24. [CHEN, 1992] Chen P.L., Barker R.L., *et al.* Handle of Weft Knit Fabrics. *Textile Research Journal*, 1992, vol.62, n°8, p.200-211.
25. [CHOL, 2005] Chol G., Cho J., *et al.* Physiological and Subjective Evaluation of the rustling sounds of polyester warp knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 2005, vol.75,



- n°4, p.312-318.
26. [CHU, 1963] Chu C.C., Hamburger W.J., *et al.* *Determination of factors which influence the draping properties of cotton fabrics*: Southern Utilization R&D Division, Agricultural Research Service, US.1963.
  27. [COUDIN, 2006] Coudin E. Projections 2005-2050. *Insee première*, 2006, vol.1092, juillet 2006.
  28. [CROSSLAND, 2003] Crossland R., Sims W.J.H., *et al.* An object-oriented modeling framework for representing uncertainty in early variant design, research. *Engineering Design*, 2003, vol.14, p.173-183.
  29. [CUNNINGHAM, 1956] Cunningham R. Brand Loyalty-what, where, how much. *Havard Business Review*, 1956, vol.3, p.116-128.
  30. [DANZART, 1998] Danzart M. Statistique. *Evaluation sensorielle - Manuel méthodologique* / ed. by SSHA, ISHA, SZTRYGLER F. Paris: Lavoisier.1998, pp.218-300.
  31. [DAVID, 1985] David H.G., Stearn A.E., *et al.* The Subjective Assessment of Handle. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1985, vol.3, p.527 – 536.
  32. [DAY, 1978] Day R.L. Beyond social Indicators: Quality of life at the individual level. *Marketing and the quality of life* / ed. by Reynolds F. D., Barksdale H. C. Chicago, IL: American Marketing Association.1978, pp.11-18.
  33. [DAY, 1987] Day R. L. Relationships between life satisfaction and consumer satisfaction. *Marketing and the quality-of-life interface* / ed. by Samli A. C. Westport, CT: Quorum Books.1987, pp.289–311.
  34. [DENG, 2007] Deng X., Vroman P., *et al.* A fuzzy criterion for selecting relevant process parameters for the development of nonwoven products. *Journal of information and computing science*, 2007, vol.2, n°2, p.93-102.
  35. [DENG, 2008] Deng X. *Développement d'un outil d'aide à la conception des matériaux fibreux multifonctionnels par les techniques de calcul avancé*. p.171.Docteur en Automatique et Informatique Industrielle. USTL, Lille: 2008.
  36. [DENG, 2010] Deng X., Zeng X., *et al.* Selection of relevant variables for industrial process modeling by combining experimental data sensitivity and human knowledge. *Engineering application of artificial intelligence*, 2010, vol.23, n°8, p.1368-1379.
  37. [DESTERCKE, 2007] Destercke S., Guillaume S., *et al.* Building an interpretable fuzzy

- rule base from data using Orthogonal Least Squares - Application to a depollution problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 2007, vol.158, p.2078-2094.
38. [DEVANEY, 1997] 14th International Conference on Machine Learning, Efficient feature selection in conceptual clustering par Devaney M., Ram A. San Francisco, USA: Inc. M. K. P., July 8-12, 1997.
39. [DICTER, 1985] Dichter E. What's in an Image. *Journal of Consumer Marketing*, 1985, vol.2, n°1, p.75-81.
40. [DIJKSTERHUIS, 1997] Dijksterhuis G.B. *Multivariate data analysis in sensory and consumer science*, 1<sup>é</sup> éd. Trumbull, Connecticut, USA: Food & Nutrition Press Inc., 1997, 317 p.
41. [DRIVA, 2001] DRIVA H.H., PAWAR S.K., *et al.* Performance evaluation of new product development from a company perspective. *Integrated Manufacturing Systems*, 2001, vol.12, n°5, p.368-378.
42. [DUBOIS, 1980] Dubois D., Prade H. *Fuzzy sets and systems: theory and applications*, 1<sup>é</sup> éd. New York: Academic Press, 1980, 393 p.
43. [DUBOIS, 2004] Dubois D., Prade H. On the use of aggregation operations in information fusion processes. *Fuzzy Sets Syst.*, 2004, vol.142, n°1, p.143-161.
44. [DYER, 1992] DYER R.F., FORMAN E.H. Group decision support with the analytic hierarchy process. *Decision Support System*, 1992, vol.8, n°2, p.99-124.
45. [DZOGANG, 2010] Kansei engineering and emotional research international conference, Analysis of texts' emotional content in a multidimensional space par Dzogang F., Lesot M. J., *et al.* Paris, France, Mars 3 - 5, 2010.
46. [EHRlichMAN, 1992] Ehrlichman H., Bastone L. The use of odour in the study of emotion. *Fragrance: The Psychology and Biology of Perfume* / ed. by VanToller S., Dodd G.H. London: Elsevier Applied Science.1992, pp.143-160.
47. [ENGEL, 1995] Engel J.F., Blackwell R.D., *et al.* *Consumer Behavior*, 8<sup>é</sup> éd. Orlando, FL: The Dryden Press, Harcourt Brace College Publishers, 1995, 506 p.
48. [ERIKSSON, 2000] ERIKSSON L., JOHANSSON E., *et al.* *Design of experiments - principles and applications*, 1<sup>é</sup> éd. Umea, Sweden: Umetrics, 2000, 462 p.
49. [ESCOFIER, 1994] Escofier B., Pagès J. Multiple factor analysis (AFMULT package). *Computational statistics & data analysis*, 1994, vol.18, p.121-140.
50. [ESSAMA-NSSAH, 2000] Essama-Nssah B. *Inégalité, pauvreté et bien-être social:*

- fondements analytiques et normatifs*, Fondements analytiques et normatifs, 1<sup>é</sup> éd. Bruxelles: De Bocck Université, 2000, 228 p.
51. [EVANS, 2004] Evans B., Wyler J.M. (2004). "Product development insight beyond brainstorming. Retrieved réf. du 25 octobre 2004, from [www.devicelink.com/mddi/archive/04/09/013.html](http://www.devicelink.com/mddi/archive/04/09/013.html)."
  52. [FARQUHAR, 1989] Farquhar P.H. Managing brand equity. *Marketing Research*, 1989, vol.1, n°September, p.24-33.
  53. [FORNELL, 1992] Fornell C. A national customer satisfaction barometer: The Swedish experience. *Journal of Marketing*, 1992, vol.56, p.6-21.
  54. [FORNELL, 1996] Fornell C., Johnson M. D., *et al.* The American Customer Satisfaction Index: Nature, purpose, and findings. *Journal of Marketing*, 1996, vol.60, p.7-18.
  55. [FUKUNAGA, 1990] Fukunaga K. *Introduction to statistical pattern recognition*, 2<sup>é</sup> éd. San Diego, CA: Academic Press, Inc., 1990, 592 p.
  56. [GACOGNE, 1996] Rencontre francophone sur la logique floue et ses applications, Optimisation multicritère de contrôleur flou par une stratégie d'évolution approchant la zone de pareto par Gacogne L. Nancy, Décembre 11-12, 1996.
  57. [GACOGNE, 1999] Gacogne L. Multiple objective optimizations of fuzzy rules for obstacles avoiding by an evolution algorithm with adaptive operators. *Mendel*, 1999, vol.99, p.87-94.
  58. [GAUTIER, 1995] Gautier R. *Qualité en conception de produits nouveaux: proposition d'une méthode de fiabilisation du processus de management de l'information*. p.221. Thèse: Génie industriel. Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris: 1995.
  59. [GERSAK, 2002] Gersak J. Development of the system for qualitative prediction of garments appearance quality. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2002, vol.14, n°3/4, p.169-180.
  60. [GIBOREAU, 2001] Giboreau A., Navarro S., *et al.* Sensory evaluation of automotive fabrics: the contribution of categorisation tasks and non verbal information to set-up a descriptive method of tactile properties. *Food Quality and Preference*, 2001, vol.12, p.311-322.
  61. [GOLDBERG, 1989] Goldberg D.E. *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, 1<sup>é</sup> éd. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing, 1989, 372 p.

62. [GOLDSTONE, 2000] Goldstone R.L., Steyvers M., *et al.* *Interactions between perceptual and conceptual learning*, Cognitive Dynamics: Conceptual Change in Humans and Machines, 1<sup>é</sup> éd. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2000, 191-228 p.
63. [GOWER, 1975] Gower J.C. Generalized procrustes analysis. *Psychometrika*, 1975, vol.40, p.33-51.
64. [GRABISCH, 1997] Grabisch M. Evaluation subjective : Méthodes, applications et enjeux. *Les Cahiers des Clubs CRIN*, 1997, vol.1, p.137-156.
65. [GRUNERT, 1996] Grunert K. G. Automatic and Strategic Processes in Advertising Effect. *Journal of Marketing Magazine*, 1996, vol.60, p.88-101.
66. [GRZESKOWIAK, 2007] Grzeskowiak S., Sirgy M. J. Consumer well-being (CWB): The effects of self-image congruence, brand-community belongingness, brand loyalty, and consumption recency. *Applied Research Quality Life*, 2007, vol.2, p.289-304.
67. [GUILLAUME, 2001a] Guillaume S. Designing Fuzzy Inference Systems from Data: An interpretability-oriented Review. *IEEE Transaction on fuzzy systems*, 2001, vol.9, n°3, p.426-443.
68. [GUILLAUME, 2001b] Guillaume S., Charnomordic B. Knowledge discovery for control purposes in food industry databases. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, vol.122, p.487-497.
69. [GUILLAME, 2004a] Guillame S., Charnomordic B. Fuzzy models to deal with sensory data in food industry. *Journal of Donghua University*, 2004, vol.21, n°3, p.43-48.
70. [GUILLAUME, 2004b] Guillaume S., Charnomordic B. Fuzzy inference systems to model sensory evaluation. *Intelligent sensory evaluation* / ed. by Ruan D., Zeng X. Berlin: Springer. 2004, pp.197-216.
71. [HAJJ, 2009] HAJJ M. EL, BEGUE A., *et al.* Integrating SPOT-5 time series, crop growth modeling and expert knowledge for monitoring agricultural practices - The case of sugarcane harvest on Reunion Island. *Remote Sensing of Environment*, 2009, vol.113, n°10, p.2052-2061.
72. [HALLOS, 1990] Hallos R.S., Burnip M.S., *et al.* The Handle of Double-Jersey Knitted Fabrics, P1 : Polar Profiles. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol.81, n°1, p.15-35.
73. [HARTIGAN, 1979] HARTIGAN J. A., WONG M. A. A k-means clustering algorithm: algorithm. *Applied Statistics*, 1979, vol.28, n°1, p.100-108.

74. [HÉBEL, 2010] Hébel P., Lehuédé F. Consommation et modes de vie. *Crédoc*, 2010, vol.229, mai 2010.
75. [HERZ, 1998] Herz R.S. Are odors the best cues to memory? A cross-modal comparison of associative memory stimuli. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1998, vol.855, p.670-674.
76. [HU, 1993] Hu J., Chen W., *et al.* A psychophysical model for objective fabric hand evaluation: an application of Steven's law. *Journal of the Textile Institute*, 1993, vol.84, n°3, p.354-363.
77. [HUANG, 2007] Huang X., Wang Y.J., *et al.* Experimental study of wool fiber on purification of indoor air. *Textile Research Journal*, 2007, vol.77, n°12, p.946-950.
78. [JACOBSEN, 1992] Jacobsen M., Fritz A., *et al.* A psychophysical Evaluation of the Tactile Qualities of Hand Knitting Yarns. *Textile Research Journal*, 1992, vol.62, p.557-566.
79. [KAHYA, 2005] Kahya E. A new unidimensional search method for optimization: Linear interpolation method. *Applied Mathematics and Computation*, 2005, vol.171, p.912-926.
80. [KAKIAGE, 1977] Kakiage S., Yamaga K. Studies on Noncontact Heather for Textured Yarns. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1977, vol.30, p.131-138.
81. [KARACAPILIDIS, 2000] KARACAPILIDIS N., PAPPIS C. Computer-supported collaborative argumentation and fuzzy similarity measures in multiple criteria decision-making. *Computers and Operations Research*, 2000, vol.27, n°7, p.653-671.
82. [KAWABATA, 1978a] Kawabata S., Niwa M., *et al.* Study on the Compressional Deformation of Woven Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1978, vol.31, p.74-79.
83. [KAWABATA, 1978b] Kawabata S., Sasai T. Theoretical analysis on tensile properties of textured yarns. *Journal of textile machinery society of japan*, 1978, vol.24, p.13-18.
84. [KAWABATA, 1980] Kawabata S. *The Standardization and Analysis of Hand Evaluation*, 2<sup>e</sup> éd. Osaka: The Textile Machinery Society of Japan, 1980, 120 p.
85. [KAWABATA, 1982] Kawabata S. The development of the objective measurement of fabric handle. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1982, vol.8, p.31-59.
86. [KAWABATA, 1989] Kawabata S., Niwa M. Fabric performance in clothing and clothing manufacture. *Journal of Textile Institute*, 1989, vol.50, n°1, p.19-50.
87. [KAWABATA, 1991] Kawabata S., Niwa M. Objective measurement of fabric

- mechanical property and quality - its application to textile and apparel manufacturers. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1991, vol.3, n°1, p.7-18.
88. [KAWABATA, 1996] Kawabata S., Niwa M. Objective measurement of fabric hand. *Modern Textile Characterization Methods* / ed. by Raheel M. New York: Marcel Dekker, Inc.1996, pp.329-354.
89. [KE, 2000] Ke H., Ding L. *Market research and analysis*, 1<sup>é</sup> éd. Beijing: China statistic press, 2000, 205 p.
90. [KELLER, 1993] Keller K. L. Conceptualizing, Measuring and Managing Customer-Based Brand Equity. *Journal of Marketing*, 1993, vol.57, n°1, p.1-22.
91. [KIM, 1975] Kim C.J., Vaughn E.A. *Physical Properties Associated with Fabric Hand*: AATCC Book of Papers: National Technical Conference., 1975. p.78-95.
92. [KIM, 1980] Kim C.J., Winakor G., *et al.* Fabric Hand: Tactile Sensory Assessment. *Textile Research Journal*, 1980, vol.50, n°10, p.201-210.
93. [KIM, 1997] Kim D. Y., Soeng P. H. Fuzzy gain scheduling of velocity PI controller with intelligent learning algorithm for reactor controller with intelligent learning algorithm for reactor control. *Annals of Nuclear Energy*, 1997, vol.24, n°10, p.819-827.
94. [KOEHL, 2005] Koehl L., Chen T., *et al.* Forecasting end-uses of nonwovens by integrating measured data and human expertise. *Research Journal of Textile and Apparel*, 2005, vol.9, n°2, p.11-17.
95. [KOEHL, 2006] Koehl L. *Optimisation de la qualité et du confort des produits textiles par exploitation de données physiques et de la connaissance humaine*. Mémoire d'habilitation à diriger les recherches: Automatique et Informatique Industrielle. Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, France: 2006.
96. [KOEHL, 2008] Koehl L., Zeng X., *et al.* Intelligent sensory evaluation of industrial products for exploiting consumer's preference. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2008, vol.77, n°5-6, p.512-521.
97. [KOHAVI, 1987] Kohavi R., John G. H. Wrappers for feature subset selection. *Artificial Intelligence*, 1987, vol.97, p.273-324.
98. [KOSKO, 1992] Proceeding of IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Fuzzy systems as universal approximators par Kosko B. San. Diego, CA, Mar. 8-12, 1992.
99. [LAI, 1992] LAI Y.J., HWANG C.L. A new approach to some possibilistic linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 1992, vol.49, p.121-133.

- 100.[LAMPRECHT, 2006] Lamprecht J. *Démystifier six sigma: comment améliorer vos processus*, 2<sup>e</sup> éd. Paris: AFNOR, 2006, 152 p.
- 101.[LAST, 2001] LAST M., KANDEL A., *et al.* Information-theoretic algorithm for feature selection. *Pattern Recognition Letters*, 2001, vol.22, p.799-811.
- 102.[LAVIT, 1988] Lavit CH. *Analyse conjointe de tableaux quantitatifs*, 1<sup>e</sup> éd. Paris: Masson, 1988, 240 p.
- 103.[LEE, 2002] Lee D. J., Sirgy M. J., *et al.* Developing a Subjective Measure of Consumer Well-Being. *Journal of Macromarketing*, 2002, vol.22, n°2, p.158-169.
- 104.[LEE, 2004] Lee D.J., Sirgy M. J. Quality-of-life (QOL) marketing: Proposed antecedents and consequences. *Journal of Macromarketing*, 2004, vol.24, p.44-58.
- 105.[LEELAKULTHANIT, 1991] Leelakulthanit O., Day R., *et al.* Investigating the relationship between marketing and overall satisfaction with life in a developing country. *Journal of Macromarketing*, 1991, vol.11, n°1, p.3-23.
- 106.[LI, 2006] Li Y., Wong A.S.W. *Clothing biosensory engineering*, 1<sup>e</sup> éd. USA: CRC Press LLC, 2006, 408 p.
- 107.[LIMAYEM, 1999] Limayem F., Yannou B. Towards a need satisfaction oriented computer aided design. *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering* / ed. by Batoz J. L., Chedmail P. Berlin: Kluwer Academic Publishers.1999, pp.489-496.
- 108.[LIN, 1997] Lin C. J. An art-based fuzzy adaptive learning control network. *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, 1997, vol.5, n°4, p.447-496.
- 109.[LIN, 1998] Lin Y., Cunningham G. A., *et al.* Nonlinear system input structure identification: two stages fuzzy curves and surfaces. *IEEE Trans. on SMC-Part A: Systems and Humans*, 1998, vol.28, n°5, p.678-684.
- 110.[LIU, 2010] Kansei engineering and emotion research international conference, An association experiment for finding emotional expression between design and music par Liu C. L. C., Chang T. W. Paris, France, Mars 3 - 5, 2010.
- 111.[LIU, 2000] Liu P., Li H. *Fuzzy neural network theory and application*, 1<sup>e</sup> éd. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2000, 396 p.
- 112.[LOHMOLLER, 1989] Lohmoller J. B. *Latent variable path modeling with partial least squares*, 1<sup>e</sup> éd. Heidelberg: Physica-Verlag, 1989, 285 p.
- 113.[LU, 2008a] 21st Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence (AI 2008), A fuzzy decision support system for garment new product development par Lu J., Zhu Y., *et*

- al.* Quay West Hotel, Auckland, New Zealand, 3-5 December 2008.
- 114.[LU, 2008b] FLINS 2008, A fuzzy multi-criteria group decision support system for textile material fabric-hand evaluation par Lu J., Zhu Y., *et al.* Madrid, Spain, September 21-24, 2008.
- 115.[LU, 2009] Lu J., Zhu Y., *et al.* A Linguistic Multi-Criteria Group Decision Support System for Fabric Hand Evaluation. *Fuzzy Optimization and Decision Making (FODM). Special Issue. Computing with Words and Decision Making* / ed. by Herrera F., Herrera-Viedma E., Alonso S., Chiclana F. Netherlands: Springer.2009, pp.395-413.
- 116.[LU, 2010] Lu J., Ma J., *et al.* Theme-based Comprehensive Evaluation in New Product Development using Fuzzy Hierarchical Criteria Group Decision-Making Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE)*, 2010, Accepted.
- 117.[MAHAR, 1983] Mahar T.J., Postle R. International Fabric Handle Survey. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1983, vol.1, p.261-271.
- 118.[MÄKINEN, 2005] Proceedings of the HAPTEX'05 Workshop on Haptic and Tactile Perception of Deformable Objects, Influence of Physical Parameters on Fabric Hand par Mäkinen M., Meinander H., *et al.* Hanover, 2005.
- 119.[MAMDANI, 1975] Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1975, vol.7, p.1-13.
- 120.[MAO, 2007] Mao N., Russell S. J. The thermal insulation properties of spacer fabrics with a mechanically integrated wool fiber surface. *Textile Research Journal*, 2007, vol.77, n°12, p.914-922.
- 121.[MARCELLONI, 2003] Marcelloni F. Feature selection based on a modified c-means algorithm with supervision. *Information Sciences*, 2003, vol.151, n°5, p.201-226.
- 122.[MARIMIN, 1998] MARIMIN M., HATONO I., *et al.* Linguistic labels for expressing fuzzy preference relations in fuzzy group decision making. *IEEE Trans. on SMC*, 1998, vol.28, n°2, p.205-217.
- 123.[MARTIN, 2006] Martin C. *Création d'un questionnaire visant à caractériser les critères du "Bien-être"*. Rapport de stage ingénieur. 2006.
- 124.[MASTOROCOSTAS, 2000] Mastorocostas P., Theocharis J., *et al.* A hybrid fuzzy modeling method for short-term load forecasting. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2000, vol.51, p.221-232.



- 125.[MELIN, 2004] Melin P., Castillo O. Automated quality control in sound speakers manufacturing using a hybrid neuro-fuzzy-fractal approach. *Intelligent Sensory Evaluation* / ed. by Ruan D., Zeng X. Berlin: Springer.2004, pp.401-418.
- 126.[MERLO, 2008] Merlo C. Les systèmes d'information, volume 1: management des hommes, des projets et des informations. *La conception industrielle de produits* / ed. by Yannou B., Bigand M., Gidel T., Merlo C., Vaudelin J. P. Paris: Lavoisier.2008, pp.199-272.
- 127.[MITCHELL, 1982] Mitchell A. A. Models of Memory : Implications for Measuring Knowledge Structures. *Advances In Consumer Research*, 1982, vol.9, p.945-951.
- 128.[NA, 1998] Na M. G. Design of a genetic fuzzy controller for nuclear system generator water level control. *IEEE Trans. on Nuclear Sciences*, 1998, vol.45, n°4, p.2261-2271.
- 129.[NAKOULA, 1997] Nakoula Y. *Apprentissage des modèles linguistiques flous, par jeu de règles pondérées*.p.155.Docteur. Université de savoie, Annecy: 1997.
- 130.[NELLES, 1996] International IEEE Conference on Fuzzy Systems, Fuzzy rules extraction by a genetic algorithm and constrained nonlinear optimization of membership fuction par Nelles O., Fisher M., *et al.* New Orleans, USA, September 8-11, 1996.
- 131.[NEWMAN, 1957] Newman J.W. New Insight, New Progress, for Marketing. *Harvard Business Review*, 1957, vol.35, p.95-102.
- 132.[OLIVER, 1997] Oliver R. *Satisfaction: A behavioral perspective on the customer*, 1é éd. New York: McGraw Hill, 1997, 448 p.
- 133.[OWEN, 1985] Owen E.D., Roberts M.W., *et al.* Photoelectron Spectroscopy and the Surface Chemistry of Wool. *Journal of the Textile Institute*, 1985, vol.76, n°6, p.419-424.
- 134.[PAN, 1985] Pan N. *Objective evaluation of fabric handle performance - sensory quantitative research*.p.216.China textile university, Shanghai: 1985.
- 135.[PARK, 1986] Park C. W., Jaworski B. J., *et al.* Strategic brand concept-image management. *Journal of Marketing*, 1986, vol.50, p.135-145.
- 136.[PARK, 2000] Park S.W., Hwang Y.G., *et al.* Applying Fuzzy Logic and Neural Networks to Total Hand Evaluation of Knitted Fabrics *Textile Research Journal*, 2000, vol.70, n°8, p.675-681.
- 137.[PEIRCE, 1978] Peirce F.T., Womersley J.R. *Cloth Geometry*, 1é éd. Manchester: The Textile Institute, 1978, 70 p.
- 138.[PENA, 2001] Pena J. M., Lozano J. A., *et al.* Dimensionality reduction in unsupervised

- learning of conditional Gaussian networks. *IEEE Trans. on PAMI*, 2001, vol.23, n°6, p.590-603.
- 139.[PETIOT, 2004] Petiot J. F., Yannou B. Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2004, vol.33, n°6, p.507-525.
- 140.[QUINLAN, 1986] Quinlan J. R. Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1986, vol.1, n°1, p.81-106.
- 141.[RACHED, 2008] Rached R., Rahouadj R., *et al.* Mechanical behaviour modelling of a nanostructured polyamide blends obtained by reactive extrusion process. *Chemical Engineering Science*, 2008, vol.63, p.3843-3857.
- 142.[ROEDDER, 1998] Roedder J. D., Loken B., *et al.* The Negative Impact of Extensions: Can Flagships Products Be Diluted? *Journal of Marketing*, 1998, vol.62, p.19-32.
- 143.[ROMANIUK, 1996] Proceedings of ANZMEC, Implications of Associative Network Theory for the Conceptualisation and Measurement of Brand Image par Romaniuk J., Sharp B. Auckland, Australia, 1996, 551-552.
- 144.[ROUSSARIE, 2004] Congrès Français d'Acoustique, Perceptive qualification of engine sound character; validation of auditory attributes using analysis-synthesis method par Roussarie V. Strasbourg, 22-25 mars, 2004, 2004.
- 145.[ROY, 1993] ROY B., BOUYSSOU D. *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas*, 1<sup>é</sup> éd. Paris: ECONOMICA, 1993, 695 p.
- 146.[RUAN, 1998] Ruan D., Wal A. J. Van der Controlling the power output of a nuclear reactor with fuzzy logic. *Information Sciences*, 1998, vol.110, p.151-177.
- 147.[RYAN, 2001] Ryan R., Deci E. On happiness and human potentials: A review of research on hedonic and eudaimonic well-being. *Annual Review of Psychology*, 2001, vol.52, p.141–166.
- 148.[SAMLI, 1987] Samli A. C., Sirgy M. J., *et al.* Measuring marketing contribution to quality of life. *Measuring marketing contribution to quality of life / ed. by Samli A. C.* Westport, CT: Quorum Books.1987, pp.3-14.
- 149.[SCHIEFFER, 1979] Schieffer K., Jabali A.E. Effect of Pretreatment on the Swelling Properties of Cotton. *Melliand Textilber International*, 1979, vol.8, p.92-93.
- 150.[ŞİMŞEK, 2009] Şimşek O. F. Happiness Revisited: Ontological Well-Being as a Theory-Based Construct of Subjective Well-Being *Journal of Happiness Studies*, 2009,

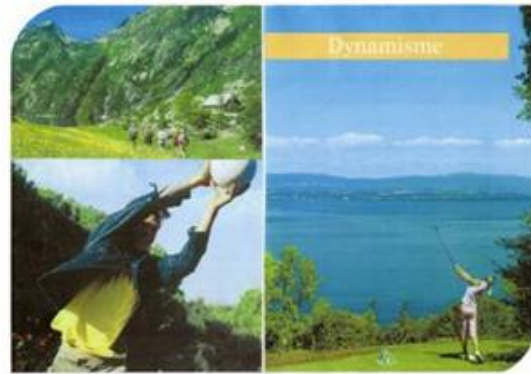
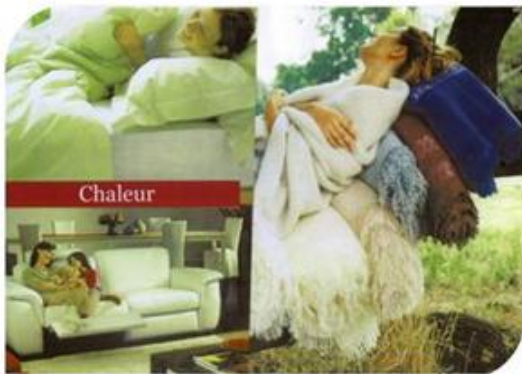
- vol.10, n°5, p.505-522.
- 151.[SIRGY, 1982] Sirgy M. J. Self-concept in consumer behavior: A critical review. *Journal of Consumer Research*, 1982, vol.9, p.287-300.
- 152.[SIRGY, 1997] Sirgy M. J., Grewal D., *et al.* Assessing the predictive validity of two methods of measuring self-image congruence. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 1997, vol.25, n°1, p.229-241.
- 153.[SIRGY, 2001] Sirgy M. J. *Handbook of quality-of-life research: An ethical marketing perspective*, 1<sup>é</sup> éd. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001, 466 p.
- 154.[SIRGY, 2006] Sirgy M. J., Lee D. J., *et al.* Developing a subjective measure of Internet well-being: Nomological (predictive) validation. *Social Indicators Research*, 2006, vol.78, n°2, p.205-249.
- 155.[SLATER, 1993] Slater K. Physical Testing and Quality Control. *Textile Progress*, 1993, vol.23, n°1/2/3.
- 156.[SOLVES, 2010] Kansei Engineering and emotion research international conference, Natural stones and ceramic tiles imitations: comparison of consumers' emotional response using product semantics par Solves C., Artacho M., *et al.* Paris, France, Mars 3 - 5, 2010.
- 157.[SSHA, 1998] Ssha, Isha, *et al.* *Evaluation sensorielle, manuel méthodologique*, 2<sup>é</sup> éd. Paris: Lavoisier, 1998, 352 p.
- 158.[STAAT, 2005] STAAT M., HAMMERSCHMIDT MAIK. Product performance evaluation: a super-efficiency model. *International Journal of Business Performance Management*, 2005, vol.7, n°3, p.304-319.
- 159.[STONE, 1993] Stone H., Sidel J. L. *Sensory evaluation practice*, 1<sup>é</sup> éd. San Diego, CA: Academic Press, Inc., 1993, 456 p.
- 160.[STYLIOS, 2005] Stylios G. K. New measurement technologies for textiles and clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2005, vol.17, n°3/4, p.135-149.
- 161.[SUDNIK, 1978] Sudnik M.P. Rapid Assessment of Fabric Stiffness and Associated Fabric Aesthetics. *Textile Institute Industry*, 1978, vol.65, p.155-159.
- 162.[SUZANNE, 2005] Suzanne M. B., Lynne M. C., *et al.* *Work, family, health, and well-being*, 1<sup>é</sup> éd. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2005, 600 p.
- 163.[SZYMANSKI, 2001] Szymanski D. M., Henard D. H. Customer satisfaction: A meta-analysis of the empirical evidence. *Journal of the Academy of Marketing Science*,

- 2001, vol.29, n°1, p.16-35.
- 164.[TAKAGI, 1985] Takagi T. Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control. *IEEE Trans. on SMC*, 1985, vol.15, n°1, p.116-132.
- 165.[TENG, 2010] Kansei engineering and emotion research international conference, Design method and applying the association of science fiction to emotional arousal par Teng C. K., Chuang M. C. Paris, France, Mars 3 - 5, 2010.
- 166.[THAWONMAS, 1997] Thawonmas R., Abe S. A novel approach to feature selection based on analysis of class regions. *IEEE Trans. on SMC-Part B: Cybernetics*, 1997, vol.27, n°2, p.196-207.
- 167.[TONG, 1980] Tong R. M. The evaluation of fuzzy models derived from experimental data. *Fuzzy Sets and Systems*, 1980, vol.4, p.1-12.
- 168.[TSAI, 2010] Kansei engineering and emotion research international conference, Developing sensory function: transfer human senses from contextual perception par Tsai T. J., Levy P., *et al.* Paris, France, Mars 3 - 5, 2010.
- 169.[VAN, 1983] Van E., Leeuw J. Nonlinear canonical correlation. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1983, vol.36, p.54-80.
- 170.[VAN, 1991] Van E., Dijksterhuis G. B. An application of nonlinear redundancy analysis. *Statistica Applicata, Italian Journal of applied Statistics*, 1991, vol.4, p.565-575.
- 171.[VAN, 2000] Proceeding of ISIAC, Fuzzy clustering, genetic algorithms and neuro-fuzzy methods compared for hybrid fuzzy-first principles modeling par Van P. F., Betlem B. H. L., *et al.* Hawaii, USA, June 11-16, 2000.
- 172.[VASILIU, 2001] Vasiliu A., Yannou B. Dimensional synthesis of planar mechanisms using neural networks: application to path generator linkages. *Mechanism and Machine Theory*, 2001, vol.36, p.299-310.
- 173.[VOISIN, 2008] Voisin A., Levrat E. Sensory evaluation driven methodology for measurement system design. *Intelligent Sensory Evaluation / ed. by Ruan D., Zeng X.* Berlin: Springer.2008, pp.235-254.
- 174.[WANG, 2006] Wang J., Lin H. Y. A fuzzy hybrid decision-aid model for selecting partners in the design chain. *International Journal of Production Research*, 2006, vol.44, n°10, p.2047-2069.
- 175.[WANG, 2009] Wang X., Ruan D., *et al.* *Mathematics of fuzziness - Basic Issues*, 1<sup>é</sup> éd. Berlin: Springer - Verlag, 2009, 219 p.

- 176.[WEBER, 1999] 14th IFAC Congress, Multiple fault detection and isolation par Weber P., Gentil S., *et al.* Beijing, China, 1999.
- 177.[WESTON, 1997] Weston H. Consideration of the Impact of Modern Technology on Copying Design and International Counterfeiting. *Textiles and the Information Society*, 1997, vol.5, p.13-21.
- 178.[WHITAKER, 2007] Whitaker R. Validation examples of the analytic hierarchy process and analytic network process. *Mathematical and Computer Modelling*, 2007, vol.46, n°7-8, p.840-859.
- 179.[WINN, 1984] Winn L.J., Schwartz E.R Triaxially Woven Fabrics. *American Chemical Society*, 1984, vol.1, p.32-34.
- 180.[WU, 1999] Wu T. P., Chen S. M. A new method for constructing membership functions and fuzzy rules from training examples. *IEEE Trans Systems Man Cybernet*, 1999, vol.22, p.25-40.
- 181.[YAMAOKA, 2010] Kansei engineering and emotion research international conference, A study on an analyzed method of the emotional images of products par Yamaoka T. Paris, France, Mars 3 - 5, 2010.
- 182.[YANNOU, 2002] Yannou B. L'aide à la décision avec la méthode TCMC. *Technologie*, 2002, vol.121, p.32-37.
- 183.[ZADEH, 1965] Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol.8, p.338-353.
- 184.[ZADEH, 1999] Zadeh L. A. From computing with numbers to computing with words - from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, 1999, vol.45, p.105-119.
- 185.[ZADEH, 2001] Zadeh L. A. Outline of a computational theory of perceptions based on computing with words. *Soft computing & Intelligent systems: Theory and applications* / ed. by Sinha N. K., Gupta M. M. London: Academic Press.2001, pp.2-33.
- 186.[ZADEH, 2005] Zadeh L. A. Toward a generalized theory of uncertainty - an outline. *Inf. Sciences*, 2005, vol.172, p.1-40.
- 187.[ZEITHAML, 1988] Zeithaml V.A. Consumer perceptions of price, quality, and value: A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing*, 1988, vol.52, p.2-22.
- 188.[ZENG, 2010] Zeng X., Zhu Y., *et al.* A fuzzy multi-criteria evaluation method for designing fashion oriented industrial products. *Soft computing*, 2010, vol.14, n°12,

- p.1277-1285.
- 189.[ZHOU, 2007] Zhou B., Zeng X., *et al.* A web based intelligent sensory evaluation system of industrial products in the textile integrated supply chain. *E-service intelligence* / ed. by Lu J., Ruan D., Zhang G. Berlin: Springer.2007, pp.435-456.
- 190.[ZHU, 2007] Zhu Y. *Evaluation sensorielle orientée vers la mise sur le marché pour les produits innovants*. Rapport de master de marketing industriel international et innovation. 2007.
- 191.[ZHU, 2008] AUTEX 2008, Hierarchical data structure to describe well-being of fabrics: implementation of a Global Evaluation Index of well-being par Zhu Y., Koehl L., *et al.* Città Studi, Biella, Italy, June 24-26, 2008.
- 192.[ZHU, 2009a] 8th Pangborn Sensory Science Symposium, Development of fashion oriented textile products using sensory evaluation par Zhu Y., Zeng X., *et al.* Stazione Leopolda, Florence, Italy, July 26-30, 2009.
- 193.[ZHU, 2009b] Proceeding of the 4th International ISKE Conference, Development of a fuzzy selection criterion of physical features for evaluating fabric hand par Zhu Y., Zeng X., *et al.* Hasselt, Belgium: World scientific printers, November 27-28, 2009, 704 p.
- 194.[ZHU, 2010a] International conference on Kansei engineering and emotion research 2010, Fashion and Emotion oriented Computerized Garment Design par Zhu Y., Zeng X., *et al.* Paris, France, March 2-4, 2010.
195. [ZHU, 2010b] The 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, Designing new fashion oriented products by means of similarity relations and correlation techniques par Zhu Y., Ruan D., *et al.* Valenciennes, France, August 31-September 3, 2010.
- 196.[ZHU, 2010c] Zhu Y., Zeng X., *et al.* A general methodology for analyzing fashion oriented textile products using sensory evaluation. *Food quality and preference*, 2010, 21, 1068-1076, 2010.
- 197.[ZHU, 2010d] Zhu Y., Ruan D., *et al.* Designing new fashion oriented products using Fuzzy sets techniques. *International Journal of computational intelligence systems on decision support systems based on computing with words applications*, 2010, Minor revision.
198. [ZIMMERMANN, 1987] ZIMMERMANN H. *Decision making and experts systems*, 1<sup>é</sup> éd. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1987, 352 p.

# Annexe 1 Les images décrivant les 6 critères du bien-être



## **Annexe 2 Enquête auprès des consommateurs**



## ENQUÊTE AUPRES DES CONSOMMATEURS

### *Aire réservée au traitement de l'enquête*

<i>No. :</i> _____	<i>Temps :</i> _____
<i>Date :</i> ____/____/2007	<i>Ambiance :</i> _____
<i>Lieu :</i> _____	

### Informations sur le consommateur (Non communiquées à des tiers et traitées confidentiellement)

1-1 Sexe :  Homme  Femme

1-2 Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ?

- < 55  55 – 65  66 – 75  > 75

1-3 Vous habitez:  En ville  A la campagne

1-4 Quelle est votre activité professionnelle ?

(Si vous êtes à la retraite ou au chômage, quel était votre ancien métier ?) :

- Agriculteurs  Professions intermédiaires  
 Artisans / Commerçants / Chefs d'entreprises  Employés  
 Cadres / Professions intellectuelles supérieures  Ouvriers  
 Autres, précisez : \_\_\_\_\_

1-5 Quelles activités pratiquez-vous régulièrement? (**Plusieurs choix possibles**)

- Voyages  Cinéma  Lecture  Musique  
 Shopping  Gastronomie  Télé  Internet  
 Sport  Jardinage  Randonnée  
 Autres, précisez : \_\_\_\_\_

1-6 Quel type de client Damart êtes-vous?

- J'achète régulièrement (au moins 2 fois/an).  
 J'achète de temps en temps (moins 2 fois/an).  
 J'achète rarement.  
 Je ne suis pas client Damart.

**Plaquettes:**

2 Parmi les mots suivants, **crochez 5 termes** représentant le mieux votre notion de bien-être :

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Vacances      | <input type="checkbox"/> Relaxation  |
| <input type="checkbox"/> Evasion       | <input type="checkbox"/> Détente     |
| <input type="checkbox"/> Sport         | <input type="checkbox"/> Compétition |
| <input type="checkbox"/> Santé         | <input type="checkbox"/> Calme       |
| <input type="checkbox"/> Plaisir       | <input type="checkbox"/> Sérénité    |
| <input type="checkbox"/> Aisance       | <input type="checkbox"/> Méditation  |
| <input type="checkbox"/> Décontraction | <input type="checkbox"/> Douceur     |
| <input type="checkbox"/> Confort       | <input type="checkbox"/> Fraîcheur   |
| <input type="checkbox"/> Douillet      | <input type="checkbox"/> Chaleur     |
| <input type="checkbox"/> Cocooning     |                                      |

3 Veuillez regarder les 6 plaquettes ambiances proposées (cf. Annexe 1) :

3-1 Parmi ces plaquettes, **notez de 1 à 3** celles qui correspondent le mieux au message qu'elles veulent faire passer ? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |

3-2 Dans les 6 thèmes proposés, **notez de 1 à 3** ceux qui représentent le mieux **votre notion du bien-être** ? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |

3-3 Dans les 6 thèmes proposés, **notez de 1 à 3** ceux qui correspondent le mieux à **la marque « Thermolactyl »** ? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |   |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   |   |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   | <input type="checkbox"/> Je ne connais pas la marque. |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |   |

3-4 Dans les 6 thèmes proposés, **notez de 1 à 3** ceux qui correspondent le mieux à **la marque « Océalis »**? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |   |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   | <input type="checkbox"/> Je ne connais pas la marque. |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   |   |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |   |

3-5 Dans les 6 thèmes proposés, **notez de 1 à 3** ceux qui correspondent le mieux à **la marque « Climatyf »**? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |   |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   | <input type="checkbox"/> Je ne connais pas la marque. |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   |   |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |   |

3-6 Dans les 6 thèmes proposés, **notez de 1 à 3** ceux qui correspondent le mieux à **la marque « Biorelle »**? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |   |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   | <input type="checkbox"/> Je ne connais pas la marque. |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   |   |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |   |

3-7 Dans les 6 thèmes proposés, **notez de 1 à 3** ceux qui correspondent le mieux à **la marque « Ligne Mince »**? (1 : correspond bien ; 2 : correspond un peu ; 3 : correspond pas)

- |                                     |                                    |   |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Relaxation | <input type="checkbox"/> Liberté   | <input type="checkbox"/> Je ne connais pas la marque. |
| <input type="checkbox"/> Dynamisme  | <input type="checkbox"/> Chaleur   |   |
| <input type="checkbox"/> Protection | <input type="checkbox"/> Fraîcheur |   |

### Couleurs & Coupe:

**Indiquez le numéro de la couleur dans les cases ci-dessous.**

4-1-1 Quelle est la couleur de **sous-vêtement** que vous aimez le mieux porter ?

4-1-2 Quelle est la couleur que vous aimez le mieux porter pour **vos autres vêtements**?

- |          |          |
|----------|----------|
| 1 Rouge  | 6 Vert   |
| 2 Bleu   | 7 Orange |
| 3 Violet | 8 Noir   |
| 4 Rose   | 9 Blanc  |
| 5 Jaune  |          |

**Indiquez le numéro d'image dans les cases ci-dessous (3 modèles choisis)**

4-2-1 Parmi les **sous-vêtements** présentés, lesquels aimeriez-vous porter (cf. Annexe 3)?

4-2-2 Parmi les **modèles de prêt-à-porter** présentés, lesquels aimeriez-vous porter (cf. Annexe 4)?

4-3 Veuillez regarder les plaquettes suivantes (Annex 5):

4-3-1 Pour chaque plaquette, indiquez, selon vous, le **style de produit dont la coupe ou la forme** sont les plus représentatives du thème abordé.

Relaxation

Liberté

Dynamisme

Chaleur

Protection

Fraîcheur

**Echantillons de tricot pour le sous-vêtement :**

5-1-1 Quel est votre échantillon **préfé**ré ?

- 3
- 6
- 8
- 11
- 18

- 4
- 7
- 10
- 13
- 20

5-1-2 Comment le qualifieriez-vous ? (**Classez de 1 à 5** ceux qui vous semblent le mieux décrire l'échantillon)

Naturel / Synthétique

Douceur

Epaisseur

Moelleux

Bonne tenue

Soyeux

Extensible

Rêche

Flexible

Léger

Sec

Chaud / Froid

5-1-3 Quel est l'échantillon que vous **aimez le moins** ?

- 3
- 6
- 8
- 11
- 18

- 4
- 7
- 10
- 13
- 20

5-1-4 Comment le qualifieriez-vous ? (**Classez de 1 à 5** ceux qui vous semblent le mieux décrire l'échantillon)

- |  |                                      |  |
|--|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Naturel / Synthétique | <input type="checkbox"/> Douceur     | <input type="checkbox"/> Epaisseur     |
| <input type="checkbox"/> Moelleux              | <input type="checkbox"/> Bonne tenue | <input type="checkbox"/> Soyeux        |
| <input type="checkbox"/> Extensible            | <input type="checkbox"/> Rêche       | <input type="checkbox"/> Flexible      |
| <input type="checkbox"/> Léger                 | <input type="checkbox"/> Sec         | <input type="checkbox"/> Chaud / Froid |

**Echantillons pour le haut:**

5-2-1 Quel est votre échantillon **préfé**ré ?

- |                            |                             |                             |                             |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 6  | <input type="checkbox"/> 11 | <input type="checkbox"/> 16 |
| <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 7  | <input type="checkbox"/> 12 | <input type="checkbox"/> 17 |
| <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 8  | <input type="checkbox"/> 13 | <input type="checkbox"/> 18 |
| <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 9  | <input type="checkbox"/> 14 | <input type="checkbox"/> 19 |
| <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 10 | <input type="checkbox"/> 15 | <input type="checkbox"/> 20 |

5-2-2 Comment le qualifieriez-vous ? (**Classez de 1 à 5** ceux qui vous semblent le mieux décrire l'échantillon)

- |  |                                      |  |
|--|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Naturel / Synthétique | <input type="checkbox"/> Douceur     | <input type="checkbox"/> Epaisseur     |
| <input type="checkbox"/> Moelleux              | <input type="checkbox"/> Bonne tenue | <input type="checkbox"/> Soyeux        |
| <input type="checkbox"/> Extensible            | <input type="checkbox"/> Rêche       | <input type="checkbox"/> Flexible      |
| <input type="checkbox"/> Léger                 | <input type="checkbox"/> Sec         | <input type="checkbox"/> Chaud / Froid |

5-2-3 Quel est l'échantillon que vous **aimez le moins** ?

- |                            |                             |                             |                             |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 6  | <input type="checkbox"/> 11 | <input type="checkbox"/> 16 |
| <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 7  | <input type="checkbox"/> 12 | <input type="checkbox"/> 17 |
| <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 8  | <input type="checkbox"/> 13 | <input type="checkbox"/> 18 |
| <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 9  | <input type="checkbox"/> 14 | <input type="checkbox"/> 19 |
| <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 10 | <input type="checkbox"/> 15 | <input type="checkbox"/> 20 |

5-2-4 Comment le qualifieriez-vous ? (**Classez de 1 à 5** ceux qui vous semblent le mieux décrire l'échantillon)

- |  |                                      |  |
|--|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Naturel / Synthétique | <input type="checkbox"/> Douceur     | <input type="checkbox"/> Epaisseur     |
| <input type="checkbox"/> Moelleux              | <input type="checkbox"/> Bonne tenue | <input type="checkbox"/> Soyeux        |
| <input type="checkbox"/> Extensible            | <input type="checkbox"/> Rêche       | <input type="checkbox"/> Flexible      |
| <input type="checkbox"/> Léger                 | <input type="checkbox"/> Sec         | <input type="checkbox"/> Chaud / Froid |

### Entretien:

6-1 Faites-vous attention aux consignes d'entretien de vos textiles quand vous les achetez ?

- Oui  Non

6-2 Qu'est ce qui est le plus important pour vous ?

- Lavage à la machine  Ne se froisse pas  
 Lavage à la main  Passe au sèche linge

6-3 Quel serait pour vous le principal frein à l'achat ?

- Se lave obligatoirement à la main  Ne peut pas se repasser  
 Nettoyage à sec obligatoire  Sèche très lentement

### Textile parfumé:

7-1-1 Parmi les échantillons parfumés, quel est celui que vous préféreriez sentir **en été**?

- 1 Growing forest  3 Lovely lavender  
 2 Romantic Rose  4 Alpine

7-1-2 Comment le qualifieriez vous ? (**Classez de 1 à 5** ceux qui vous semblent le mieux décrire l'échantillon)

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Relaxant   | <input type="checkbox"/> Acide  |
| <input type="checkbox"/> Frais      | <input type="checkbox"/> Propre |
| <input type="checkbox"/> Naturel    | <input type="checkbox"/> Fruité |
| <input type="checkbox"/> Aromatique | <input type="checkbox"/> Fleuri |
| <input type="checkbox"/> Epicé      |                                 |

7-2-1 Parmi les échantillons parfumés, quel est celui que vous préféreriez sentir **en hiver**?

- 1 Growing forest  3 Lovely lavender  
 2 Romantic Rose  4 Alpine

7-2-2 Comment le qualifieriez vous ? (**Classez de 1 à 5** ceux qui vous semblent le mieux décrire l'échantillon)

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Relaxant   | <input type="checkbox"/> Acide  |
| <input type="checkbox"/> Frais      | <input type="checkbox"/> Propre |
| <input type="checkbox"/> Naturel    | <input type="checkbox"/> Fruité |
| <input type="checkbox"/> Aromatique | <input type="checkbox"/> Fleuri |
| <input type="checkbox"/> Epicé      |                                 |

7-3 Apprécieriez-vous que **vos sous-vêtements** soient parfumés avec le parfum que vous avez choisi ?

• **Parfum été :**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

• **Parfum hiver :**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

7-4 Apprécieriez-vous que **vos vêtements** soient parfumés avec le parfum que vous avez choisi ?

• **Parfum été :**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

• **Parfum hiver :**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

7-5 Apprécieriez-vous que **votre linge de maison** soit parfumé avec le parfum que vous avez choisi ?

• **Parfum été :**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

• **Parfum hiver :**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

**Cosméto-textile :**

8-1 Citez les produits cosmétiques que vous utilisez : (**Plusieurs choix possibles**)

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Aucun, (précisez la raison)..... | <input type="checkbox"/> Produit énergisant            |
| <input type="checkbox"/> Produit hydratant                | <input type="checkbox"/> Produit de protection solaire |
| <input type="checkbox"/> Produit anti-vieillessement      | <input type="checkbox"/> Produit masquant              |
| <input type="checkbox"/> Produit amincissant              | <input type="checkbox"/> Autres, précisez.....         |

8-2 Aimeriez-vous que vos vêtements diffusent ces types de produits régulièrement au cours de la journée?

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

**Autres questions:**

9 Prêtez-vous une grande importance au **bruit des tissus**

- Pas du tout    Plutôt non    Moyennement    Plutôt oui    Tout à fait

10 Si on vous présentait deux articles identiques en coton, choisiriez-vous celui issu du **commerce équitable** même s'il est plus cher ?

- Oui  Non

11 Si on vous présentait deux articles identiques en coton, choisiriez-vous celui cultivé grâce à des **méthodes biologiques**, même s'il est plus cher ?

- Oui  Non

Si oui, quel **surcoût** est acceptable (en %) ?

12 Quels sont les deux critères influençant le plus l'acte d'achat ?

- Toucher  Fragrance  
 Apparence (Coupe & Couleur)  Son  
 Entretien

#### Votre Budget:

13 En moyenne, quelle somme dépensez-vous pour l'achat d'**un sous-vêtement** ? (en Euros)

- < 10  10 – 19  20 – 29  > 30

14 En moyenne, combien de temps gardez-vous **un sous-vêtement** ?

- < 6 mois  7 mois – 1 an  1 – 2 ans  > 2 ans

15 En moyenne, **combien de fois par mois** portez-vous **le même sous-vêtement** ?

- 1 - 2 fois  3 – 4 fois  
 5 - 6 fois  7 – 8 fois

16 Pourquoi achetez-vous **un nouveau sous-vêtement** ?

- Les autres sont usés.  
 Les autres ne sont plus à la mode.  
 Cela me fait plaisir.

17 En moyenne, quelle somme consacrez-vous à l'achat d'**un T-shirt** ? (en Euros)

- < 10  10 – 19  20 – 29  30 – 39  > 40

18 En moyenne, quelle somme consacrez-vous à l'achat d'**un chemisier** ? (en Euros)

- < 15  15 – 25  26 – 35  36 – 49  > 50

19 En moyenne, quelle somme consacrez-vous à l'achat d'**un pantalon** ? (en Euros)

- < 15  15 – 29  30 – 45  46 – 59  > 60



20 En moyenne, quelle somme consacrez-vous à l'achat d'**un pull ou un gilet** ? (en Euros)

- < 15       15 – 29       30 – 45       46 – 59       > 60

21 En moyenne, combien de temps portez-vous **un vêtement**?

- < 6 mois       7 mois – 1 an       1 – 2 ans       > 2 ans

22 Quel est votre salaire (ou retraite) mensuel(le) brut? (en Euros)

- < 1000       1000 – 2000       2001 – 3000       3001 – 4000       > 4000

**MERCI DE VOTRE COLLABORATION**

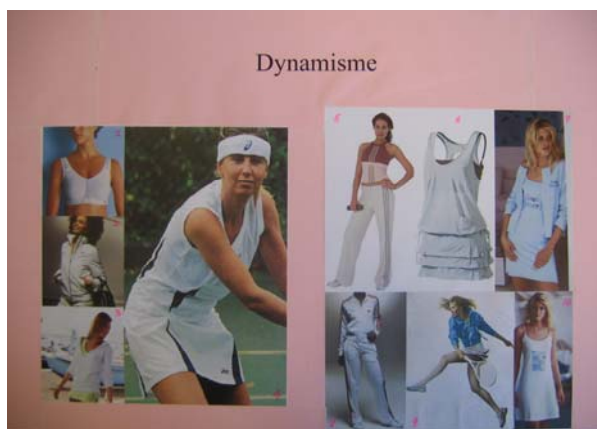
Contact: [yijun.zhu@ensait.fr](mailto:yijun.zhu@ensait.fr)



# Annexe 4 Modèle de vêtement



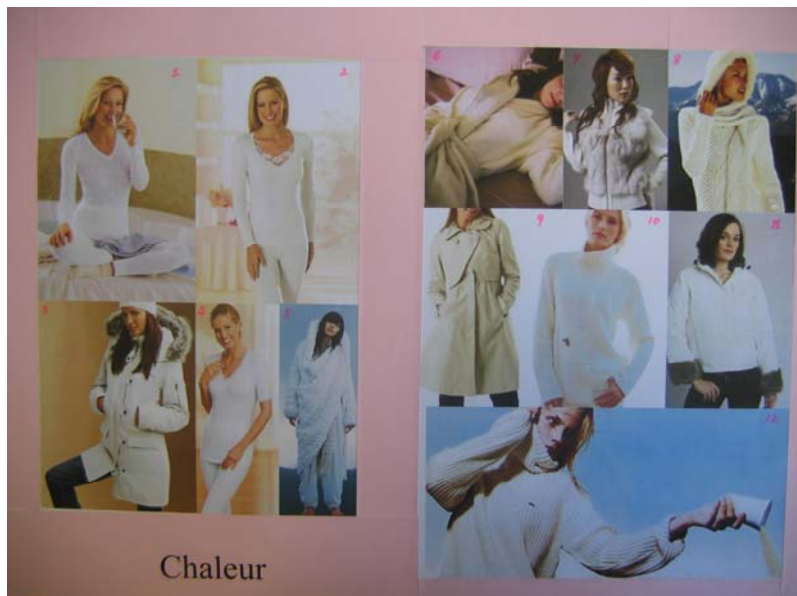
# Annexe 5 Coupe & style selon critère du bien-être



### Protection



### Chaleur



### Liberté





## Annexe 6 Données acquises à partir d'une enquête du bien-être des consommateurs

Aspects	Critères	Nombre de réponse pour chaque critère	Nombre total de réponses des consommateurs	Poids des critères en pourcentage
Toucher	Naturel/Synthétique	140	275	51
	Doucheur	168	275	61
	Epaisseur	146	275	53
	Moelleux	26	275	9
	Bonne tenue	22	275	8
	Soyeux	43	275	16
	Extensible	139	275	51
	Rêche	20	275	7
	Flexible	15	275	5
	Léger	137	275	50
	Humide	19	275	7
	Chaleur/Fraîcheur	225	275	82
Fragrance	Relaxant	152	275	55
	Acide	5	275	2
	Frais	184	275	67
	Propre	128	275	47
	Naturel	114	275	41
	Fruité	66	275	24
	Aromatique	58	275	21
	Fleuri	94	275	34
	Epicé	24	275	9
Son	Bruits	142	275	52
Entretien	Laver à la main	92	275	33
	Laver à la machine	120	275	44
	Ne pas se froisser	48	275	17
	Passer au sèche linge	30	275	11

Critères	nombre de réponse pour chaque critère	nombre total de réponses des consommateurs	poids des critères en pourcentage
Toucher	218	550	40
Apparence	272	550	49
Fragrance	14	550	2
Son	2	550	1
Entretien	44	550	8

# Annexe 7 Matières textiles sélectionnées pour les tests instrumentaux et les tests sensoriels

<b>Matière</b>	<b>Désignation</b>	<b>Composition</b>
1	1/50 Chlorofibre / Soie SNT	85/15 Chlorofibre Soie
2	1/50 Chlorofibre / Soie SNT	85/15 Chlorofibre Soie
3	Dentelle (Rachel)	47/40/13 Polyamide Polyester Elasthane
4	Polaire	100% Polyester
5	1/50 Chlorofibre / Modal 85/15	85/15 Chlorofibre Modal
6	1/50 Chlorofibre / Modal 85/15	85/15 Chlorofibre Modal
7	1/50 Chlorofibre / Acrylique 85/15	85/15 Chlorofibre Acrylique
8	1/34 Modacrylique / Soie ST	85/15 Modacrylique Soie
9	1/50 Modacrylique / Acrylique 80/20	80/20 Modacrylique Acrylique
10	Double face piqué	69% Polyester 31% Polyester/Polyéthylène Vinyl Acool
11	1/50 Modacrylique / MicroModal 50/50	50/50 Modacrylique Modal
12	Milanc	49/29/29/2/1 Acrylique Laine Modacrylique Polyamide Elasthane
13	Interlock satiné	63/37 Polyester Acetate
14	1/28 Modacrylique / Modal 70/30	70/30 Modacrylique Modal
15	75/72 100% Polyester Maille satinée	100% Polyester
16	1/70 Chlorofibre / Modal 80/20	80/20 Chlorofibre Modal
17	Double face Polyester Coton Modal	24/24/48/4 Coton Modal Polyester Polyamide; Interieur Polyester 100% Exterieur Coton / Modal 50/50, Liage Polyamide



# Annexe 8 Appareils utilisés pour le mesure du toucher textile

Instrument	Propriété	Paramètre	Description du paramètre	Unité
KES-FB1	Cisaillement	G	Rigidité de cisaillement	gf/cm/deg
		2HG	Hystérésis de cisaillement à 0.5°	gf/cm
		2HG5	Hystérésis de cisaillement à 5°	gf/cm
KES-FB2	Flexion	B	Rigidité de flexion	gf/cm <sup>2</sup> /cm
		2HB	Hystérésis de flexion	gf.cm.cm
KES-FB3	Compression	Lc	Linéarité de compression	-
		Wc	Energie de compression sous 5kPa	gf.cm/cm <sup>2</sup>
		Rc	Résilience de compression	%
KES-FB4	Frottement et rugosité	MIU	Coefficient de frottement	-
		MMD	Moyenne quadratique de MIU	-
		SMD	Rugosité	Micron
SKIN MODEL KES-FB5	Propriété thermique	RCT	Résistance de conductivité thermique	m <sup>2</sup> K/W
		EQ	Effusivité Qmax	J/cm <sup>2</sup> /s
Sartorium	Poids/m <sup>2</sup>	m	Masse surfacique	Mg/cm <sup>2</sup>
Sodemat	Epaisseur	Ep	Epaisseur	Mm
MTS	Traction	Module de Young	Extension à la rupture	%
MIT	Drapé	D	Coefficient de drapé	%
UST	Déformation	Dp	Déformation permanente	µm
		De	Déformation élastique	µm
		Dt	Déformation totale	µm
Profilomètre  Camera microscope	Propriété de texture	Sa & Sq	L'amplitude de l'échantillon	Mm
		Sds	Densité de sommets	pics/mm <sup>2</sup>
		Str	L'aspect de la texture	-
		Dp	Distribution principale	-
		Db	Distribution du bruit (pilosité)	-
		En	Entropie	-

## Annexe 9 Les données instrumentales acquises

	Paramètres instrumentaux		Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Epaisseur		mm	0,626	0,890	0,910	2,388	1,328	0,994	1,170	1,224	2,750	
2	Poids/m <sup>2</sup>		mg/cm <sup>2</sup>	128,8	150,8	143,8	136,2	212,3	164,6	216,8	184,6	321,4	
3	Flexion	B(Rigidité)	C	gf/cm <sup>2</sup> /cm	0,027	0,018	0,022	0,109	0,061	0,029	0,063	0,080	0,299
4			L		0,013	0,004	0,011	0,049	0,016	0,007	0,015	0,004	0,188
5		2HB(Hystérésis)	C	gf.cm.cm	0,028	0,049	0,017	0,102	0,108	0,075	0,104	0,107	0,379
6			L		0,016	0,014	0,012	0,063	0,029	0,016	0,024	0,020	0,243
7	Cisaillement	G(Rigidité)	C	gf/cm/deg	0,66	0,42	0,53	0,69	0,58	0,50	0,52	0,49	0,70
8			L		0,63	0,44	0,45	0,60	0,68	0,50	0,60	0,50	0,63
9		2HG(Hystérésis at 0,5°)	C	gf/cm	2,17	1,26	0,82	1,59	2,07	1,59	1,79	1,63	1,65
10			L		2,41	1,88	0,66	1,73	3,24	2,33	3,02	2,67	3,22
11		2HG5(Hystérésis at 5°)	C	gf/cm	2,27	1,24	0,92	1,68	2,00	1,57	1,77	1,66	2,36
12			L		2,44	1,72	0,73	1,91	3,17	2,08	2,92	2,55	3,15
13	Compression	LC(Linéarité)		/	0,424	0,468	0,474	0,593	0,441	0,375	0,432	0,408	0,536
14		WC(Energie)		gf.cm/cm <sup>2</sup>	0,237	0,330	0,367	2,000	0,595	0,353	0,526	0,557	0,517
15		RC(Résilience)		%	47,84	45,62	53,89	49,88	37,12	41,17	36,31	37,89	42,51
16	Traction	Module	C	%	3,015	16,246	10,601	9,079	11,673	12,274	12,759	13,888	13,981
17			L	%	4,403	1,350	4,622	1,683	2,973	1,466	2,671	2,641	1,284

	Paramètres instrumentaux			Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	Endroit	MIU(Coefficient de friction)	C	/	0,213	0,209	0,207	0,466	0,187	0,194	0,176	0,229	0,294
19			L	/	0,187	0,314	0,142	0,212	0,257	0,646	0,245	0,265	0,248
20		MMD(Déviati on moyenne de MIU)	C	/	0,068	0,014	0,022	0,003	0,007	0,012	0,005	0,012	0,005
21			L	/	0,009	0,022	0,013	0,005	0,040	0,025	0,039	0,042	0,007
22		SMD(Rugosité)	C	Micron	9,945	6,452	7,760	1,273	1,957	7,925	1,520	6,888	2,192
23			L		4,205	18,272	3,570	1,306	7,743	16,178	6,002	9,613	3,172
24	Envers	MIU(Coefficient de friction)	C	/	0,169	0,141	0,161	0,280	0,178	0,171	0,183	0,227	0,186
25			L	/	0,201	0,193	0,412	0,196	0,578	0,212	0,514	0,621	0,308
26		MMD(Déviati on moyenne de MIU)	C	/	0,023	0,009	0,013	0,006	0,005	0,008	0,005	0,008	0,004
27			L	/	0,018	0,029	0,021	0,006	0,032	0,029	0,023	0,035	0,024
28		SMD(Rugosité)	C	Micron	7,242	6,098	4,760	1,777	1,615	8,815	1,595	2,883	2,337
29			L		12,447	10,207	6,862	1,448	4,133	7,507	6,590	10,572	3,233
30	Résistance thermique			m <sup>2</sup> K/W	0,016	0,025	0,019	0,064	13,040	0,028	0,033	0,028	0,073
31	Endroit	Déformation permanente	C	µm	22,27	56,80	66,71	158,99	225,78	126,43	240,95	109,12	224,20
32		Déformation élastique	C	µm	134,22	193,05	316,50	729,55	277,79	177,88	301,94	388,40	961,43
33		Déformation totale	C	µm	156,49	249,85	449,87	888,53	503,57	304,31	542,89	497,52	1185,63
34		Déformation permanente	L	µm	18,21	53,38	46,72	158,18	195,28	86,71	237,43	123,68	165,965
35		Déformation élastique	L	µm	125,97	143,40	282,13	751,72	259,82	169,99	304,82	388,19	453,79

	Paramètres instrumentaux			Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9
36		Déformation totale	L	µm	144,18	196,78	328,85	909,90	455,10	256,70	542,24	511,87	619,76
37		Déformation permanente	C	µm	24,01	45,91	30,14	209,33	190,22	119,47	282,73	278,52	171,99
38	Envers	Déformation élastique	C	µm	153,68	186,69	224,67	941,89	469,67	209,67	599,09	651,19	708,56
39		Déformation totale	C	µm	177,69	232,60	254,81	1151,21	659,89	329,14	881,82	929,71	880,56
40		Déformation permanente	L	µm	23,38	82,52	28,02	187,93	193,88	125,66	202,06	236,46	164,36
41		Déformation élastique	L	µm	124,64	159,64	242,13	834,10	399,40	244,10	410,74	583,52	338,17
42		Déformation totale	L	µm	148,01	242,16	270,15	1022,03	593,28	369,75	612,80	819,98	502,53
43	Coefficient drapé			%	56,30	69,61	58,41	58,13	36,81	34,30	36,03	32,22	73,93
44	Degré de transparence			/	0,1339	0,1215	0,1551	0,0606	0,1148	0,1061	0,1246	0,0075	0,0893
45	Entropy ®			/	5,8512	5,7317	5,6011	4,9166	5,5259	5,5298	5,5273	4,5984	5,5878
46	Entropy V			/	5,6627	5,7389	5,9333	4,8616	5,6074	5,6162	5,6103	4,4169	4,7293
47	Effusivité Qmax		Endroit	J/cm <sup>2</sup> /s	0,095	0,082	0,082	0,044	0,090	0,083	0,085	0,080	0,049
48			Envers		0,096	0,085	0,082	0,042	0,088	0,085	0,079	0,079	0,047
49			Moyenne		0,095	0,084	0,082	0,043	0,089	0,084	0,082	0,080	0,048

	Paramètres instrumentaux		Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
50	Profilomètre	Distribution principale (colonnes, mailles)	Endroit	/	2,557	1,898	1,067	1,749	1,613	1,269	1,850	0,905	1,291
51		Distribution du bruit (pilosité)	Endroit	/	0,039	0,028	0,019	0,010	0,032	0,021	0,030	0,016	0,029
52		Distribution principale (colonnes, mailles)	Envers	/	2,170	1,725	0,615	1,835	1,577	0,885	1,570	0,920	5,401
53		Distribution du bruit (pilosité)	Envers	/	0,027	0,024	0,019	0,010	0,029	0,019	0,026	0,012	0,017
54		Paramètres d'amplitude	SaR	mm	0,211	0,394	0,150	0,491	0,299	0,080	0,236	0,190	0,073
55			SaV	mm	0,264	0,370	0,220	0,320	0,218	0,094	0,314	0,222	0,548
56			SqR	mm	0,220	0,419	0,201	0,700	0,339	0,123	0,260	0,288	0,152
57			SqV	mm	0,291	0,397	0,304	0,559	0,246	0,143	0,351	0,269	0,758
58		Paramètres spaciaux	SPcR	pics/mm <sup>2</sup>	250	295	1519	571	478	2241	575	522	1327
59			SPcV	pics/mm <sup>2</sup>	197	367	1407	547	458	2734	731	521	744
60			SdsR	pics/mm <sup>2</sup>	7300	3963	5516	3315	3631	4160	3950	2838	2734
61			SdsV	pics/mm <sup>2</sup>	3703	4190	5470	2480	3869	4583	4025	3092	4287
62			StrR	/	0,402	0,42	0,498	0,795	0,295	0,391	0,323	0,437	0,308
63			StrV	/	0,274	0,384	0,778	0,824	0,26	0,434	0,316	0,726	0,67
64		Paramètres hybrides	SscR	l/μm	39	67,9	122	476	84,5	83,6	60,6	179	180
65	SscV		l/μm	42,2	70,2	172	486	54,4	101	93,9	70,6	460	

	Paramètres instrumentaux		Unité	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	Epaisseur		mm	0,852	0,974	2,092	0,390	1,472	1,032	1,142	1,040	
2	Poids/m <sup>2</sup>		mg/cm <sup>2</sup>	182,8	202,0	306,8	133,8	209,4	123,4	134,1	187,0	
3	Flexion	B(Rigidité)	C	gf/cm <sup>2</sup> /cm	0,043	0,020	0,042	0,010	0,039	0,029	0,049	
4			L		0,017	0,003	0,241	0,002	0,010	0,009	0,008	0,012
5		2HB(Hystérésis)	C	gf.cm.cm	0,039	0,020	0,008	0,011	0,045	0,047	0,063	0,053
6			L		0,019	0,009	0,247	0,004	0,020	0,022	0,015	0,019
7	Cisaillement	G(Rigidité)	C	gf/cm/degre	0,74	0,60	1,21	0,86	0,53	0,70	0,43	0,63
8			L		0,71	0,65	1,09	0,85	0,47	0,60	0,48	0,63
9		2HG(Hystérésis at 0,5°)	C	gf/cm	1,80	2,16	2,87	1,33	1,56	1,58	1,57	1,82
10			L		2,33	3,38	2,19	1,76	2,27	2,29	2,39	2,19
11		2HG5(Hystérésis at 5°)	C	gf/cm	1,92	2,13	3,14	1,34	1,57	1,57	1,48	1,72
12			L		2,45	3,32	2,47	1,86	2,17	2,35	2,07	2,08
13	Compression	LC(Linéarité)		/	0,437	0,450	0,451	0,883	0,556	0,607	0,381	0,360
14		WC(Energie)		gf.cm/cm <sup>2</sup>	0,270	0,313	0,868	0,104	0,629	0,664	0,525	0,404
15		RC(Résilience)		%	48,04	47,28	44,17	38,31	48,84	43,03	38,77	43,19
16	Traction	Module	C	%	33,233	16,394	6,283	43,195	18,767	27,732	10,695	17,796
17			L	%	6,690	3,151	2,066	16,258	2,071	3,525	2,906	4,747
18	Endroit	MIU(Coefficient de friction)	C	/	0,184	0,192	0,182	0,178	0,194	0,221	0,239	0,204
19			L	/	0,202	0,191	0,201	0,197	0,197	0,194	0,207	0,178
20		MMD(Déviaton moyenne de MIU)	C	/	0,006	0,006	0,013	0,004	0,006	0,005	0,035	0,034
21			L	/	0,022	0,016	0,014	0,011	0,016	0,006	0,005	0,010
22		SMD(Rugosité)	C	Micron	3,038	2,300	8,072	1,070	2,780	1,413	11,083	6,900
23			L		7,758	18,313	4,045	3,680	10,848	1,708	2,048	5,970

	Paramètres instrumentaux		Unité	10	11	12	13	14	15	16	17	
24	Envers	MIU(Coefficient de friction)	C	/	0,178	0,170	0,133	0,131	0,200	0,174	0,260	0,186
25			L	/	0,208	0,194	0,271	0,186	0,234	0,199	0,199	0,343
26		MMD(Déviaton moyenne de MIU)	C	/	0,011	0,007	0,014	0,004	0,007	0,003	0,036	0,024
27			L	/	0,018	0,018	0,039	0,013	0,025	0,008	0,005	0,005
28		SMD(Rugosité)	C	Micron	9,608	1,875	14,808	1,030	3,867	0,845	8,133	8,750
29			L		7,703	18,817	5,372	3,870	12,942	1,713	2,020	2,012
30	Résistance thermique			m <sup>2</sup> K/W	0,025	0,027	0,049	0,011	0,037	0,026	0,037	0,031
31	Endroit	Déformation permanente	C	µm	19,66	22,19	115,44	4,89	84,94	46,52	99,36	69,760
32		Déformation élastique	C	µm	136,06	185,68	385,81	62,12	362,59	295,51	254,22	271,54
33		Déformation totale	C	µm	155,72	207,87	501,26	67,01	447,53	342,03	353,58	341,30
34		Déformation permanente	L	µm	39,10	32,48	79,74	3,92	53,19	120,07	81,82	66,337
35		Déformation élastique	L	µm	206,15	178,31	225,60	58,54	368,93	417,69	235,75	247,95
36		Déformation totale	L	µm	256,94	210,79	305,34	62,46	422,12	537,77	317,57	314,29
37	Envers	Déformation permanente	C	µm	15,70	26,58	119,61	5,83	44,97	45,30	84,18	92,643
38		Déformation élastique	C	µm	136,69	156,94	412,65	74,20	333,02	278,21	312,19	312,12
39		Déformation totale	C	µm	152,39	183,51	532,26	80,04	377,99	323,51	396,36	404,76
40		Déformation permanente	L	µm	42,56	20,66	127,68	4,58	50,77	86,62	66,98	61,497
41		Déformation élastique	L	µm	214,37	160,83	349,74	64,05	375,71	376,81	287,60	240,62
42		Déformation totale	L	µm	256,94	181,49	477,42	68,63	426,49	463,43	354,58	302,12
43	Coefficient drapé			%	64,25	29,54	60,51	29,38	51,73	31,78	77,44	57,97
44	Degré de transparence			/	0,0932	0,0039	0,0010	0,0016	0,0034	0,0491	0,1050	0,0145
45	Entropy ®			/	5,6335	5,1381	4,3319	5,2116	5,2443	5,4115	5,5798	5,5864
46	Entropy V			/	5,3505	5,1983	4,8298	5,3070	4,9922	4,8715	5,6677	5,5740
47	Effusivité Qmax		Endroit	J/cm <sup>2</sup> /s	0,090	0,101	0,056	0,146	0,071	0,055	0,085	0,101
48			Envers		0,094	0,101	0,053	0,147	0,071	0,054	0,085	0,101
49			Moyenne		0,092	0,101	0,055	0,146	0,071	0,054	0,085	0,101







	Paramètres instrumentaux		Unité	10	11	12	13	14	15	16	17	
50	Profilomètre	Distribution principale (colonnes, mailles)	Endroit	/	1,570	1,093	0,952	1,704	1,006	0,388	1,119	1,675
51		Distribution du bruit (pilosité)	Endroit	/	0,027	0,018	0,033	0,030	0,025	0,110	0,027	0,019
52		Distribution principale (colonnes, mailles)	Envers	/	1,781	0,941	1,215	1,951	1,163	1,480	1,200	2,312
53		Distribution du bruit (pilosité)	Envers	/	0,037	0,020	0,034	0,025	0,018	0,018	0,023	0,028
54		Paramètres d'amplitude	SaR	mm	0,217	0,085	0,031	0,190	0,063	0,062	0,104	0,299
55			SaV	mm	0,363	0,081	0,125	0,152	0,053	0,195	0,085	0,316
56			SqR	mm	0,241	0,125	0,079	0,201	0,104	0,086	0,182	0,316
57			SqV	mm	0,381	0,126	0,217	0,163	0,115	0,235	0,143	0,333
58		Paramètres spaciaux	SPcR	pics/mm <sup>2</sup>	652	1916	1131	264	2803	3160	1679	574
59			SPcV	pics/mm <sup>2</sup>	811	2003	580	354	1263	631	1850	512
60			SdsR	pics/mm <sup>2</sup>	4570	4277	2052	5243	4130	6799	3023	4304
61			SdsV	pics/mm <sup>2</sup>	5977	3785	1853	6011	2433	4809	3416	4117
62			StrR	/	0,299	0,414	0,428	0,704	0,49	0,477	0,32	0,356
63			StrV	/	0,466	0,412	0,32	0,759	0,575	0,712	0,337	0,222
64		Paramètres hybrides	SscR	l/μm	55,6	74,9	120	29,3	89	71,1	145	72,3
65	SscV		l/μm	94,5	85,8	131	22,7	148	111	114	67,6	







# **Annexe 10 Protocole d'évaluation du toucher pour 17 échantillons**

## **(gamme de T-shirts)**



## Toucher de surface - Tactile

Descripteurs	Echelle	Définition	Protocole d'évaluation	Gestuelles
<b>Duveteux</b>	<b>0 = pas duveteux 10 = très duveteux</b>	<i>Caractérise la présence de duvet à la surface du tissu</i>	Posez l'échantillon à plat sur la table. Effleurez le tissu avec le bout des doigts (l'extrémité uniquement) en réalisant des cercles, sans le bouger	
<b>Lisse</b>	<b>0 = pas lisse 10 = très lisse</b>	<i>Caractérise un tissu ne présentant pas d'aspérités ou de relief à sa surface</i>	Posez l'échantillon à plat sur la table. Déplacez verticalement, le bout des doigts (toute la phalange) du haut vers le bas, sans le bouger	
<b>Glissant</b>	<b>0 = pas glissant 10 = très glissant</b>	<i>Caractérise la capacité d'un tissu à laisser la main se déplacer sans effort à la surface du produit</i>	Posez l'échantillon à plat sur la table. Faites glisser les doigts (toute la phalange) à la surface de l'échantillon de haut en bas. L'angle entre le doigt et l'échantillon doit être de 45°	
<b>Rêche</b>	<b>0 = pas rêche 10 = très rêche</b>	<i>Caractérise la présence de particules solides, d'aspérités à la surface du tissu provoquant des picotements au bout des doigts, tissu légèrement râpeux</i>	Posez l'échantillon à plat sur la table. Déplacez le bout des doigts (toute la phalange) verticalement du haut vers le bas de l'échantillon, sans le bouger en exerçant une certaine pression.	
<b>Chaud</b>	<b>0 = pas chaud 10 = très chaud</b>	<i>Caractérise la sensation thermique perçue sur la main</i>	Prendre en main l'échantillon et refermer la main, pendant 2 à 3 secondes	
<b>Gras</b>	<b>0 = pas gras 10 = très gras</b>	<i>Caractérise un tissu présentant une pellicule graisseuse ou cireuse, à sa surface</i>	Posez l'échantillon à plat sur la table. Faites glisser l'index (toute la phalange) à la surface de l'échantillon de haut en bas. L'angle entre le doigt et l'échantillon doit être de 45°	


## Sensibilité kinesthésique (geste de prise en main) - Visio tactile

Descripteurs	Echelle	Définition	Protocole d'évaluation	Gestuelles
<b>Etirable</b>	<b>0 = pas étirable</b> <b>10 = très étirable</b>	<i>Caractérise la capacité d'un tissu à pouvoir être étiré, allongé par traction</i>	Positionnez l'échantillon dans le sens de l'évaluation, Prenez les deux bords au milieu et tirez pendant 2 secondes, L'étirement a la même intensité selon les échantillons	
<b>Fluide</b>	<b>0 = pas fluide</b> <b>10 = très fluide</b>	<i>Caractérise un tissu léger, aérien</i>	Soulevez l'échantillon jusqu'à ce qu'il ne repose plus sur la table. Laissez tomber l'échantillon dans l'autre main, paume orientée vers le haut, en resserrant légèrement les doigts simultanément	
<b>Tombant</b>	<b>0 = pas tombant</b> <b>10 = très tombant</b>	<i>Caractérise un tissu capable d'épouser la forme de la main</i>	Posez l'échantillon à plat dans la paume de la main tournée vers le haut	
<b>Froissable</b>	<b>0 = pas froissable</b> <b>10 = très froissable</b>	<i>Qualifie la capacité du tissu à marquer, à onduler, après pression dans la paume de la main</i>	Placez l'échantillon à plat dans la paume de la main. Fermez la main fermement pendant 3 secondes, ouvrir la main, et observer le nombre de plis	

## Toucher de volume - Visio tactile

<b>Moelleux</b>	<b>0 = pas moelleux 10 = très moelleux</b>	<i>Caractérise le volume perçu après pression et relâchement entre le pouce et l'index</i>	Pliez l'échantillon en 4. Évaluez la capacité de l'enfoncement, avant et après pression entre le pouce et l'index, La pression doit être la même pour tous les échantillons	
<b>Épais</b>	<b>0 = pas épais 10 = très épais</b>	<i>Caractérise l'épaisseur du tissu</i>	Évaluez l'épaisseur de l'échantillon, en le tenant entre le pouce et l'index	

## Visuel

Descripteurs	Echelle	Définition	Protocole d'évaluation	Gestuelles
<b>Transparent</b>	<b>0 = pas transparent 10 = très transparent</b>	<i>Capacité à voir à travers un tissu</i>	Évaluer la transparence en regardant à travers le tissu	

## Annexe 11 Résultats d'évaluations du toucher pour 17 échantillons (gamme de T-shirts)

	Duveteux	Lisse	Glissant	Rêche	Chaud	Gras	Etirable	Fluide	Tombant	Froissable	Moelleux	Epais	Transparent
1	1,41	4,07	3,46	5,44	3,75	1,58	1,42	6,47	7,66	5,99	1,34	1,15	8,04
2	3,55	3,93	4,09	3,41	4,74	2,24	9,45	6,28	6,75	6,96	3,72	2,50	6,16
3	0,28	0,36	1,57	8,12	1,85	1,75	5,46	6,70	8,08	0,24	2,13	1,45	9,36
4	9,23	6,28	7,16	1,19	9,00	4,66	4,90	2,59	3,03	6,40	9,13	8,55	0,76
5	4,95	5,55	5,88	3,20	5,35	4,39	5,23	4,42	5,77	6,34	4,87	4,85	1,04
6	2,97	4,49	4,92	4,61	5,28	2,14	9,18	5,35	6,56	8,16	3,20	2,37	4,83
7	4,70	6,35	6,32	2,52	6,07	4,12	6,16	4,55	6,02	6,08	4,54	4,52	1,23
8	1,34	1,34	2,68	4,95	4,36	1,60	8,32	6,85	7,23	2,58	4,05	3,40	6,35
9	9,88	5,19	6,30	1,48	9,07	3,06	7,31	0,98	2,46	6,36	9,87	9,81	0,03
10	1,46	6,16	7,32	2,42	3,73	6,83	3,70	5,67	7,09	4,25	3,45	3,47	2,34
11	3,58	5,56	6,17	1,81	4,98	3,95	4,90	7,98	8,70	2,28	3,49	2,99	3,08
12	6,99	1,19	1,48	9,21	8,45	2,02	2,44	0,10	0,20	3,24	6,20	8,57	2,65
13	0,03	9,94	9,85	0,02	0,91	8,21	0,87	9,91	9,88	1,74	1,03	0,20	8,19
14	7,32	5,44	6,77	1,44	7,14	4,66	7,34	6,26	8,15	5,48	6,74	5,73	2,39
15	7,28	6,75	7,04	1,64	7,57	3,18	7,60	4,74	5,74	7,63	6,05	4,19	0,65
16	5,11	5,92	5,39	3,75	5,33	2,60	7,65	5,51	6,79	7,21	4,42	2,97	2,45
17	2,64	5,42	5,92	3,09	5,24	3,60	6,07	4,88	6,95	4,82	4,07	3,99	6,67

Pour chaque produit, le résultat d'évaluation final est la moyenne des notes de tous les panélistes. Il varie entre 0 et 10. 0 signifie que le produit est le moins pertinent pour le descripteur et 10 le plus pertinent.

## Annexe 12 Listes des termes associés à chaque critère du bien-être

**Les 6 notions suivantes (chaleur, fraîcheur, dynamisme, protection, relaxation et liberté) sont illustrées chacune par plusieurs images. Citez tous les mots que ces notions évoquent pour vous (sensations, couleurs, odeurs, souvenirs, ambiances, objets, ...)**  
N'hésitez pas à indiquer le maximum de termes possibles.

<b>Chaleur</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Confort	9	Confort
Bien-être	10	Bien-être, on se sent bien
Relaxation	4	Détente, relaxation, sérénité
Douillet	3	Douillet
Douceurs	5	Douceurs
Température haut	26	Été, soleil, bouffée de chaleur, calorifique, Sahara, cuisinière, Afrique, Midi de la France, coraux, coquillages, cyclone, sandales, algue, pays chaud: Antilles_les îles, Bord de mer, Mer, océan, plage, campagne, poissons tropicaux
Froid	37	Froid extérieur, chauffage central, chauffage, feu, coin de feu, feu de cheminée, cheminée, manteau, pull-over, pull canadienne, écharpe, bonnet, couverture, couette, enveloppement, tissu chaud, laine, fibre polaire, thermolactile, soie, cash mire
Loisir	1	Loisir
Voyage	1	Voyage
Evasion	1	Evasion
Repos	2	Sieste, lit
Vacances	2	Vacances
Ambiance feutrée	4	Ambiance feutrée, ambiance
Moelleux	1	Moelleux
Plaisir	5	Plaisirs, bonheur, Joie, une émotion se traduisant par une excitation joyeuse, Explosion de rire

<b>Chaleur</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Amours	17	Amour, amitié, convivialité, Tendresse, caresse, Compassion, assistance, Atmosphère chaleureuse, affection, émotion, sensation, Réconfort
Félicitation	1	Félicitation
Emphase	1	Emphase
Cocooning	3	Cocooning, cocon
Passion	1	Passion
Famille	6	Famille, familiale, parentalité, Souvenirs d'enfance agréable, confort du sein maternel de l'enfance, Poignée de main
Couleurs vives	4	Jaune, rouge, orange
Couleurs pasteltes	1	Couleurs pastel dans les tons vert-blanc
Nature	1	Nature
Verdure	3	Garrigue, thym, laurier
Vêtement léger	2	vêtement léger, légèreté
Ménopause	1	Ménopause
Chat qui ronronne	1	Chat qui ronronne
Sécurité	1	Sécurité
Plaid	1	Plaid
<b>Total</b>	<b>155</b>	

<b>Dynamisme</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Evasion	1	Evasion
Vacances	2	Vacances
Détentes	1	Détentes
Repos	1	Repos
Bien-être	1	Bien-être
Jeunesse	8	Jeunesse, souvenirs, du mordant, orgueil, témérité
Verdeur	1	Verdeur
Nouveauté	2	Nouveauté, record

<b>Dynamisme</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Energie	3	Energie, vitamine C
Santé	6	Santé, bonne santé, en forme, longévité
Bonne humeur	2	Bonne humeur, optimisme
Ambiance	2	Ambiance, soleil
Plein air	7	Plein air, vie en plein air, grand air, respire, grands espaces, mer, campagne, montagne
Air	2	Air, vent
Solide	2	Solide
Pratique	1	Pratique
Changement	7	La vie, eau, eau de sources, mousse, volcan, élastique, Sensation
Vivacité & Vitalité	13	Vivacité, vitalité, élan vital, allant, pep, ressort, actif, hyper actif, effort, du punch
Volontaire	1	Volontaire
Equilibre	2	Equilibre, défoulement
Activités intellectuelles	10	Activité, engagement, projets, études, entreprendre, concours, défis, activités multiples: intellectuelles et physiques, réunion, travaux
Force	3	Force, grande force, puissance
Activités physiques sportives	42	Sport, activités sportives, Bouger, envie de bouger, marcher, mouvement, escalade, jogging, nautique, wake, step, LIA, danse, ski, golf, voile, bateau, courir, activité de plein air, randonnées, jouer, jeux, activité physique, construction
Rapidité	8	Rapidité dans l'allure, rapidité, animal sauvage, lavage rapide, séchage rapide, la vie, eau, eau de sources
Tonicité	2	Tonicité, tonus
Qualité	1	Qualité
Couleurs vives	5	Couleurs, bleu intense, rouge carmin, couleurs vertes, couleurs grises-bleues
<b>Total</b>	<b>136</b>	

<b>Relaxation</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Douceurs	6	Douceurs
Confort	3	Confort
Relaxation	17	Détente, détendu, calme, sérénité, apaisé, anti-stress, décompresser, diminution des tensions physiques ou mentales



<b>Relaxation</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Prendre son temps	1	Prendre son temps
Bien-être	7	Bien-être
Vacances	2	Vacances
Repos	19	Repos, sieste, rupture temporaire d'activité, après-midi, rocking chair, hamac, lit, fauteuil, canapé, baldaquin, Yoga, étirement
Activité sportives douces	37	stretching, gymnastique, promenades, spa, massage, bains massants, bouillonnants, bains, jacuzzis, sauna, thalassothérapie, thalasso, hammam, Piscine, vapeur, plage
Souvenir	1	Souvenir
Ambiance feutré	6	Ambiance feutré, espace feutré, zen, encens, bougies
Odeurs	1	Odeurs
Santé	1	Santé
Vêtement légers	1	Vêtement légers
Anti-conformisme	2	Absence de cravate, pyjama
Soie	1	Soie
Ombre	1	Ombre
Soins	2	Soin de soi, soins esthétique
Liberté	1	Liberté
Amour	1	Amour
Plaisir	2	Joie, Volupté
Couleurs reposants	7	Couleurs reposantes, pastel, blanc cassé, couleurs diffuses, rose, la blancheur; violet
Pureté	1	Pureté
<b>Total</b>	<b>134</b>	

<b>Fraîcheur</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Température frais	30	Printemps, matinée d'automne, petit matin en été, feuille qui tombe, retrouvé l'été par forte chaleur, été, Le soir en été, soirée dehors, soirée paisible entre amis, la nuit, climatisation, ventilateur, réfrigérateur, frais, rafraichissements, la cave, gotte, ombre, sensation, montagne, maison d'alpage

<b>Fraîcheur</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Air	8	Brise, brise marine, air marin, air frais, courant d'air, bon air, vent
Froid	9	Cheminée; raclette, tissus maille, alpaga (fibre laine), bob, laine polaire, bottes, écharpe, foulard
Eau	12	Eau, cascades, bain, balnéaires, mer, buée, vaporisateur, brumisateur
Plaisir	2	Joie de vivre, gai
Alimentation qui donne la fraîcheur	17	Légumes frais, boissons fraîches, un aliment, soupes, marron grillé, champignons, salades, carottes, taboulé, radis, chewing-gum, boissons fraîches, glaçons, glace, menthe
Verdure	20	Grand platane, arbre, jardin, verdure, le sous bois, grands espaces herbus, herbe, forêt, plantes, campagne, jardinage
Vacances	3	Vacances
Nature	1	Nature
Fleurs	4	Fleurs, roses, jasmin
Jeunesse	8	Jeunesse, naissance, crudité, dessin naïf, dessin d'enfance, sourire d'enfant, la netteté
En activité permanente	1	En activité permanente
Liberté	2	Liberté
Dynamisme	3	Dynamisme, sport
Confort	1	Confort
Calme	1	Calme
Douceur	2	Douceur
Beauté	2	Joli, la beauté
Non-convivialité	8	Désamour, indifférence, rejet, renonciation, exil, salut de la main, non-convivialité, dos tourné
Continue	1	Continue
Pratique	1	Pratique
Vêtements légers	4	Vêtements légers, tee-shirt, short
Coton	3	Coton, cotonnades
Lin	1	Le lin
Soie	1	La soie
Prendre le temps	1	Prendre le temps

<b>Fraîcheur</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Odeurs	3	Odeurs, une eau de toilette
Couleurs pasteltes	4	Couleurs pasteltes, blanc, ocre
Couleurs vives	5	Couleur vives, rose, bleu, vert
<b>Total</b>	<b>158</b>	

<b>Protection</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Douceur	4	Douceur
Confort	3	Confort
Bien être	1	Bien être
Cocooning	3	Cocooning, un peu replié sur soi
Prendre soin de soi	2	Prendre soin de soi, crème hydratante
Santé	2	Santé, Bulle
Objet	1	Objet
Galet	1	Galet
Protection contre le froid	7	Protection contre le froid, feu, côte de maille, vêtement qui protège, couverture
Protection environnement	2	Protection environnement, environnement connu
Protection contre les intempéries	4	Imperméable, parapluie
Protection contre le soleil	25	Protection contre le soleil, Protection solaire, parasol, chapeau, lunettes, verres fumés, crème solaire, solaire, soleil, brûlures de soleil, bronzage, crème, maillot de bain, océan, transat
Abri	6	Abri, cacher, maison, toit, toiture
Sécurité	31	Carrosserie, gardefous, air bag, ceinture, ceinture de sécurité, assurance, casque, protège tibia, protège dents, détecteurs, garde boue, cuirasse, appui, gants, Arme, armée, police, pompiers, barricade, barrière, alarmes, chaussures de travail, chaussures de sécurité, sécurité, surveillance, vigilance, garde du corps
Egoïste	1	Egoïste
Sponsors	1	Sponsors

<b>Protection</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Mentors	1	Mentors
Amours	8	Amours, câlins, caresses, assistance, soutien, réconfort
Protection par la famille et amis	7	Famille, Maternelle et infantile, enfants, parentalité, Couvade, entourage
Prudence	2	Prudence, prévention
Juridique	7	Loi, justice, juridique, civil, garantie, social
Protection sanitaire	3	Tablier, serviettes, vêtement blancs
Se protéger	2	Se protéger, enveloppant
Agréable au toucher	1	Agréable au toucher
Epaisseur	1	Epaisseur
Légèreté	1	Légèreté
Couleurs	1	Couleurs
<b>Total</b>	<b>128</b>	

<b>Liberté</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Relaxation	3	Relaxation, décontraction, détente
Confort	1	Confort
Bien-être	2	Bien-être, se sentir bien
Plaisir	5	Sourires, plaisirs, joie de vivre, s'éclater
Séduction	1	Séduction
Partage	1	Partage
Entente	1	Entente
Evasion	1	Evasion

<b>Liberté</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Description</b>
Vacances	8	Vacances, vacances en famille
Promenade	2	Promenade, ballade, chemin à la campagne
Plein air	2	Plein-air, grands espaces
Voyages	6	Voyages, partir, pays chauds, soleil, chaleur
Retraite	1	Retraite
Aisance financière	2	Aisance financière, argent
Indépendance	20	Faire ce que l'on veut, faire ce qu'on a envie, droit de faire et de dire, pensée, action, choix, presse, pas de comptes à rendre, Indépendance, indépendance de mouvements, de gestes, de l'esprit, de la pensée, être indépendant, autonomie, aisance, expression, audiovisuel
Absence de contrainte	19	Absence de contrainte, pas de contrainte, pas de contrainte d'horaire, agir sans contrainte, Rejet des obligations dépassées prodiguées par certaines formes d'éducation, oiseau, océan, mer, eau bleu turquoise, lacs, parachutisme, ciel, avions, delta plane et aile volante, Sensation de ne rien avoir sur le dos et d'être protégé du soleil ou du froid, vêtements courts, bien coupé
Propriété	2	Propriété, usus
Anti-conformisme	4	Anticonformisme, cheveux long, savates, vêtements larges ou non-conformistes
Possibilité	1	Possibilité
Solitude volontaire	1	Solitude volontaire
Air	2	Air, air pur
Objet	1	Objet
Activité sportive	7	Sport, course, marche, jeux, bateau, combat
Bruits atténués	1	Bruits atténués
Légèreté	1	Légèreté
Douceur	1	Douceur
Libre dans le mouvement	3	Libre dans ses mouvements, mouvement, pas de contrainte dans les mouvement
Couleurs blanches et bleues	5	Couleurs blanches et bleues
<b>Total</b>	<b>104</b>	

# Annexe 13 Liste commune des termes associés à chaque critère du bien-être

CHALEUR
Confort, bien être
Hiver : chauffage, feu
Été : soleil, mer, vacances
textiles : angora, laine, cachemire, polaire, mohair, coton
famille, nid douillet
cocooning, douceur
couette, épaisseur, moelleux
chaussettes
odeurs : cannelle
couleurs : rouge, tons dorés

DYNAMISME
Sport (randonnée, danse)
Jeunesse
Plein air, évasion, nature, montagne
Santé
mouvements
souplesse et muscles
aisance dans les mouvements
couleurs : vert, bleu, rouge, jaune
vitalité, vivacité, énergie
praticité, vêtements modulables
matières extensibles, gortex
matières aérées, anti-sudation

RELAXATION
Repos, sieste, lecture
Détente, massage
Calme, musique douce
Douceur, bien être
yoga, thalassothérapie, SPA, bain
sérénité, zen
lumière tamisée, bougies
couleurs : bleu pâle, brun, couleurs pastel
Vêtements amples, chauds et doux (soie), tissu éponge, tissu à base bambou
odeurs : lavande, thym
huiles essentielles

FRAICHEUR
Eau (cascade, torrent), boissons
Verdure (fleurs : rose, lys, fruits : agrumes)
Nature (montagne)
Air frais, brise
Jeunesse
odeurs : menthe, forêt, nature
ombre, aube, crépuscule
couleurs : blanc, bleu, vert, jaune
aisance dans les vêtements, légèreté
printemps
Coton

PROTECTION
Protection de la peau
Enveloppe protectrice
Protection de la peau contre le soleil
la chaleur, les intempéries
Imperméabilité
Soin de la peau
Confort, douceur
Famille, maison, mère, cocon
Vêtements épais, manches longues
plaid
laine, soie, cachemire, plume, microfibres, textiles hypoallergéniques
crème hydratante, crème solaire

LIBERTE
Indépendance
Evasion, plein air, vacances
Liberté de mouvements
Pas de contrainte
Souplesse
Vêtements légers, souples, amples
bonheur, joie
Vêtements fantaisie
nudité
Excentricité

## Annexe 14 Résultats de similarité moyenne entre le toucher des produits (textiles et T-shirts) et les 6 critères du bien-être

Textile	Matière	Chaleur	Dynamisme	Relaxation	Fraîcheur	Protection	Liberté
1	2	0,4625	0,5625	0,6500	0,4625	0,4875	0,6000
2	3	0,0625	0,3250	0,5250	0,7250	0,1500	0,6000
3	4	0,9750	0,4125	0,6250	0,1375	0,8625	0,4000
4	7	0,6750	0,5125	0,6500	0,3125	0,5500	0,5875
5	8	0,2750	0,6125	0,6625	0,4625	0,3625	0,6750
6	9	0,9250	0,3000	0,5875	0,0750	0,8625	0,3625
7	10	0,4000	0,6250	0,6375	0,7250	0,4250	0,7375
8	12	0,7000	0,2250	0,1750	0,0500	0,7375	0,1500
9	13	0,1875	0,6000	0,6125	0,6625	0,2625	0,7750
10	15	0,8000	0,5125	0,7000	0,2500	0,6375	0,4750
11	16	0,5750	0,5000	0,6375	0,4875	0,5750	0,6125

T-shirt	Matière	Chaleur	Dynamisme	Relaxation	Fraîcheur	Protection	Liberté
1	2	0,5375	0,5625	0,6125	0,5000	0,5750	0,6750
2	3	0,0875	0,4375	0,4000	0,8500	0,1375	0,6750
3	4	0,9375	0,3750	0,6875	0,1250	0,8625	0,4750
4	7	0,7375	0,5500	0,6125	0,2875	0,6625	0,6375
5	8	0,2125	0,6500	0,5125	0,6875	0,3375	0,8000
6	9	0,9875	0,2500	0,6250	0,1000	0,9250	0,3750
7	10	0,3500	0,7625	0,5875	0,7625	0,5000	0,7500
8	12	0,6750	0,1500	0,1500	0,0750	0,6500	0,1750
9	13	0,1750	0,6375	0,5500	0,8000	0,2750	0,7875
10	15	0,7500	0,5750	0,6625	0,2750	0,6625	0,5375
11	16	0,6250	0,5625	0,6875	0,4500	0,6125	0,6250

Les T-shirts évalués ici sont considérés comme style 9 (manche courte) dans la base de données.

## Annexe 15 Les références de style des T-shirts

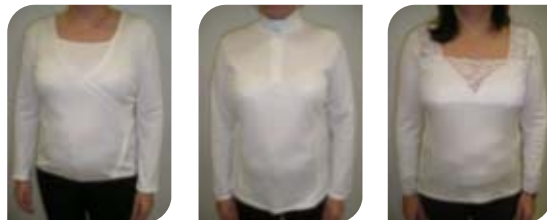
1. T-shirt manches longues
2. T-shirt manches longues avec broderie
3. T-shirt manches longues amples
4. T-shirt croisé devant
5. T-shirt col montant zippé
6. T-shirt grande dentelle
7. T-shirt empiècement massant intérieur
8. T-shirt col montant zippé avec poches



Modèle 1

Modèle 2

Modèle 3



Modèle 4

Modèle 5

Modèle 6



Modèle 7

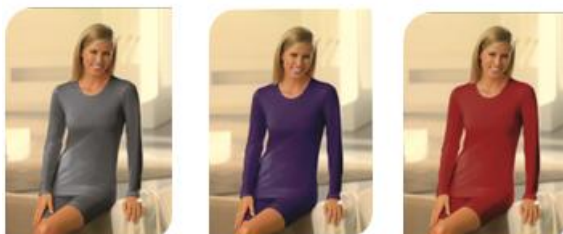
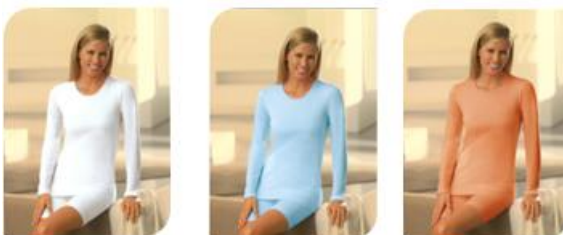
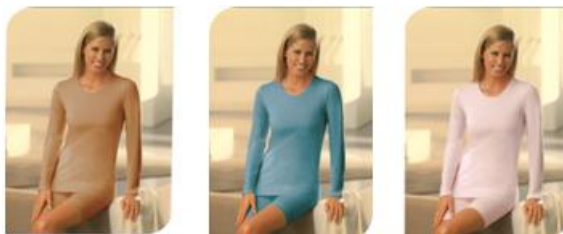
Modèle 8



## Annexe 16 Les références de couleur des

### T-shirts

- Camel
- Bleu
- Rose pâle
- Blanc
- Bleu pâle
- Abricot
- Anthracite (gris)
- Améthyste (violet)
- Rouge
- Noir
- Vanille



## Annexe 17 Résultats de similarité entre les styles des T-shirts et les 6 critères du bien-être

T-shirt	Matière	Modèle	Chaleur T1	Dynamisme T2	Relaxation T3	Fraîcheur T4	Protection T5	Liberté T6
1	7	1	0,696	0,800	0,666	0,456	0,728	0,638
2		2	0,742	0,714	0,746	0,516	0,734	0,662
3		3	0,744	0,624	0,684	0,466	0,748	0,660
4		4	0,674	0,606	0,684	0,536	0,660	0,654
5		5	0,676	0,602	0,670	0,546	0,714	0,688
6		6	0,712	0,572	0,650	0,530	0,656	0,608
7		7	0,782	0,564	0,706	0,538	0,776	0,650
8		8	0,722	0,538	0,736	0,550	0,744	0,780
9	10	1	0,490	0,576	0,598	0,622	0,572	0,616
10		2	0,468	0,612	0,638	0,678	0,576	0,666
11		3	0,450	0,566	0,574	0,646	0,544	0,624
12		4	0,444	0,572	0,612	0,656	0,568	0,632
13		5	0,504	0,762	0,638	0,652	0,620	0,734
14		6	0,454	0,538	0,556	0,672	0,534	0,598
15		7	0,552	0,586	0,578	0,622	0,620	0,610
16		8	0,500	0,788	0,654	0,708	0,626	0,764
17	4	1	0,940	0,596	0,778	0,404	0,858	0,632
18		2	0,920	0,626	0,806	0,456	0,860	0,666
19		3	0,940	0,582	0,782	0,396	0,862	0,658
20		4	0,890	0,574	0,740	0,408	0,794	0,628
21		5	0,930	0,766	0,756	0,476	0,856	0,762
22		6	0,880	0,540	0,698	0,490	0,746	0,620
23		7	0,878	0,596	0,736	0,464	0,802	0,598
24		8	0,940	0,802	0,822	0,498	0,880	0,818

- |  |  |
|--|--|
| 1. T-shirt manches longues               | 5. T-shirt col montant zippé             |
| 2. T-shirt manches longues avec broderie | 6. T-shirt grande dentelle               |
| 3. T-shirt manches longues amples        | 7. T-shirt empècement massant intérieur  |
| 4. T-shirt croisé devant                 | 8. T-shirt col montant zippé avec poches |

# Annexe 18 Résultats de similarité entre les couleurs des T-shirts et les 6 critères du bien-être

	Couleur	Chaleur T <sub>1</sub>	Dynamisme T <sub>2</sub>	Relaxation T <sub>3</sub>	Fraîcheur T <sub>4</sub>	Protection T <sub>5</sub>	Liberté T <sub>6</sub>
1	Camel	0,702	0,54	0,658	0,47	0,706	0,592
2	Bleu	0,66	0,678	0,676	0,698	0,708	0,708
3	Rose pâle	0,744	0,66	0,826	0,726	0,75	0,754
4	Blanc	0,728	0,72	0,796	0,8	0,778	0,784
5	Bleu pâle	0,644	0,736	0,764	0,806	0,714	0,78
6	Abricot	0,802	0,756	0,694	0,628	0,726	0,728
7	Gris	0,644	0,578	0,594	0,482	0,672	0,59
8	Violet	0,72	0,718	0,57	0,522	0,69	0,678
9	Rouge	0,828	0,786	0,534	0,496	0,724	0,672
10	Noir	0,702	0,624	0,532	0,426	0,7	0,606
11	Vanille	0,728	0,668	0,756	0,688	0,752	0,718

## Annexe 19 Résultats de similarité entre les produits finis (T-shirts) et les 6 critères du bien-être

CHALEUR																								
T-shirt	ref étude Toucher	ref étude style	ref étude couleur	PF					Toucher					Style					Couleur					
				F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	
1	7	1	3	1	4	17	49	29	0	1	3	12	4	5	12	29	38	16	2	12	25	34	27	
2	7	1	11	2	3	16	48	31	0	1	3	12	4	5	12	29	38	16	3	15	17	45	20	
3	7	1	5	2	8	30	38	22	0	1	3	12	4	5	12	29	38	16	6	27	22	29	16	
4	7	1	10	1	5	19	40	35	0	1	3	12	4	5	12	29	38	16	7	13	25	32	23	
5	7	1	4	1	3	14	46	36	0	1	3	12	4	5	12	29	38	16	6	10	24	34	26	
6	7	9	10	1	14	27	39	19	0	1	3	12	4	0	2	4	12	2	7	13	25	32	23	
7	7	9	5	0	5	17	53	25	0	1	3	12	4	0	2	4	12	2	6	27	22	29	16	
8	7	9	11	2	13	26	42	17	0	1	3	12	4	0	2	4	12	2	3	15	17	45	20	
9	7	9	3	0	7	25	50	18	0	1	3	12	4	0	2	4	12	2	2	12	25	34	27	
10	7	9	4	12	28	22	29	9	0	1	3	12	4	0	2	4	12	2	6	10	24	34	26	
11	8	5	9	7	31	26	28	8	8	8	3	1	0	21	30	30	14	5	2	5	13	37	43	
12	8	5	11	12	30	28	17	13	8	8	3	1	0	21	30	30	14	5	3	15	17	45	20	
13	8	5	10	11	26	33	19	11	8	8	3	1	0	21	30	30	14	5	7	13	25	32	23	
14	8	2	11	12	33	25	23	7	8	8	3	1	0	23	37	29	5	6	3	15	17	45	20	

Annexe 19 Résultats de similarité entre les produits finis (T-shirts) et les 6 critères du bien-être

15	8	2	9	14	29	33	17	7	8	8	3	1	0	23	37	29	5	6	2	5	13	37	43
16	8	2	10	13	26	37	19	5	8	8	3	1	0	23	37	29	5	6	7	13	25	32	23
17	8	1	10	16	24	41	17	2	8	8	3	1	0	21	33	31	10	5	7	13	25	32	23
18	8	1	9	14	28	31	23	4	8	8	3	1	0	21	33	31	10	5	2	5	13	37	43
19	8	1	11	13	29	26	24	8	8	8	3	1	0	21	33	31	10	5	3	15	17	45	20
20	10	5	9	16	40	21	21	2	4	7	6	3	0	21	30	30	14	5	2	5	13	37	43
21	10	5	4	11	33	30	23	3	4	7	6	3	0	21	30	30	14	5	6	10	24	34	26
22	10	5	5	16	43	27	12	2	4	7	6	3	0	21	30	30	14	5	6	27	22	29	16
23	10	1	4	11	30	37	16	6	4	7	6	3	0	21	33	31	10	5	6	10	24	34	26
24	10	1	5	24	34	30	12	0	4	7	6	3	0	21	33	31	10	5	6	27	22	29	16
25	10	1	9	19	38	28	15	0	4	7	6	3	0	21	33	31	10	5	2	5	13	37	43
26	10	9	11	15	39	36	8	2	4	7	6	3	0	3	6	7	4	0	3	15	17	45	20
27	10	9	5	24	40	24	10	2	4	7	6	3	0	3	6	7	4	0	6	27	22	29	16
28	10	9	9	33	28	29	10	0	4	7	6	3	0	3	6	7	4	0	2	5	13	37	43
29	10	9	4	27	36	26	10	1	4	7	6	3	0	3	6	7	4	0	6	10	24	34	26
30	9	1	4	0	0	2	11	87	0	0	0	1	19	0	0	1	28	71	6	10	24	34	26
31	9	9	4	0	1	2	19	78	0	0	0	1	19	1	0	0	2	17	6	10	24	34	26
32	4	5	8	2	1	1	21	75	0	1	0	2	17	0	1	3	26	70	6	10	26	34	24
33	4	5	11	5	1	1	14	79	0	1	0	2	17	0	1	3	26	70	3	15	17	45	20

**DYNAMISME**

T-shirt	ref étude Toucher	ref étude style	ref étude couleur	PF					Toucher					Style					Couleur				
				F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
1	7	1	3	11	25	33	23	8	1	2	11	4	2	11	27	38	17	7	6	19	31	27	17
2	7	1	11	10	27	37	23	3	1	2	11	4	2	11	27	38	17	7	4	17	28	43	8

## Annexe 19 Résultats de similarité entre les produits finis (T-shirts) et les 6 critères du bien-être

3	7	1	5	11	21	40	23	5	1	2	11	4	2	11	27	38	17	7	3	13	19	43	22
4	7	1	10	15	30	30	21	4	1	2	11	4	2	11	27	38	17	7	13	16	28	32	11
5	7	1	4	13	19	34	28	6	1	2	11	4	2	11	27	38	17	7	3	17	22	33	25
6	7	9	10	15	34	35	14	2	1	2	11	4	2	2	2	9	7	0	13	16	28	32	11
7	7	9	5	6	25	31	29	9	1	2	11	4	2	2	2	9	7	0	3	13	19	43	22
8	7	9	11	20	29	27	20	4	1	2	11	4	2	2	2	9	7	0	4	17	28	43	8
9	7	9	3	9	33	29	23	6	1	2	11	4	2	2	2	9	7	0	6	19	31	27	17
10	7	9	4	12	28	22	29	9	1	2	11	4	2	2	2	9	7	0	3	17	22	33	25
11	8	5	9	3	10	34	38	15	1	2	5	8	4	3	7	23	40	27	2	8	18	39	33
12	8	5	11	8	10	35	35	12	1	2	5	8	4	3	7	23	40	27	4	17	28	43	8
13	8	5	10	8	21	20	41	10	1	2	5	8	4	3	7	23	40	27	13	16	28	32	11
14	8	2	11	6	22	40	26	6	1	2	5	8	4	7	23	33	31	6	4	17	28	43	8
15	8	2	9	3	28	28	33	8	1	2	5	8	4	7	23	33	31	6	2	8	18	39	33
16	8	2	10	9	23	38	24	6	1	2	5	8	4	7	23	33	31	6	13	16	28	32	11
17	8	1	10	10	32	30	24	4	1	2	5	8	4	11	24	36	24	5	13	16	28	32	11
18	8	1	9	8	21	30	34	7	1	2	5	8	4	11	24	36	24	5	2	8	18	39	33
19	8	1	11	13	22	33	28	4	1	2	5	8	4	11	24	36	24	5	4	17	28	43	8
20	10	5	9	5	3	17	47	28	0	2	3	7	8	3	7	23	40	27	2	8	18	39	33
21	10	5	4	3	13	18	38	28	0	2	3	7	8	3	7	23	40	27	3	17	22	33	25
22	10	5	5	3	6	18	50	23	0	2	3	7	8	3	7	23	40	27	3	13	19	43	22
23	10	1	4	7	23	26	31	13	0	2	3	7	8	11	24	36	24	5	3	17	22	33	25
24	10	1	5	3	20	27	34	16	0	2	3	7	8	11	24	36	24	5	3	13	19	43	22
25	10	1	9	2	11	19	46	22	0	2	3	7	8	11	24	36	24	5	2	8	18	39	33
26	10	9	11	5	11	33	36	15	0	2	3	7	8	0	5	4	7	4	4	17	28	43	8
27	10	9	5	2	8	27	46	17	0	2	3	7	8	0	5	4	7	4	3	13	19	43	22
28	10	9	9	1	8	20	44	27	0	2	3	7	8	0	5	4	7	4	2	8	18	39	33
29	10	9	4	9	20	20	30	21	0	2	3	7	8	0	5	4	7	4	3	17	22	33	25

<b>30</b>	9	1	4	20	25	26	16	13	6	10	2	2	0	10	19	39	27	5	3	17	22	33	25
<b>31</b>	9	9	4	24	26	21	18	11	6	10	2	2	0	8	6	2	2	2	3	17	22	33	25
<b>32</b>	4	5	8	2	9	11	35	43	6	3	7	3	1	0	9	25	40	26	5	11	24	40	20
<b>33</b>	4	5	11	4	14	11	41	30	6	3	7	3	1	0	9	25	40	26	4	17	28	43	8

<b>Relaxation</b>																							
<b>T-shirt</b>	<b>ref étude Toucher</b>	<b>ref étude style</b>	<b>ref étude couleur</b>	<b>PF</b>					<b>Toucher</b>					<b>Style</b>					<b>Couleur</b>				
				<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>
<b>1</b>	7	1	3	1	7	15	14	23	1	3	5	8	3	6	16	30	35	13	0	5	14	44	37
<b>2</b>	7	1	11	5	4	22	54	15	1	3	5	8	3	6	16	30	35	13	1	9	21	49	20
<b>3</b>	7	1	5	2	8	29	46	15	1	3	5	8	3	6	16	30	35	13	0	11	19	47	23
<b>4</b>	7	1	10	8	20	28	33	11	1	3	5	8	3	6	16	30	35	13	20	29	24	19	8
<b>5</b>	7	1	4	2	5	14	60	19	1	3	5	8	3	6	16	30	35	13	1	6	19	42	32
<b>6</b>	7	9	10	20	24	29	21	6	1	3	5	8	3	1	1	5	11	2	20	29	24	19	8
<b>7</b>	7	9	5	3	5	19	55	18	1	3	5	8	3	1	1	5	11	2	0	11	19	47	23
<b>8</b>	7	9	11	7	13	28	41	11	1	3	5	8	3	1	1	5	11	2	1	9	21	49	20
<b>9</b>	7	9	3	0	9	26	52	13	1	3	5	8	3	1	1	5	11	2	0	5	14	44	37
<b>10</b>	7	9	4	0	11	18	48	23	1	3	5	8	3	1	1	5	11	2	1	6	19	42	32
<b>11</b>	8	5	9	13	30	24	25	8	3	5	2	8	2	8	17	34	30	11	16	28	35	15	6
<b>12</b>	8	5	11	10	8	21	41	20	3	5	2	8	2	8	17	34	30	11	1	9	21	49	20
<b>13</b>	8	5	10	10	32	25	25	8	3	5	2	8	2	8	17	34	30	11	20	29	24	19	8
<b>14</b>	8	2	11	5	12	22	41	20	3	5	2	8	2	8	17	32	34	9	1	9	21	49	20
<b>15</b>	8	2	9	9	33	36	18	4	3	5	2	8	2	8	17	32	34	9	16	28	35	15	6
<b>16</b>	8	2	10	12	28	32	25	3	3	5	2	8	2	8	17	32	34	9	20	29	24	19	8
<b>17</b>	8	1	10	13	30	34	21	2	3	5	2	8	2	8	25	33	28	6	20	29	24	19	8
<b>18</b>	8	1	9	19	25	25	25	6	3	5	2	8	2	8	25	33	28	6	16	28	35	15	6

19	8	1	11	5	14	24	41	16	3	5	2	8	2	8	25	33	28	6	1	9	21	49	20
20	10	5	9	14	31	27	20	8	0	6	4	7	3	8	17	34	30	11	16	28	35	15	6
21	10	5	4	5	8	26	43	18	0	6	4	7	3	8	17	34	30	11	1	6	19	42	32
22	10	5	5	10	22	26	33	9	0	6	4	7	3	8	17	34	30	11	0	11	19	47	23
23	10	1	4	3	11	30	42	14	0	6	4	7	3	8	25	33	28	6	1	6	19	42	32
24	10	1	5	10	25	33	27	5	0	6	4	7	3	8	25	33	28	6	0	11	19	47	23
25	10	1	9	11	34	31	20	4	0	6	4	7	3	8	25	33	28	6	16	28	35	15	6
26	10	9	11	10	25	31	28	6	0	6	4	7	3	1	2	5	9	3	1	9	21	49	20
27	10	9	5	7	23	28	32	10	0	6	4	7	3	1	2	5	9	3	0	11	19	47	23
28	10	9	9	9	33	31	23	4	0	6	4	7	3	1	2	5	9	3	16	28	35	15	6
29	10	9	4	6	23	27	30	14	0	6	4	7	3	1	2	5	9	3	1	6	19	42	32
30	9	1	4	8	6	16	33	37	0	3	7	7	3	1	7	21	44	27	1	6	19	42	32
31	9	9	4	7	10	23	29	31	0	3	7	7	3	2	3	5	6	4	1	6	19	42	32
32	4	5	8	4	11	23	33	29	0	3	7	7	3	1	13	18	43	25	11	29	28	28	4
33	4	5	11	1	3	18	35	43	0	3	7	7	3	1	13	18	43	25	1	9	21	49	20

FRAICHEUR																								
T-shirt	ref étude Toucher	ref étude style	ref étude couleur	PF					Toucher					Style					Couleur					
				F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	
1	7	1	3	21	30	22	19	8	5	9	4	2	0	28	34	24	10	4	6	11	24	32	27	
2	7	1	11	26	37	24	9	4	5	9	4	2	0	28	34	24	10	4	1	15	27	33	19	
3	7	1	5	24	25	25	22	4	5	9	4	2	0	28	34	24	10	4	3	7	9	46	35	
4	7	1	10	38	34	16	9	3	5	9	4	2	0	28	34	24	10	4	38	32	14	11	5	
5	7	1	4	26	26	20	24	4	5	9	4	2	0	28	34	24	10	4	2	9	15	35	39	
6	7	9	10	40	36	20	3	1	5	9	4	2	0	6	9	1	2	2	38	32	14	11	5	
7	7	9	5	16	20	26	28	10	5	9	4	2	0	6	9	1	2	2	3	7	9	46	35	



8	7	9	11	23	37	24	12	4	5	9	4	2	0	6	9	1	2	2	1	15	27	33	19
9	7	9	3	22	25	31	14	8	5	9	4	2	0	6	9	1	2	2	6	11	24	32	27
10	7	9	4	20	36	21	14	9	5	9	4	2	0	6	9	1	2	2	2	9	15	35	39
11	8	5	9	14	32	31	18	5	2	2	1	9	6	8	16	31	32	13	22	32	27	14	5
12	8	5	11	6	18	27	31	18	2	2	1	9	6	8	16	31	32	13	1	15	27	33	19
13	8	5	10	18	39	23	15	5	2	2	1	9	6	8	16	31	32	13	38	32	14	11	5
14	8	2	11	9	11	32	32	16	2	2	1	9	6	8	16	26	29	21	1	15	27	33	19
15	8	2	9	18	33	22	22	5	2	2	1	9	6	8	16	26	29	21	22	32	27	14	5
16	8	2	10	16	31	31	15	7	2	2	1	9	6	8	16	26	29	21	38	32	14	11	5
17	8	1	10	23	38	22	13	4	2	2	1	9	6	13	21	19	36	11	38	32	14	11	5
18	8	1	9	23	28	26	18	5	2	2	1	9	6	13	21	19	36	11	22	32	27	14	5
19	8	1	11	8	22	29	30	11	2	2	1	9	6	13	21	19	36	11	1	15	27	33	19
20	10	5	9	10	16	22	37	15	0	2	3	7	8	8	16	31	32	13	22	32	27	14	5
21	10	5	4	3	9	23	41	24	0	2	3	7	8	8	16	31	32	13	2	9	15	35	39
22	10	5	5	2	15	17	47	19	0	2	3	7	8	8	16	31	32	13	3	7	9	46	35
23	10	1	4	9	14	28	30	19	0	2	3	7	8	13	21	19	36	11	2	9	15	35	39
24	10	1	5	4	15	29	36	16	0	2	3	7	8	13	21	19	36	11	3	7	9	46	35
25	10	1	9	7	22	29	27	15	0	2	3	7	8	13	21	19	36	11	22	32	27	14	5
26	10	9	11	6	16	27	37	14	0	2	3	7	8	2	0	2	10	6	1	15	27	33	19
27	10	9	5	4	8	22	45	21	0	2	3	7	8	2	0	2	10	6	3	7	9	46	35
28	10	9	9	5	16	22	37	20	0	2	3	7	8	2	0	2	10	6	22	32	27	14	5
29	10	9	4	8	17	19	31	25	0	2	3	7	8	2	0	2	10	6	2	9	15	35	39
30	9	1	4	49	25	16	6	4	15	3	1	1	0	39	34	16	8	3	2	9	15	35	39
31	9	9	4	44	25	18	8	5	15	3	1	1	0	15	4	1	0	0	2	9	15	35	39
32	4	5	8	32	25	16	21	6	13	5	1	1	0	33	23	22	17	5	21	29	25	18	7
33	4	5	11	36	20	17	14	13	13	5	1	1	0	33	23	22	17	5	1	15	27	33	19

PROTECTION																								
T-shirt	ref étude Toucher	ref étude style	ref étude couleur	PF					Toucher					Style					Couleur					
				F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	
1	7	1	3	2	6	18	49	25	1	0	6	11	2	2	7	30	47	14	2	9	24	42	23	
2	7	1	11	0	6	15	55	24	1	0	6	11	2	2	7	30	47	14	0	6	31	44	19	
3	7	1	5	1	8	21	50	20	1	0	6	11	2	2	7	30	47	14	2	11	33	36	18	
4	7	1	10	0	6	15	53	26	1	0	6	11	2	2	7	30	47	14	4	15	26	37	18	
5	7	1	4	0	2	18	48	32	1	0	6	11	2	2	7	30	47	14	1	3	24	50	22	
6	7	9	10	1	7	36	41	15	1	0	6	11	2	0	3	10	7	0	4	15	26	37	18	
7	7	9	5	1	7	27	45	20	1	0	6	11	2	0	3	10	7	0	2	11	33	36	18	
8	7	9	11	3	14	24	46	13	1	0	6	11	2	0	3	10	7	0	0	6	31	44	19	
9	7	9	3	0	7	19	56	18	1	0	6	11	2	0	3	10	7	0	2	9	24	42	23	
10	7	9	4	0	7	15	52	26	1	0	6	11	2	0	3	10	7	0	1	3	24	50	22	
11	8	5	9	4	23	32	31	10	4	8	5	3	0	7	27	28	25	13	3	10	27	42	18	
12	8	5	11	9	17	25	34	15	4	8	5	3	0	7	27	28	25	13	0	6	31	44	19	
13	8	5	10	10	17	26	34	13	4	8	5	3	0	7	27	28	25	13	4	15	26	37	18	
14	8	2	11	10	21	31	30	8	4	8	5	3	0	7	31	32	27	3	0	6	31	44	19	
15	8	2	9	9	26	38	20	7	4	8	5	3	0	7	31	32	27	3	3	10	27	42	18	
16	8	2	10	14	16	33	28	9	4	8	5	3	0	7	31	32	27	3	4	15	26	37	18	
17	8	1	10	12	17	40	26	5	4	8	5	3	0	12	30	26	24	8	4	15	26	37	18	
18	8	1	9	9	24	32	31	4	4	8	5	3	0	12	30	26	24	8	3	10	27	42	18	
19	8	1	11	6	23	33	28	10	4	8	5	3	0	12	30	26	24	8	0	6	31	44	19	
20	10	5	9	12	25	29	25	9	2	4	6	8	0	7	27	28	25	13	3	10	27	42	18	
21	10	5	4	4	20	30	34	12	2	4	6	8	0	7	27	28	25	13	1	3	24	50	22	
22	10	5	5	8	26	26	33	7	2	4	6	8	0	7	27	28	25	13	2	11	33	36	18	
23	10	1	4	6	23	34	25	12	2	4	6	8	0	12	30	26	24	8	1	3	24	50	22	
24	10	1	5	13	26	31	25	5	2	4	6	8	0	12	30	26	24	8	2	11	33	36	18	

25	10	1	9	10	26	37	23	4	2	4	6	8	0	12	30	26	24	8	3	10	27	42	18
26	10	9	11	12	33	40	15	0	2	4	6	8	0	3	6	5	6	0	0	6	31	44	19
27	10	9	5	12	34	36	15	3	2	4	6	8	0	3	6	5	6	0	2	11	33	36	18
28	10	9	9	15	40	34	11	0	2	4	6	8	0	3	6	5	6	0	3	10	27	42	18
29	10	9	4	13	35	36	13	3	2	4	6	8	0	3	6	5	6	0	1	3	24	50	22
30	9	1	4	1	2	2	27	68	0	0	0	6	14	0	3	10	42	45	1	3	24	50	22
31	9	9	4	1	3	10	35	51	0	0	0	6	14	1	0	1	5	13	1	3	24	50	22
32	4	5	8	2	2	3	33	60	0	1	1	6	12	1	3	9	41	46	7	12	22	47	12
33	4	5	11	1	2	5	32	60	0	1	1	6	12	1	3	9	41	46	0	6	31	44	19

LIBERTE																							
T-shirt	ref étude Toucher	ref étude style	ref étude couleur	PF					Toucher					Style					Couleur				
				F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
1	7	1	3	7	16	34	30	13	0	3	6	8	3	8	16	33	35	8	3	7	28	34	28
2	7	1	11	11	19	32	29	9	0	3	6	8	3	8	16	33	35	8	4	6	32	43	15
3	7	1	5	10	15	34	32	9	0	3	6	8	3	8	16	33	35	8	1	9	18	43	29
4	7	1	10	8	18	42	21	11	0	3	6	8	3	8	16	33	35	8	7	30	30	19	14
5	7	1	4	8	13	34	36	9	0	3	6	8	3	8	16	33	35	8	2	5	26	33	34
6	7	9	10	19	21	33	20	7	0	3	6	8	3	2	1	5	12	0	7	30	30	19	14
7	7	9	5	13	5	31	36	15	0	3	6	8	3	2	1	5	12	0	1	9	18	43	29
8	7	9	11	13	13	33	31	10	0	3	6	8	3	2	1	5	12	0	4	6	32	43	15
9	7	9	3	8	21	32	30	9	0	3	6	8	3	2	1	5	12	0	3	7	28	34	28
10	7	9	4	6	20	30	28	16	0	3	6	8	3	2	1	5	12	0	2	5	26	33	34
11	8	5	9	9	11	31	32	17	0	0	2	12	6	5	8	28	33	26	6	19	24	35	16
12	8	5	11	6	11	23	43	17	0	0	2	12	6	5	8	28	33	26	4	6	32	43	15
13	8	5	10	7	15	25	37	16	0	0	2	12	6	5	8	28	33	26	7	30	30	19	14

<b>14</b>	8	2	11	7	11	28	41	13	0	0	2	12	6	5	19	28	34	14	4	6	32	43	15
<b>15</b>	8	2	9	9	20	29	30	12	0	0	2	12	6	5	19	28	34	14	6	19	24	35	16
<b>16</b>	8	2	10	5	22	31	26	16	0	0	2	12	6	5	19	28	34	14	7	30	30	19	14
<b>17</b>	8	1	10	12	15	35	29	9	0	0	2	12	6	10	22	30	26	12	7	30	30	19	14
<b>18</b>	8	1	9	9	20	32	28	11	0	0	2	12	6	10	22	30	26	12	6	19	24	35	16
<b>19</b>	8	1	11	5	13	35	33	14	0	0	2	12	6	10	22	30	26	12	4	6	32	43	15
<b>20</b>	10	5	9	8	6	22	40	24	0	1	5	7	7	5	8	28	33	26	6	19	24	35	16
<b>21</b>	10	5	4	3	3	21	43	30	0	1	5	7	7	5	8	28	33	26	2	5	26	33	34
<b>22</b>	10	5	5	6	6	23	41	24	0	1	5	7	7	5	8	28	33	26	1	9	18	43	29
<b>23</b>	10	1	4	10	10	26	36	18	0	1	5	7	7	10	22	30	26	12	2	5	26	33	34
<b>24</b>	10	1	5	5	13	31	30	21	0	1	5	7	7	10	22	30	26	12	1	9	18	43	29
<b>25</b>	10	1	9	4	18	24	32	22	0	1	5	7	7	10	22	30	26	12	6	19	24	35	16
<b>26</b>	10	9	11	6	14	23	40	17	0	1	5	7	7	0	2	2	11	5	4	6	32	43	15
<b>27</b>	10	9	5	3	9	27	34	27	0	1	5	7	7	0	2	2	11	5	1	9	18	43	29
<b>28</b>	10	9	9	1	12	26	39	22	0	1	5	7	7	0	2	2	11	5	6	19	24	35	16
<b>29</b>	10	9	4	6	12	28	24	30	0	1	5	7	7	0	2	2	11	5	2	5	26	33	34
<b>30</b>	9	1	4	19	16	31	20	14	2	7	10	1	0	6	19	37	29	9	2	5	26	33	34
<b>31</b>	9	9	4	14	26	26	22	12	2	7	10	1	0	5	6	5	3	1	2	5	26	33	34
<b>32</b>	4	5	8	6	8	18	34	34	1	6	7	6	0	2	9	25	34	30	4	18	26	39	13
<b>33</b>	4	5	11	5	12	16	38	29	1	6	7	6	0	2	9	25	34	30	4	6	32	43	15

F1 : complètement différent F2: un peu proche F3: proche F4: très proche F5: identiques

# Annexe 20 Résultats de relation des paramètres physiques pour le descripteur sensoriel « Duveteux »

Tableau 1 Classement de sensibilité des paramètres physiques pour le descripteur sensoriel « Duveteux »

Paramètres physiques	Sensibilité	Classe
$x_{19}$	1,000	Grand
$x_{20}$	0,829	
$x_{59}$	0,826	
$x_{17}$	0,778	Moyen
$x_{26}$	0,754	
$x_{12}$	0,738	
$x_{51}$	0,732	
$x_{52}$	0,684	
$x_{10}$	0,656	
$x_{13}$	0,651	
$x_3$	0,633	
$x_{47}$	0,627	
$x_{49}$	0,622	
$x_{48}$	0,614	
$x_{29}$	0,611	
$x_9$	0,596	
$x_5$	0,558	
$x_{50}$	0,555	
$x_{14}$	0,523	
$x_{16}$	0,517	
$x_{18}$	0,516	
$x_{15}$	0,515	
$x_{57}$	0,502	

$x_{55}$	0,498	Moyen
$x_{65}$	0,496	
$x_{23}$	0,491	
$x_{32}$	0,477	
$x_{33}$	0,476	Petit
$x_{11}$	0,458	
$x_{64}$	0,446	
$x_{30}$	0,435	
$x_{35}$	0,431	
$x_{58}$	0,413	
$x_{34}$	0,400	
$x_1$	0,392	
$x_{56}$	0,391	
$x_{46}$	0,363	
$x_{36}$	0,359	
$x_{54}$	0,354	
$x_{41}$	0,313	
$x_7$	0,310	
$x_{43}$	0,300	
$x_{31}$	0,299	
$x_{62}$	0,294	
$x_4$	0,283	
$x_8$	0,281	
$x_{60}$	0,279	
$x_{22}$	0,261	
$x_{61}$	0,237	
$x_6$	0,237	
$x_{63}$	0,229	
$x_{44}$	0,224	
$x_{42}$	0,223	
$x_{24}$	0,214	
$x_{53}$	0,208	
$x_{28}$	0,208	
$x_{21}$	0,193	
$x_{25}$	0,192	
$x_{38}$	0,163	
$x_2$	0,120	
$x_{45}$	0,085	
$x_{40}$	0,070	
$x_{39}$	0,048	

$x_{37}$	0,003	Petit
$x_{27}$	0,000	

Ratio S/C=35,03, Centre 1=0,30, Centre 2=0,65, Centre 3=0,91.

Tableau 2 Résultat de corrélation pour toutes les paires des paramètres physiques

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>
C <sub>1</sub>	1														
C <sub>2</sub>	0,67	1													
C <sub>3</sub>	0,79	0,62	1												
C <sub>4</sub>	0,76	0,81	0,57	1											
C <sub>5</sub>	0,68	0,55	0,96	0,44	1										
C <sub>6</sub>	0,80	0,83	0,67	0,99	0,55	1									
C <sub>7</sub>	0,29	0,43	0,08	0,71	0,11	0,64	1								
C <sub>8</sub>	0,18	0,46	0,01	0,63	0,14	0,56	0,94	1							
C <sub>9</sub>	0,26	0,53	0,02	0,52	0,07	0,47	0,60	0,70	1						
C <sub>10</sub>	0,22	0,50	0,37	0,14	0,46	0,19	0,07	0,13	0,56	1					
C <sub>11</sub>	0,49	0,72	0,33	0,76	0,21	0,73	0,68	0,72	0,93	0,54	1				
C <sub>12</sub>	0,28	0,56	0,39	0,25	0,43	0,30	0,13	0,30	0,66	0,97	0,66	1			
C <sub>13</sub>	0,03	0,17	0,03	0,01	0,02	0,02	0,36	0,29	0,30	0,27	0,21	0,18	1		
C <sub>14</sub>	0,69	0,04	0,28	0,29	0,16	0,29	0,18	0,06	0,12	0,12	0,15	0,04	0,09	1	
C <sub>15</sub>	0,07	0,16	0,10	0,03	0,25	0,01	0,07	0,15	0,18	0,54	0,09	0,47	0,00	0,20	1
C <sub>16</sub>	0,41	0,23	0,18	0,29	0,17	0,29	0,16	0,18	0,32	0,11	0,33	0,08	0,66	0,34	0,15
C <sub>17</sub>	0,54	0,33	0,31	0,25	0,34	0,29	0,31	0,37	0,21	0,29	0,24	0,23	0,68	0,40	0,14
C <sub>18</sub>	0,63	0,11	0,49	0,17	0,39	0,22	0,02	0,17	0,16	0,15	0,03	0,11	0,16	0,84	0,27
C <sub>19</sub>	0,03	0,01	0,00	0,08	0,15	0,06	0,28	0,24	0,07	0,14	0,09	0,03	0,25	0,10	0,30
C <sub>20</sub>	0,33	0,32	0,24	0,15	0,24	0,18	0,13	0,13	0,14	0,15	0,07	0,20	0,41	0,27	0,16
C <sub>21</sub>	0,18	0,16	0,11	0,25	0,02	0,24	0,31	0,12	0,08	0,38	0,04	0,34	0,33	0,19	0,49
C <sub>22</sub>	0,21	0,16	0,28	0,03	0,26	0,02	0,14	0,17	0,07	0,29	0,02	0,38	0,59	0,24	0,09
C <sub>23</sub>	0,29	0,03	0,27	0,31	0,17	0,30	0,40	0,30	0,00	0,26	0,11	0,16	0,30	0,35	0,04
C <sub>24</sub>	0,39	0,21	0,27	0,17	0,26	0,12	0,39	0,43	0,14	0,08	0,16	0,03	0,20	0,64	0,02
C <sub>25</sub>	0,09	0,28	0,19	0,04	0,25	0,01	0,22	0,10	0,01	0,25	0,01	0,23	0,31	0,02	0,44
C <sub>26</sub>	0,20	0,22	0,25	0,06	0,25	0,10	0,11	0,09	0,13	0,16	0,03	0,24	0,48	0,16	0,04
C <sub>27</sub>	0,17	0,56	0,09	0,37	0,12	0,36	0,12	0,17	0,30	0,22	0,35	0,24	0,24	0,17	0,17
C <sub>28</sub>	0,00	0,21	0,23	0,39	0,30	0,31	0,37	0,34	0,43	0,21	0,40	0,20	0,50	0,12	0,18
C <sub>29</sub>	0,32	0,03	0,28	0,25	0,28	0,26	0,23	0,18	0,16	0,24	0,09	0,22	0,22	0,37	0,31
C <sub>30</sub>	0,93	0,55	0,76	0,68	0,65	0,73	0,23	0,09	0,16	0,15	0,40	0,19	0,03	0,64	0,13
C <sub>31</sub>	0,65	0,53	0,61	0,37	0,67	0,43	0,11	0,04	0,13	0,42	0,23	0,40	0,22	0,41	0,43
C <sub>32</sub>	0,93	0,53	0,90	0,61	0,81	0,68	0,11	0,03	0,01	0,15	0,27	0,19	0,06	0,62	0,10
C <sub>33</sub>	0,92	0,56	0,88	0,58	0,83	0,66	0,05	0,05	0,00	0,20	0,25	0,23	0,02	0,60	0,01
C <sub>34</sub>	0,54	0,35	0,51	0,20	0,58	0,26	0,15	0,08	0,10	0,45	0,15	0,44	0,17	0,47	0,48
C <sub>35</sub>	0,73	0,10	0,54	0,21	0,45	0,27	0,04	0,20	0,12	0,02	0,00	0,04	0,09	0,86	0,19
C <sub>36</sub>	0,75	0,20	0,59	0,23	0,54	0,30	0,07	0,17	0,06	0,13	0,06	0,17	0,01	0,82	0,00

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>
C <sub>37</sub>	0,51	0,36	0,47	0,21	0,51	0,25	0,13	0,05	0,15	0,40	0,18	0,38	0,26	0,46	0,52
C <sub>38</sub>	0,81	0,36	0,67	0,38	0,62	0,44	0,01	0,04	0,09	0,23	0,21	0,26	0,05	0,78	0,16
C <sub>39</sub>	0,75	0,37	0,64	0,34	0,61	0,40	0,04	0,05	0,11	0,28	0,21	0,30	0,11	0,71	0,27
C <sub>40</sub>	0,58	0,38	0,50	0,27	0,54	0,33	0,09	0,04	0,17	0,39	0,22	0,39	0,24	0,51	0,49
C <sub>41</sub>	0,65	0,10	0,37	0,17	0,31	0,20	0,03	0,11	0,04	0,06	0,07	0,10	0,04	0,89	0,03
C <sub>42</sub>	0,67	0,20	0,43	0,21	0,39	0,25	0,05	0,10	0,08	0,16	0,11	0,19	0,10	0,82	0,17
C <sub>43</sub>	0,38	0,18	0,33	0,39	0,27	0,40	0,02	0,09	0,06	0,25	0,11	0,27	0,26	0,14	0,36
C <sub>44</sub>	0,13	0,23	0,05	0,18	0,17	0,16	0,45	0,43	0,33	0,15	0,27	0,22	0,34	0,14	0,10
C <sub>45</sub>	0,40	0,34	0,02	0,45	0,13	0,40	0,54	0,50	0,42	0,02	0,41	0,13	0,16	0,47	0,08
C <sub>46</sub>	0,58	0,41	0,47	0,45	0,36	0,49	0,39	0,28	0,27	0,28	0,41	0,38	0,27	0,44	0,09
C <sub>47</sub>	0,79	0,36	0,51	0,53	0,44	0,56	0,09	0,11	0,14	0,05	0,30	0,09	0,24	0,68	0,27
C <sub>48</sub>	0,81	0,39	0,52	0,54	0,46	0,58	0,10	0,08	0,16	0,07	0,32	0,12	0,23	0,69	0,23
C <sub>49</sub>	0,80	0,37	0,52	0,53	0,45	0,57	0,09	0,10	0,15	0,06	0,31	0,10	0,23	0,68	0,25
C <sub>50</sub>	0,21	0,18	0,02	0,17	0,01	0,18	0,09	0,03	0,07	0,01	0,04	0,01	0,04	0,09	0,02
C <sub>51</sub>	0,15	0,19	0,12	0,01	0,08	0,01	0,18	0,10	0,04	0,05	0,03	0,09	0,26	0,09	0,12
C <sub>52</sub>	0,51	0,47	0,85	0,49	0,82	0,57	0,18	0,14	0,04	0,32	0,32	0,35	0,19	0,00	0,10
C <sub>53</sub>	0,30	0,22	0,29	0,17	0,31	0,09	0,40	0,55	0,48	0,10	0,39	0,16	0,21	0,43	0,11
C <sub>54</sub>	0,00	0,36	0,02	0,30	0,03	0,29	0,23	0,18	0,21	0,20	0,28	0,19	0,02	0,41	0,07
C <sub>55</sub>	0,37	0,26	0,68	0,27	0,66	0,34	0,01	0,05	0,15	0,09	0,09	0,12	0,03	0,09	0,05
C <sub>56</sub>	0,21	0,30	0,11	0,19	0,08	0,18	0,21	0,20	0,21	0,20	0,24	0,18	0,03	0,61	0,11
C <sub>57</sub>	0,63	0,33	0,82	0,42	0,75	0,50	0,06	0,04	0,13	0,05	0,15	0,10	0,03	0,36	0,15
C <sub>58</sub>	0,09	0,01	0,07	0,02	0,03	0,00	0,11	0,25	0,11	0,02	0,10	0,02	0,01	0,02	0,19
C <sub>59</sub>	0,09	0,06	0,17	0,18	0,08	0,18	0,35	0,35	0,15	0,05	0,19	0,07	0,32	0,15	0,09
C <sub>60</sub>	0,65	0,64	0,42	0,52	0,40	0,54	0,11	0,17	0,26	0,29	0,33	0,27	0,24	0,37	0,31
C <sub>61</sub>	0,57	0,35	0,13	0,39	0,05	0,38	0,13	0,10	0,52	0,23	0,48	0,25	0,29	0,60	0,01
C <sub>62</sub>	0,07	0,41	0,14	0,09	0,26	0,11	0,24	0,10	0,30	0,56	0,30	0,47	0,72	0,52	0,31
C <sub>63</sub>	0,21	0,20	0,26	0,01	0,19	0,03	0,04	0,17	0,58	0,43	0,40	0,37	0,64	0,33	0,27
C <sub>64</sub>	0,69	0,00	0,43	0,24	0,32	0,27	0,02	0,11	0,09	0,17	0,01	0,12	0,08	0,91	0,23
C <sub>65</sub>	0,85	0,31	0,77	0,49	0,66	0,55	0,11	0,07	0,13	0,05	0,13	0,01	0,16	0,70	0,32

	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>24</sub>	C <sub>25</sub>	C <sub>26</sub>	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>30</sub>
C <sub>16</sub>	1														
C <sub>17</sub>	0,76	1													
C <sub>18</sub>	0,27	0,28	1												
C <sub>19</sub>	0,13	0,28	0,07	1											
C <sub>20</sub>	0,45	0,02	0,11	0,14	1										
C <sub>21</sub>	0,07	0,15	0,39	0,33	0,28	1									
C <sub>22</sub>	0,53	0,23	0,18	0,17	0,76	0,12	1								
C <sub>23</sub>	0,01	0,25	0,36	0,52	0,18	0,43	0,03	1							
C <sub>24</sub>	0,30	0,36	0,71	0,07	0,03	0,10	0,03	0,29	1						
C <sub>25</sub>	0,26	0,18	0,17	0,04	0,12	0,77	0,05	0,06	0,09	1					
C <sub>26</sub>	0,33	0,05	0,07	0,20	0,78	0,36	0,80	0,24	0,27	0,19	1				
C <sub>27</sub>	0,29	0,30	0,38	0,35	0,22	0,65	0,11	0,43	0,41	0,46	0,36	1			



	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>24</sub>	C <sub>25</sub>	C <sub>26</sub>	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>30</sub>
C <sub>28</sub>	0,27	0,16	0,26	0,16	0,40	0,16	0,70	0,05	0,20	0,25	0,59	0,21	1		
C <sub>29</sub>	0,13	0,14	0,36	0,05	0,11	0,28	0,08	0,72	0,24	0,06	0,12	0,38	0,02	1	
C <sub>30</sub>	0,32	0,49	0,68	0,01	0,25	0,37	0,14	0,28	0,46	0,14	0,05	0,05	0,07	0,31	1
C <sub>31</sub>	0,45	0,50	0,28	0,24	0,31	0,40	0,23	0,17	0,31	0,57	0,26	0,32	0,22	0,36	0,50
C <sub>32</sub>	0,34	0,47	0,71	0,09	0,29	0,22	0,26	0,36	0,44	0,15	0,25	0,03	0,23	0,34	0,89
C <sub>33</sub>	0,40	0,51	0,64	0,02	0,31	0,08	0,26	0,35	0,43	0,29	0,26	0,11	0,24	0,38	0,85
C <sub>34</sub>	0,32	0,47	0,31	0,14	0,38	0,44	0,38	0,24	0,37	0,60	0,34	0,16	0,38	0,41	0,40
C <sub>35</sub>	0,24	0,45	0,83	0,15	0,34	0,15	0,37	0,40	0,71	0,15	0,28	0,21	0,37	0,36	0,70
C <sub>36</sub>	0,29	0,50	0,75	0,07	0,39	0,02	0,41	0,38	0,67	0,30	0,33	0,12	0,40	0,41	0,68
C <sub>37</sub>	0,41	0,43	0,33	0,22	0,27	0,57	0,15	0,13	0,45	0,72	0,25	0,32	0,24	0,25	0,40
C <sub>38</sub>	0,41	0,47	0,72	0,03	0,31	0,15	0,28	0,34	0,63	0,43	0,26	0,08	0,30	0,36	0,72
C <sub>39</sub>	0,42	0,48	0,63	0,03	0,31	0,27	0,26	0,30	0,61	0,52	0,26	0,14	0,29	0,34	0,66
C <sub>40</sub>	0,39	0,51	0,36	0,30	0,36	0,57	0,19	0,08	0,40	0,66	0,35	0,41	0,21	0,28	0,42
C <sub>41</sub>	0,33	0,46	0,72	0,03	0,35	0,16	0,27	0,31	0,73	0,36	0,26	0,00	0,27	0,32	0,56
C <sub>42</sub>	0,37	0,50	0,65	0,08	0,37	0,29	0,26	0,25	0,67	0,46	0,30	0,13	0,26	0,32	0,55
C <sub>43</sub>	0,30	0,29	0,30	0,22	0,33	0,47	0,42	0,25	0,22	0,29	0,55	0,14	0,49	0,25	0,49
C <sub>44</sub>	0,36	0,24	0,02	0,21	0,32	0,12	0,27	0,07	0,00	0,12	0,17	0,02	0,02	0,12	0,15
C <sub>45</sub>	0,07	0,05	0,18	0,10	0,38	0,11	0,09	0,07	0,12	0,16	0,23	0,35	0,10	0,04	0,31
C <sub>46</sub>	0,10	0,14	0,37	0,12	0,44	0,03	0,35	0,16	0,26	0,07	0,40	0,17	0,19	0,02	0,54
C <sub>47</sub>	0,50	0,78	0,56	0,04	0,20	0,17	0,03	0,22	0,40	0,01	0,14	0,13	0,08	0,22	0,74
C <sub>48</sub>	0,51	0,78	0,55	0,02	0,21	0,15	0,06	0,25	0,40	0,06	0,15	0,14	0,05	0,24	0,75
C <sub>49</sub>	0,51	0,78	0,56	0,03	0,21	0,16	0,05	0,23	0,40	0,04	0,15	0,14	0,06	0,23	0,75
C <sub>50</sub>	0,14	0,20	0,08	0,01	0,46	0,06	0,08	0,02	0,08	0,06	0,17	0,09	0,05	0,08	0,17
C <sub>51</sub>	0,28	0,05	0,18	0,14	0,03	0,22	0,20	0,30	0,24	0,19	0,15	0,21	0,18	0,26	0,17
C <sub>52</sub>	0,06	0,01	0,31	0,10	0,01	0,31	0,26	0,30	0,01	0,08	0,11	0,11	0,15	0,32	0,55
C <sub>53</sub>	0,17	0,28	0,60	0,16	0,22	0,10	0,16	0,03	0,52	0,06	0,31	0,13	0,58	0,04	0,33
C <sub>54</sub>	0,06	0,02	0,48	0,07	0,03	0,16	0,17	0,00	0,29	0,12	0,06	0,22	0,20	0,20	0,02
C <sub>55</sub>	0,01	0,12	0,35	0,12	0,04	0,01	0,23	0,21	0,02	0,15	0,18	0,05	0,13	0,30	0,39
C <sub>56</sub>	0,16	0,10	0,69	0,06	0,05	0,08	0,17	0,08	0,49	0,12	0,08	0,23	0,23	0,26	0,19
C <sub>57</sub>	0,14	0,24	0,61	0,11	0,13	0,16	0,26	0,31	0,21	0,08	0,21	0,07	0,16	0,35	0,65
C <sub>58</sub>	0,05	0,30	0,09	0,16	0,23	0,29	0,07	0,09	0,06	0,30	0,10	0,11	0,07	0,09	0,13
C <sub>59</sub>	0,14	0,25	0,13	0,53	0,09	0,04	0,24	0,42	0,14	0,23	0,14	0,02	0,15	0,26	0,02
C <sub>60</sub>	0,27	0,38	0,22	0,17	0,41	0,26	0,02	0,11	0,31	0,29	0,01	0,41	0,22	0,15	0,59
C <sub>61</sub>	0,66	0,62	0,33	0,06	0,08	0,02	0,20	0,01	0,42	0,10	0,15	0,27	0,19	0,13	0,50
C <sub>62</sub>	0,23	0,37	0,54	0,16	0,22	0,36	0,30	0,23	0,16	0,31	0,30	0,30	0,33	0,14	0,10
C <sub>63</sub>	0,35	0,24	0,48	0,13	0,45	0,23	0,39	0,28	0,22	0,06	0,49	0,16	0,51	0,16	0,23
C <sub>64</sub>	0,34	0,35	0,95	0,05	0,21	0,23	0,14	0,32	0,74	0,00	0,09	0,20	0,18	0,33	0,69
C <sub>65</sub>	0,25	0,36	0,85	0,06	0,29	0,41	0,29	0,36	0,49	0,13	0,22	0,17	0,21	0,34	0,88

	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>34</sub>	C <sub>35</sub>	C <sub>36</sub>	C <sub>37</sub>	C <sub>38</sub>	C <sub>39</sub>	C <sub>40</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>43</sub>	C <sub>44</sub>	C <sub>45</sub>
C <sub>31</sub>	1														
C <sub>32</sub>	0,62	1													
C <sub>33</sub>	0,77	0,98	1												
C <sub>34</sub>	0,92	0,55	0,69	1											

	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>34</sub>	C <sub>35</sub>	C <sub>36</sub>	C <sub>37</sub>	C <sub>38</sub>	C <sub>39</sub>	C <sub>40</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>43</sub>	C <sub>44</sub>	C <sub>45</sub>
C <sub>35</sub>	0,48	0,80	0,78	0,58	1										
C <sub>36</sub>	0,67	0,80	0,83	0,77	0,97	1									
C <sub>37</sub>	0,83	0,51	0,63	0,87	0,53	0,69	1								
C <sub>38</sub>	0,77	0,83	0,87	0,79	0,86	0,92	0,84	1							
C <sub>39</sub>	0,81	0,77	0,83	0,83	0,80	0,89	0,92	0,99	1						
C <sub>40</sub>	0,83	0,55	0,66	0,87	0,57	0,72	0,96	0,84	0,90	1					
C <sub>41</sub>	0,57	0,64	0,67	0,67	0,91	0,92	0,73	0,90	0,88	0,76	1				
C <sub>42</sub>	0,68	0,65	0,70	0,76	0,85	0,91	0,84	0,93	0,93	0,87	0,98	1			
C <sub>43</sub>	0,04	0,36	0,31	0,12	0,12	0,06	0,16	0,10	0,04	0,13	0,03	0,06	1		
C <sub>44</sub>	0,27	0,03	0,07	0,23	0,09	0,00	0,04	0,05	0,02	0,06	0,13	0,08	0,33	1	
C <sub>45</sub>	0,07	0,24	0,20	0,08	0,31	0,27	0,35	0,40	0,39	0,37	0,50	0,49	0,26	0,71	1
C <sub>46</sub>	0,13	0,56	0,46	0,22	0,56	0,51	0,35	0,54	0,50	0,43	0,56	0,55	0,16	0,67	0,73
C <sub>47</sub>	0,47	0,74	0,73	0,49	0,76	0,75	0,38	0,65	0,59	0,51	0,67	0,66	0,37	0,09	0,25
C <sub>48</sub>	0,52	0,76	0,75	0,54	0,77	0,77	0,43	0,68	0,63	0,54	0,69	0,68	0,34	0,09	0,27
C <sub>49</sub>	0,49	0,75	0,74	0,52	0,76	0,76	0,41	0,67	0,61	0,53	0,68	0,67	0,35	0,09	0,26
C <sub>50</sub>	0,02	0,18	0,15	0,06	0,25	0,21	0,00	0,06	0,04	0,08	0,21	0,19	0,20	0,41	0,45
C <sub>51</sub>	0,17	0,12	0,15	0,08	0,02	0,04	0,24	0,21	0,22	0,12	0,10	0,11	0,22	0,00	0,14
C <sub>52</sub>	0,33	0,63	0,59	0,24	0,22	0,25	0,13	0,33	0,28	0,15	0,02	0,03	0,41	0,08	0,27
C <sub>53</sub>	0,16	0,49	0,44	0,21	0,63	0,55	0,30	0,48	0,45	0,31	0,54	0,50	0,21	0,13	0,22
C <sub>54</sub>	0,13	0,06	0,07	0,21	0,27	0,28	0,26	0,32	0,31	0,25	0,34	0,33	0,14	0,24	0,16
C <sub>55</sub>	0,33	0,52	0,51	0,36	0,30	0,35	0,27	0,39	0,37	0,30	0,14	0,19	0,43	0,36	0,34
C <sub>56</sub>	0,23	0,26	0,26	0,30	0,49	0,48	0,37	0,52	0,49	0,38	0,55	0,52	0,18	0,18	0,00
C <sub>57</sub>	0,44	0,77	0,74	0,43	0,54	0,57	0,36	0,60	0,55	0,39	0,35	0,38	0,49	0,29	0,16
C <sub>58</sub>	0,10	0,07	0,04	0,06	0,17	0,11	0,27	0,15	0,19	0,20	0,01	0,05	0,16	0,18	0,03
C <sub>59</sub>	0,03	0,14	0,11	0,15	0,14	0,16	0,15	0,24	0,22	0,18	0,16	0,17	0,10	0,09	0,09
C <sub>60</sub>	0,56	0,49	0,53	0,40	0,28	0,35	0,57	0,56	0,59	0,59	0,44	0,51	0,28	0,25	0,53
C <sub>61</sub>	0,34	0,38	0,39	0,27	0,42	0,41	0,42	0,54	0,52	0,43	0,56	0,55	0,15	0,33	0,58
C <sub>62</sub>	0,25	0,12	0,03	0,20	0,37	0,22	0,10	0,18	0,10	0,10	0,33	0,22	0,21	0,34	0,40
C <sub>63</sub>	0,10	0,40	0,32	0,02	0,53	0,40	0,02	0,29	0,22	0,06	0,38	0,30	0,15	0,19	0,29
C <sub>64</sub>	0,37	0,71	0,67	0,37	0,86	0,79	0,46	0,80	0,73	0,49	0,84	0,78	0,25	0,06	0,40
C <sub>65</sub>	0,46	0,92	0,87	0,39	0,81	0,76	0,32	0,73	0,64	0,36	0,60	0,56	0,42	0,06	0,14

	C <sub>46</sub>	C <sub>47</sub>	C <sub>48</sub>	C <sub>49</sub>	C <sub>50</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	C <sub>53</sub>	C <sub>54</sub>	C <sub>55</sub>	C <sub>56</sub>	C <sub>57</sub>	C <sub>58</sub>	C <sub>59</sub>	C <sub>60</sub>
C <sub>46</sub>	1														
C <sub>47</sub>	0,47	1													
C <sub>48</sub>	0,48	1,00	1												
C <sub>49</sub>	0,48	1,00	1,00	1											
C <sub>50</sub>	0,49	0,37	0,37	0,37	1										
C <sub>51</sub>	0,14	0,20	0,20	0,20	0,37	1									
C <sub>52</sub>	0,24	0,21	0,21	0,21	0,26	0,04	1								
C <sub>53</sub>	0,42	0,36	0,36	0,36	0,34	0,05	0,02	1							
C <sub>54</sub>	0,22	0,06	0,06	0,06	0,63	0,32	0,05	0,04	1						
C <sub>55</sub>	0,06	0,27	0,26	0,26	0,40	0,05	0,77	0,06	0,46	1					
C <sub>56</sub>	0,04	0,13	0,13	0,13	0,50	0,38	0,06	0,23	0,96	0,43	1				

	C <sub>46</sub>	C <sub>47</sub>	C <sub>48</sub>	C <sub>49</sub>	C <sub>50</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	C <sub>53</sub>	C <sub>54</sub>	C <sub>55</sub>	C <sub>56</sub>	C <sub>57</sub>	C <sub>58</sub>	C <sub>59</sub>	C <sub>60</sub>
C <sub>57</sub>	0,23	0,48	0,48	0,48	0,28	0,12	0,78	0,16	0,41	0,93	0,48	1			
C <sub>58</sub>	0,19	0,37	0,35	0,36	0,76	0,47	0,21	0,34	0,69	0,49	0,59	0,36	1		
C <sub>59</sub>	0,22	0,00	0,02	0,01	0,39	0,21	0,36	0,23	0,48	0,53	0,40	0,42	0,61	1	
C <sub>60</sub>	0,37	0,33	0,35	0,34	0,22	0,53	0,12	0,06	0,02	0,07	0,17	0,22	0,14	0,12	1
C <sub>61</sub>	0,42	0,53	0,55	0,54	0,11	0,20	0,11	0,23	0,01	0,24	0,15	0,05	0,08	0,05	0,52
C <sub>62</sub>	0,27	0,02	0,02	0,02	0,01	0,06	0,17	0,50	0,32	0,17	0,42	0,00	0,04	0,18	0,14
C <sub>63</sub>	0,49	0,21	0,20	0,21	0,39	0,09	0,07	0,69	0,01	0,09	0,14	0,26	0,21	0,04	0,08
C <sub>64</sub>	0,43	0,60	0,60	0,60	0,05	0,31	0,12	0,60	0,43	0,21	0,67	0,50	0,08	0,05	0,42
C <sub>65</sub>	0,42	0,69	0,70	0,70	0,08	0,17	0,55	0,50	0,17	0,48	0,38	0,75	0,09	0,02	0,36

	C <sub>61</sub>	C <sub>62</sub>	C <sub>63</sub>	C <sub>64</sub>	C <sub>65</sub>
C <sub>61</sub>	1				
C <sub>62</sub>	0,08	1			
C <sub>63</sub>	0,20	0,68	1		
C <sub>64</sub>	0,46	0,53	0,48	1	
C <sub>65</sub>	0,26	0,32	0,50	0,81	1

Tableau 3 Résultat de corrélation entre les paramètres physiques  $X$  et le descripteur  $y$ 

$x$	Corrélation avec $y$	$x$	Corrélation avec $y$	$x$	Corrélation avec $y$	$x$	Corrélation avec $y$
$x_1$	0,849	$x_{31}$	0,561	$x_{20}$	0,361	$x_{55}$	0,183
$x_{30}$	0,811	$x_{61}$	0,561	$x_{12}$	0,352	$x_{25}$	0,145
$x_{48}$	0,81	$x_4$	0,557	$x_{22}$	0,345	$x_{28}$	0,137
$x_{49}$	0,803	$x_{42}$	0,557	$x_{37}$	0,332	$x_{44}$	0,136
$x_{47}$	0,795	$x_{34}$	0,547	$x_{29}$	0,317	$x_{63}$	0,11
$x_{32}$	0,76	$x_{18}$	0,545	$x_{10}$	0,313	$x_{56}$	0,092
$x_{33}$	0,748	$x_5$	0,541	$x_{21}$	0,289	$x_8$	0,085
$x_{36}$	0,715	$x_{64}$	0,527	$x_{53}$	0,289	$x_{54}$	0,073
$x_{65}$	0,712	$x_{46}$	0,494	$x_{50}$	0,286	$x_{13}$	0,072
$x_{35}$	0,692	$x_2$	0,471	$x_{16}$	0,277	$x_{62}$	0,055
$x_{14}$	0,666	$x_{40}$	0,429	$x_{43}$	0,271	$x_{27}$	0,038
$x_{38}$	0,645	$x_{52}$	0,42	$x_9$	0,251	$x_{59}$	0,033
$x_6$	0,605	$x_{57}$	0,417	$x_{23}$	0,244	$x_{19}$	0,03
$x_3$	0,589	$x_{60}$	0,415	$x_{45}$	0,226	$x_{15}$	0,011
$x_{39}$	0,578	$x_{11}$	0,388	$x_{51}$	0,22		
$x_{41}$	0,57	$x_{58}$	0,377	$x_{26}$	0,214		
$x_{17}$	0,563	$x_{24}$	0,374	$x_7$	0,187		

## Annexe 21 Similarité entre les 11 étoffes et les 13 descripteurs sensoriels

$R(s_j, a_i)$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
$s_1$	0,35	0,39	0,41	0,34	0,47	0,22	0,94	0,63	0,67	0,70	0,37	0,25	0,62
$s_2$	0,03	0,04	0,16	0,81	0,19	0,17	0,55	0,67	0,81	0,02	0,21	0,15	0,94
$s_3$	0,92	0,63	0,72	0,12	0,90	0,47	0,49	0,26	0,30	0,64	0,91	0,86	0,08
$s_4$	0,47	0,64	0,63	0,25	0,61	0,41	0,62	0,46	0,60	0,61	0,45	0,45	0,12
$s_5$	0,13	0,13	0,27	0,50	0,44	0,16	0,83	0,69	0,72	0,26	0,40	0,34	0,63
$s_6$	0,99	0,52	0,63	0,15	0,91	0,31	0,73	0,10	0,25	0,64	0,99	0,98	0,00
$s_7$	0,15	0,62	0,73	0,24	0,37	0,68	0,37	0,57	0,71	0,42	0,35	0,35	0,23
$s_8$	0,70	0,12	0,15	0,92	0,84	0,20	0,24	0,01	0,02	0,32	0,62	0,86	0,27
$s_9$	0,00	0,99	0,98	0,00	0,09	0,82	0,09	0,99	0,99	0,17	0,10	0,02	0,82
$s_{10}$	0,73	0,67	0,70	0,16	0,76	0,32	0,76	0,47	0,57	0,76	0,61	0,42	0,06
$s_{11}$	0,51	0,59	0,54	0,38	0,53	0,26	0,76	0,55	0,68	0,72	0,44	0,30	0,25

# Annexe 22 Distribution des similarités floues

## entre les 6 critères du bien-être et 11 produits

	$\tilde{X}_{11}$	$\tilde{X}_{21}$	$\tilde{X}_{31}$	$\tilde{X}_{41}$	$\tilde{X}_{51}$	$\tilde{X}_{61}$	$\tilde{X}_{71}$	$\tilde{X}_{81}$	$\tilde{X}_{91}$	$\tilde{X}_{101}$	$\tilde{X}_{111}$	$\tilde{X}_{12}$	$\tilde{X}_{22}$	$\tilde{X}_{32}$
$F_1$	0,05	0,75	0	0	0,4	0	0,2	0	0,55	0	0,05	0,05	0,1	0,3
$F_2$	0,25	0,2	0,05	0,05	0,4	0	0,35	0,1	0,25	0,05	0,1	0,1	0,35	0,15
$F_3$	0,3	0	0	0,15	0,15	0	0,3	0,35	0,15	0,25	0,35	0,5	0,3	0,35
$F_4$	0,3	0,05	0,1	0,6	0,05	0,05	0,15	0,3	0,05	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15
$F_5$	0,1	0	0,85	0,2	0	0,95	0	0,25	0	0,35	0,2	0,1	0,05	0,05
	$\tilde{X}_{42}$	$\tilde{X}_{52}$	$\tilde{X}_{62}$	$\tilde{X}_{72}$	$\tilde{X}_{82}$	$\tilde{X}_{92}$	$\tilde{X}_{102}$	$\tilde{X}_{112}$	$\tilde{X}_{13}$	$\tilde{X}_{23}$	$\tilde{X}_{33}$	$\tilde{X}_{43}$	$\tilde{X}_{53}$	$\tilde{X}_{63}$
$F_1$	0,05	0,05	0,3	0	0,65	0	0	0,1	0	0,3	0,05	0,05	0,15	0
$F_2$	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	0,25	0,2	0,1	0,2	0,25	0,15	0,15	0,25	0,15
$F_3$	0,55	0,25	0,1	0,15	0,1	0,2	0,3	0,35	0,25	0,05	0,15	0,25	0,1	0,35
$F_4$	0,2	0,4	0,1	0,35	0	0,3	0,5	0,35	0,45	0,35	0,3	0,4	0,4	0,35
$F_5$	0,1	0,2	0	0,4	0,05	0,25	0	0,1	0,1	0,05	0,35	0,15	0,1	0,15
	$\tilde{X}_{73}$	$\tilde{X}_{83}$	$\tilde{X}_{93}$	$\tilde{X}_{103}$	$\tilde{X}_{113}$	$\tilde{X}_{14}$	$\tilde{X}_{24}$	$\tilde{X}_{34}$	$\tilde{X}_{44}$	$\tilde{X}_{54}$	$\tilde{X}_{64}$	$\tilde{X}_{74}$	$\tilde{X}_{84}$	$\tilde{X}_{94}$
$F_1$	0	0,6	0,15	0	0	0,2	0	0,65	0,25	0,1	0,75	0	0,75	0
$F_2$	0,3	0,25	0,25	0,15	0,05	0,2	0	0,25	0,45	0,1	0,15	0,1	0,2	0,1
$F_3$	0,2	0,1	0,1	0,25	0,3	0,2	0,15	0,05	0,2	0,05	0,05	0,15	0,05	0,05
$F_4$	0,35	0,05	0,25	0,4	0,5	0,2	0,3	0,05	0,1	0,45	0,05	0,35	0	0,4
$F_5$	0,15	0	0,25	0,2	0,15	0,2	0,55	0	0	0,3	0	0,4	0	0,45
	$\tilde{X}_{104}$	$\tilde{X}_{114}$	$\tilde{X}_{15}$	$\tilde{X}_{25}$	$\tilde{X}_{35}$	$\tilde{X}_{45}$	$\tilde{X}_{55}$	$\tilde{X}_{65}$	$\tilde{X}_{75}$	$\tilde{X}_{85}$	$\tilde{X}_{95}$	$\tilde{X}_{105}$	$\tilde{X}_{115}$	$\tilde{X}_{16}$
$F_1$	0,25	0,15	0	0,45	0	0,05	0,2	0	0,1	0,05	0,3	0,05	0	0
$F_2$	0,45	0,35	0,2	0,55	0,05	0	0,4	0	0,2	0,2	0,4	0,05	0,15	0,15
$F_3$	0,25	0,15	0,3	0	0,05	0,3	0,25	0	0,3	0,15	0,2	0,15	0,25	0,2
$F_4$	0,05	0,25	0,5	0	0,3	0,55	0,15	0,3	0,4	0,3	0,1	0,7	0,6	0,45
$F_5$	0	0,1	0	0	0,6	0,1	0	0,7	0	0,3	0	0,05	0	0,2
	$\tilde{X}_{26}$	$\tilde{X}_{36}$	$\tilde{X}_{46}$	$\tilde{X}_{56}$	$\tilde{X}_{66}$	$\tilde{X}_{76}$	$\tilde{X}_{86}$	$\tilde{X}_{96}$	$\tilde{X}_{106}$	$\tilde{X}_{116}$				
$F_1$	0,1	0,05	0	0	0,1	0	0,6	0,05	0	0				
$F_2$	0	0,3	0,15	0	0,35	0,05	0,2	0	0,2	0,15				
$F_3$	0,25	0,35	0,3	0,1	0,5	0,25	0,15	0,1	0,45	0,25				
$F_4$	0,4	0,3	0,4	0,6	0,05	0,35	0	0,45	0,35	0,55				
$F_5$	0,25	0	0,15	0,3	0	0,35	0,05	0,4	0	0,05				

## Annexe 23 Résultat de coefficient de corrélation

### entre les descripteurs et le critère du bien-être

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$t_1$
$a_1$														
$a_2$	0,10													
$a_3$	0,10	0,98												
$a_4$	-0,18	-0,90	-0,94											
$a_5$	0,97	-0,06	-0,05	-0,05										
$a_6$	0,23	-0,82	-0,86	0,67	0,32									
$a_7$	0,21	-0,28	-0,28	-0,03	0,24	0,66								
$a_8$	-0,85	0,28	0,27	-0,26	-0,91	-0,38	-0,05							
$a_9$	-0,84	0,28	0,28	-0,27	-0,90	-0,36	0,02	0,98						
$a_{10}$	0,70	0,39	0,33	-0,48	0,65	0,10	0,55	-0,39	-0,34					
$a_{11}$	0,95	-0,01	0,05	-0,17	0,94	0,24	0,24	-0,85	-0,83	0,58				
$a_{12}$	0,88	-0,14	-0,10	0,05	0,90	0,23	0,02	-0,95	-0,95	0,38	0,94			
$a_{13}$	-0,84	-0,30	-0,31	0,34	-0,85	0,02	-0,16	0,72	0,66	-0,77	-0,80	-0,74		
$t_1$	0,97	0,24	0,22	-0,30	0,93	-0,13	0,24	-0,79	-0,76	0,80	0,90	0,82	-0,89	

# Annexe 24 Résultat de l'évaluation globale des prototypes de vêtements pour le bien-être des seniors

L'évaluation par expert 1 (Niveau Important)

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Relaxation	Plus satisfaisant	2	Relaxation	Plus satisfaisant
1	Chaleur	Forte satisfaisant	2	Chaleur	Forte satisfaisant
1	Dynamisme	Plus satisfaisant	2	Dynamisme	Forte satisfaisant
1	Fraîcheur	Forte satisfaisant	2	Fraîcheur	Moins satisfaisant
1	Protection	Forte satisfaisant	2	Protection	Tout à fait satisfaisant
1	Liberté	Plus satisfaisant	2	Liberté	Satisfaisant
1	Glissant	Forte satisfaisant	2	Glissant	Forte satisfaisant
1	Chaud	Tout à fait satisfaisant	2	Chaud	Forte satisfaisant
1	Etirable	Forte satisfaisant	2	Etirable	Forte satisfaisant
1	Fluide	Satisfaisant	2	Fluide	Plus satisfaisant
1	Tombant	Satisfaisant	2	Tombant	Satisfaisant
1	Froissable	Satisfaisant	2	Froissable	Moins satisfaisant
1	Epais	Tout à fait satisfaisant	2	Epais	Tout à fait satisfaisant
1	Moelleux	Plus satisfaisant	2	Moelleux	Plus satisfaisant
1	Couleur	Forte satisfaisant	2	Couleur	Forte satisfaisant
1	Style	Plus satisfaisant	2	Style	Satisfaisant
3	Relaxation	Plus satisfaisant	4	Relaxation	Satisfaisant
3	Chaleur	Plus satisfaisant	4	Chaleur	Plus satisfaisant
3	Dynamisme	Satisfaisant	4	Dynamisme	Plus satisfaisant
3	Fraîcheur	Satisfaisant	4	Fraîcheur	Moins satisfaisant
3	Protection	Plus satisfaisant	4	Protection	Plus satisfaisant
3	Liberté	Plus satisfaisant	4	Liberté	Satisfaisant
3	Glissant	Plus satisfaisant	4	Glissant	Satisfaisant
3	Chaud	Plus satisfaisant	4	Chaud	Plus satisfaisant
3	Etirable	Plus satisfaisant	4	Etirable	Tout à fait satisfaisant

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
3	Fluide	Satisfaisant	4	Fluide	Satisfaisant
3	Tombant	Moins satisfaisant	4	Tombant	Satisfaisant
3	Froissable	Moins satisfaisant	4	Froissable	Satisfaisant
3	Epais	Tout à fait satisfaisant	4	Epais	Plus satisfaisant
3	Moelleux	Plus satisfaisant	4	Moelleux	Plus satisfaisant
3	Couleur	Plus satisfaisant	4	Couleur	Plus satisfaisant
3	Style	Tout à fait satisfaisant	4	Style	Plus satisfaisant
5	Relaxation	Satisfaisant			
5	Chaleur	Plus satisfaisant			
5	Dynamisme	Satisfaisant			
5	Fraîcheur	Pas du tout satisfaisant			
5	Protection	Satisfaisant			
5	Liberté	Plus satisfaisant			
5	Glissant	Plus satisfaisant			
5	Chaud	Plus satisfaisant			
5	Etirable	Satisfaisant			
5	Fluide	Satisfaisant			
5	Tombant	Satisfaisant			
5	Froissable	Satisfaisant			
5	Epais	Satisfaisant			
5	Moelleux	Plus satisfaisant			
5	Couleur	Plus satisfaisant			
5	Style	Forte satisfaisant			

## L'évaluation par expert 2 (Niveau Absolument Important)

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Relaxation	Satisfaisant	2	Relaxation	Plus satisfaisant
1	Chaleur	Plus satisfaisant	2	Chaleur	Satisfaisant
1	Dynamisme	Satisfaisant	2	Dynamisme	Plus satisfaisant
1	Fraîcheur	Moins satisfaisant	2	Fraîcheur	Satisfaisant
1	Protection	Tout à fait satisfaisant	2	Protection	Tout à fait satisfaisant
1	Liberté	Satisfaisant	2	Liberté	Plus satisfaisant
1	Glissant	Satisfaisant	2	Glissant	Moins satisfaisant
1	Chaud	Plus satisfaisant	2	Chaud	Plus satisfaisant
1	Etirable	Satisfaisant	2	Etirable	Plus satisfaisant
1	Fluide	Plus satisfaisant	2	Fluide	Plus satisfaisant
1	Tombant	Satisfaisant	2	Tombant	Satisfaisant
1	Froissable	Satisfaisant	2	Froissable	Satisfaisant



Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Epais	Forte satisfaisant	2	Epais	Forte satisfaisant
1	Moelleux	Tout à fait satisfaisant	2	Moelleux	Plus satisfaisant
1	Couleur	Tout à fait satisfaisant	2	Couleur	Plus satisfaisant
1	Style	Plus satisfaisant	2	Style	Satisfaisant
3	Relaxation	Satisfaisant	4	Relaxation	Satisfaisant
3	Chaleur	Plus satisfaisant	4	Chaleur	Plus satisfaisant
3	Dynamisme	Plus satisfaisant	4	Dynamisme	Plus satisfaisant
3	Fraîcheur	Satisfaisant	4	Fraîcheur	Satisfaisant
3	Protection	Satisfaisant	4	Protection	Plus satisfaisant
3	Liberté	Satisfaisant	4	Liberté	Plus satisfaisant
3	Glissant	Plus satisfaisant	4	Glissant	Satisfaisant
3	Chaud	Plus satisfaisant	4	Chaud	Plus satisfaisant
3	Etirable	Plus satisfaisant	4	Etirable	Tout à fait satisfaisant
3	Fluide	Satisfaisant	4	Fluide	Plus satisfaisant
3	Tombant	Satisfaisant	4	Tombant	Satisfaisant
3	Froissable	Satisfaisant	4	Froissable	Moins satisfaisant
3	Epais	Tout à fait satisfaisant	4	Epais	Plus satisfaisant
3	Moelleux	Satisfaisant	4	Moelleux	Plus satisfaisant
3	Couleur	Satisfaisant	4	Couleur	Plus satisfaisant
3	Style	Tout à fait satisfaisant	4	Style	Satisfaisant
5	Relaxation	Plus satisfaisant			
5	Chaleur	Plus satisfaisant			
5	Dynamisme	Plus satisfaisant			
5	Fraîcheur	Pas du tout satisfaisant			
5	Protection	Plus satisfaisant			
5	Liberté	Plus satisfaisant			
5	Glissant	Plus satisfaisant			
5	Chaud	Plus satisfaisant			
5	Etirable	Plus satisfaisant			
5	Fluide	Plus satisfaisant			
5	Tombant	Satisfaisant			
5	Froissable	Satisfaisant			
5	Epais	Tout à fait satisfaisant			
5	Moelleux	Plus satisfaisant			
5	Couleur	Plus satisfaisant			
5	Style	Forte satisfaisant			

## L'évaluation par expert 3 (Niveau Absolument Important)

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Relaxation	Satisfaisant	2	Relaxation	Satisfaisant
1	Chaleur	Forte satisfaisant	2	Chaleur	Forte satisfaisant
1	Dynamisme	Forte satisfaisant	2	Dynamisme	Forte satisfaisant
1	Fraîcheur	Moins satisfaisant	2	Fraîcheur	Pas du tout satisfaisant
1	Protection	Forte satisfaisant	2	Protection	Plus satisfaisant
1	Liberté	Forte satisfaisant	2	Liberté	Forte satisfaisant
1	Glissant	Moins satisfaisant	2	Glissant	Plus satisfaisant
1	Chaud	Tout à fait satisfaisant	2	Chaud	Forte satisfaisant
1	Étirable	Forte satisfaisant	2	Étirable	Forte satisfaisant
1	Fluide	Moins satisfaisant	2	Fluide	Satisfaisant
1	Tombant	Moins satisfaisant	2	Tombant	Forte satisfaisant
1	Froissable	Satisfaisant	2	Froissable	Moins satisfaisant
1	Épais	Forte satisfaisant	2	Épais	Forte satisfaisant
1	Moelleux	Forte satisfaisant	2	Moelleux	Tout à fait satisfaisant
1	Couleur	Plus satisfaisant	2	Couleur	Satisfaisant
1	Style	Forte satisfaisant	2	Style	Forte satisfaisant
3	Relaxation	Plus satisfaisant	4	Relaxation	Moins satisfaisant
3	Chaleur	Plus satisfaisant	4	Chaleur	Forte satisfaisant
3	Dynamisme	Satisfaisant	4	Dynamisme	Satisfaisant
3	Fraîcheur	Plus satisfaisant	4	Fraîcheur	Satisfaisant
3	Protection	Forte satisfaisant	4	Protection	Tout à fait satisfaisant
3	Liberté	Satisfaisant	4	Liberté	Satisfaisant
3	Glissant	Plus satisfaisant	4	Glissant	Satisfaisant
3	Chaud	Plus satisfaisant	4	Chaud	Plus satisfaisant
3	Étirable	Satisfaisant	4	Étirable	Plus satisfaisant
3	Fluide	Satisfaisant	4	Fluide	Satisfaisant
3	Tombant	Satisfaisant	4	Tombant	Plus satisfaisant
3	Froissable	Satisfaisant	4	Froissable	Plus satisfaisant
3	Épais	Tout à fait satisfaisant	4	Épais	Forte satisfaisant
3	Moelleux	Plus satisfaisant	4	Moelleux	Plus satisfaisant
3	Couleur	Forte satisfaisant	4	Couleur	Plus satisfaisant
3	Style	Satisfaisant	4	Style	Satisfaisant
5	Relaxation	Satisfaisant			
5	Chaleur	Plus satisfaisant			
5	Dynamisme	Plus satisfaisant			
5	Fraîcheur	Pas du tout satisfaisant			
5	Protection	Plus satisfaisant			
5	Liberté	Plus satisfaisant			

Prototype	Critère	Préférence
5	Glissant	Moins satisfaisant
5	Chaud	Plus satisfaisant
5	Etirable	Forte satisfaisant
5	Fluide	Satisfaisant
5	Tombant	Plus satisfaisant
5	Froissable	Plus satisfaisant
5	Epais	Satisfaisant
5	Moelleux	Satisfaisant
5	Couleur	Plus satisfaisant
5	Style	Forte satisfaisant

## L'évaluation par expert 4 (Niveau Moins Important)

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Relaxation	Satisfaisant	2	Relaxation	Plus satisfaisant
1	Chaleur	Tout à fait satisfaisant	2	Chaleur	Tout à fait satisfaisant
1	Dynamisme	Satisfaisant	2	Dynamisme	Plus satisfaisant
1	Fraîcheur	Moins satisfaisant	2	Fraîcheur	Moins satisfaisant
1	Protection	Forte satisfaisant	2	Protection	Plus satisfaisant
1	Liberté	Satisfaisant	2	Liberté	Plus satisfaisant
1	Glissant	Moins satisfaisant	2	Glissant	Satisfaisant
1	Chaud	Tout à fait satisfaisant	2	Chaud	Plus satisfaisant
1	Etirable	Forte satisfaisant	2	Etirable	Tout à fait satisfaisant
1	Fluide	Moins satisfaisant	2	Fluide	Satisfaisant
1	Tombant	Moins satisfaisant	2	Tombant	Satisfaisant
1	Froissable	Satisfaisant	2	Froissable	Moins satisfaisant
1	Epais	Forte satisfaisant	2	Epais	Plus satisfaisant
1	Moelleux	Plus satisfaisant	2	Moelleux	Plus satisfaisant
1	Couleur	Forte satisfaisant	2	Couleur	Plus satisfaisant
1	Style	Forte satisfaisant	2	Style	Plus satisfaisant
3	Relaxation	Satisfaisant	4	Relaxation	Plus satisfaisant
3	Chaleur	Plus satisfaisant	4	Chaleur	Plus satisfaisant
3	Dynamisme	Plus satisfaisant	4	Dynamisme	Plus satisfaisant
3	Fraîcheur	Satisfaisant	4	Fraîcheur	Satisfaisant
3	Protection	Tout à fait satisfaisant	4	Protection	Satisfaisant
3	Liberté	Plus satisfaisant	4	Liberté	Tout à fait satisfaisant
3	Glissant	Satisfaisant	4	Glissant	Tout à fait satisfaisant
3	Chaud	Forte satisfaisant	4	Chaud	Plus satisfaisant
3	Etirable	Plus satisfaisant	4	Etirable	Satisfaisant

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
3	Fluide	Moins satisfaisant	4	Fluide	Satisfaisant
3	Tombant	Forte satisfaisant	4	Tombant	Moins satisfaisant
3	Froissable	Moins satisfaisant	4	Froissable	Satisfaisant
3	Epais	Plus satisfaisant	4	Epais	Plus satisfaisant
3	Moelleux	Tout à fait satisfaisant	4	Moelleux	Satisfaisant
3	Couleur	Satisfaisant	4	Couleur	Satisfaisant
3	Style	Plus satisfaisant	4	Style	Plus satisfaisant
5	Relaxation	Satisfaisant			
5	Chaleur	Plus satisfaisant			
5	Dynamisme	Satisfaisant			
5	Fraîcheur	Satisfaisant			
5	Protection	Satisfaisant			
5	Liberté	Tout à fait satisfaisant			
5	Glissant	Satisfaisant			
5	Chaud	Satisfaisant			
5	Etirable	Tout à fait satisfaisant			
5	Fluide	Moins satisfaisant			
5	Tombant	Satisfaisant			
5	Froissable	Plus satisfaisant			
5	Epais	Moins satisfaisant			
5	Moelleux	Satisfaisant			
5	Couleur	Plus satisfaisant			
5	Style	Satisfaisant			

## L'évaluation par expert 5 (Niveau Important)

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Relaxation	Satisfaisant	2	Relaxation	Plus satisfaisant
1	Chaleur	Forte satisfaisant	2	Chaleur	Satisfaisant
1	Dynamisme	Satisfaisant	2	Dynamisme	Forte satisfaisant
1	Fraîcheur	Moins satisfaisant	2	Fraîcheur	Satisfaisant
1	Protection	Forte satisfaisant	2	Protection	Plus satisfaisant
1	Liberté	Satisfaisant	2	Liberté	Forte satisfaisant
1	Glissant	Forte satisfaisant	2	Glissant	Satisfaisant
1	Chaud	Moins satisfaisant	2	Chaud	Satisfaisant
1	Etirable	Forte satisfaisant	2	Etirable	Plus satisfaisant
1	Fluide	Forte satisfaisant	2	Fluide	Moins satisfaisant
1	Tombant	Satisfaisant	2	Tombant	Moins satisfaisant
1	Froissable	Moins satisfaisant	2	Froissable	Plus satisfaisant

Prototype	Critère	Préférence	Prototype	Critère	Préférence
1	Epais	Tout à fait satisfaisant	2	Epais	Forte satisfaisant
1	Moelleux	Forte satisfaisant	2	Moelleux	Plus satisfaisant
1	Couleur	Tout à fait satisfaisant	2	Couleur	Forte satisfaisant
1	Style	Forte satisfaisant	2	Style	Plus satisfaisant
3	Relaxation	Satisfaisant	4	Relaxation	Satisfaisant
3	Chaleur	Satisfaisant	4	Chaleur	Plus satisfaisant
3	Dynamisme	Satisfaisant	4	Dynamisme	Forte satisfaisant
3	Fraîcheur	Moins satisfaisant	4	Fraîcheur	Satisfaisant
3	Protection	Plus satisfaisant	4	Protection	Satisfaisant
3	Liberté	Plus satisfaisant	4	Liberté	Plus satisfaisant
3	Glissant	Plus satisfaisant	4	Glissant	Satisfaisant
3	Chaud	Forte satisfaisant	4	Chaud	Plus satisfaisant
3	Etirable	Satisfaisant	4	Etirable	Moins satisfaisant
3	Fluide	Satisfaisant	4	Fluide	Moins satisfaisant
3	Tombant	Satisfaisant	4	Tombant	Moins satisfaisant
3	Froissable	Moins satisfaisant	4	Froissable	Moins satisfaisant
3	Epais	Forte satisfaisant	4	Epais	Plus satisfaisant
3	Moelleux	Plus satisfaisant	4	Moelleux	Satisfaisant
3	Couleur	Forte satisfaisant	4	Couleur	Forte satisfaisant
3	Style	Forte satisfaisant	4	Style	Forte satisfaisant
5	Relaxation	Forte satisfaisant			
5	Chaleur	Satisfaisant			
5	Dynamisme	Satisfaisant			
5	Fraîcheur	Plus satisfaisant			
5	Protection	Satisfaisant			
5	Liberté	Plus satisfaisant			
5	Glissant	Satisfaisant			
5	Chaud	Satisfaisant			
5	Etirable	Forte satisfaisant			
5	Fluide	Forte satisfaisant			
5	Tombant	Satisfaisant			
5	Froissable	Satisfaisant			
5	Epais	Plus satisfaisant			
5	Moelleux	Satisfaisant			
5	Couleur	Satisfaisant			
5	Style	Forte satisfaisant			

---

## **Contribution à l'évaluation et à la modélisation du bien-être des matériaux textiles habillement par l'utilisation des techniques de calcul avancé**

### **Résumé :**

Aujourd'hui, stressés par des pressions multiples du travail et de la vie quotidienne, les consommateurs aspirent résolument au bien-être. En même temps, face à la concurrence de plus en plus intensive, l'exploitation des besoins des consommateurs et le développement de nouveaux produits personnalisés à réactivité rapide et au coût réduit constituent des stratégies prioritaires pour la plupart des entreprises industrielles. Dans cette situation, la maîtrise des descripteurs sensoriels et émotionnels des produits autour de la notion de bien-être permettra de satisfaire au maximum les spécifications et la cohérence de l'image véhiculée par la marque ainsi que les attentes de plus en plus complexes issues de l'analyse du marché.

Dans le but d'apporter notre contribution aux outils du « prototypage rapide » et à l'écoute des besoins industriels, ce mémoire présente les travaux de recherche sur la caractérisation des critères du bien-être des consommateurs dans le domaine textile et d'habillement, permettant de réaliser rapidement des prototypes adaptés aux leurs besoins. Une série d'outils est proposée, constituant un système d'aide à la décision, permettant aux concepteurs de sélectionner des paramètres physiques de conception pertinents, de déterminer les espaces de fonctionnement possibles (les intervalles acceptables des paramètres physiques de conception sélectionnés), de modéliser la relation entre le bien-être et les composants de conception (toucher, style et couleur), et d'évaluer globalement la qualité des prototypes sur plusieurs niveaux d'appréciation.

Afin de traiter les incertitudes et les imprécisions liées aux perceptions sensorielles et émotionnelles des produits, exprimées verbalement, et à la connaissance humaine incomplète sur la conception, nous utilisons non seulement les techniques classiques de traitement de données, telles que l'interpolation linéaire, mais aussi les techniques du calcul avancé comme la modélisation floue, l'algorithme génétique. Les critères de capacité d'interprétation et de précision sont conjointement pris en compte dans le développement de ces méthodes.

---

## **Contribution in textile and apparel well-being evaluation and modeling using advanced computing techniques**

### **Abstract:**

Today, anxious by multiple pressures of job and daily life, consumers aspire resolutely to the well-being. At the same time, with more and more intensive competition, the exploitation of consumer requirements and the development of new personalized products with quick reactivity and reduced expense constitute priority strategies for most of the industries. In this situation, the mastery of the sensory and emotional descriptors of products around the well-being will allow to satisfy at the maximum the specifications and coherence of the brand image as well as more and more complex expectation concluded by the market analysis.

To contribute in the « rapid prototyping » tools and satisfy the industrial requirements, this thesis introduces research works on the characterization of criteria of the consumers well-being in textile and apparel field, allowing to realise prototypes adapted to their requirements rapidly. A series of tools are proposed, constituting a decision support system, allowing the designers to choose appropriate physical design parameters, to determine the feasible operation setting space (the setting interval of the chosen physical design parameters), to model the relationship between well-being and design components (fabric hand, style and color), and to evaluate globally the quality of prototypes at several levels.

In order to handle uncertainties and vagueness linked to the sensory and emotional perception of products, expressed by linguistic expressions, and with incomplete human knowledge on comprehension, we use not only the classical techniques of data processing, such as linear interpolation, but also the advanced computing techniques as fuzzy modeling and genetic algorithm. Criteria of capacity of interpretation and precision are jointly taken into account in the development of these methods.

---

**Discipline :** Automatique et Informatique industrielle

**Mots-clés :** Conception des produits (Product design), Bien-être des consommateurs (Consumer well-being), Modélisation (Modeling), Evaluation des prototypes (Evaluation of prototypes), Techniques intelligentes (Intelligent techniques), Evaluation sensorielle (sensory evaluation)

---

### **Intitulé et adresse du laboratoire:**

Laboratoire Génie et Matériaux Textile (GEMTEX)

Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles (ENSAIT)

2, allée Louise et Victor Champier – BP 30329 – 59056 Roubaix

Tel : +33 (0)3 20 25 86 89 – Fax : +33 (0)3 20 24 84 06