



**Du couple matériau-procédé à la qualité perçue :
élaboration d'un outil prédictif de la perception visuelle
des pièces en injection de polypropylène d'intérieur du
véhicule.**

Caterina Passaro

► **To cite this version:**

Caterina Passaro. Du couple matériau-procédé à la qualité perçue : élaboration d'un outil prédictif de la perception visuelle des pièces en injection de polypropylène d'intérieur du véhicule.. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2014. Français. <NNT : 2014EMSE0769>. <tel-01150587>

HAL Id: tel-01150587

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01150587>

Submitted on 11 May 2015

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

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



NNT : 2014 EMSE 0769

THÈSE
présentée par
Caterina PASSARO

pour obtenir le grade de
Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Sciences et génie des matériaux

**DU COUPLE MATÉRIAU-PROCÉDÉ À LA QUALITÉ PERÇUE :
ÉLABORATION D'UN OUTIL PRÉDICTIF DE LA PERCEPTION
VISUELLE DES PIÈCES EN INJECTION DE POLYPROPYLÈNE
D'INTÉRIEUR DU VÉHICULE.**

soutenue à Saint-Etienne, le 11 décembre 2014

MEMBRES DU JURY

Président :	Catherine DACREMONT	Professeur, ENSBANA, Dijon
Rapporteurs :	Jean-Yves CHARMEAU Catherine DACREMONT	Professeur, INSA, Lyon Professeur, ENSBANA, Dijon
Examineurs :	Arnaud MORIZOT Barbara DEL CURTO	Docteur, Renault, Guyancourt Professeur, Politecnico di Milano, Milano
Directeurs de thèse :	Olivier ETERRADOSSI David DELAFOSSE	HDR, EMA, Pau Professeur, EMSE, Saint-Etienne

Spécialités doctorales	Responsables :	Spécialités doctorales	Responsables
SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX MECANIQUE ET INGENIERIE GENIE DES PROCÉDES SCIENCES DE LA TERRE SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT	K. Wolski Directeur de recherche S. Drapier, professeur F. Gruy, Maître de recherche B. Guy, Directeur de recherche D. Graillot, Directeur de recherche	MATHEMATIQUES APPLIQUEES INFORMATIQUE IMAGE, VISION, SIGNAL GENIE INDUSTRIEL MICROELECTRONIQUE	O. Roustant, Maître-assistant O. Boissier, Professeur JC. Pinoli, Professeur A. Dolgui, Professeur S. Dauzere Peres, Professeur

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

ABSI	Nabil	CR		CMP
AVRIL	Stéphane	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
BALBO	Flavien	PR2		FAYOL
BASSEREAU	Jean-François	PR		SMS
BATTON-HUBERT	Mireille	PR2	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BERGER DOUCE	Sandrine	PR2		FAYOL
BERNACHE-ASSOLLANT	Didier	PR0	Génie des Procédés	CIS
BIGOT	Jean Pierre	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
BILAL	Essaid	DR	Sciences de la Terre	SPIN
BOISSIER	Olivier	PR1	Informatique	FAYOL
BORBELY	Andras	MR(DR2)	Sciences et génie des matériaux	SMS
BOUCHER	Xavier	PR2	Génie Industriel	FAYOL
BRODHAG	Christian	DR	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BRUCHON	Julien	MA(MDC)	Mécanique et ingénierie	SMS
BURLAT	Patrick	PR2	Génie Industriel	FAYOL
COURNIL	Michel	PR0	Génie des Procédés	DIR
DARRIEULAT	Michel	IGM	Sciences et génie des matériaux	SMS
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR1	Génie Industriel	CMP
DEBAYLE	Johan	CR	Image Vision Signal	CIS
DELAFOSSE	David	PR1	Sciences et génie des matériaux	SMS
DESTRAYAUD	Christophe	PR2	Mécanique et ingénierie	SMS
DOLGUI	Alexandre	PR0	Génie Industriel	FAYOL
DRAPIER	Sylvain	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
FEILLET	Dominique	PR2	Génie Industriel	CMP
FEVOTTE	Gilles	PR1	Génie des Procédés	SPIN
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
GERINGER	Jean	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	CIS
GOEURIOT	Dominique	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences et génie de l'environnement	SPIN
GROSSEAU	Philippe	DR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	PR1	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	DR	Sciences de la Terre	SPIN
HAN	Woo-Suck	CR	Mécanique et ingénierie	SMS
HERRI	Jean Michel	PR1	Génie des Procédés	SPIN
KERMOUCHE	Guillaume	PR2	Mécanique et Ingénierie	SMS
KLOCKER	Helmut	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
LERICHE	Rodolphe	CR	Mécanique et ingénierie	FAYOL
LI	Jean-Michel		Microélectronique	CMP
MALLIARAS	Georges	PR1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
MONTHEILLET	Frank	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
MOUTTE	Jacques	CR	Génie des Procédés	SPIN
NEUBERT	Gilles			FAYOL
NIKOLOVSKI	Jean-Pierre			CMP
NORTIER	Patrice	PR1		SPIN
PIJOLAT	Christophe	PR0	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Michèle	PR1	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean Charles	PR0	Image Vision Signal	CIS
POURCHEZ	Jérémy	CR	Génie des Procédés	CIS
ROBISSON	Bruno			CMP
ROUSSY	Agnès	MA(MDC)		CMP
ROUSTANT	Olivier	MA(MDC)		FAYOL
ROUX	Christian	PR		CIS
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences et génie des matériaux	SMS
TRIA	Assia	Ingénieur de recherche	Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean Paul	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
WOLSKI	Krzysztof	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
XIE	Xiaolan	PR1	Génie industriel	CIS
YUGMA	Gallian	CR	Génie industriel	CMP

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

BERGHEAU	Jean-Michel	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
BERTRAND	Philippe	MCF	Génie des procédés	ENISE
DUBUJET	Philippe	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
FEULVARCH	Eric	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
FORTUNIER	Roland	PR	Sciences et Génie des matériaux	ENISE
GUSSAROV	Andrey	Enseignant contractuel	Génie des procédés	ENISE
HAMDI	Hédi	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
LYONNET	Patrick	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
RECH	Joël	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
SMUROV	Igor	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
TOSCANO	Rosario	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
ZAHOUANI	Hassan	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE

Cette thèse de doctorat a été réalisée au sein de :

RENAULT

Service Polymères et Fluides,
Technocentre,
1 avenue du Golf,
78084 GUYANCOURT

et :

École des mines d'Alès

Laboratoire C2MA

Ingénierie de l'aspect visuel et tactile des matériaux
Pôle « Recherche sur les Interactions des Matériaux avec leur Environnement »
(RIME)
site de Pau
Hélioparc, 2 av. P. Angot,
64053 PAU

REMERCIEMENTS

Cette thèse de doctorat a été réalisée en codirection entre l'Ecole des Mines d'Alès (EMA) et l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (EMSE). Le projet a été mené au sein du Service Polymères et Fluides du groupe RENAULT-NISSAN et du laboratoire C2MA du site de Pau de l'École des Mines d'Alès.

Cette collaboration m'a permis de bénéficier de l'expérience et des connaissances de différents acteurs industriels et académiques. Je donc remercier Monsieur Yvan CHASTEL directeur de la Direction DEATC de Renault, ainsi que Monsieur José-Marie LOPEZ-CUESTA Directeur scientifique du laboratoire C2MA de l'EMA, pour m'avoir accueillie au sein de leur structure.

Je suis très reconnaissante à Madame Catherine DACREMONT (Professeur de l'Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques, de l'Alimentation et de l'Environnement) de m'avoir fait l'honneur de juger mon travail ainsi que de présider mon jury. Par la même occasion, je ne manquerais pas de remercier vivement Monsieur Jean-Yves CHARMEAU (Directeur de la filière GM2P de l'Institut National des sciences appliquées de Lyon) d'avoir accepté de s'associer à elle dans le jugement de ce travail de recherche en tant que rapporteur.

De nombreuses personnes ont joué un rôle important pour la réussite de ce travail. J'aimerais remercier cette équipe avec qui je partage cette réussite.

Je tiens à remercier chaleureusement mes deux directeurs de thèse, Olivier ETERRADOS-SI et David DELAFOSSE qui m'ont toujours soutenue et guidée. Au sein du groupe Renault, je tiens ici à remercier tout particulièrement Marielle MARCHAND et Arnaud MORIZOT pour leurs critiques, conseils et pour les innombrables relectures du manuscrit.

Un grand **Merci** à Eric VAILLANT et Sylvie REDON pour avoir été les premiers à croire en ce travail. Un grand merci à Bénédicte DE SAINTE MARIE, Stéphanie MARIE-SAINTE, Thierry CORNET et Véronique MARTINEZ pour l'aide aux choix des grains, couleurs et matières, ainsi qu'à Emmanuel GOBLET et son équipe pour l'injection des échantillons. Pour leur aide aux différentes étapes de ce travail, j'aimerais également remercier Nathalie HERBETH et son équipe qui m'ont guidée dans l'application et le choix des techniques d'analyse sensorielle.

Un grand merci à tous les collègues Renault pour leur aide et leur soutien.

Merci à Geoffrey F. et Damien L., les premiers à m'avoir expliqué que la différence entre thermo-formage positif et négatif n'était pas seulement une question de signes. **Merci** à Morgane G. pour sa contribution dans l'organisation et le dépouillement des résultats de l'enquête client. **Merci** à Laurent G. pour ses conseils et son expertise. **Merci** à Jean-Marc A. pour la déformulation des échantillons. **Merci** à Stéphanie B. et à tous les membres du panel visuel pour l'immense travail fourni.

Du côté des Palois et Alésien, un énorme merci à Jean-Serge BIDORET pour son travail très soigné, et aux Messieurs OTAZAGHINE, TAULMESSE et LORQUET pour les analyses effectuées.

Je n'oublie pas tous les membres du labo C2MA de Pau, les collègues, les compagnons de course, de natation et les amis. Vous m'avez accueillie avec le vrai esprit du sud-ouest, celui familial, celui convivial et vous m'avez permis de passer ces trois ans dans la bonne humeur. Merci à Amandine, Jane, Mylène, Delphine, Joana, Hélène, Sylvie, Dominique, Hervé et Valérie. C'est aussi grâce à vous que j'ai pu terminer cette thèse entière !

Et last but not least, je n'oublie pas d'adresser une réelle reconnaissance à Olivier, pilier de cette thèse, qui m'a guidée, soutenue, éclairée, et peut être parfois aussi testée tout au long de ces trois ans. Cette thèse est aussi la tienne, je suis fière de la partager avec toi.

Ce qui est certain est que je n'aurais pu accomplir cette étape sans vous, j'en suis plus que consciente et je vous suis vraiment reconnaissante.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 01 INTRODUCTION

1.1 PRÉAMBULE

P.1

1.2 LE PROJET DE RECHERCHE

P.2

1.2.1 EXPOSITION DE LA PROBLÉMATIQUE ET DE L'OBJECTIF DE LA THÈSE

P.2

1.2.2 LES ENJEUX INDUSTRIELS ET SCIENTIFIQUES

P.3

1.2.3 CARACTÉRISTIQUES DES OUTILS DÉVELOPPÉS

P.3

1.3 STRUCTURE DE LA THÈSE

P.4

CHAPITRE 02 ÉTAT DE L'ART

2.1 RÉPONSES CLIENT FACE AU PRODUIT

P.9

2.1.1 SENSATION ET PERCEPTION

P.9

2.1.2 RÉPONSE COGNITIVE

P.11

2.1.3 RÉPONSE ÉMOTIONNELLE

P.12

2.1.4 LA QUALITÉ PERÇUE DANS LE MONDE AUTOMOBILE

P.14

2.2 L'ASPECT DES MATÉRIAUX

P.16

2.2.1 ASPECT ET INGÉNIERIE DE L'ASPECT

P.16

2.2.2 ASPECT ET PERCEPTION : LA MÉTROLOGIE SENSORIELLE

P.17

2.2.2.1 L'ÉVALUATION SENSORIELLE

P.17

2.2.2.2 INSTRUMENTS ET OUTILS DE LA MÉTROLOGIE SENSORIELLE

P.19

2.2.3 ASPECT ET APPROCHE PHYSIQUE

P.20

2.2.3.1 MORPHOLOGIE ET MICROSTRUCTURE DU PP EN VOLUME ET EN SURFACE

P.21

2.2.3.2 COMPORTEMENT OPTIQUE À L'ÉCHELLE MÉSOSCOPIQUE

P.22

2.2.3.2.1 LA RÉFRACTION

P.23

2.2.3.2.2 LA RÉFLEXION

P.24

2.2.3.2.3 LA DIFFUSION, OU DIFFRACTION

P.24

2.2.3.2.4 ABSORPTION

P.24

2.2.3.3 COMPORTEMENT OPTIQUE À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE

P.24

2.3 MATÉRIAUX, PROCÉDÉS ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES	P.27
2.3.1 LES POLYMÈRES DANS L'AUTOMOBILE	P.27
2.3.1.1 LE PP DU MONDE AUTOMOBILE	P.28
2.3.2 PROCÉDÉS, MATIÈRES ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES DES PIÈCES GRAINÉES	P.30
2.3.2.1 L'INJECTION PLASTIQUE	P.30
2.3.2.1.1 LE GRAINAGE DES MOULES	P.31
2.3.2.1.2 MATIÈRES	P.34
2.3.2.1.3 CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES ET DESIGN	P.34
2.3.2.1.4 VARIANTES	P.35
2.3.2.2 LES AUTRES PROCÉDÉS DE PRODUCTION	P.35
2.3.2.2.1 THERMOFORMAGE	P.35
2.3.2.2.2 THERMOGAINAGE	P.36
2.3.2.2.3 IN MOLD LAMINATION	P.36
2.3.2.2.4 SLUSH MOLDING	P.36
2.3.2.2.5 PP SKIN	P.37
2.3.2.2.6 PU-RIM	P.37
2.3.2.2.1 PU SPRAY	P.37
2.4 CONCLUSIONS	P.40
CHAPITRE 03 CRÉATION D'UN RÉFÉRENTIEL VISUEL DES PIÈCES GRAINÉES	
3.1 DÉFINITIONS : TEXTURE ET GRAIN	P.43
3.1.1 TEXTURE ET GRAIN	P.43
3.1.2 DISTANCE ET PERCEPTION VISUELLE	P.45
3.2 CONSTRUCTION DU RÉFÉRENTIEL VISUEL	P.47
3.2.1. MATÉRIAUX ET MÉTHODE	P.47
3.2.1.1. MATÉRIAUX : L'ESPACE PRODUIT	P.47
3.2.1.2 MÉTHODE DU PROFIL SENSORIEL	P.48
3.2.1.2.1 ÉTAPES DU PROFIL SENSORIEL CLASSIQUE	P.48
3.2.1.2.2 LE PANEL D'ÉVALUATEURS	P.48
3.2.1.2.3 MODE OPÉRATOIRE	P.49

3.2.2. PROFIL SENSORIEL DES PIÈCES GRAINÉES	P.50
3.2.2.1 GÉNÉRATION ET TRI DES TERMES : ANALYSE SÉMANTIQUE	P.50
3.2.2.2.2 DÉCLINAISON	P.50
3.2.2.2 RECHERCHE DES DESCRIPTEURS POTENTIELS	P.53
3.2.2.3 RÉDUCTION DES DESCRIPTEURS ET ANALYSE STATISTIQUE	P.54
3.2.2.4 DÉFINITION DES DESCRIPTEURS	P.56
3.2.2.5 ÉCHELLES GRAPHIQUES	P.57
3.2.2.6 IDENTIFICATION DES PRODUITS DE RÉFÉRENCE	P.57
3.2.2.7 PROTOCOLE D'ÉVALUATION	P.57
3.2.3 LE RÉFÉRENTIEL VISUEL	P.61
3.2.3.1 GRILLE DE COTATION : FICHES DES DESCRIPTEURS	P.61

3.3 CONCLUSION **P.62**

CHAPITRE 04 CARACTÉRISATIONS SENSORIELLE ET INSTRUMENTALE

4.1 CARACTÉRISATION SENSORIELLE	P.66
4.1.1 MATÉRIAUX ET MÉTHODES	P.66
4.1.1.1 L'ESPACE PRODUIT : 2 ÈME COLLECTION D'ÉCHANTILLONS	P.66
4.1.1.2 LE PANEL VISUEL	P.67
4.1.1.2.1 LE RECRUTEMENT	P.67
4.1.1.2.2 L'APPRENTISSAGE ET L'ENTRAÎNEMENT À L'ÉVALUATION	P.67
4.1.1.2.3 L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DU PANEL VISUEL	P.68
4.1.2 ÉVALUATION SENSORIELLE	P.68
4.1.2.1 UTILISATION DE L'ÉCHELLE	P.69
4.1.2.2 ÉCHANTILLONS PROBLÉMATIQUES	P.74
4.1.3 LES RADARS DES PROFILS SENSORIELS	P.76
4.1.4 LE GRAPHE DES CORRÉLATIONS	P.76
4.2 RECONSTRUCTION INSTRUMENTALE	P.81
4.2.1 HYPOTHÈSES	P.81
4.2.1.1 HYPOTHÈSES SUR LA NETTETÉ	P.81
4.2.1.2 HYPOTHÈSES SUR LA DIMENSION	P.82
4.2.1.3 HYPOTHÈSES SUR LE RELIEF	P.82
4.2.1.4 HYPOTHÈSES SUR L'ALLONGEMENT DE LA FORME	P.82

4.2.1.5 HYPOTHÈSES SUR L'ANGULOSITÉ	P.82
4.2.1.6 HYPOTHÈSES SUR L'OCCUPATION DE L'ESPACE	P.82
4.2.1.7 HYPOTHÈSES SUR LA DENSITÉ	P.83
4.2.1.8 HYPOTHÈSES SUR L'ORGANISATION DES ELEMENTS	P.83
4.2.1.9 HYPOTHÈSES SUR LA COMPLEXITÉ DE LA FORME	P.83
4.2.1.10 HYPOTHÈSES SUR LE BRILLANT	P.83
4.2.1.11 HYPOTHÈSES SUR LE CONTRASTE DE BRILLANT	P.84
4.2.1.12 HYPOTHÈSES SUR LA LISIBILITÉ	P.84
4.2.2 INSTRUMENTS DE MESURE	P.84
4.2.2.1 IMAGES	P.84
4.2.2.2 RUGOSIMETRE OPTIQUE	P.85
4.2.2.3 GONIO-SPECTROPHOTOMETRE	P.85
4.2.3 METHODE DE TRAITEMENT ET MESURES	P.87
4.2.3.1 TRAITEMENT DES IMAGES	P.87
4.2.3.2 TRAITEMENT DES DONNES RUGOSIMETRIQUES	P.90
4.2.2.3 TRAITEMENT DES MESURES DU GONIO- SPECROPHOTOMETRE	P.92
4.2.4 CONSTRUCTION DES MODÈLES	P.93
4.2.4.1 APPROCHE	P.93
4.2.4.2 LES MODÈLES	P.95
4.2.4.2.2 MODÈLE « DIMENSION DES ELEMENTS»	P.95
4.2.4.2.3 MODÈLE « ALLONGEMENT DE LA FORME»	P.95
4.2.4.2.4 MODÈLE « ANGULOSITE DES BORDS»	P.95
4.2.4.2.5 MODÈLE « OCCUPATION DE L'ESPACE»	P.96
4.2.4.2.6 MODÈLE « DENSITÉ»	P.96
4.2.4.2.7 MODÈLE « ORGANISATION DES ELEMENTS»	P.96
4.2.4.2.8 MODÈLE « RELIEF»	P.96
4.2.4.2.9 MODÈLE « BRILLANT »	P.97
4.2.4.2.10 MODÈLE « CONTRASTE DE BRILLANT»	P.97
4.2.4.2.11 MODÈLE « COMPLEXITÉ DE LA FORME »	P.97
4.2.4.2.12 MODÈLE « LISIBILITÉ»	P.98
4.2.4.3 RADARS DES NOTES DU PANEL VS NOTES DES MODÈLES	P.108
4.3 CONCLUSIONS	P.110

CHAPITRE 05 IMPACT DU COUPLE MATIÈRE/GRAIN SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE SURFACE

5.1 L'ESPACE PRODUIT	P.114
5.1.1 COULEURS	P.114
5.1.1.1 ANALYSE DES COULEURS	P.114
5.1.1.1.1 INSTRUMENT DE MESURE	P.114
5.1.1.1.2 MESURES COLORIMETRIQUES	P.115
5.1.2 GRAINS	P.118
5.1.2.1 ANALYSE DU GRAIN	P.119
5.1.2.1.1 INSTRUMENT DE MESURE	P.119
5.1.2.1.2 MESURES RUGOSIMETRIQUES	P.119
5.1.3 MATIÈRES	P.120
5.1.3.1 ANALYSE DE LA MATIÈRE	P.121
5.1.3.1.1 TYPES D'ANALYSE	P.121
5.1.3.1.2 COMPOSITION DES MATIÈRES	P.121
5.1.4 PARAMÈTRES D'INJECTION	P.122
5.2 ANALYSE SENSORIELLE DE L'ESPACE PRODUIT	P.124
5.2.1 VALIDATION DE L'OUTIL : ÉCHANTILLONS NOIRS	P.124
5.2.2 BILAN SENSORIEL DE L'ESPACE PRODUIT	P.126
5.2.2.1 PERCEPTION EN FONCTION DES COULEURS	P.126
5.2.2.2 PERCEPTION DES MATIÈRES	P.128
5.3 IMPACT DE LA MISE EN FORME SUR LE BRILLANT	P.130
5.3.1 RETRAITS	P.130
5.3.2 IMPACT DE LA TOPOGRAPHIE DU GRAIN SUR LE BRILLANT	P.132
5.3.2.1 FRÉQUENCES DES PENTES	P.132
5.3.2.2 INTENSITÉS DES INDICATRICES	P.134
5.3.2.3 MISE EN RELATION ENTRE FRÉQUENCES DES PENTES ET INTENSITÉS DES INDICATRICES	P.134
5.3.3 IMPACT DES DÉFAUTS DE SURFACE DU GRAIN SUR LE BRILLANT	P.136
5.4 CONCLUSIONS	P.140

CHAPITRE 06 ENQUÊTE CLIENT SUR L'APPRÉCIATION DES MATÉRIAUX GRAINÉS DE LA PLANCHE DE BORD

6.1 OBJECTIFS ET DESCRIPTION DE L'ENQUÊTE CLIENT	P.145
6.1.1 OBJECTIF DE L'ENQUÊTE CLIENT	P.145
6.1.2 ESPACE PRODUIT	P.145
6.1.2.1 RÉDUCTION DES ÉCHANTILLONS : TEST TRIANGULAIRE	P.146
6.1.2.2 ÉCHANTILLONS DE L'ENQUÊTE CLIENT	P.147
6.1.3 PARTICIPANTS	P.148
6.1.4 MISE EN SITUATION	P.148
6.1.5 DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE	P.148
6.2 RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE CLIENT	P.149
6.2.1 APPRÉCIATION TACTILE	P.150
6.2.2 APPRÉCIATION VISUELLE	P.150
6.2.3 APPRÉCIATION VISIO-TACTILE	P.150
6.2.4 BILAN	P.152
6.2.5 QUALITÉ PERÇUE EN VISUEL	P.152
6.2.6 DÉTERMINATION DES GROUPES DE CLIENTS	P.154
6.3 ANALYSE LEXICALE	P.156
6.3.1 STRUCTURE DU CORPUS	P.158
6.3.2 FRÉQUENCES DES TERMES PAR MODALITÉ SENSORIELLE	P.160
6.3.3 MISE EN RELATION DES TERMES DES ÉCHANTILLONS NOIR EN APPRÉCIATION VISUELLE	P.162
6.3.4 FOCUS SUR LES FRÉQUENCES DES TERMES DES ÉCHANTILLONS NOIR EN APPRÉCIATION VISUELLE	P.162
6.3.5 MISE EN RELATION DES TERMES DES ÉCHANTILLONS ET DES NOTES D'APPRÉCIATION VISUELLES EN FONCTION DES GROUPES	P.164
6.3.6 MATRICE DE COOCCURRENCE, MATRICE MOT/ MOT	P.166
6.4 MISE EN RELATION ENTRE NOTES D'APPRÉCIATION ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES DES ÉCHANTILLONS NOIRS	P.168
6.5 CONCLUSIONS	P.170

CHAPITRE 07 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

7.1 LA PROBLÉMATIQUE DU GRAIN	P.175
7.2 LE SYSTÈME DE CARACTÉRISATION : COEUR DU PROJET	P.176
7.2.1 CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME	P.177
7.2.2 UN OUTIL PREDICTIF ET ROBUSTE	P.177
7.2.3 UN OUTIL ÉVOLUTIF ET INFORMATIF	P.178
7.3 PERSPECTIVES D'UTILISATION DU SYSTÈME DE CARACTÉRISATION	P.180
7.3.1 UN NOUVEL OUTIL DE CONCEPTION DES GRAINS.	P.180
7.3.2 UN NOUVEL OUTIL POUR L'INDUSTRIE	P.181
7.3.3 UN NOUVEL OUTIL POUR LA CONCEPTION DE L'IDENTITÉ DES NOUVEAUX MATÉRIAUX GRAINEES	P.181
7.3.4 DES VOIES D'AMÉLIORATION	P.182
RÉFÉRENCES	P.184

TABLE DES FIGURES

CHAPITRE 01

- Fig. 1.1** : Problématique de thèse: exploration de la construction d'un outil de caractérisation et prédiction de la perception visuelle des pièces grainées. p.2
- Fig. 1.2**: Structure de la thèse. p.5

CHAPITRE 02

- Fig. 2.1** : Étapes physiologiques de la perception d'après [5]. p.10
- Fig. 2.2** : Réponse client face au produit d'après [2]. p.12
- Fig. 2.3** : Modèle circulaire des émotions. Image originale de [17]. p.13
- Fig. 2.4** : Modèle tridimensionnel des émotions. Image originale de [18]. p.13
- Fig. 2.5** : Synthèse des méthodes, des outils et instruments de la métrologie sensorielle [30]. p.17
- Fig. 2.6**: Architecture de l'évaluation sensorielle. p.18
- Fig. 2.7**: Sensotact®. p.19
- Fig. 2.8**: Sphérolite. Image originale de [40]. p.21
- Fig. 2.9**: Morphologie du PP. Image originale de [40]. La peau: macromolécules orientés dans le sens de l'écoulement. Strate intermédiaire: sphérolites coniques issues du gradient thermique durant leur formation. Zone de coeur: sphérolites à haut taux de cristallinité. p.22
- Fig. 2.10**: Réflexion, absorption, réfraction et transmission d'un rayon incident. p.23
- Fig. 2.11** : Réflexions spéculaires, diffuses et mixtes d'un rayon incident. p.25
- Fig. 2.12** : Les matériaux dans l'automobile. p.28
- Fig. 2.13** : Les polymères dans l'automobile. p.28
- Fig. 2.14** : Composition d'un PP pour application automobile. p.29
- Fig. 2.15** : injection plastique d'une planche de bord. p.30
- Fig. 2.16** : Grainage chimique d'une empreinte pour injection plastique. p.32
- Fig. 2.17** : Grainage laser direct d'une empreinte pour injection plastique. p.33
- Fig. 2.18** : Synthèse des procédés de production d'une pièce grainée, exemple de la planche de bord. p.38

CHAPITRE 03

- Fig. 3.1** : Texture du bois coloré, textures de variations de transparences et couleurs, textures tridimensionnelles, texture de la peau d'un éléphant, texture d'une feuille. p.44
- Fig. 3.2** : a. grain Renault Mikado sur plaque injectée, b. peaux en PVC et TPO, c. grain fin sur plaque injectée. p.45
- Fig. 3.3** : Diamètre du cercle de confusion (en microns) en fonction de la distance d'observation (en centimètres). p.46
- Fig. 3.4** : Photos des échantillons (taille réelle des images est de 15mmx7mm). p.47
- Fig. 3.5** : Méthode du profil sensoriel. p.48
- Fig. 3.6** : Structure du tri des termes et déclinaison du grain. p.52
- Fig. 3.7** : Structure d'un grain p.53
- Fig. 3.8** : Analyse en Composantes Principales p.55
- Fig. 3.9** : Référentiel visuel des pièces grainées. p.58
- Fig. 3.10** : Etapes de l'utilisation du référentiel. p.60

CHAPITRE 04

Fig. 4.1 : Images de l'espace produit. La taille des images est de 15mmx7mm.	p.67
Fig. 4.2 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Netteté, (b.) Dimension et (c.) Relief.	p.70
Fig. 4.3 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Allongement, (b.) Angulosité et (b.) Complexité.	p.71
Fig. 4.4 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Occupation de l'espace, (b.) Densité et (c.) Organisation des éléments.	p.72
Fig. 4.5 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Brillant, (b.) Contraste de brillant et (c.) Lisibilité.	p.73
Fig. 4.6 : Radars des profils sensoriels de l'espace produit	p.77
Fig. 4.7 : Les 4 familles de radars selon les profils sensoriels des échantillons.	p.77
Fig. 4.8 : Graphe des corrélations entre descripteurs selon les notes du panel visuel.	p.79
Fig. 4.9 : Images des 3 catégories d'échantillons, représentées par 134, 112 et 128.	p.79
Fig. 4.10 : Paramètres des mesures du gonio-spectrophotomètre.	p.86
Fig. 4.11 : Acquisition des mesures du gonio-spectrophotomètre, protocole 2.	p.86
Fig. 4.12 : Traitement des images.	p.87
Fig. 4.13 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de la « netteté ».	p.89
Fig. 4.14 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de la « dimension des éléments ».	p.89
Fig. 4.15 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « allongement »	p.89
Fig. 4.16 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « angulosité des bords »	p.89
Fig. 4.17 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « occupation de l'espace »	p.89
Fig. 4.18 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de la « densité ».	p.89
Fig. 4.19 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « organisation ».	p.89
Fig. 4.20 : Grille du fichier xyz.	p.91
Fig. 4.21 : Traitement des images tridimensionnelles.	p.91
Fig. 4.22 : Graphique original de Katsube de la répartition des pentes en fonction de l'altitude [72].	p.91
Fig. 4.23 : Décomposition des intensités mesurées par le protocole 1. (MAX : intensité maximum du pic spéculaire ; FWHM : largeur à mi-hauteur ; DIFF SPEC et SAT : pourcentages du total de l'intensité détectée des secteurs angulaires diffusants, spéculaires et satinés)	p.92
Fig. 4.24 : Diagramme de Taylor [76](a), tableau de l'ANOVA (b) et distribution des observations et des données du modèle1(c). Le modèle 1 et les observations sont des données fictives à titre d'exemple.	p.94
Fig. 4.25 : Diagrammes de Taylor [76] des 12 modèles.	p.101
Fig. 4.26 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Netteté, (b.) Dimension et (c.) Allongement.	p.104
Fig. 4.27 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Angulosité, (b.) Occupation et (c.) Densité.	p.105
Fig. 4.28 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Organisation, (b.) Relief et (c.) Brillant.	p.106
Fig. 4.29 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Contraste de brillant, (b.) Complexité et (c.) Lisibilité.	p.107
Fig. 4.30 : Radars des notes du panel (en vert) et des prédictions instrumentales (en bleu).	p.109

CHAPITRE 05

Fig. 5.1 : Images de l'espace produit.	p.115
Fig. 5.2 : Coordonnées colorimétriques des échantillons en blanc ivoire.	p.117
Fig. 5.3 : Coordonnées colorimétriques des échantillons en beige alpaga.	p.117
Fig. 5.4 : Coordonnées colorimétriques des échantillons en noir titane.	p.117
Fig. 5.5 : Cartes d'altitude des surfaces des grains Romalien, Mikado, 15/40 et Monde (échantillons noirs TRC).	p.118
Fig. 5.6 : Graphiques de Katsube [72] des pentes des facettes en fonction de l'altitude des grains Romalien, Mikado, 15/40 et Monde (échantillon noirs). Les couleurs des courbes correspondent aux matières : TKG en rouge, TRC en bleu, PPC en noir.	p.119
Fig. 5.7 : Dimensions et géométrie de la plaque injectée.	p.123
Fig. 5.8 : Vitesse d'injection en fonction du grain et de la matière pour les échantillons noirs.	p.123
Fig. 5.9 : Radars des notes du panel (en vert) et des prédictions instrumentales (en bleu).	p.125
Fig. 5.10 : Diagramme de Taylor [76] du modèle prédit par rapport aux notes sensorielles. Clés de lecture du diagramme à p. 94.	p.125
Fig. 5.11 : Radars des notes du panel en fonction des couleurs : en gris les échantillons noirs, en marron les échantillons beiges et en ivoire les échantillons blancs.	p.127
Fig. 5.12 : Radars des notes du panel en fonction des matières : en rouge les échantillons en TKG, en bleu les échantillons en TRC et en gris les échantillons en PPC.	p.129
Fig. 5.13 : Dimensions longitudinales des zones grainées des échantillons.	p.131
Fig. 5.14 : Ratios des retraits longitudinaux.	p.131
Fig. 5.15 : Volume du grain des échantillons en fonction des matières.	p.131
Fig. 5.16 : Volume du grain des échantillons en fonction des grains.	p.131
Fig. 5.17 : Histogrammes des pentes des échantillons, groupées par grain a) Romalien, b) Mikado, c) 15/40 et d) Monde. Chaque graphique présente les trois matières superposées, le TKG en rouge, le TRC en bleu et le PPC en gris.	p.133
Fig. 5.18 : Intensités en condition spéculaire pour chaque orientation de normale aux facettes, groupées par grain a) Romalien, b) Mikado, c) 15/40 et d) Monde. Chaque graphique présente les trois matières superposées, le TKG en rouge, le TRC en bleu et le PPC en gris.	p.133
Fig. 5.19 : Intensités maximales des indicatrices d'intensité réfléchie en fonction des fréquences maximales des pentes des facettes. Les lignes obliques séparent les champs des grains (de gauche à droite) et des matières (de haut en bas).	p.135
Fig. 5.20 : Largeur à mi-hauteur (FWMH) des indicatrices d'intensité réfléchie en fonction de celle de l'histogramme des inclinaisons de facettes. Les lignes obliques séparent les champs des grains (de gauche à droite) et des matières (de haut en bas).	p.135
Fig. 5.21 : Images par MEB, modalité SE, grossissement x100 des surfaces des échantillons noirs. (La dimension horizontale réelle de la zone photographiée mesure 1,5mm).	p.138
Fig. 5.22 : Images par MEB, modalité BSE, grossissement x100 des surfaces des échantillons noirs. (La dimension horizontale réelle de la zone photographiée mesure 1,5mm).	p.138
Fig. 5.23 : Images par MEB, modalité BSE, grossissement x1000 des surfaces des échantillons noirs. (La dimension horizontale réelle de la zone photographiée mesure 0,15mm).	p.139
Fig. 5.24 : Images par MEB, modalité SE et BSE des surfaces des échantillons noirs. Grossissement x100 pour les TKG (première ligne) x 200 pour les TRC (deuxième ligne) et x 600 pour les PPC (troisième ligne). (Les dimensions horizontales réelles des zones photographiées mesurent 1,5mm, 0,75mm et 0,25mm).	p.139

CHAPITRE 06

Fig. 6.1 : Géométrie des inserts galbés	p.146
Fig. 6.2 : Images de l'espace produit	p.147
Fig. 6.3 : Répartition des âges des participants de l'enquête.	p.149
Fig. 6.4 : Répartition des âges des véhicules des participants de l'enquête.	p.149
Fig. 6.5 : Moyennes des notes d'appréciation tactile des échantillons. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.151
Fig. 6.6 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle des échantillons noirs et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.151
Fig. 6.7 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle des échantillons beiges et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.151
Fig. 6.8 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle des échantillons blancs. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.151
Fig. 6.9 : Moyennes des notes d'appréciation visio-tactile des échantillons noirs et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.153
Fig. 6.10 : Moyennes des notes d'appréciation visio-tactile des échantillons beiges et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.153
Fig. 6.11 : Moyennes des notes d'appréciation visio-tactile des échantillons blancs et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.	p.153
Fig. 6.12 : bilan des appréciations de l'enquête client.	p.153
Fig. 6.13 : Pourcentages des réponses des évaluations de la qualité perçue pour des échantillons noirs. En bleu très bonne et bonne qualité perçue, en noir ni bonne ni mauvaise qualité perçue, en rouge mauvaise et très mauvaise qualité perçue.	p.155
Fig. 6.14 : Pourcentages des réponses des évaluations de la qualité perçue pour des échantillons beiges. En bleu très bonne et bonne qualité perçue, en beige ni bonne ni mauvaise qualité perçue, en rouge mauvaise et très mauvaise qualité perçue.	p.155
Fig. 6.15 : Pourcentages des réponses des évaluations de la qualité perçue pour des échantillons blancs. En bleu très bonne et bonne qualité perçue, en blanc ni bonne ni mauvaise qualité perçue, en rouge mauvaise et très mauvaise qualité perçue.	p.155
Fig. 6.16 : Appréciation vs qualité perçue. Résultats d'appréciation visuelle en x et en y les niveaux de qualité visuelle. (Code couleur : TKG en rouge, TRC en bleu, PPC en gris; code icônes : 15/40 représenté par un petit carré, Monde représenté par un grand carré, Mikado représenté par un triangle)	p.155
Fig. 6.17 : Répartitions des âges des deux groupes	p.157
Fig. 6.18 : Appréciations visuelles des deux groupes G1 en bleu, G2 en rouge par couleurs. Pour chaque couleur les grains sont en ligne et les matières en colonne	p.157
Fig. 6.19 : Boîtes à moustache de l'appréciation visuelle des grains des groupes G1 en bleu et G2 en rouge	p.157
Fig. 6.20 : Boîtes à moustache de l'appréciation visuelle des couleurs des groupes G1 en bleu et G2 en rouge	p.157
Fig. 6.21 : Structure du corpus lexical. Partie tactile (T) en jaune, visuelle d'appréciation (VA) en azur, de qualité perçue (VQ) en bleu et visio-tactile (VT) en vert.	p.159
Fig. 6.22 : Pourcentages des fréquences d'emploi et de la richesse de vocabulaire du corpus lexical. Partie tactile (T) en jaune, visuelle d'appréciation (VA) en azur, de qualité perçue (VQ) en bleu et visio-tactile (VT) en vert.	

Fig. 6.23 : Pourcentages des fréquences d'emploi en positif, négatif et neutre par partie de l'enquête. Partie tactile (T) en jaune, visuelle d'appréciation (VA) en azur, de qualité perçue (VQ) en bleu et visio-tactile (VT) en vert.	p.159
Fig. 6.24 : Fréquences des termes du corpus total.	p.159
Fig. 6.25 : Fréquences des termes du corpus épuré.	p.159
Fig. 6.26 : Fréquences des termes d'appréciation en tactile.	p.161
Fig. 6.27 : Fréquences des termes d'appréciation en visuel.	p.161
Fig. 6.28 : Fréquences des termes en visuel qualité perçue.	p.161
Fig. 6.29 : Fréquences des termes d'appréciation en visio-tactile.	p.161
Fig. 6.30 : Diagramme de dualité [99] des échantillons et des termes de l'enquête. Le grain Mikado est représenté par deux triangles qui forment un losange, le grain 15/40 par un carré de petite taille et le grain Monde par un carré de grande taille. Les couleurs des icônes correspondent aux couleurs des échantillons et les matières sont marquées à côté des icônes.	p.163
Fig. 6.31 : Histogrammes des fréquences des termes d'appréciation en visuel des échantillons noirs. En colonne les matières : TKG et PPC ; en ligne les grains : Mikado, 15/40 et Monde.	p.165
Fig. 6.32 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « plastique » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.	p.167
Fig. 6.34 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « salissant » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.	p.167
Fig. 6.33 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « géométrique » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.	p.167
Fig. 6.35 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « vieillot » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.	p.167
Fig. 6.36 : Prédiction du modèle issu de la régression sur les données «panel» (en y) par rapport aux évaluations de qualité visuelle (en x).	
 CHAPITRE 07	 p.171
 Fig. 7.1 : Positionnement multidimensionnel (MDS) des échantillons de la deuxième collection (en vert le panel visuel et en bleu le panel instrumental).	 p.179
Fig. 7.2 : Positionnement multidimensionnel (MDS) des échantillons de la deuxième et troisième collection (notes du panel visuel).	p.179

TABLE DES TABLEAUX

CHAPITRE 03

Tableau 3.1 : Matières et procédé des échantillons (le chiffre représente l'effectif).	p.47
Tableau 3.2 : Liste des termes générés triés par types et par fréquence d'apparition.	p.51
Tableau 3.3 : Notations pour le classement des descripteurs par ordre de pertinence selon la moyenne géométrique M. (I = intensité, F = fréquence).	p.54
Tableau 3.4 : Contributions des variables (%) :	p.55

CHAPITRE 04

Tableau 4.1 : Codes, technologies et familles de l'espace produit.	p.66
Tableau 4.2 : Paramètres mesurés, contributions, transformations éventuelles et équations des modèles de prédiction des notes sensorielles. Les coefficients des équations sont présentés avec trois chiffres significatifs.	p.99

CHAPITRE 05

Tableau 5.1 : Espace produit.	p.114
Tableau 5.2 : ΔE et indices de couleurs des échantillons.	p.117
Tableau 5.3 : Extrait des fiches techniques des matières (données fournisseurs)[92][93].	p.120
Tableau 5.4 : Résultats des analyses sur les matières. Les données en italique indiquent la présence de traces des charges.	p.121
Tableau 5.5 : Paramètres d'injection de l'espace produit.	p.123

CHAPITRE 06

Tableau 6.1 : espace produit	p.146
Tableau 6.2 : caractéristiques des deux groupes	p.157
Tableau 6.3 : analyse des matrices de cooccurrence des termes des échantillons noirs	p.169
Tableau 6.4 : Corrélations entre notes d'appréciation et valeurs des descripteurs sensoriels des échantillons noirs.	p.169
Tableau 6.5 : Coefficients du modèle linéaire de l'ensemble des clients.	p.171
Tableau 6.6 : Coefficients du modèle linéaire du groupe1.	p.171
Tableau 6.7 : Coefficients du modèle linéaire du groupe2.	p.171

TABLE DES FONCTIONS

CHAPITRE 02

Fonction (1)
Fonction (2)
Fonction (3)

p.23
p.24
p.25

CHAPITRE 01 INTRODUCTION

1.1 PRÉAMBULE

La qualité d'un produit se perçoit par sa forme, par sa couleur, par son ergonomie, par le choix des matériaux employés ou encore par le détail de sa finition. L'ensemble des dimensions matérielles et immatérielles, ce qu'il symbolise et représente, son style et son histoire, participent à l'idée de qualité.

Les consommateurs sont sensibles à la Qualité Perçue, c'est-à-dire l'impression de qualité qui se dégage lorsqu'ils sont confrontés à un produit. Ils sont à la recherche de produits qui, en plus d'atteindre de hautes performances, se doivent d'être esthétiquement satisfaisants. La Qualité Perçue dépend du type de consommateur et de ses attentes, mais également des expériences esthétiques, cognitives et émotionnelles qu'il traverse lors de son interaction avec le produit. Cette Qualité Perçue représente une des caractéristiques des produits que les industriels souhaitent maîtriser.

Dans le monde de l'automobile, la Qualité Perçue passe par le soin apporté au design, aux finitions et par l'harmonie des pièces d'extérieur et d'intérieur. Ces dernières jouent un rôle important dans la perception globale de l'habitacle. Leur aspect n'est pas uniquement imposé par le choix du design et des matériaux employés, mais de plus en plus par l'impact du procédé de mise en forme. Afin de garantir une qualité au sens classique du terme, c'est-à-dire une bonne résistance mécanique et une durabilité dans le temps, ces pièces possèdent un cahier des charges technique. Traditionnellement ce dernier n'intègre pas de spécifications exhaustives sur des attentes esthétiques. Ceci est dû à l'absence d'outil de mesure normé ou de moyen de caractérisation de la perception visuelle de ces pièces. De ce fait, ce sont généralement des experts du design qui se chargent de valider leur aspect. De plus, le nombre croissant de matériaux et de technologies de production offre un grand choix d'aspects possibles, avec des prestations visuelles et tactiles différentes, qu'il est difficile de comparer.

Dans ce contexte, il est essentiel de pouvoir identifier et caractériser les différentes sensations générées par l'aspect des pièces et de créer un lien entre le choix du matériau et de sa mise en forme avec la Qualité perçue.

1.2 LE PROJET DE RECHERCHE

1.2.1 EXPOSITION DE LA PROBLÉMATIQUE ET DE L'OBJECTIF DE LA THÈSE

Les pièces d'aspect d'intérieur d'un véhicule, comme la planche de bord et les panneaux de porte, sont principalement des pièces plastiques avec une texture superficielle appelée le grain. Ce dernier est conçu pour cacher les défauts de la matière, pour protéger les pièces des rayures et pour leur donner un aspect fini. Les pièces grainées représentent la majeure partie des surfaces visibles de l'intérieur de l'habitacle et sont donc les premières contributrices à sa Qualité Perçue.

Les pièces grainées sont issues de différents procédés, avec différents matériaux et avec des différents rendus de surface en fonction du niveau de finition recherché. Leurs caractérisations sensorielles et leur contribution à la Qualité Perçue sont sujets à plusieurs questions encore en suspens : Comment percevons-nous les pièces grainées ? Quelles sont les caractéristiques de la surface qui nous relie à la notion de qualité ? Comment mesurer cette qualité ?

Dans ce travail de thèse nous allons nous concentrer sur la perception des pièces grainées issues de l'injection de polypropylène. Ce couple matériau/procédé représente le couple le plus employé dans l'automobile, principalement dans les véhicules d'entrée de gamme. L'ensemble des questions sur la perception des pièces grainées peut être synthétisé dans une question majeure qui nous a servi de problématique de base pour ce projet :

Quel est l'impact du couple grain/matériau des pièces grainées issues de l'injection de polypropylène sur les caractéristiques de la surface et sur la Qualité Perçue?

Ce travail de thèse se propose d'explorer la construction d'outils pour la caractérisation et la prédiction de la perception visuelle des pièces grainées (fig. 1.1).

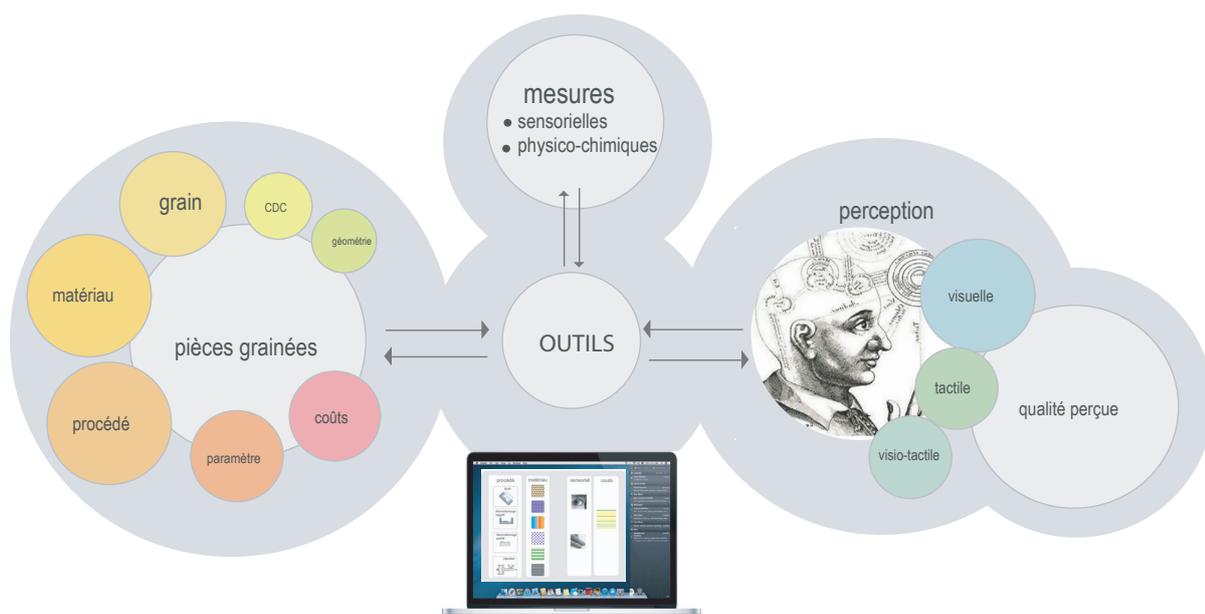


Fig. 1.1 : Problématique de thèse: exploration de la construction d'un outil de caractérisation et prédiction de la perception visuelle des pièces grainées.

Pour atteindre cet objectif, 4 questions seront étudiées :

1. Comment «perçoit-on» les surfaces grainées ?
2. Comment peut-on caractériser qualitativement et quantitativement la perception de surfaces grainées ?
3. Quel est l'impact du couple grain/matériau et des paramètres du procédé de mise en forme sur les caractéristiques de la surface ?
4. Quel est l'impact du couple grain/matériau sur la perception de qualité ?

1.2.2 LES ENJEUX INDUSTRIELS ET SCIENTIFIQUES

D'un point de vue industriel, l'enjeu réside dans la caractérisation des pièces en fonction du choix du couple grain/matériau dans le but de prédire la Qualité Perçue et de mieux concevoir les nouvelles pièces. Pour cela, nous utiliserons d'un côté des outils de l'analyse sensorielle pour organiser et décrire l'aspect visuel des pièces grainées et de l'autre côté nous allons regarder la caractérisation physico-chimique de la surface des matériaux.

Du point de vue scientifique, l'intérêt est tout d'abord méthodologique et réside dans le recensement, l'accessibilité, la synthèse et la mise en relation des données sensorielles, psychophysiques et physico-chimiques des surfaces des échantillons. Ce sont des enjeux majeurs car ils constituent un pont entre perceptions sensorielles et les sciences des matériaux et procédés. La question du potentiel prédictif des techniques récentes d'analyse des données, et de leurs relations avec les approches de l'analyse sensorielle, est à la fois une question moderne dans son positionnement scientifique et porteuse en termes d'ingénierie des connaissances et des sensations.

1.2.3 CARACTÉRISTIQUES DES OUTILS DÉVELOPPÉS

Afin de quantifier l'impact des choix de conception sur la qualité perçue, il a fallu premièrement construire un **système de caractérisation** pour identifier ce qu'il faut mesurer et comment le faire. Ce système utilise des **échelles de mesure** (12 descripteurs d'un référentiel visuel) et repose sur des caractérisations sensorielles issues **d'outils de mesure** (un panel visuel et un panel instrumental). Un objectif intermédiaire est d'étalonner les mesures instrumentales sur des échelles de perception humaine afin qu'elles reflètent le comportement de perception visuelle de l'individu. Nous avons pris la décision de construire une maquette d'outil de caractérisation instrumentale qui soit :

- 1) paramétrique (pour s'adapter aux variations futures de notes sensorielles),
- 2) optimisable (en raffinant les méthodes d'évaluation de chaque descripteur),
- 3) empirique (c'est à dire basé sur les caractéristiques des données observées).

Ce travail est un travail exploratoire des perceptions des surfaces grainées et de leur mesure. Il ne prétend pas, à ce stade de développement, à l'universalité des solutions proposées.

Les outils de caractérisation sensorielle (du panel et instrumental) que nous avons développés utilisent 12 descripteurs de surface définis dans une première phase de ce travail. Certains de ces descripteurs sont spécifiques à la *fantaisie* du grain, c'est-à-dire à son design, d'autres à la qualité de

réalisation et du matériau employé. Ils permettent de mettre en évidence les variations de perception en fonction du choix du couple grain-matériaux et de les quantifier.

Le lien entre les caractérisations sensorielles et les caractéristiques physiques et chimiques des surfaces nous permettront d'évaluer l'impact du couple grain/matériau sur la perception. Enfin l'évaluation de l'appréciation des surfaces par des clients permettra de comprendre les principaux facteurs entrant dans leur évaluation de qualité perçue.

1.3 STRUCTURE DE LA THÈSE

La structure de la thèse répond aux 4 questions de notre problématique. Elle propose un voyage par étapes qui part de la perception macroscopique des pièces étudiées, à leur compréhension, analyse et mesure, pour se plonger dans la surface de la matière à des échelles mésoscopique et microscopique. La dernière étape vise à explorer l'appréciation des pièces par les clients et permet le lien avec leur qualité perçue. Les thématiques abordées seront réparties de la façon suivante :

CHAPITRE 02

L'état de l'art

Partant de la réponse du client face à un produit, on fera un état de l'art sur les théories et les outils issus de l'ingénierie anthropocentrée (perception, interprétation et qualité perçue des produits), pour ensuite nous concentrer sur l'aspect des matériaux. Cette analyse nous permettra de délimiter le domaine de la recherche.

CHAPITRE 03

Comment «perçoit-on» les surfaces grainées ?

Ce chapitre conduit à la **création d'un référentiel visuel** (produit de sortie du chapitre 03 comme indiqué dans la figure 1.2). Il est constitué d'un ensemble de **descripteurs**, c'est-à-dire des termes et des définitions qui permettent de décrire les surfaces grainées. Ce référentiel a été construit à partir d'une collection d'échantillons (1ère collection d'échantillons fig. 1.2 chapitre 03) qui représentent les différentes technologies, matériaux et designs de surface que l'on peut trouver à l'intérieur du véhicule.

CHAPITRE 04

Comment peut-on caractériser qualitativement et quantitativement la perception de surfaces grainées?

Ce chapitre présente la **caractérisation** d'une collection restreinte d'échantillons par un panel visuel à travers l'utilisation du référentiel visuel. Les échantillons de ce deuxième espace produit ont été choisis pour la représentativité de leurs surfaces (2ème collection d'échantillons fig. 1.2 chapitre 04). Ces échantillons permettront la mise en place d'un ensemble de **modèles de prédiction** des

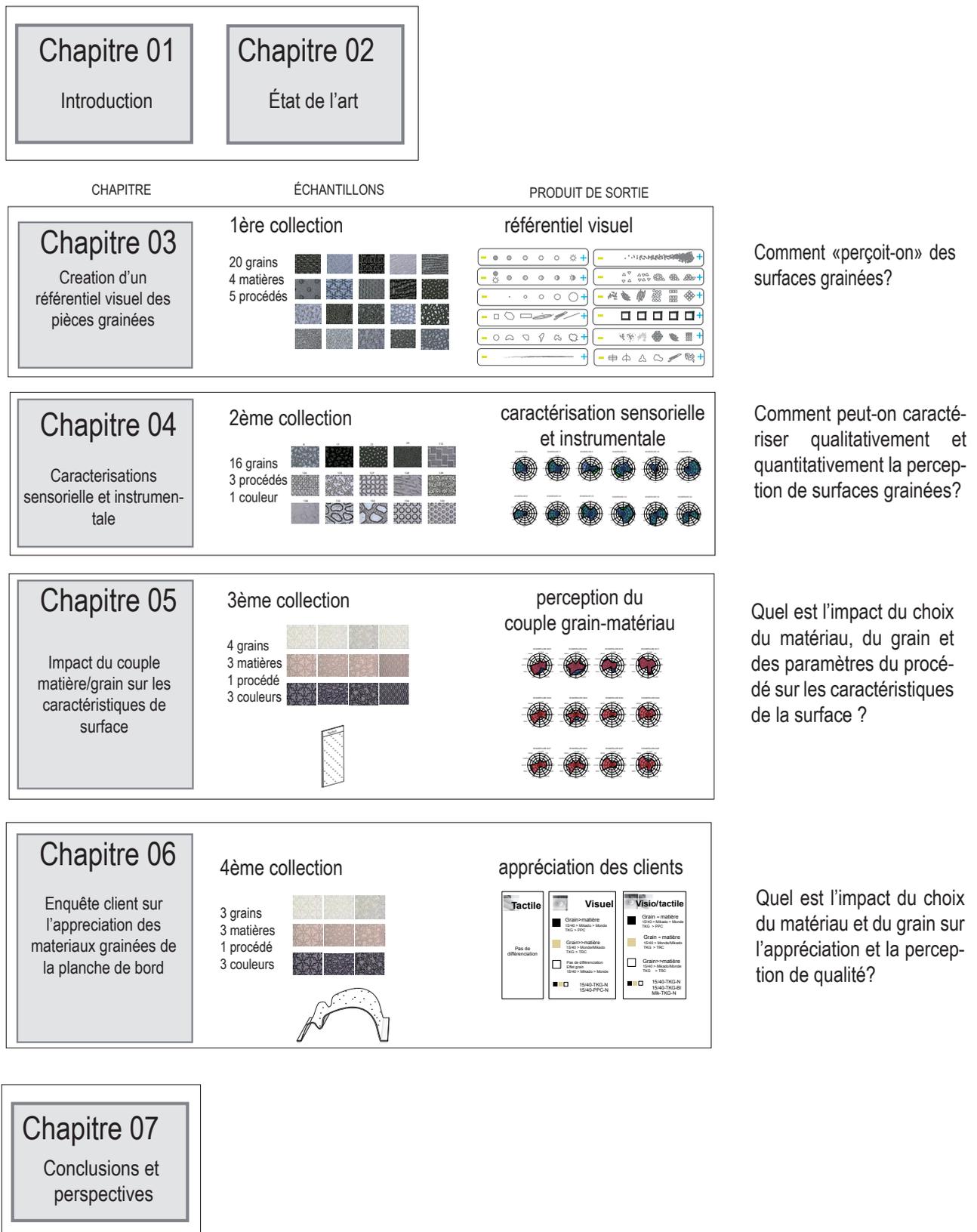


Fig. 1.2: Structure de la thèse.

descripteurs visuels. Les modèles de prédiction reposent sur les notes sensorielles et sur une reconstruction instrumentale pour définir le lien entre ce qui est perçu et ce qui est mesuré. L'ensemble des modèles de prédiction des descripteurs sensoriels se présente sous forme d'un **outil de caractérisation instrumentale** (produit de sortie fig. 1.2 chapitre 04).

CHAPITRE 05

Quel est l'impact du couple grain/matériau et des paramètres du procédé de mise en forme sur les caractéristiques de la surface ?

Ce chapitre s'intéresse aux **relations entre perception visuelle et caractéristiques de surface**. Il explore la troisième question qui porte sur l'impact du choix du couple grain-matière et de sa mise en forme sur la perception visuelle. L'espace produit de ce chapitre est composé de 12 échantillons (échantillons fig. 1.2 chapitre 05). Il constitue un nouveau sous-groupe de l'univers des pièces grainées, issu uniquement du procédé d'injection. Il a été spécifiquement réalisé pour l'étude en utilisant 3 différentes matières en polypropylène commercial, contre-typées en 3 couleurs différentes et injectées dans 4 moules avec des grains différents (c'est-à-dire 4 grains). Les échantillons de cet espace produit sont également utilisés pour valider l'outil de caractérisation.

CHAPITRE 06

Quel est l'impact du couple grain/matériau sur la perception de qualité ?

Ce dernier chapitre présente une **enquête client** sur les appréciations tactile, visuelle et visio-tactile des pièces pour planche de bord, que nous avons réalisée. Les échantillons représentent un espace réduit de l'espace produit du chapitre 05 et compte donc 3 des 4 grains du chapitre 05, les mêmes matières et les mêmes couleurs (échantillons fig. 1.2 chapitre 06). Le but est de relier les caractéristiques perçues à l'impression de qualité qui en découle. L'enquête clients recueille les résultats de 60 participants. Le comportement des clients permet de différencier deux groupes, avec des goûts et des attentes différentes. Les commentaires recueillis nous permettent de faire une analyse lexicale et de comprendre les motivations des appréciations des échantillons.

CHAPITRE 07

Conclusions et perspectives.

Ce dernier chapitre présente **un bilan** du travail et propose **des perspectives** pour des développements futurs.

CHAPITRE 02 ÉTAT DE L'ART

Le chapitre de l'état de l'art est consacré aux réponses d'un client face à un produit, à une analyse des différentes approches qui traitent de l'aspect des matériaux et à la présentation des matériaux et procédés, qui seront étudiés dans cette thèse.

La première partie (2.1) s'intéresse aux réponses sensorielles, cognitives et affectives suscitées par un produit et à l'impression de qualité qui en découle. La démarche vers la Qualité Perçue dans le monde automobile met l'accent sur le contrôle de la perception globale du produit. La Qualité Perçue dépend d'un côté de l'opinion du client et de ses attentes, donc de l'image de marque et de l'autre côté de la qualité de l'interaction sensorielle avec le produit. Pour ce qui concerne l'intérieur de véhicule, la qualité perçue passe principalement par le choix et l'harmonie des matériaux et par la qualité de leurs surfaces.

L'aspect des matériaux est présenté dans la partie 2.2. C'est un enjeu crucial dans la construction de la qualité perçue. Il peut être analysé d'un côté par une approche sensorielle, où l'on s'intéresse à la caractérisation sensorielle des surfaces des matériaux et de l'autre par une approche physico-chimique qui analyse les phénomènes physiques et chimiques responsables des perceptions sensorielles. Ces deux approches et leur mise en relation entrent dans le domaine de l'ingénierie de l'aspect. Nous allons donc nous intéresser aux outils de la métrologie sensorielle et aux propriétés optiques des pièces en polypropylène injecté, qui représentent l'objet central de cette thèse.

La partie 2.3 présente les matériaux, les procédés et les caractéristiques sensorielles des pièces d'intérieur de véhicule. L'accent est mis sur les pièces grainées visibles de l'habitacle, principalement les pièces de la planche de bord et des panneaux de porte. Ces pièces sont en matière plastique et possèdent des caractéristiques différentes en fonction du choix du procédé et des matériaux employés. La majeure partie de ces pièces est en polypropylène et produite par injection. Ce couple matériau/procédé permet d'obtenir des pièces d'aspect, colorées en masse et grainées, à bas coût. L'injection plastique de polypropylène est parmi les technologies les plus employées et est choisie comme technologie de référence dans ce travail de thèse.

2.1 RÉPONSES CLIENT FACE AU PRODUIT

2.1.1 SENSATION ET PERCEPTION

La première réponse face à un objet ou à un produit, se manifeste par l'interaction entre les propriétés de forme, couleur, texture etc. et le système sensoriel de l'homme. Les surfaces des matériaux offrent des informations que l'on traduit en perceptions visuelles. Ces modalités de l'aspect sont responsables de l'identité des produits, de leur discrimination et de leur perception [1]. Les sens recueillent les informations qui se réfèrent aux caractéristiques perceptibles du produit et élaborent dans le système perceptif un ensemble de réponses sensorielles, cognitives, affectives et comportementales [2].

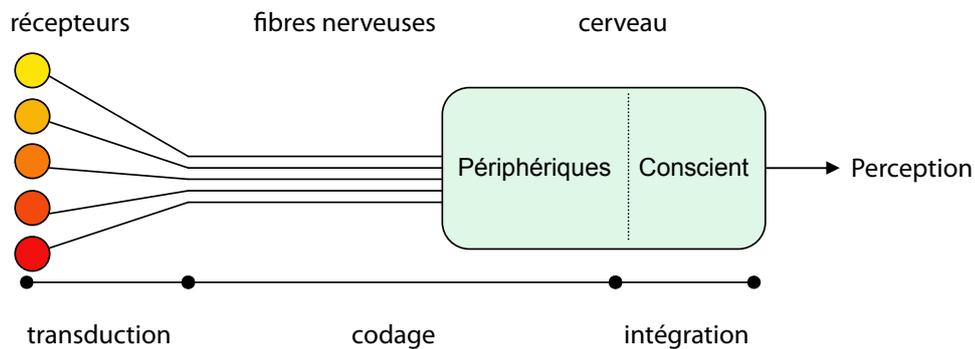


Fig. 2.1 : Étapes physiologiques de la perception d'après [5].

Dès Aristote, penseurs et philosophes soutiennent que la connaissance et la conscience de ce qui nous entoure naissent exclusivement par nos sens qui représentent l'ouverture vers le monde [2]. À l'origine de la **sensation** se situe le système sensoriel à travers lequel l'homme est capable de saisir les énergies dans lesquelles il est immergé. Le système sensoriel est la combinaison de connexions de neurones, qui grâce à la succession séquentielle des synapses, relie un récepteur spécifique aux centres corticaux. Tout débute avec la sensation, qui peut être définie comme l'acte de sentir, c'est-à-dire le fait de recevoir des informations par les sens. C'est un changement de l'état de notre corps causé par son contact avec l'environnement, le premier résultat d'un stimulus, donc une information brute [4].

La première étape (Fig. 2.1) du processus de génération de la sensation se déroule au sein des récepteurs des organes sensoriels. Le stimulus, qui peut être de nature lumineuse, thermique, mécanique, chimique, etc., excite des récepteurs spécifiques, qui le convertissent en impulsions électriques ; c'est la **transduction** (Fig. 2.1). Les différents récepteurs sensoriels sont spécialisés dans l'enregistrement de stimuli spécifiques (par exemple les récepteurs auditifs perçoivent les ondes sonores) et ce, dans un seuil de détection donné (l'homme ne perçoit pas les ultrasons). Après être traduit en signal électrique, le stimulus est transmis à travers les voies nerveuses vers les noyaux médullaires puis dans le cerveau, aux aires corticales primaires, spécifiques à chaque modalité sensorielle. C'est le **codage** (Fig. 2.1). Dans le cortex cérébral, les neurones sensibles aux différents stimuli s'activent ; leur fonction est de transformer ces stimuli en sensations. La sensation est donc un premier résultat physiologique d'un stimulus acquis à travers les organes des sens. Elle fait référence à une réponse immédiate et relativement peu élaborée du stimulus. Les informations relevées par les organes de sens sont alors **intégrées** par le cerveau, analysées au moyen de l'intelligence et de la mémoire, donnant lieu à une réponse sensorielle: la **perception** (Fig. 2.1).

Contrairement à la sensation, la perception a un caractère actif. La personne qui perçoit, analyse les informations afin de leur donner un sens. De cette façon, la perception est configurée comme un mécanisme de sélection des sensations et est toujours en quelque sorte une projection d'intentions sur les sensations [4]. La perception est le premier niveau d'élaboration cognitive des informations qui

proviennent de l'extérieur. On peut donc parler d'activité contrôlée par la personne qui impose ses filtres dans l'analyse. « [...] *Le cerveau compare, ordonne et classe les informations sensorielles. C'est à l'issue de cette étape que le processus de perception, jusqu'alors inconscient, bascule dans le champ de la conscience. Le cerveau donne une réponse globale aux stimuli, réponse à la fois sensorielle et affective.* » [5]

La perception est la capacité d'organiser les sensations en informations utiles ; c'est le processus qui permet au sujet de détecter, connaître et interpréter l'environnement. Les informations afférentes, qui partent des récepteurs, sont confrontées avec celles efférentes, qui partent du cerveau, pour donner lieu à une compréhension de l'information sensorielle. Les scientifiques s'accordent sur le fait qu'une grande partie des stimuli bruts, non organisés, est corrigée simultanément et automatiquement par le cerveau en expériences utiles. Le cerveau traduit en forme complexe des stimuli simples quand, par exemple, il permet de percevoir le mouvement à partir d'images statiques d'un film. Il compense par le moyen d'expériences antérieures, la discontinuité sensorielle nous permettant ainsi de garder une cohérence perceptive par rapport à l'environnement, qui serait autrement perçu comme chaotique [6].

Ainsi, les premières étapes d'élaboration dérivent des informations sensorielles recueillies par les sens. Arrive premièrement la sensation, c'est-à-dire la prise d'information traitée par une structure réceptive qui transforme l'énergie par transduction et codage en message nerveux. La deuxième phase du processus est la perception, l'intégration de l'information et l'attribution d'une signification au stimulus.

La sensation est donc une pré-condition nécessaire mais non suffisante à la perception, sans stimulus il n'est pas possible de parvenir à une perception, mais cette dernière résulte d'une activité cérébrale. L'organisation des stimuli sensoriels bruts dans une expérience signifiante implique un ensemble d'aptitudes mentales qui permettent de donner un sens à ce qui est détecté par les systèmes sensoriels. La perception sensorielle est à l'origine de la réponse client ; sensations et perceptions sont les premières étapes des informations extraites de ce qui nous entoure, réponses encore privées de jugement.

2.1.2 RÉPONSE COGNITIVE

La **réponse cognitive** fait référence à l'interprétation du client des perceptions issues du produit. Selon le modèle de Crilly et al. [2](Fig. 2.2), basé sur les études de Crozier, Cupchik, Lewalski, Baxter et Norman [7][8][9][10][11], la réponse cognitive est la première phase de la **réponse client** qui inclut également une réponse affective et comportementale (Fig. 2.2).

Le terme réponse cognitive fait référence à l'interprétation par l'observateur des attributs sensoriels du produit, attributs objectifs qui transmettent des significations qui n'appartiennent pas à l'objet en soit, mais qui sont données par l'utilisateur en fonction de son bagage culturel, de son expérience, de ses souvenirs et de son vécu.

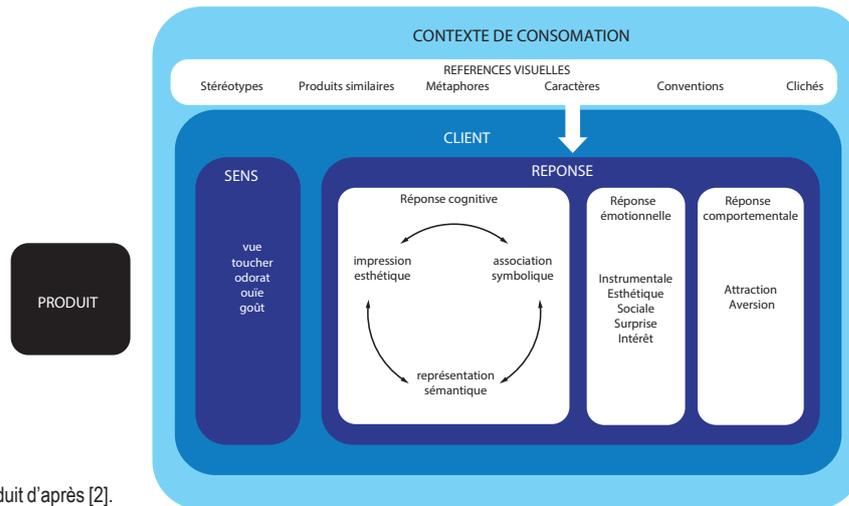


Fig. 2.2: Réponse client face au produit d'après [2].

Elle se divise en trois catégories (Fig. 2.2). :

- L'impression esthétique,
- La représentation sémantique,
- Une association symbolique.

L'impression esthétique correspond à la capacité d'un objet à satisfaire nos sens et fait référence aux caractéristiques tangibles de l'objet perceptibles par nos sens. **L'interprétation sémantique** renvoie à la capacité d'un objet à communiquer un message qui puisse être interprété par la personne. En particulier, ce message concerne l'interaction homme-objet, spécifiquement dans sa phase d'usage et renvoie à la fonction du produit, de ses qualités et de ses performances. **L'association symbolique** est la perception de ce que le produit dit de son possesseur ou de son utilisateur, c'est-à-dire les significations personnelle et sociale rattachées au produit

Les éléments de la réponse cognitive ne sont pas présentés comme des qualités objectives du produit. Même si le langage courant le permet, il n'est pas exact de qualifier un produit d'esthétique, d'avoir des attributs sémantiques ou de posséder des qualités symboliques. Ces caractéristiques n'appartiennent pas au produit, ce sont des classifications des différents aspects issus à la fois de la perception des stimuli tangibles du produit et du savoir préexistant du client.

Ainsi, une fois le stimulus perçu et la réponse cognitive activée, une réponse émotionnelle émerge face à un produit. Demirbilek et Sener [12] définissent l'émotion comme une partie de la réponse psychologique du consommateur au contenu sémiotique du produit. Cette réponse émotionnelle, ou réponse affective, dérive donc de la signification que l'on donne au produit. Les réponses affective et cognitive sont donc des systèmes d'analyse d'informations, où le système cognitif interprète la réalité et le système affectif la juge.

2.1.3 RÉPONSE ÉMOTIONNELLE

La racine étymologique du terme **émotion** dérive du latin «*motio*» et renvoie au mouvement et à l'activité. En effet, toute émotion conduit implicitement à une tendance à agir, toutes les émotions sont essentiellement des incitations à faire, en fait des plans d'action que l'évolution nous a fournis pour gérer rapidement les péripéties de la vie. Les définitions du terme émotion que l'on trouve en

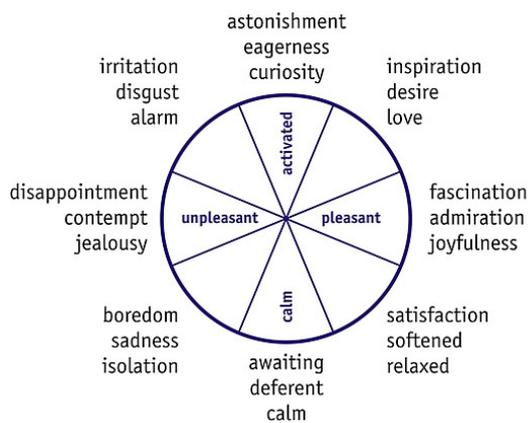


Fig. 2.3: Modèle circulaire des émotions. Image originale de [17].

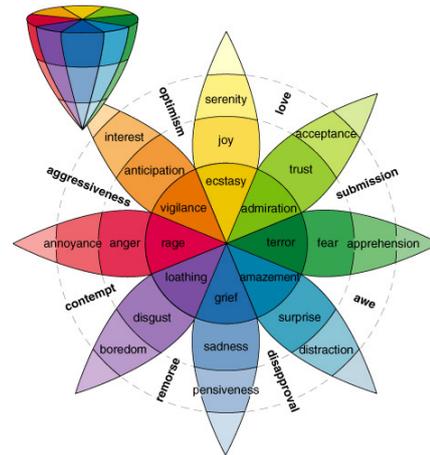


Fig. 2.4 : Modèle tridimensionnel des émotions. Image originale de [18].

littérature sont diverses ; plus de 90 définitions ont été proposées au cours du vingtième siècle [13]. En psychologie, le terme *émotion* ou état affectif, est généralement utilisé pour décrire tous les types d'expériences subjectives qui surgissent, c'est-à-dire tout type d'expérience qui implique une bonne ou mauvaise perception, agréable ou désagréable.

L'émotion n'est pas uniquement un état affectif et sentimental, mais une réaction qui naît de l'interprétation de stimuli et provoque des changements à trois différents niveaux qui touchent les sphères physiologique, psychologique et comportementale. Dans cette chaîne d'événements apparaît premièrement la composante cognitive, puis émotionnelle et enfin comportementale. Toutefois, cette suite temporelle n'est pas toujours aussi linéaire : «*Emotions are not simply linear events, but rather are feedback processes*» [13].

En psychologie comportementale, le degré d'attraction ou d'aversion d'un individu pour un objet ou un événement est traditionnellement vu comme une dimension bipolaire [14] [15] [16] . Russell [17] [17] propose une représentation de l'état affectif en combinant la dimension affective avec l'intensité du stimulus physiologique. L'émotion ressentie est un mélange de ces deux dimensions, représenté par une position dans un diagramme circulaire (Fig. 2.3). L'axe horizontal représente la typologie de l'émotion (de désagréable à agréable) et l'axe vertical représente l'excitation (du calme à l'excitation).

Plutchik [18] propose une synthèse des théories précédentes à travers un modèle tridimensionnel (Fig. 2.4) qui décrit les relations entre les types d'émotion. La dimension verticale du cône représente l'intensité de l'émotion et le cercle représente le degré de similitude entre les émotions. Les huit secteurs indiquent les huit dimensions primaires de l'émotion définies par quatre paires d'opposés. Dans le modèle éclaté, les émotions placées dans les espaces intermédiaires sont des dyades d'émotions primaires, mélange de deux émotions primaires. Les diverses positions sur la structure représentent les réactions affectives qui peuvent être expérimentées.

Il existe de très nombreuses théories sur les émotions en fonction du point de vue adopté. Les études de Desmet et Hekkert [1][19][20] présentent une vision très industrielle de l'émotion et s'intéressent aux émotions générées par un produit.

Face à un produit, la naissance de l'émotion nécessite trois éléments [19]:

- Le stimulus c'est-à-dire le produit (product),
- L'intérêt (concern),
- L'évaluation (appraisal).

Ainsi, l'émotion émerge de l'évaluation d'un événement ou d'une situation comme potentiellement bénéfique ou nocive. Si l'interprétation personnelle d'un stimulus, comme d'un produit, correspond aux intérêts de la personne, elle générera une émotion positive. Dans le cas contraire, nous aurons une émotion négative.

Il est important de souligner qu'à l'intérieur de la réponse de l'individu, les sphères cognitives et affectives s'influencent. L'émotion émerge de l'interprétation du produit au niveau cognitif. De même, l'état émotionnel de la personne peut provoquer différentes interprétations pour un même stimulus. Norman [11] affirme ainsi que les objets plaisants fonctionnent mieux, justement parce que les émotions positives issues de l'interaction avec le produit, apaisent les sens et sont capables d'activer des neurotransmetteurs chimiques qui modifient nos paramètres cognitifs, en augmentant nos capacités d'apprentissage et notre créativité.

Pour conclure, il existe différents modèles pour décrire les différentes réponses de l'homme face à un produit. Certaines recherches concernent la réponse sensorielle, celle cognitive ou encore celle émotionnelle. Ce qui est partagé par l'ensemble de ces théories et de ces descriptions est la volonté de représenter les réponses clients pour une compréhension des interactions homme-produit. Le but est la création d'outils qui puissent agir sur l'aspect des produits et sur leur qualité perçue.

2.1.4 LA QUALITÉ PERÇUE DANS LE MONDE AUTOMOBILE

L'esthétique d'un produit, sa forme, sa couleur, son ergonomie, ou encore le détail de sa finition sont interprétés comme des indices de sa qualité. Toutes ses dimensions matérielles, ainsi que ses dimensions immatérielles, ce qu'il symbolise ou représente, son style ou son histoire, participent à l'idée de qualité, que l'on perçoit [21].

Cette **Qualité Perçue** est donc l'impression globale qu'un client a d'un produit, une impression qui se construit par l'analyse des détails mais également par la vision d'ensemble. Elle est le résultat des perceptions immédiates, rationnelles et subjectives que le client ressent en présence d'un produit, l'avis que le client se construit par rapport à ses attentes, ses opinions et ses sensations. Ainsi, Giordano affirme que *«la qualité perçue est constituée [...] de toutes les «qualités» perçues par le client. C'est l'ensemble des impressions sensibles et sensorielles, ainsi que des indices qui séduisent et attirent dès le premier regard, interprétés par le client comme promesse de qualité lui donnant confiance, et qui le satisfont à l'utilisation.»* [22]

Cette qualité perçue dépend donc des caractéristiques perceptibles du produit, comme le soin des finitions, la présence de prestations technologiques, le choix des matériaux, etc. Ces caractéristiques du produit sont interprétées par le client en fonction de ses filtres. *«La qualité perçue est une notion qui n'est pas uniquement une propriété du produit/service mais qui dépend aussi de celui qui va l'apprécier.»* [22]

La qualité perçue est construite par les relations sensorielles et affectives à l'objet, mais porte aussi

sur un jugement rationnel. La cohérence entre la promesse de qualité et la qualité intrinsèque, ainsi que les prestations fonctionnelles contribuent à la création de la qualité perçue. Elle repose donc sur les caractéristiques de qualité traditionnelle, et se propose de véhiculer cette notion de qualité au-delà de la prestation. Aujourd'hui on ne veut pas d'une qualité supposée, contractuelle ou véhiculée par une marque, on veut la voir, la toucher, la sentir et la percevoir. *«L'offre de qualité s'est faite, au début par la robustesse, le durabilité, la fiabilité et la technologie. Elle est devenue ensuite une qualité donnant un bon rapport qualité/prix. Aujourd'hui elle concerne aussi bien le plaisir et la sensorialité que la valeur d'usage.»*[22]

Dans le monde de l'automobile, la qualité perçue est un sujet délicat et déterminant pour la réussite d'un produit. Dans ce secteur, les constructeurs américains et européens, qui ont connu une forte crise dès les années 2000 et une forte concurrence des pays émergents, ont dû miser sur une qualité visible de leurs produits. *«La notion de qualité perçue est apparue dans le secteur automobile en 2000. Elle met en avant le soin apporté à la conception et réalisation, une exigence accrue accordée aux détails. Facteur clé de la décision d'achat [...] (elle) permet de fidéliser un client devenu expert. Des études ont démontré que le client avait développé une perception organisée et fine de la voiture qu'il parcourt du regard suivant une lecture jalonnée de points de vigilance [...] l'harmonie d'ensemble est déterminante, il faut surtout éviter la fausse note.»*[26]

Chez Renault, de nombreuses études ont été menées pour définir les critères influant sur la perception de la qualité des véhicules par le client, ainsi que sur sa façon d'évaluer un véhicule. Selon ces études, les principaux points d'évaluation de la qualité perçue sont :

Pour l'extérieur du véhicule:

- Design et impression de robustesse,
- Jeux et affleurement,
- Qualité de la peinture carrosserie.

Pour l'intérieur :

- Harmonie des matériaux,
- Toucher des pièces,
- Choix des grains et textures

La maîtrise de l'homogénéité de la qualité perçue dans l'ensemble du véhicule et la cohérence des pièces sont fondamentales. Ainsi, chez Renault, la qualité perçue est considérée comme une prestation à part entière du véhicule. Elle est déployée et déclinée comme telle dans les projets. Chaque véhicule est «mesuré» par rapport aux concurrents de son segment, ce qui permet son classement grâce à une grille de cotation. Pour l'intérieur du véhicule, la grille de cotation distingue 4 grands regroupements: l'habitacle avant, l'arrière, les sièges et le coffre.

Pour ce qui concerne la qualité perçue des matériaux employés dans le véhicule, les ingénieurs sont à la recherche de matériaux qui non seulement offrent les meilleures performances, mais sont également perçus comme de qualité.

«Il est nécessaire de donner envie d'acheter les véhicules, on attire premièrement par le design, galbe des formes, puis, une fois attiré il s'approche du véhicule. C'est le moment d'instaurer la confiance vers le produit par la vue, le toucher. C'est la qualité perçue véhiculée par le soin des jeux et affleurements, et le choix de matériaux de haute qualité sensorielle.»[26]

2.2 L'ASPECT DES MATÉRIAUX

La démarche vers la qualité perçue dans le monde automobile, décrite dans la partie précédente, met l'accent sur le contrôle de la perception globale du produit, du général au détail. La qualité perçue dépend d'un côté de l'opinion du client et de ses attentes, donc de l'image de marque, et de l'autre de la qualité de l'interaction sensorielle avec le produit. Pour ce qui concerne l'intérieur du véhicule, la qualité perçue passe principalement par le choix et l'harmonie des matériaux et par la qualité de leurs surfaces. L'aspect des matériaux est donc un enjeu crucial, qui peut être analysé par une approche sensorielle (caractérisation sensorielle des surfaces des matériaux) et par une approche physico-chimique (analyse des phénomènes physiques et chimiques responsables des perceptions sensorielles).

Ces deux approches et leur mise en relation entrent dans le domaine de l'**ingénierie de l'aspect**. Dans ce chapitre nous introduirons donc la notion d'aspect et d'ingénierie de l'aspect (2.2.1 *Aspect et ingénierie de l'aspect*), pour ensuite nous intéresser aux outils de la métrologie sensorielle (2.2.2 *Aspect et perception: la métrologie sensorielle*) et aux phénomènes optiques des pièces en polypropylène injecté (2.2.3 *Aspect et approche physique*), qui représentent l'objet central de cette thèse.

2.2.1 ASPECT ET INGÉNIERIE DE L'ASPECT

De son étymologie latine, *aspectus* (ad + spicio), le terme *aspect* indique la manière dont quelqu'un ou quelque chose se présente à la vue, ou au sens large, à l'esprit. Ainsi, regarder l'aspect des matériaux c'est regarder la manière dont les matériaux se présentent à nos sens, regarder leur interaction avec les énergies qui nous entourent.

La notion d'aspect a été traitée par plusieurs domaines :

- Au niveau philosophique, le questionnement porte sur l'aspect et la réalité des choses ;
- Au niveau psychophysique et cognitif, sur la détection et représentation de l'aspect ;
- Au niveau sensoriel, sur la caractérisation et l'appréciation ;
- Au niveau physique, sur la détection et mesure des phénomènes.

Les caractérisations sensorielle et physico-chimique de l'aspect des matériaux entrent dans le domaine d'étude de l'**ingénierie de l'aspect**. Cette branche de l'ingénierie vise à étudier, contrôler et modéliser l'aspect visible des matériaux, cet aspect surfacique pouvant également dépendre de propriétés volumiques des matériaux. Selon [25] il existerait deux définitions de l'ingénierie d'aspect : *«pour une l'accent est mis sur la compréhension des relations entre la composition, la structure, le mode de production et les propriétés d'un matériau, le «reste» n'étant que la conséquence. La seconde conserve à la relation structure-propriété sa position centrale, mais y ajoute (à égalité) la conception, la modélisation, la caractérisation du matériau ainsi que la maîtrise des procédés nécessaires à son élaboration et plus récemment à son cycle de vie»*.

Dans ce travail, on adoptera la deuxième définition et on regardera la caractérisation de l'aspect des matériaux, caractérisation sensorielle et physico-chimique, afin de faire le lien avec les paramètres du procédé de mise en forme. L'ingénierie de l'aspect vise donc à mettre en relation la perception des stimuli, leur caractérisation et leur mesure. Elle utilise à la fois les outils et les méthodes de la métrologie sensorielle et ceux de l'ingénierie des matériaux.

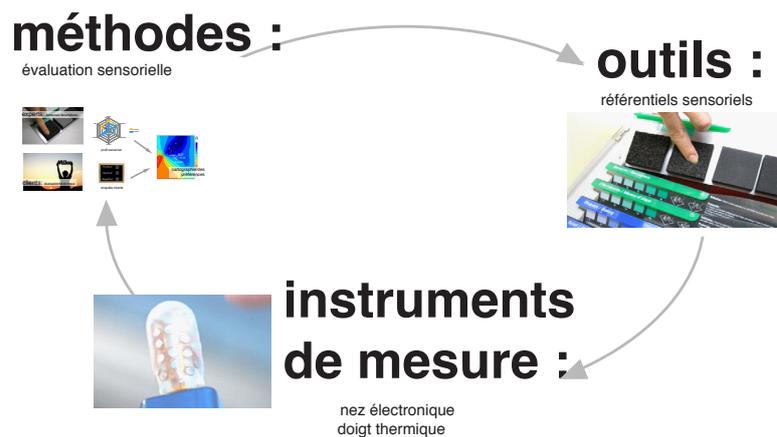


Fig. 2.5 : Synthèse des méthodes, des outils et instruments de la métrologie sensorielle [30].

2.2.2 ASPECT ET PERCEPTION : LA MÉTROLOGIE SENSORIELLE

Comme vu dans la partie 2.1 *Réponse client face au produit*, la réponse d'un client face à un produit naît de l'interaction sensorielle et active tout un processus d'élaboration des informations perçues. Les réponses sensorielles, perceptives et cognitives, se construisent sur la base des relations entre la forme, la couleur, la texture, le toucher et toutes les caractéristiques qui composent le produit. La plus grande partie de ses caractéristiques est véhiculée par les matériaux employés dans le produit et leurs propriétés sensorielles. Ces propriétés peuvent être caractérisées grâce à la **métrologie sensorielle**.

Utilisée à l'origine dans le domaine agro-alimentaire, la métrologie sensorielle se développe parallèlement à la psychophysique de Fechner [26]. Elle a vu son champ d'application s'étendre pour gagner plus récemment l'industrie automobile [27][28][29]. Son objectif consiste à recueillir, à exploiter les informations issues de nos sens et à utiliser l'homme comme instrument de mesure. Ainsi, la métrologie sensorielle rassemble des méthodes comme **l'évaluation sensorielle, des instruments de mesure et des outils** (Fig. 2.5) [30][32].

2.2.2.1 L'ÉVALUATION SENSORIELLE

L'évaluation sensorielle regroupe deux types d'épreuves [30] (Fig. 2.8):

- Des épreuves d'**analyse sensorielle**, c'est à dire des épreuves descriptives et différentielles des propriétés sensorielles des produits. Ce sont des examens analytiques visant à caractériser les produits. Elles sont conduites par des sujets qualifiés, un groupe de personnes entraînées à la discrimination de sensations pluri et monodimensionnelles. La mesure des sensations se fait la plus part du temps par attribution d'un nombre rationnel sur une échelle apprise et maîtrisée par chaque sujet. L'évaluation par des sujets qualifiés permet d'obtenir un profil sensoriel (Fig. 2.6), c'est-à-dire une carte d'identité sensorielle du produit.
- Des **enquêtes clients**, aussi appelées évaluations hédoniques, qui visent à évaluer la préférence ou l'aversion de clients candidats par rapport à un stimulus.

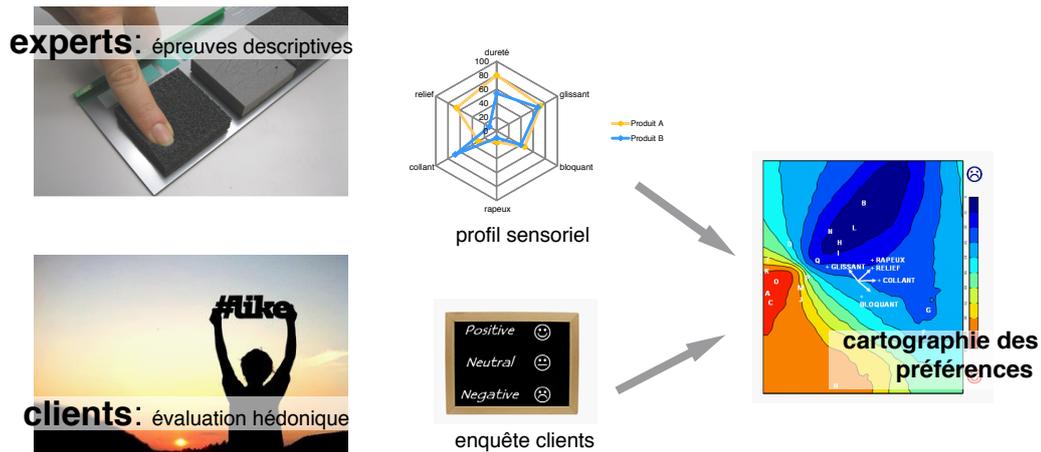


Fig. 2.6: Architecture de l'évaluation sensorielle.

L'**analyse sensorielle** [33][34] est définie comme la méthodologie d'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens ou, plus concrètement, la mesure et l'interprétation des perceptions de l'homme, en utilisant un groupe de sujets comme instrument de mesure. Ces analyses reposent sur la décomposition des perceptions en paramètres simples. Elles sont donc généralement précédées par une phase qui permet de recherche et définition de descripteurs, afin de formaliser et verbaliser les grandeurs sensorielles qui composent la perception des produits [31].

La recherche de descripteurs est basée sur la sémantique derrière la définition du stimulus et notamment sur la signification des mots. La clé réside dans l'étape de verbalisation des sensations qui permet de traduire notre perception des caractéristiques des produits analysés. L'ensemble des caractéristiques perçues est décrit par un lexique commun.

Elle repose sur deux postulats neurophysiologiques qui sont :

- La sensation ou réponse du sujet au stimulus ressenti est identifiable et/ou caractérisée par une réponse verbale qui dépend directement du stimulus. La perception globale d'un objet s'élabore à partir de cette information sensorielle brute et à partir de la mémoire et des expériences antérieures du sujet.
- Un sujet humain est capable, après entraînement, d'identifier cette réponse verbale et de quantifier l'intensité d'un stimulus ressenti.

L'évaluation sensorielle fait donc appel à des approches expérimentales, à des protocoles, à des examens et à des entraînements sensoriels, ainsi qu'aux capacités sensorielles de sujets. La superposition des profils sensoriels des analyses sensorielles avec les études consommateurs permet de tracer une **cartographie des préférences** (Fig. 2.6), c'est-à-dire une représentation visuelle des relations entre descripteurs sensoriels et leur appréciation.

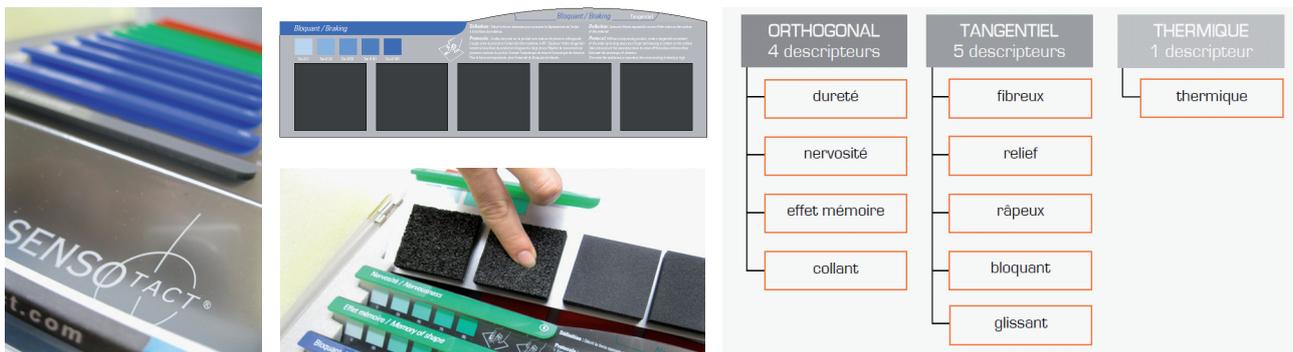


Fig. 2.7: Sensotact®.

2.2.2.2 INSTRUMENTS ET OUTILS DE LA MÉTROLOGIE SENSORIELLE

La métrologie sensorielle (Fig. 2.5) utilise également des **instruments** pour l'évaluation sensorielle, instruments de mesure qui remplacent ou reproduisent le fonctionnement de nos organes sensoriels. Ils permettent de se substituer partiellement ou totalement à un être humain. Nous pouvons citer le cas des nez électroniques qui permettent de détecter et d'analyser des odeurs et des arômes, ou encore le doigt thermique [38] conçu grâce à un partenariat entre les sociétés Renault, Total Fina Elf, Visteon, Valéo, Trèves et l'I.U.T de Nantes.

Les **outils** de la métrologie sensorielle sont des supports matériels permettant d'attribuer une note aux sensations. C'est un ensemble d'échantillons de référence, constitué de différents matériaux (textile, bois, verre plastique, revêtements, peintures, objets, etc.), qui décrivent une des dimensions sensorielles du produit. L'ensemble d'échantillons de référence représente une échelle d'intensité et est associé à une dénomination de la sensation, le descripteur. Chaque échantillon de l'ensemble est associé à une valeur quantitative ou qualitative (ex: «10 de collant», ou «très collant»). Ils constituent les jalons de l'échelle de notation de la sensation perçue (ex: échelle de rugosité, de collant, de transparence...etc.).

Souvent, ces échelles servent pour la définition ou la conception de nouveaux produits et sont aussi souvent appelés des **référentiels**. Leurs principales applications sont :

- La communication entre les différents acteurs d'un projet de conception,
- La mesure des aspects perçus des produits,
- Le suivi qualité des produits, quand il n'existe pas d'instrument de mesure pour le faire,
- Le référencement des produits.

Un exemple de référentiel est le Sensotact® [36] (Fig. 2.7), référentiel tactile développé par Renault en 2004. Ce référentiel externe propose la décomposition du toucher en 10 descripteurs simples, 1 descripteur thermique, 4 descripteurs du toucher orthogonal (nécessitant un geste perpendiculaire à la surface des échantillons) et 5 pour le toucher tangentiel (nécessitant un déplacement latéral du doigt sur l'échantillon).

Chaque descripteur est accompagné d'une définition assurant une verbalisation de la perception sans équivoque, d'un protocole d'évaluation qui décrit l'ensemble de gestes qu'il convient d'exécuter pour garantir une stimulation « standard » et une échelle de notation sur 100 unités.

“Tel un piano, les références de perception proposées et les combinaisons associées sont autant de gammes, ou notes, permettant la mise en œuvre (verbalisation concrète) de nouveaux touchers. Tout comme un mot se compose de lettres, la sensation d'un toucher «soyeux», «soft» ou encore «peau de pêche», est composé de sensations élémentaires.” [36]

2.2.3 ASPECT ET APPROCHE PHYSIQUE

L'approche physique à la problématique de l'aspect des matériaux vise à la caractérisation des phénomènes issus de l'interaction entre les matériaux et les flux d'énergies auxquelles ils sont soumis. On cherche donc à mesurer, par exemple, les modifications du champ électromagnétique responsables de la perception des couleurs ou encore de la réflectance d'une surface perçue comme brillante. Les niveaux énergétiques étudiés doivent être compatibles avec ceux perçus par les récepteurs sensoriels de l'homme (on considère le spectre visible de la lumière) et la résolution des instruments de mesure doit être équivalente aux capteurs humains. Le but est de créer des échelles psychophysiques des phénomènes. [25]

La caractérisation de l'aspect du matériau s'intéresse à :

- La définition des paramètres physiques et chimiques responsables des aspects visuels ou tactiles perçus ;
- La mise en relation entre les paramètres physiques et chimiques mesurés et les évaluations sensorielles.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'aspect visuel des pièces grainées en polypropylène injecté. Ici, l'approche physique de l'aspect des matériaux traite des phénomènes optiques responsables des perceptions visuelles, et notamment de la faible brillance de ces pièces.

L'aspect des polymères est influencé par leur nature chimique et par leur nature physique qui découle de l'impact du procédé de mise en forme [37][38]. Ces propriétés ne sont pas homogènes dans l'ensemble du volume du matériau. En effet, les formulations de polypropylène (PP) comportent non seulement des charges et des particules dispersées, mais également différentes structures macromoléculaires dans la phase amorphe et la phase cristalline. Il est nécessaire donc de prendre en compte ces spécificités ces matériaux et de décrire le système à différentes échelles [39]. Dans les parties 2.2.3.1 et 2.2.3.2 nous examinerons les différentes structures et morphologies du PP mis en forme par injection plastique et l'interaction entre ces structures et la lumière à différentes échelles.

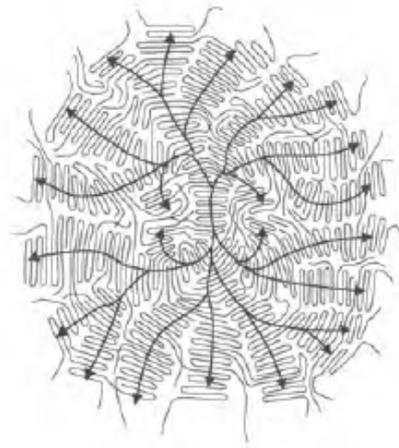


Fig. 2.8: Sphérolite. Image originale de [40].

2.2.3.1 MORPHOLOGIE ET MICROSTRUCTURE DU PP EN VOLUME ET EN SURFACE

Au niveau nanométrique, les polymères se présentent sous forme de macromolécules issues de la répétition d'unités constitutives (monomères) d'atomes liées par des liaisons covalentes. Le matériau de notre cas d'étude, le polypropylène (PP), est une macromolécule linéaire résultant de la polymérisation de monomères de propylène.

Ces enchaînements covalents peuvent adopter des configurations différentes dans l'espace. A l'état cristallin, les macromolécules de PP prennent une configuration « en hélice », c'est-à-dire la configuration spatiale qui présente la plus basse énergie intermoléculaire.

Lors de la cristallisation statique, les macromolécules en hélice s'organisent en lamelles cristallines, d'une épaisseur de l'ordre de 10 nm, qui à leur tour s'organisent en formant une superstructure polycristalline, dont la taille peut varier de 1 μm à plusieurs millimètres, le **sphérolite** (Fig. 2.8). Les lamelles cristallines qui se développent radialement sont séparées par une phase amorphe, ce qui confère au polymère la désignation de semi-cristallin. L'état semi-cristallin est défini par son taux de cristallinité, c'est-à-dire la fraction de phase cristalline, en masse et en volume, dans un volume ou une masse unitaire.

Les sphérolites, les lamelles et les phases amorphes sont caractéristiques des PP qui ont subi une cristallisation statique. Les procédés industriels de mise en forme des polymères font subir au matériau des gradients de température et de pression afin de figer la dimension de la pièce et de reproduire l'empreinte du moule. La morphologie du polymère est essentiellement déterminée par les conditions de cristallisation, notamment la vitesse de refroidissement et la vitesse d'injection.

Pendant l'injection plastique du PP, la température de refroidissement est influencée par la température du polymère en fusion et celle du moule. Ce procédé de mise en forme exerce sur le flux de matière fondue un taux élevé de cisaillement et d'allongement. Pendant l'injection du polymère dans la cavité du moule, les macromolécules sont orientées et étirées dans le sens de l'écoulement. De plus, le matériau subit différents gradients de température, un refroidissement rapide au contact avec les parois du moule et un refroidissement plus lent dans son volume. Ainsi, la vitesse d'écoule-

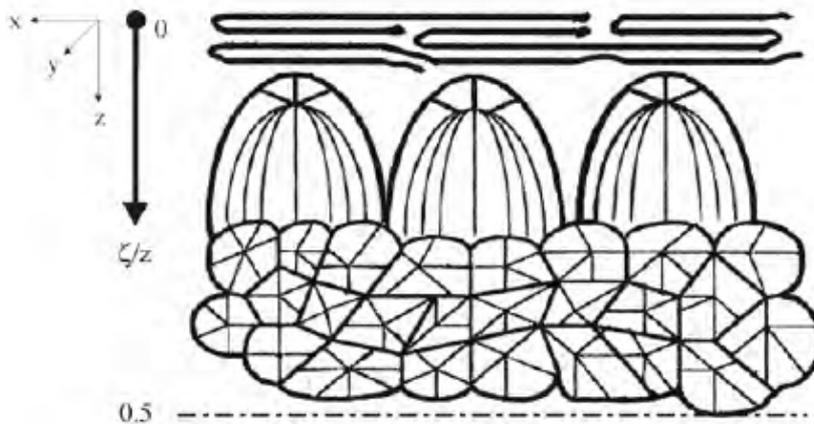


Fig. 2.9: Morphologie du PP. Image originale de [40].

La peau: macromolécules orientés dans le sens de l'écoulement.

Strate intermédiaire: sphérolites coniques issues du gradient thermique durant leur formation.

Zone de coeur: sphérolites à haut taux de cristallinité.

ment et la haute vitesse de refroidissement influencent les comportements de cristallisation donnant naissance à des structures hétérogènes et anisotropes au sein du polymère, structures avec des morphologies différentes de celles issues lors d'un refroidissement statique.

Ainsi, on retrouve une anisotropie de morphologie de volume et de surface caractéristique des pièces obtenues par injection plastique [40]. La microstructure des pièces comporte généralement deux à trois couches différentes (fig. 2.9) :

- La peau de la pièce, zone superficielle en contact avec la paroi du moule, ne présente pas de morphologie discernable ; le polymère est en phase amorphe, ses macromolécules sont très orientées dans le sens de l'écoulement.
- La zone intermédiaire présente une morphologie et des entités cristallines très sensibles à la nature du polymère et aux conditions d'injection. Dans l'injection du PP on trouve notamment des sphérolites à contour parabolique, sphérolites déformés par le gradient thermique présent lors de leur formation.
- La zone de cœur possède une morphologie sphérolitique et un taux élevé de cristallinité.

2.2.3.2 COMPORTEMENT OPTIQUE À L'ÉCHELLE MÉSO스코PIQUE

Les propriétés optiques des matériaux résultent de l'interaction de leurs électrons avec la lumière. Plusieurs phénomènes peuvent se présenter lorsqu'un faisceau lumineux entre en contact avec un matériau. En fonction de la nature du matériau il peut y avoir en proportions variables (fig. 2.10) :

- Réfraction du faisceau lumineux, c'est-à-dire sa déviation lors de son passage d'un milieu à un autre,
- Réflexion du faisceau lumineux, la lumière émise par la source se réfléchit sur la surface,
- Diffusion (ou diffraction), qui est la redistribution de la lumière par la déviation du faisceau lumineux par le volume de la matière,
- Absorption du faisceau lumineux, phénomène à l'origine de la perception des couleurs,
- Transmission du faisceau lumineux, qui traverse la matière.

La transmission lumineuse est un phénomène que l'on trouve principalement dans les matériaux transparents. Nous nous intéressons ici aux phénomènes présents dans le PP, nous regarderons

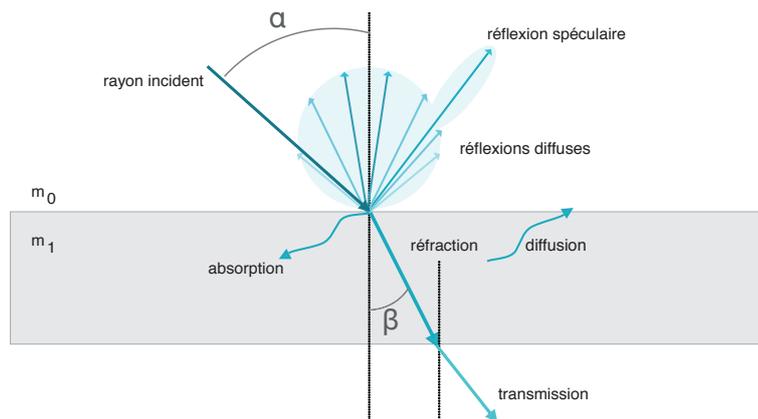


Fig. 2.10: Réflexion, absorption, réfraction et transmission d'un rayon incident.

donc uniquement les phénomènes de réfraction, réflexion, diffusion et absorption. Les lois de Snell-Descartes, qui décrivent le comportement de la lumière et de sa propagation rectiligne dans les milieux homogènes et isotropes, sont à la base de l'optique géométrique. Ces lois sont au nombre de deux, une pour la réfraction et une pour la réflexion, et permettent la description des phénomènes optiques.

2.2.3.2.1 LA RÉFRACTION

La réfraction (fig. 2.10) est la déviation d'un faisceau lumineux lors d'un changement de milieu possédant des vitesses de propagation de la lumière différentes. La réfraction survient généralement à l'interface entre deux milieux, ou lors d'un changement de densité. L'indice de réfraction est la grandeur qui quantifie cette interaction entre lumière et matière, et est intrinsèquement dépendant des caractéristiques du milieu et de l'onde électromagnétique incidente. L'angle de réfraction est lié à l'angle d'incidence, ainsi qu'aux indices de réfraction des deux milieux, par la loi de réfraction de Snell-Descartes:

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2) \quad (1)$$

Dans les matériaux hétérogènes et anisotropes comme c'est le cas pour le PP injecté, les différentes structures présentes interagissent de façon spécifique avec la lumière. La plupart des procédés de fabrication des polymères imposent un taux d'orientation des macromolécules non négligeable ; l'indice de réfraction est dépendant de la direction de polarisation [41], et implique des comportements optiques multiples au sein du volume de la pièce. L'ensemble des structures (sphérolites, lamelles cristallines, phase amorphe) présentes dans le PP, à l'échelle nanométrique et microscopique, a des répercussions sur le comportement optique de la pièce. L'indice de réfraction du matériau dépend également de sa densité. L'indice de réfraction de la phase amorphe, moins dense que la phase cristalline, sera moins important [38]. De plus, dans la peau de la pièce, la forte orientation des chaînes macromoléculaires dans la direction de l'écoulement entraîne des phénomènes de biréfringence importants [39].

2.2.3.2.2 LA RÉFLEXION

La loi de réflexion de Snell-Descartes (fig. 2.10) décrit le comportement des faisceaux incidents et réfléchis par une surface, qui forment, avec la normale, le même angle.

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (2)$$

A l'échelle microscopique, en présence de nombreuses interfaces, les rayons lumineux qui entrent dans le volume du matériau sont réfractés et partiellement réfléchis.

2.2.3.2.3 LA DIFFUSION, OU DIFFRACTION

La diffusion (Fig. 2.10) est la déviation des ondes lumineuses qui rencontrent un obstacle. C'est une redistribution de l'intensité lumineuse, un éparpillement dans de multiples directions par interaction avec les interfaces internes. Le phénomène de diffusion d'un rayon lumineux dans un polymère semi-cristallin dépend de la taille caractéristique des cristallites. En effet, si sa longueur interne caractéristique est beaucoup plus petite que la longueur d'onde du rayonnement, celui-ci ne sera pas perturbé et se comportera comme dans un milieu homogène ; au contraire, si les hétérogénéités sont à une échelle plus grande que la longueur d'onde, le rayon sera réfracté et partiellement réfléchi. Le maximum de diffusion advient lorsque les hétérogénéités de dimensions proches de la longueur d'onde perturbent sa trajectoire. Ainsi, dans les polymères semi-cristallins, les sphérolites de taille inférieure à la longueur d'onde du faisceau n'ont aucun effet sur son passage. Celles de taille supérieure à sa longueur d'onde diffusent le faisceau lorsqu'il existe une différence d'indice de réfraction entre la phase amorphe et la phase cristalline [38].

2.2.3.2.4 ABSORPTION

L'absorption (Fig. 2.10), contrairement à la diffusion, n'est pas une redistribution mais une perte de l'intensité lumineuse. L'énergie incidente apportée par les photons est convertie sous d'autres formes : cela conduit par exemple à l'émission de radiations dans des bandes énergétiques non visibles, à de l'échauffement, ou à des modifications physico-chimiques.

2.2.3.3 COMPORTEMENT OPTIQUE À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE

Les propriétés optiques des polymères et plastiques hétérogènes sont fortement liées au niveau microscopique et mésoscopique aux types de matrices et de charges, à leurs indices de réfraction, à l'état de dispersion des particules et à la nature des interfaces entre les particules et la matrice. L'influence des propriétés volumiques d'un système hétérogène a ainsi des répercussions au niveau macroscopique et donc sur le rendu visuel. Un autre paramètre qui influe sur l'aspect est la topographie de la surface, c'est-à-dire sa macro et microrugosité.

Lorsqu'on est face à une pièce parfaitement plane et lisse, le rapport entre le flux de lumière réfléchi par la surface et le flux incident, c'est-à-dire la réflexion spéculaire, est donné par la loi de Fresnel.

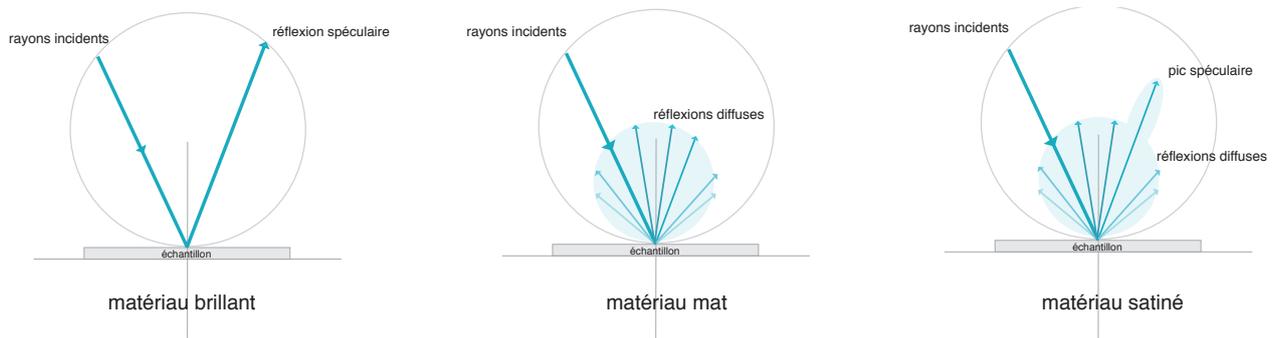


Fig. 2.11 : Réflexions spéculaires, diffuses et mixtes d'un rayon incident.

L'intensité du faisceau réfléchi n'est qu'une fraction de la puissance du faisceau incident, une partie du faisceau incident étant transmise ou absorbée par le matériau. L'intensité du faisceau réfléchi dépend de l'indice de réfraction des deux milieux. Pour le verre noir dit «de Carrare», d'indice de réfraction 1,54, elle est d'environ 4%.

Le coefficient de réflexion dépend de la différence d'indice de réfraction (air/matériau, ou matériau/matériau), de l'angle d'incidence, et de la polarisation du rayonnement incident. La fraction de la puissance incidente réfléchie est donnée par :

$$R = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (3)$$

Où R est le coefficient de réflexion, et n_1 et n_2 sont les indices de réfraction respectifs des deux milieux, et θ_1 et θ_2 les angles d'incidence et de réfraction.

Dans le cas d'une pièce grainée (Fig. 2.11), la réflexion est perturbée macroscopiquement par la rugosité : les rayons incidents sont réfléchis par des pentes différentes de la surface, ce qui engendre une part de réflexion diffuse. En fonction de la rugosité, la réflexion sera plus ou moins perturbée. Cette part de réflexion géométrique dans des directions différentes de la direction spéculaire moyenne sera interprétée différemment selon les relations entre tailles des facettes et distance d'observation. De grandes facettes, ou des facettes vues de près, seront vues comme des faces spéculaires, des «hot spots» brillants. De minuscules facettes, ou des facettes vues de loin, ne seront pas distinguées comme telles et contribueront à un aspect diffus de la réflexion. La réflexion diffuse n'est pas uniquement due à la topographie de la surface mais également à la diffusion par le volume à l'échelle microscopique (2.2.3.2 *Comportement optique à l'échelle mésoscopique*). La lumière incidente pénètre à l'intérieur du matériau et est absorbée, réfléchie et réfractée par les hétérogénéités du matériau. Au cours de ces multiples réflexions, une partie de l'énergie incidente est réémise par la surface et ressort suivant une direction aléatoire.

Au niveau psychophysique, l'absorption de certaines longueurs d'ondes du flux lumineux est à l'origine de la perception de la couleur. En fonction de la nature des additifs, des minéraux et des pigments présents dans la matrice polymérique, le matériau aura un aspect coloré différent.

Ainsi, l'aspect d'une pièce grainée injectée en polypropylène sera fonction:

- des caractéristiques du volume :
 - des différents indices de réfraction,
 - des indices d'absorption issus de la concentration des pigments et additifs,
 - de l'orientation spatiale des pigments,
 - de l'orientation des macromolécules,
 - du taux de cristallisation.
- et des caractéristiques topographiques de la surface.

2.3 MATÉRIAUX, PROCÉDÉS ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES

Ce travail de thèse concerne les pièces grainées visibles dans l'habitacle, principalement les pièces de la planche de bord et des panneaux de porte. Ces pièces sont en matière plastique et possèdent des caractéristiques de design et sensorielles différentes en fonction du choix du procédé et des matériaux employés.

Dans cette partie *2.3 Matériaux, procédés et caractéristiques sensorielle*, nous considérerons premièrement les polymères (*2.3.1 Les polymères dans l'automobile*) et plus précisément le polypropylène employé dans le secteur automobile (*2.3.1.1 Le PP du monde automobile*). Le polypropylène permet d'obtenir des pièces d'aspect, colorées en masse et grainées, à bas coût par injection plastique. L'injection plastique est donc parmi les technologies les plus employées et sera décrite dans la sous-partie *2.3.2.1 L'injection plastique* de la partie *2.3.2 Procédés, matières et caractéristiques sensorielles des pièces grainées*. Il existe cependant d'autres technologies de production de pièces grainées décrites dans la partie *2.3.2.2 Autres procédés de production*.

2.3.1 LES POLYMÈRES DANS L'AUTOMOBILE

Les matériaux employés dans un véhicule [42] (Fig. 2.12) se répartissent en 7 grandes catégories. En moyenne 70% de la masse concerne les métaux, 15% les polymères, 5% les élastomères, 3% les verres, 3% les fluides, 1% les matériaux naturels et on trouve 2% d'autres matériaux.

Sur les 15 000 pièces d'un véhicule, environ 600 pièces sont en polymère, principalement employées dans l'habitacle :

- Les intérieurs de l'habitacle représentent environ 46 % des polymères ;
- Les pièces extérieures et la carrosserie représentent 29 % des polymères ;
- Les pièces de structure et les réservoirs de carburant représentent 13 % des polymères ;
- Les pièces sous-capot représentent 12 % des polymères.

L'emploi des polymères dans le secteur de l'automobile a fortement évolué à cause de contraintes extérieures telles que l'augmentation des coûts de l'énergie et des carburants ainsi que l'internationalisation du marché et la compétition entre les différents constructeurs. Avec l'arrivée de nouvelles exigences d'esthétique, de confort, de sécurité, le secteur automobile a cherché dans les polymères une mutation technologique dans le souci constant de réduction de masse et de coût.

Les polymères offrent, en effet, cinq avantages majeurs :

- Une faible masse volumique,
- Une bonne durabilité due à l'absence de corrosion et une bonne résistance au choc,
- Une plus grande liberté de forme,
- Une facilité d'intégration de fonctions,
- Des niveaux d'investissement moins élevés, facilitant des renouvellements de forme plus fréquents.

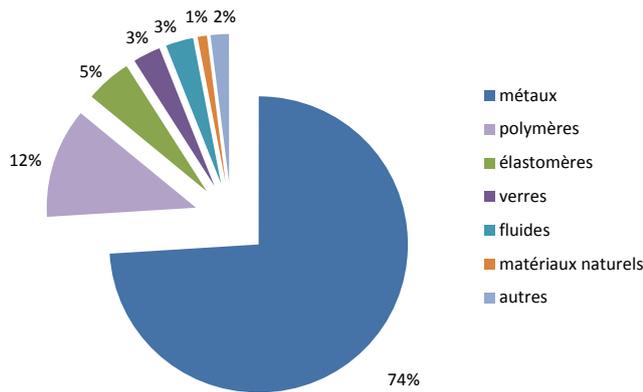


Fig. 2.12 : Les matériaux dans l'automobile.

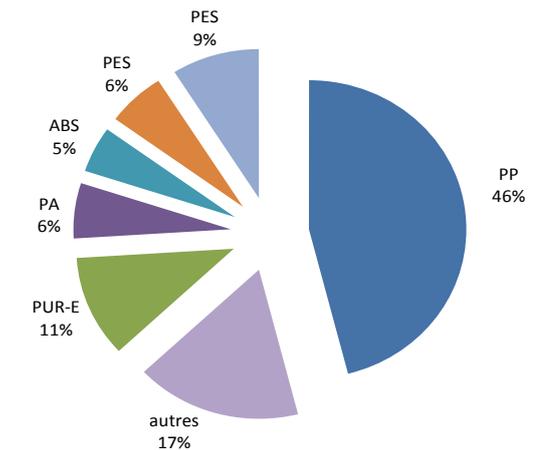


Fig. 2.13 : Les polymères dans l'automobile.

Le polypropylène (PP) représente 46% (Fig. 2.13) des polymères employés dans le véhicule. On retrouve ensuite du Polyuréthane expansé (PUR-E) dans les mousses qui représentent 11 % de la masse, et d'autres polymères communs, notamment 9% de polyéthylène (PE), 6% de polyethersulfone (PES), 6% de polyamide (PA) et 5% d'acrylonitrile butadiène styrène (ABS).

Ainsi, la majeure partie des surfaces visibles dans l'habitacle est sous forme de pièces grainées, de TEP (tissus enduit plastique) ou de textiles.

2.3.1.1 LE PP DU MONDE AUTOMOBILE

La production de la majorité des pièces d'aspect d'un véhicule (planche de bord, panneau de porte, etc.) utilise une matrice polypropylène teintée dans la masse. Une pièce de polypropylène teintée en masse est un système complexe dont les constituants sont (fig. 2.14) :

- Une matrice polymère en polypropylène (PP)
- Une phase élastomère
- Des charges minérales
- Des pigments
- Des additifs

La **phase élastomère** détermine les propriétés caoutchouteuses comme l'élasticité, la souplesse, la flexibilité et la température minimale d'utilisation. Son rôle principal est l'absorption des chocs. Le co-monomère le plus utilisé est l'éthylène pour conduire à des polyoléfines élastomères comme l'éthylène-propylène (EPR ou EPM) et l'éthylène-propylène-diène monomère (EPDM).

Les charges minérales permettent de modifier les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé. Dans le secteur automobile, l'ajout de talc permet un renfort de la pièce et d'en diminuer le coût mais augmente la sensibilité à la rayure. Quant aux charges fibreuses, elles améliorent la résistance à la rupture, augmentent la rigidité et maintiennent ces propriétés à un niveau acceptable à température élevée. On les appelle souvent charges renforçantes ou agents de renforcement.

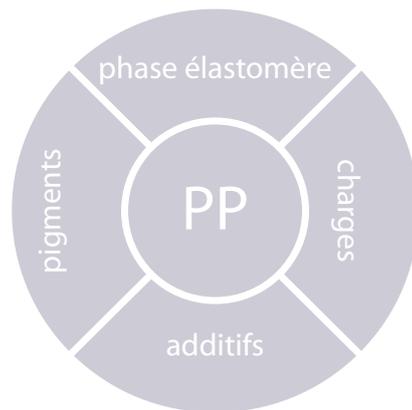


Fig. 2.14 : Composition d'un PP pour application automobile.

Les pigments, insolubles dans le milieu, absorbent la lumière visible ($\lambda=380-780$ nm) et modifient ainsi la couleur de l'objet. Ils permettent donc de conférer la teinte souhaitée à la pièce. Dans des pièces colorées en masse, par exemple, la présence de noir de carbone (pigment noir) et de dioxyde de titane (pigment blanc) dans le mélange polymère permet d'obtenir des pièces de couleur noire ou grise.

Les pigments peuvent être minéraux ou organiques. Les pigments minéraux sont des sels minéraux stables ou des oxydes, utilisés à teneur élevée dans la matrice du fait de leur pouvoir colorant limité. Un de leurs avantages est leur grande stabilité en température. Parmi les plus communs nous pouvons citer, les dioxydes de titane, les pigments de zinc, pigments d'oxyde de fer et de chrome.

Les pigments organiques sont des composés organiques insaturés et aromatiques. Ils ont un fort pouvoir colorant, des nuances très vives, de bonnes propriétés de dispersion mais sont en général peu résistants à la température, à la lumière et aux intempéries. Le plus utilisé dans l'industrie parmi les pigments organiques est le noir de carbone pour la coloration en masse de pièces noires.

Les additifs sont employés afin de freiner l'oxydation des polymères, qui provoque des jaunissements, l'apparition de craquelures en surface et qui jouent sur les propriétés mécaniques en diminuant la flexion maximale et la résistance à la traction. Cette oxydation est accélérée par la température et les UV. Des additifs vont donc piéger les radicaux formés en réagissant avec eux et/ou en absorbant l'énergie UV.

Chez Renault, le polypropylène (PP) et le polypropylène avec un pourcentage d'éthylène (P/E) sont mis en forme par injection plastique pour la production de planches de bord, panneaux de porte et d'autres pièces d'aspect de l'intérieur du véhicule. Les matières validées par Renault sont classées dans le Panel Matières Renault (PMR). Les matières prescrites pour les planches de bord injectées (que l'on détaillera dans le Chapitre 05) sont des matières développées avec Nissan:

- Le TRC411N produit par Lyondell Basell
- Le PPC9180 produit par SABIC.

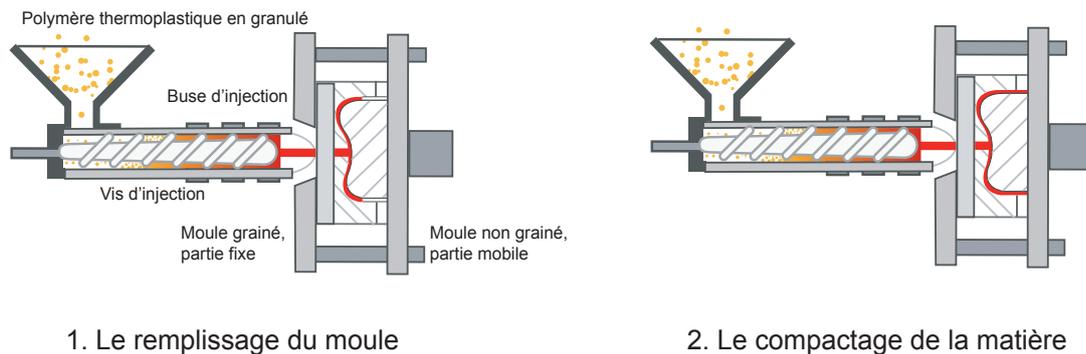


Fig. 2.15 : injection plastique d'une planche de bord.

2.3.2 PROCÉDÉS, MATIÈRES ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES DES PIÈCES GRAINÉES

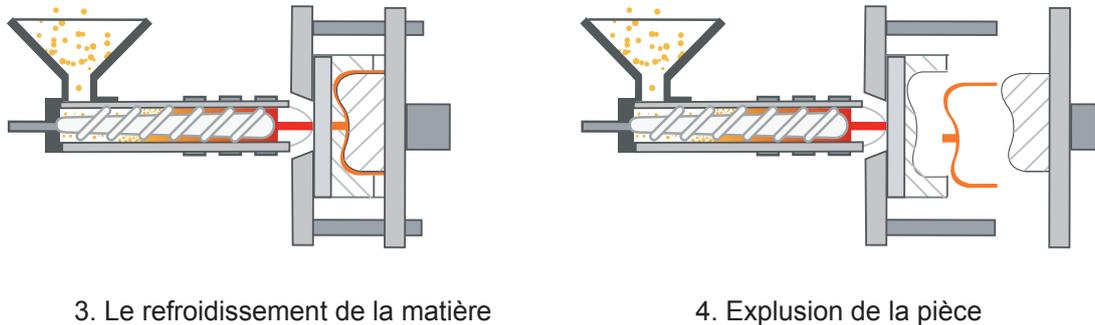
Dans l'industrie automobile, les grands procédés de transformation des polymères sont l'extrusion, l'injection plastique, le soufflage, le thermoformage et le rotomoulage. Pour ce qui concerne l'intérieur du véhicule, le choix de la technologie de production dépend des exigences de la pièce, tels que sa géométrie, sa taille, la typologie de véhicule dans laquelle elle s'insère, les coûts etc.

La production de planches de bord utilise l'injection plastique, pour des véhicules d'entrée de gamme. D'autres procédés de production plus complexes, permettant d'obtenir une pièce stratifiée, composée d'une peau, d'une mousse et d'un support, sont employés pour la montée en gamme. La différenciation des véhicules se fait donc par le choix du procédé de production, des matériaux employés, comme des changements de couleurs et d'harmonies entre pièces. Dans les parties suivantes, nous allons décrire le procédé d'injection plastique (2.3.2.1) et les différents procédés de production de pièces grainées du monde automobile (2.3.2.2). Pour chaque technologie, on s'intéressera aux étapes du procédé, aux matériaux employés, et aux caractéristiques sensorielles que l'on peut obtenir. Les indications de brillance sont exprimées en Unités de Brillance (UB) et sont mesurées par un réflectomètre. L'ensemble de ces informations est résumé dans le schéma de la figure 20.

2.3.2.1 L'INJECTION PLASTIQUE

Dans l'industrie automobile, le moulage par injection plastique est utilisé pour la fabrication de pièces grainées de tailles variées comme les boucliers, les baguettes, les panneaux de porte et les planches de bord entières. C'est une technologie relativement économique pour des grands volumes de production, l'investissement étant principalement dans la production du moule. Ce procédé permet la production de pièces grainées à géométries complexes, avec de bonnes finitions superficielles et de bonnes tolérances dimensionnelles. Il représente la principale technologie de transformation des polymères employés dans le véhicule.

Le principe de l'injection plastique (Fig. 2.15) est de fondre la matière et de l'injecter dans un moule



3. Le refroidissement de la matière

4. Exclusion de la pièce

permettant la production d'une pièce finie. Le cycle d'injection comprend différentes étapes :

1. Le remplissage: la matière, sous forme de granulés, est introduite à travers une trémie d'alimentation dans un cylindre chauffant. Dans le cylindre chauffant, une vis d'injection permet la fusion, l'homogénéisation et l'alimentation vers le moule. La buse d'injection, située à la fin du cylindre chauffant, permet l'injection de la matière en fusion dans la cavité du moule. La pression générée par le cylindre chauffant assure le remplissage du moule
2. Le compactage: le maintien et la compression de la matière sont garantis par le système de fermeture
3. Le refroidissement: le système de refroidissement permet le durcissement de la matière et la création de la pièce.
4. La pièce est ensuite expulsée du moule grâce à un système démoulage et finit sa plastification hors du moule.

La mise en forme de la pièce est garantie par la géométrie du moule qui contient le négatif de la pièce à produire.

Les paramètres principaux à régler sont [44][45] : le dosage, l'injection, l'ouverture, la fermeture, l'éjection et la post-pression. Les autres paramètres importants sont : température du fourreau, température de la matière, température du moule injection, vitesse d'injection, pressions durant l'injection, pressions durant le maintien, la contre-pression, la vitesse de rotation de la vis, la course de dosage ou volume de dosage et les courses d'ouverture et d'éjection.

Les moules pour l'injection sont usinés à partir de métaux, notamment d'acier ou d'aluminium. Les moules en aluminium sont plus économiques, moins adaptés aux grands volumes de production et aux pièces qui nécessitent de faibles tolérances dimensionnelles. Les moules en acier, plus coûteux, plus rigides et plus résistants sont ceux utilisés dans l'industrie automobile.

2.3.2.1.1 LE GRAINAGE DES MOULES

La production d'un moule prévoit une phase de génération de la forme du négatif de la pièce à injecter et une phase de création du grainage. Le grainage, aussi appelé gravage ou gravure, est la création de la finition superficielle du moule par gravage d'un décor afin de reproduire ce décor sur les pièces plastiques.

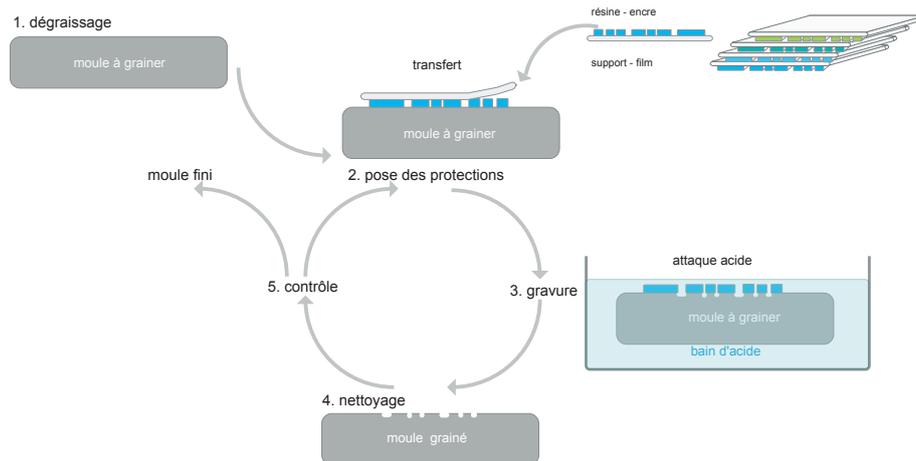


Fig. 2.16 : Grainage chimique d'une empreinte pour injection plastique.

Historiquement, le grainage du moule avait une fonction bien particulière : « *Les premières pièces plastiques automobiles ont été grainées pour masquer les défauts d'aspect d'injection. Le grain est utilisé comme 'cache misère'* » [43]. Aujourd'hui, le grainage a non seulement une fonction décorative, mais il peut également servir à véhiculer une identité de marque.

Les caractéristiques superficielles d'une pièce injectée, son degré de brillance et les caractéristiques géométriques de sa texture superficielle sont fortement influencées par la finition superficielle du moule. En effet, le matériau en fusion est comprimé et vient calquer la surface du moule. Pour obtenir une pièce brillante, satinée ou grainée, il faudra polir, satiner ou grainer le moule. Afin de garantir le démoulage de la pièce grainée, il est important d'adapter l'angle de dépouille. Il faut compter au minimum 1° de dépouille pour chaque 0,02 mm de profondeur du grain, plus $1,5^\circ$ de dépouille naturelle.

Il existe 4 techniques de grainage des moules pour injection [43]:

- L'électroérosion ou Electric Discharge Machining (EDM)
- Le grainage chimique
- L'incision laser directe
- Le Cera-Shibo

L'Electric Discharge Machining (EDM) est un procédé d'usinage qui utilise une série de décharges électriques pour éroder le matériau métallique. Il existe deux types d'EDM :

- L'érosion au fil, utilisée pour la création de la forme du moule ;
- L'érosion par enfonçage, utilisée pour la création de textures, détails et décors. Cette technologie reproduit dans le moule métallique la forme de l'électrode.

Le grainage chimique peut être par **dépôt de film** de résine, ou par **incision laser**. Dans le grainage chimique par **dépôt de film** (Fig. 2.16), le grain est obtenu par attaque chimique du métal. On protège le moule à travers des masques de protection, de cire ou d'encre, représentant l'image du décor à créer sur la pièce et on plonge la moule dans un bain d'acide pour attaquer les zones découvertes. La profondeur du grainage dépend du temps d'immersion.

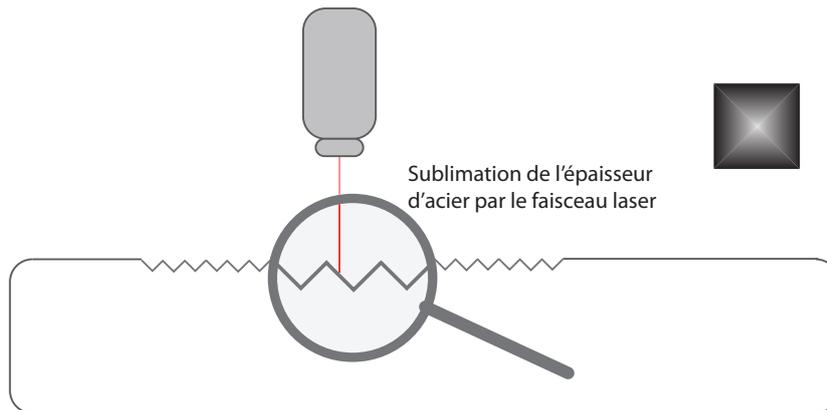


Fig. 2.17 : Grainage laser direct d'une empreinte pour injection plastique.

Les étapes du grainage chimique sont :

1. Dégraissage par immersion de l'outillage dans un bain dégraissant.
2. Pose des protections sur les zones non concernées par la gravure (résine ou encre).
3. Gravure par immersion du moule dans un bain acide. La profondeur de l'attaque dépend du temps d'immersion.
4. Sablage et microbillage pour le nettoyage de l'outillage (suppression du film et des produits de corrosion). Le sablage et le microbillage sont également utilisés pour l'obtention de la brillance finale du moule.
5. Contrôle, c'est-à-dire le relevé de la profondeur du décor par profilométrie (rugosimètre) et de la brillance sur le métal.

Les grains complexes nécessitent une décomposition du décor en plusieurs films ; pour obtenir des grains qui comportent des détails à des profondeurs différentes, on répète l'opération de grainage avec des films différents, 3, 4, 5 fois. Cela a un impact sur le coût de grainage du moule.

Le grainage chimique par incision laser permet de dessiner la géométrie du grain à concevoir en prenant en compte les déformations du grain sur le moule et de contrôler les défauts typiques des zones anguleuses et des grains géométriques. Le procédé consiste en l'application d'une couche de peinture ou de résine dans le moule à grainer, qui est gravée par un faisceau laser. Le laser, dirigé par un logiciel de mapping, «gratte» le revêtement et permet de découvrir les zones du moule qui seront attaquées par le bain acide. Le mapping permet d'appliquer des textures sur une surface de projection: à travers différentes mesures et des relevés physiques du moule à grainer, la technique applique des textures complexes en trois dimensions sur sa surface. Les étapes du grainage par incision laser sont :

1. Mapping : application virtuelle du motif sur un modèle 3D.
2. Calculs : calcul des parcours d'outils laser
3. Usinage laser : grattage du film par l'outil laser
4. Gravure : immersion du moule dans un bain acide. La profondeur de l'attaque dépend du temps d'immersion.

L'incision laser directe (Fig. 2.17) permet d'attaquer directement le métal du moule grâce à un faisceau laser qui érode la surface à grainer. Le trajet du faisceau laser est géré par un mapping de la surface et généré par une machine laser à 5 axes. Le procédé est intégralement numérisé pour une texturation et une gravure répétées. Contrairement à la gravure chimique, qui ne peut produire que de trois à cinq couches, la technologie laser peut produire de 30 à 50 couches en fonction de la finesse des détails demandée.

L'EDM, le grainage chimique et l'incision laser directe permettent d'obtenir un moule grainé en acier. En cas de défauts, ces moules peuvent être repris, pour augmenter la brillance par exemple, ou re-grainés.

Le **Cera-Shibo** [46] est une technique japonaise qui permet de créer une coquille grainée par dépôts de céramique. Cette technologie autorise une grande flexibilité en ce qui concerne les matériaux choisis pour la construction de l'outillage, contrairement aux technologies précédentes, qui demandent à avoir un outillage en acier. La limite de cette technologie réside dans l'impossibilité de retoucher le moule une fois la coquille produite. Il n'est donc pas possible d'ajuster la brillance du moule ou de rectifier d'éventuels défauts.

2.3.2.1.2 MATIÈRES

L'injection plastique permet le moulage de pièces en matières thermoformables, principalement des polymères thermoplastiques, des élastomères, mais également certains thermodurcissables.

Les thermoplastiques employés sont :

- À basses températures d'injection (jusqu'à 250°): polyéthylène, polypropylène, polystyrène ;
- Des plastiques techniques comme l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), le polycarbonate (PC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polyamide (PA), le polyoxyméthylène (POM), le polybutylène téréphtalate (PBT) ;
- Et, moins utilisé en raison des risques de dégagement d'acide chlorhydrique, le polychlorure de vinyle (PVC).

Les thermodurcissables employés sont :

- Les phénoliques, aminoplastes, polyuréthanes, peroxydes ;
- Les polymères renforcés ;
- Les mousses de polyuréthane.

2.3.2.1.3 CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES ET DESIGN

L'injection plastique permet d'avoir des pièces de différentes teintes, en fonction du matériau injecté, et différents types de grain, en fonction de la technologie de grainage appliqué au moule.

Certaines typologies de grainage, qui comportent différents passages d'attaque chimique, permettent d'avoir des caractéristiques visuelles très satisfaisantes et une qualité perçue intéressante.

Du point de vue visuel, l'injection donne des pièces relativement brillantes. Cette brillance est également recherchée pour diminuer la sensibilité à la rayure [48]. Cependant, l'excès de brillance peut être perçu comme signe de faible qualité. Lors de l'injection du polypropylène pour des pièces d'aspect, Renault exige une brillance comprise entre [47][48] :

- 1,5 UB et 2,0 UB pour les teintes foncées,

- 2,0 UB et 2,5 UB pour les teintes claires.

Les caractéristiques tactiles, tels que le relief, le glissant, le bloquant etc. dépendent fortement de la matière employée et du grain choisi. Les planches de bord injectées en PP sont caractérisées par une dureté de 100 sur l'échelle du Sensotact.

En général, à cause de la grande brillance, de la dureté élevée, et également du bruit produit si l'on tape sur la pièce, cette technologie est perçue comme ayant une faible valeur et une faible qualité.

2.3.2.1.4 VARIANTES

Il existe plusieurs variantes de moulage par injection plastique, notamment :

- Insert molding, qui permet d'injecter une pièce avec un insert, le plus souvent en métal ;
- Co-injection molding, qui permet d'injecter deux matières différentes, ou deux couleurs différentes sur une même pièce ;
- Gas-assisted injection molding, qui grâce à l'action d'un gaz durant l'injection permet d'avoir des pièces de section creuse, plus légères ;
- In Mold Decoration et In Mold Forming qui permettent d'injecter en présence d'une feuille décorative très fine en fond de moule.
- Le Mold Lamination, ainsi que le Reaction Injection Molding (RIM), sont également des variantes de l'injection classique avec des caractéristiques particulières.
- Pour ce qui concerne la production de planche de bord, la variante à l'injection classique est l'injection peinture, où la pièce injectée est peinte pour augmenter ses prestations sensorielles (couleur, toucher, etc.)

2.3.2.2 LES AUTRES PROCÉDÉS DE PRODUCTION

2.3.2.2.1 THERMOFORMAGE

Dans le monde automobile, une pièce produite par thermoformage (Fig. 2.18) est une pièce multicouches où la peau, produite par extrusion, a été mise en forme par déformation plastique à chaud. Le matériau, rendu malléable et ductile par la chaleur, est déformé sur une empreinte et garde la forme du moule lorsqu'il refroidit. Cette peau sera ensuite assemblée à un support pendant le mousage. On retrouve deux variantes du procédé : le thermoformage positif et le thermoformage négatif. Le thermoformage négatif est une déformation à chaud dans un moule en cavité d'une peau non grainée en utilisant la chaleur, le vide et la pression. Le grainage de la pièce est réalisé par le moule qui imprime sa finition à la peau. Au contraire, pour le thermoformage positif, on utilise une peau précédemment grainée par un cylindre de grainage. La peau est ensuite déformée à chaud dans une empreinte positive. Dans les deux variantes, la peau thermoformée est découpée et placée dans un moule avec l'insert pour le mousage.

La peau utilisée pour le thermoformage peut être déjà complexée, c'est-à-dire avoir une couche de mousse. Dans ce cas, on ne procède pas au mousage dans le moule, mais au collage du complexe peau-mousse directement sur l'insert. Les matières employées pour la peau sont les TPO, des thermoplastiques oléfiniques de la famille des TPE, PP, PE et EPDM, des TPU élastomères thermoplastiques à base de polyuréthane, et le PVC. La mousse est en TEP, PUR et le support est en PP, P/E. Le thermoformage permet d'obtenir des pièces moussées, avec de bonnes qualités tactiles et avec

la possibilité d'avoir des moussages sélectifs. Les qualités tactiles dépendent de la peau employée. En modifiant la peau, il est possible d'obtenir de grandes diversités de couleurs avec un même outil. Le grain, par contre, reste celui de la coquille employée. Lors du thermoformage positif, l'action du procédé déforme le grain dans des zones de grandes déformations, ce qui limite la variété et la complexité des géométries que l'on peut obtenir. La qualité perçue du thermoformage négatif est légèrement supérieure à celle du thermoformage positif car la technologie évite le problème de l'éirement des grains.

Une variante au thermoformage positif est la technologie Varysoft® de Georg Kaufmann Formenbau qui permet la production de pièces composées d'une peau, d'une mousse à épaisseur variable et d'un support injecté, le tout directement dans un même outillage. La peau peut être en cuir, en film polymérique, en tissu, etc. L'insert est en P/E, PP, tandis que la mousse est en TEP ou PUR.

2.3.2.2.2 THERMOGAINAGE

Le thermogainage (Fig. 2.18) consiste en l'application et le collage à chaud d'une peau déjà grainée, qui peut comporter une mousse de 1-2 cm, sur un support injecté.

La peau est produite par extrusion et est la même que celle employée pour le thermoformage positif. On retrouve les mêmes matériaux: TPO, TPU et PVC. Le support est en PP, P/E.

Ce procédé permet la production de pièces de géométries simples. Il est difficile en effet de gagner des supports avec des rayons très faibles ou des géométries complexes, avec de grandes variations de profondeur ou des doubles courbures, sans avoir de défauts et étirements de la peau.

Les caractéristiques visuelles des pièces thermogainées dépendent de la nature et du traitement des peaux employées. La simplicité du procédé autorise d'employer différents types de peaux, permettant ainsi, à moindre coût, de varier la couleur et le grain.

En ce qui concerne le toucher de la peau, on peut obtenir des rendus plus ou moins agréables. Les TPO sont plutôt râpeux et «secs». Pour la dureté, il est évident que ces pièces sont plus dures que celles moussées. Cependant, il est possible de thermogainer des peaux complexées avec une fine couche de mousse.

2.3.2.2.3 IN MOLD LAMINATION

Ce procédé permet la production d'une pièce couverte d'une peau. Le procédé de moulage commence par l'insertion de la peau, préformée par une presse de moulage horizontal, dans le moule. Pendant le cycle d'injection, le polypropylène s'écoule dans la cavité du moule et forme des liaisons avec la peau. Le résultat est une pièce unie où la peau est présente dans des zones spécifiques. Pour créer une variation additionnelle dans les zones de contact, la pièce peut comprendre une couche de mousse, plus ou moins épaisse. Enfin, il est possible d'utiliser une peau, une mousse et un substrat en oléfine. La planche de bord qui en résulte est entièrement recyclable.

2.3.2.2.4 SLUSH MOLDING

Ce procédé (Fig. 2.18) permet de produire une pièce composée d'une peau, fabriquée par Slush Molding, une mousse et un support. La gamme de matériaux pour la peau comprend le PVC, TPE, TPO et TPU stabilisé aux UV ; l'insert est en P/E, PP ; la mousse en TEP ou TUR.

Il s'agit de la technologie permettant le plus de précision et de liberté dans le choix des formes, dans la finesse des détails et dans le contrôle des jeux. La précision de moulage permet de créer des dé-

cors, comme des fausses coutures, des logos et de reproduire le grain avec une grande qualité. Ce procédé est très performant du point de vue de la qualité perçue, à la fois visuelle et tactile. Il permet de varier facilement la couleur de la peau. Par contre, le grain qui découle de l'outillage ne peut être changé. La dureté Sensotact est comprise entre 85 et 98.

2.3.2.2.5 PP SKIN

Le procédé PP skin (Fig. 2.18), ou PP Injected permet la production de pièces composées d'une peau injectée, d'une mousse et d'un support. La peau est en PP + SEBS. Le SEBS est un élastomère thermoplastique à base de copolymères blocs styréniques, avec d'excellentes caractéristiques au vieillissement climatique : tenue à la lumière (rayons UV), à l'oxygène, à l'ozone et à la chaleur (-40 à 120 °C). Le matériau est très visqueux pour permettre l'injection en peau, avec des petites épaisseurs pour une grande surface. La mousse injectée est une mousse en polyuréthane, PUR. Le support est en P/E, ou PP. Étant donné que la peau est directement injectée dans un moule, il est possible de lui donner des formes et des détails particulièrement fins. Les possibilités sont celles permises par le Slush. Un des intérêts de ce procédé réside dans les qualités tactiles particulièrement performantes dues à la matière de la peau. La pièce possède ainsi un toucher soft, très agréable et le complexe moussé est relativement peu dur.

2.3.2.2.6 PU-RIM

Le procédé Reaction injection molding (RIM) (Fig. 2.18) est un procédé semblable à l'injection plastique. La différence est dans l'utilisation de polymères thermodurs, qui polymérisent dans le moule. Une pièce produite par PU-RIM comporte un support en PP standard recouvert par une injection RIM de polyuréthane.

Le matériau le plus courant pour l'injection RIM est le polyuréthane (la technologie est connue généralement sous le nom de PU-RIM), mais d'autres variantes utilisent des polyurées, des polyisocyanurates, des polyesters, des polyphénols, des polyépoxydes, et du nylon 6. Pour obtenir une pièce en polyuréthane, les composants du mélange sont du polyisocyanate et un mélange de polyol, un agent tensioactif, un catalyseur, un agent moussant. Le mélange bi-composant injecté dans le moule est plus visqueux que les polymères thermoplastiques fondus, il est donc possible d'imprimer des pièces de grandes dimensions, légères et à parois minces. Étant donné que la peau est directement injectée dans un moule, il est possible de lui donner des formes et des détails particulièrement fins. Les possibilités sont celles permises par le Slush et le PP skin.

Un autre avantage du PU RIM est la création d'une pièce avec une peau de haute densité et un noyau de faible densité. On a des caractéristiques visuelles et tactiles semblables au Slush. Le ressenti sensoriel est très riche (rayons et détails fins, moussage sélectif, possibilité de varier facilement la couleur de la pièce faisant varier la matière), avec une grande qualité perçue.

2.3.2.2.1 PU SPRAY

Le PU spray (Fig. 2.18) est un procédé de pulvérisation d'un film mince de polyuréthane élastomère sur la surface d'un moule. Une fois le matériau réticulé, le film est décollé sous forme de peau. On procède alors à une back-injection simple, ou injection de support et moussage pour obtenir une pièce finie. Le PU spray est utilisé pour faire de grandes pièces, très fines, et des pièces dont la géométrie ne permet pas toujours de remplir la cavité du moule par moulage classique par injection.

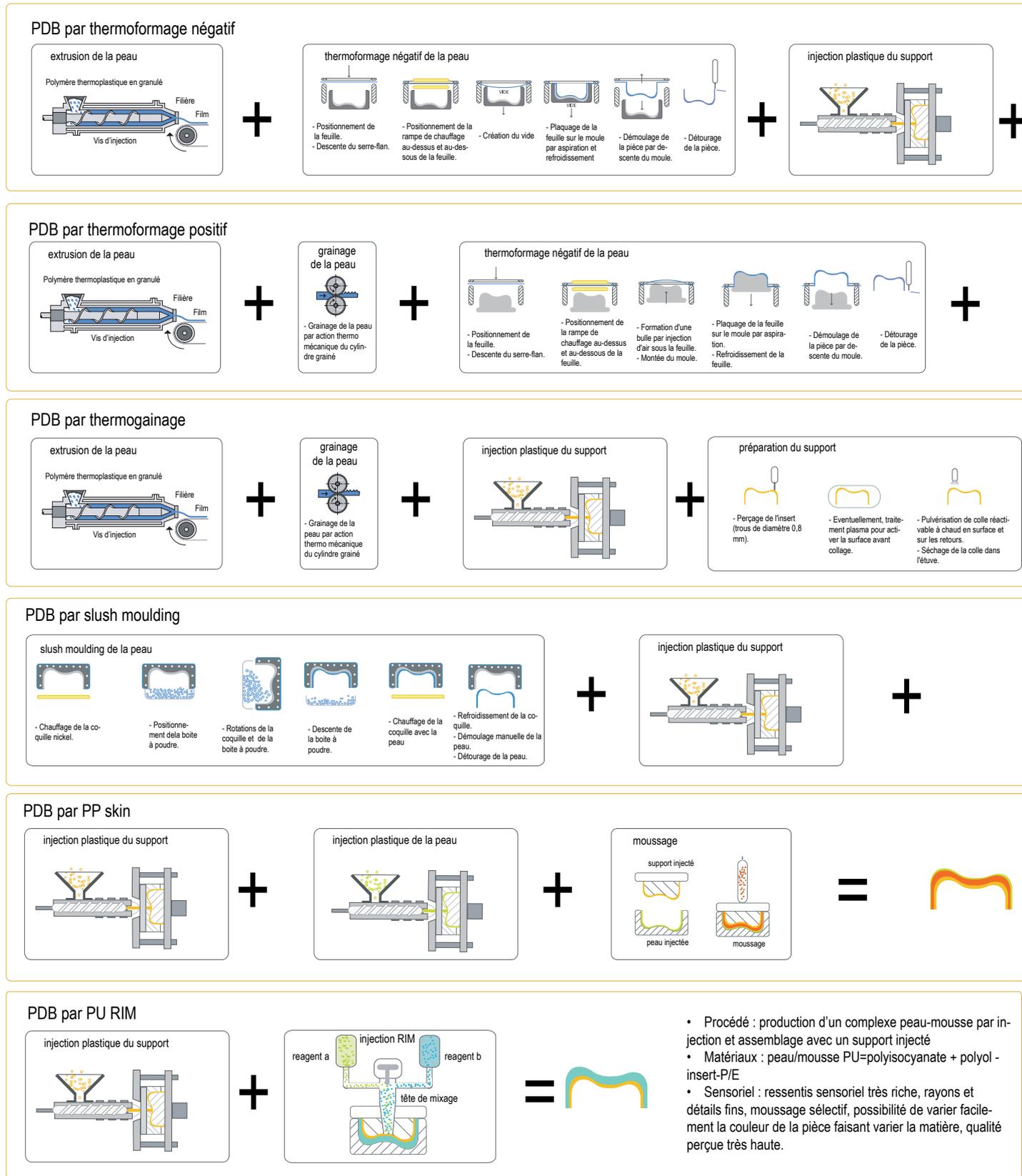
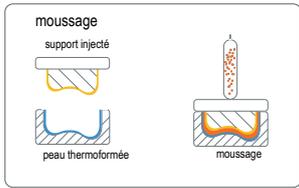
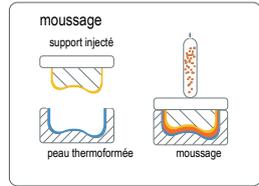
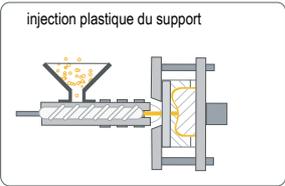


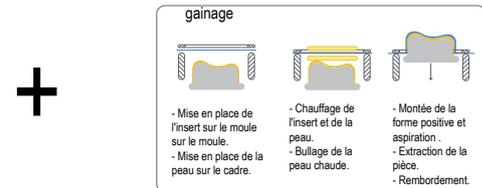
Fig. 2.18 : Synthèse des procédés de production d'une pièce grainée, exemple de la planche de bord.



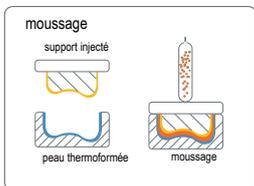
- Procédé : déformation et grainage à chaud d'une peau et assemblage par moussage avec un support injecté
- Matériaux : peau TPO, TPU, PVC - mousse TEP, TUR - insert-P/E
- Coûts : technologie moyennement coûteuse : 25 €/pièce
- Sensoriel : ressenti sensoriel riche, en fonction de la peau employée, rayons moyens, moussage sélectif, possibilité de varier facilement la couleur de la pièce faisant varier la peau, pas de déformation du grain.



- Procédé : déformation à chaud d'une peau grainée et assemblage par moussage avec un support injecté
- Matériaux : peau TPO, TPU, PVC - mousse TEP, TUR - insert P/E
- Coûts : technologie moyennement coûteuse
- Sensoriel : ressenti sensoriel moins riche que le thermoformage négatif, en fonction de la peau employée, rayons moyens, moussage sélectif, possibilité de varier facilement la couleur et le grain de la pièce faisant varier la peau, mais déformation du grain.



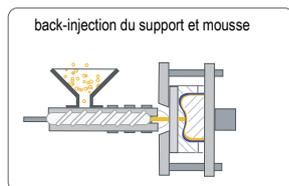
- Procédé : application et le collage à chaud d'une peau grainée sur un support injecté
- Matériaux : peau TPO TPU PVC - insert P/E
- Coûts : technologie moyennement économique : 18 €/pièce
- Sensoriel : ressenti sensoriel assez riche en fonction de la peau employée, grands rayons, peu de moussage, possibilité de varier facilement le grain et la couleur de la pièce faisant varier la peau.



- Procédé : production d'une peau formée et grainée à partir de poudre de polymère et assemblage par moussage avec un support injecté
- Matériaux : peau TPO, TPU, TPE, PVC - mousse TEP, TUR - insert P/E
- Coûts : technologie coûteuse : 33 €/pièce
- Sensoriel : ressenti sensoriel très riche, rayons et détails fins, moussage sélectif, possibilité de varier facilement la couleur de la pièce faisant varier la poudre, qualité perçue très haute.

- Procédé : production d'une peau formée et grainée par injection, et assemblage par moussage avec un support injecté
- Matériaux : peau PP+SEBS - mousse PUR - insert P/E
- Coûts : technologie coûteuse : 32 €/pièce
- Sensoriel : ressenti sensoriel très riche, rayons et détails fins, moussage sélectif, possibilité de varier facilement la couleur de la pièce faisant varier la matière, qualité perçue très haute

PDB par PU SPRAY



- Procédé : production d'une peau et back injection du un support
- Matériaux : peau PU - insert-P/E
- Sensoriel : ressenti sensoriel riche, rayons et détails fins, possibilité de moussage, qualité perçue haute.

2.4 CONCLUSIONS

Cet état de l'art montre que les problématiques liées à l'aspect d'une pièce grainée peuvent être analysées sous différents angles. Elles s'étendent sur des domaines de plusieurs disciplines: les théories sur le design, à l'approche de la qualité perçue, à la métrologie sensorielle, jusqu'à l'ingénierie de l'aspect et des matériaux.

L'aspect des pièces provoque une réponse sensorielle chez l'observateur, qui interprète et juge les stimuli reçus, et construit son idée de qualité. Cette Qualité Perçue dépend de différents facteurs. En ce qui concerne notre terrain d'étude, c'est-à-dire les pièces d'intérieur véhicule, elle dépend du choix du grain, et du couple matériaux/procédé.

Afin d'évaluer la qualité perçue, et surtout dans le but de la concevoir, il est nécessaire de qualifier et de quantifier les perceptions issues des surfaces des pièces. Avoir accès à une caractérisation sensorielle des pièces grainées signifie avoir accès à une carte d'identité de la perception de la pièce. Les outils d'analyse sensorielle permettent de qualifier et quantifier ces perceptions. Ils permettent de créer un référentiel, c'est-à-dire un cadre sémantique et sensoriel d'analyse. C'est ce que nous allons présenter dans le chapitre 03.

CHAPITRE 03 CREATION D'UN RÉFÉRENTIEL VISUEL DES PIÈCES GRAINÉES

Le chapitre 03 présente la création de notre référentiel visuel. Le référentiel visuel est un outil de caractérisation des pièces grainées. Dans sa version finale il compte 12 descripteurs, chacun défini par un terme, une définition, une illustration graphique, et une échelle de cotation, balisée par des échantillons repères.

La création du référentiel découle de l'établissement d'un Profil Sensoriel des surfaces grainées. Il permet d'identifier les structures d'un grain et représente la première brique pour la construction de la réponse de la thèse.

La première partie 3.1 du chapitre introduit les notions de *texture* et *grain*, ainsi que la notion de *distance de perception*. Cette partie introductive a pour rôle de situer le contexte dans lequel nous avons entrepris l'analyse sensorielle des grains. La deuxième partie 3.2 du chapitre présente les étapes de la création du référentiel des pièces grainées. Afin que le référentiel soit adapté à tout type de grain présent dans l'intérieur véhicule, l'analyse s'appuie sur 20 échantillons représentatifs des procédés technologiques de production et des matières les plus utilisés dans l'entreprise et par la concurrence. L'examen des grains a été effectué par un groupe de travail de 10 experts du secteur, et suit les étapes de la méthode du Profil Sensoriel Classique de type Quantitative Descriptive Analysis (QDA)[56].

Le coeur du travail réside dans une analyse sémantique des termes issus des descriptions des grains qui va nous permettre de les *décliner* en fonction des niveaux d'interprétation :

- Le niveau hédonique décrit l'appréciation du grain,
- Les niveaux symbolique et associatif de lecture qualifient la «fantaisie» du grain, et permet de les classer en familles.
- Le niveau descriptif vise à décrire de manière objective la composition de la texture.

Ce dernier niveau nous permet de définir les descripteurs pour la caractérisation d'un grain.

3.1 DÉFINITIONS : TEXTURE ET GRAIN

3.1.1 TEXTURE ET GRAIN

Le terme **texture** puise son étymologie dans sa racine latine *textura*, «tissu; contexture», dérivé de *texere* «tisser». La texture est, à l'origine, le mode de croisement des fils de tissage. C'est l'état d'une étoffe ou d'un matériau tissé et, plus généralement, la constitution d'un matériau solide [49].

Le terme *texture* a différentes significations en fonction du contexte sémantique d'emploi :

- En littérature, c'est l'arrangement et la disposition des parties d'un ouvrage;
- En géologie c'est l'ensemble des caractères définissant l'agencement, les relations volumiques et spatiales des minéraux d'une roche ;



Fig. 3.1 : Texture du bois coloré, textures de variations de transparences et couleurs, textures tridimensionnelles, texture de la peau d'un éléphant, texture d'une feuille.

- En histologie c'est l'entrelacement des fibres qui composent une partie du corps (par exemple la texture de la peau);
- Et en informatique c'est la représentation d'une matière, d'une surface, dont le rendu est effectué par placage d'une image sur un modèle en trois dimensions [49].

En sciences cognitives [51] la texture visuelle est décrite comme un indice permettant de reconnaître et différencier les objets, que ce soit des images bidimensionnelles ou des objets tridimensionnels. Pour la vue, la texture peut être définie comme la caractérisation d'une surface au moyen des variations de son homogénéité, tels que les signes graphiques, les gravures, les changements de couleurs, les transparences, brillances, etc. Cette définition partielle ne prend pas en considération l'aspect tactile de la texture.

La texture d'un matériau est à la fois visuelle et tactile, et ne concerne pas seulement la surface mais également les caractéristiques de la matière. Dans «Skin and touch», Lederman [50] explique que le terme *texture* est rarement bien défini. Pour le sens du toucher, ce terme fait référence à toutes les propriétés physiques des objets qui se différencient de la forme. La texture inclut ainsi la rugosité, la dureté, le glissant, le collant, la densité ou présence de grumeaux et l'élasticité.

La texture peut être naturelle ou artificielle, aléatoire ou géométrique, bidimensionnelle ou tridimensionnelle, lisse ou rugueuse (Fig. 3.1). Dans la littérature scientifique, différents termes sont utilisés pour décrire une texture. Certains concernent les textures visuelles et cherchent à les regrouper en catégories [51], d'autres termes sont plus spécifiques aux textures des matériaux et sont subdivisés en dimensions géométrique, physico-chimique, émotionnelle et associative [53] [52].

Le terme **grain** est également un terme qui renvoie à un ensemble vaste de définitions selon le contexte sémantique que l'on choisit. En science des matériaux, par exemple, le grain d'un matériau métallique est un monocristal de petite dimension [37]. Le grain d'une peau définit l'aspect de sa surface sa finesse et la taille des pores. Dans le monde industriel, la texture superficielle d'une pièce en matière plastique est appelé **grain**. Le grain décrit la topographie imposée par l'empreinte du moule (Fig. 3.2 a. et c.) ou par le cylindre de grainage (Fig. 3.2 b.) sur la surface de la pièce. Les premières pièces polymériques issues de la production industrielle ont été grainées pour masquer les défauts d'aspect, surtout pour l'injection plastique [56][43].

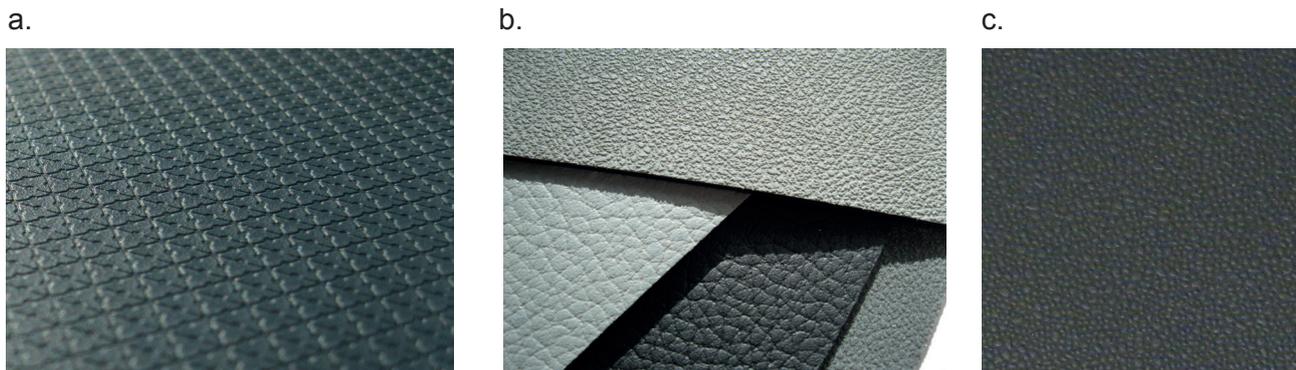


Fig. 3.2 : a. grain Renault Mikado sur plaque injectée, b. peaux en PVC et TPO, c. grain fin sur plaque injectée.

Les fonctions du grain sont de :

- Cacher les impuretés de la matière,
- Donner à la pièce un aspect fini
- Imiter des matériaux plus nobles, d'origine naturelle, par exemple le bois, le cuir, etc.

Le grain sert également à protéger l'aspect de la pièce à travers une diminution de la rayabilité et à diminuer sa brillance. Sur un véhicule, le type de grain dépend de la destination et de la fonction de la pièce d'aspect :

- Des grains de petite taille, homogènes et denses sont utilisés pour les pièces d'extérieur (Fig. 3.2 c.)
- Tandis que les grains plus grands, avec des fantaisies plus complexes et recherchées sont employés dans les pièces d'intérieur véhicule (Fig. 3.2 a et b).

La fonction du grain s'étend également à l'illustration de l'image de marque. Outre des grains de fond, c'est-à-dire les grains utilisés pour les pièces d'aspect périphériques de l'habitacle, il est habituel de trouver des grains dits « identitaires », avec une esthétique développée pour refléter du caractère du véhicule et de l'image de marque. Un exemple de grain identitaire est le grain Mikado, développé pour la Clio IV (Fig. 3.2 a.).

Dans ce travail de thèse, nous allons employer la définition industrielle de « grain » : le grain est la texture superficielle imposée par le moule sur les pièces plastiques.

3.1.2 DISTANCE ET PERCEPTION VISUELLE

Le grain d'une pièce plastique est donc défini comme une propriété superficielle qui se distingue de la forme, une caractérisation topographique de petite taille, à la fois visuelle et tactile et imprimée par l'action du procédé de mise en forme sur la surface. La perception visuelle et tactile du grain dépend de la **distance**, déterminée par les modalités d'exploration sensorielle (Fig. 3.3) :

- Les distances supérieures à 80 centimètres sont spécifiques à une interaction visuelle. Ces distances permettent de voir les surfaces, on peut deviner les propriétés tactiles au travers des perceptions visuelles, mais on ne peut encore les valider par le toucher.
- En se rapprochant, la distance d'observation admet une exploration polysensorielle visio-tactile

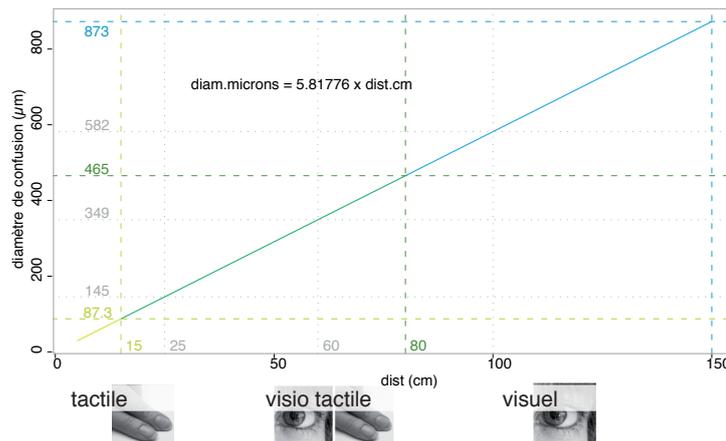


Fig. 3.3 : Diamètre du cercle de confusion (en microns) en fonction de la distance d'observation (en centimètres).

(de 80 cm à 15 cm). Le sens du toucher confirme ou dément ce que la vue nous a suggéré et nous donne plus d'informations sur les caractéristiques de la texture ; le grain est glissant ou râpeux ; la surface est dure ou moussée.

- La perception visuelle nette n'est pas possible aux distances inférieures à 15 centimètres. L'oeil n'arrive pas à mettre au point les objets à des distances trop petites, ces distances ne permettent qu'une interaction tactile.

La distance ne discrimine pas uniquement les modalités sensorielles sollicitées, mais également la qualité de la perception. En effet, la vue a une capacité de discrimination [54] : si une texture est regardée à une échelle trop grande, elle sera difficilement perçue. Ceci est dû à une raréfaction des signes de la texture. De même, une trop grande concentration d'éléments de la texture mène à une absence de sa perception : si la maille de la texture est plus fine que la mosaïque de cellules de la rétine, l'oeil la remplace par une surface homogène [54][55].

Ainsi, la perception d'une texture peut différer en fonction de la distance de vision. Elle dépend donc de l'acuité visuelle, c'est-à-dire de la capacité à discerner un petit objet en fonction de sa taille et de sa distance. Cette notion est représentée par le **cercle de confusion** (Fig. 3.3) [55] et est définie comme la distance minimale qui doit séparer deux points pour qu'ils soient vus comme distincts. Les éléments d'un échantillon séparés par des distances inférieures au diamètre de ce cercle ne sont plus perceptibles de façon distincte.

Ainsi, pour que le grain soit perçu, il est nécessaire de prendre en considération sa dimension et la distance d'observation. L'ordre de grandeur caractéristique des grains varie entre 20 µm pour les grains les plus fins, à quelques centimètres pour les grains les plus gros. Dans le véhicule, les surfaces grainées sont regardées à différentes distances :

- La plus lointaine de l'ordre de 150 cm, correspond à la distance maximale d'un passager à d'une planche de bord (ex passager arrière, ou hors véhicule avec porte ouverte);
- Celle intermédiaire est de l'ordre de 80 cm, distance standard du conducteur de la planche de bord;
- Et la distance minimale, qui nous permet de voir dans les détails une texture, est de 15 cm.

À une distance de l'ordre de 15 cm, le diamètre du cercle de confusion est de l'ordre des 87,3 µm; à 80 cm de 465 µm; et à 150 cm de 873 µm (Fig. 3.3).

procédé/matériaux	P/E	PU	PVC	TPO	total
Injection	13				13
PU-Spray		1			1
Slush			1		1
Thermoformage négatif			1	3	4
Thermogainage			1		1
total	13	1	3	3	20

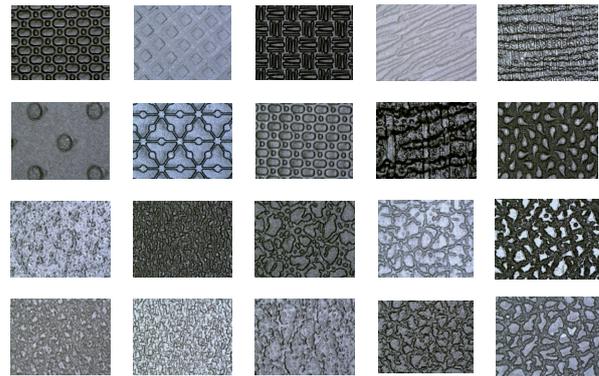


Tableau 3.1 : Matières et procédé des échantillons (le chiffre représente l'effectif).

Fig. 3.4 : Photos des échantillons (taille réelle des images est de 15mmx7mm).

3.2 CONSTRUCTION DU RÉFÉRENTIEL VISUEL

Nous présentons ici l'élaboration du référentiel visuel qui s'appuie sur les différentes étapes de l'élaboration du Profil Sensoriel Classique de type Quantitative Descriptive Analysis QDA, notamment sur la génération de termes et leur tri. Les étapes successives permettent d'identifier les descripteurs et de les définir. L'ensemble de l'étude s'étend sur 8 séances de travail de deux heures. Une étape d'entraînement et d'évaluation d'autres produits sera présentée dans le chapitre 04.

3.2.1. MATÉRIAUX ET MÉTHODE

3.2.1.1. MATÉRIAUX : L'ESPACE PRODUIT

Les échantillons recueillis pour la construction du référentiel sont des échantillons grainés, et représentent les types de surface que l'on peut retrouver sur les planches de bord, les panneaux de porte et sur les pièces extérieures véhicule, présentes sur le marché. Parmi une collection initiale de 100 échantillons, les 20 les plus représentatifs ont été choisis. Ils représentent l'espace produit de l'étude. Les échantillons proviennent des 5 principales familles de technologies de production de planche de bord¹ et comportent 4 types de matériaux.

Le tableau 3.1 présente les matières et les procédés de production des échantillons :

- 13 plaques en copolymère P/E produits par injection plastique.
- 1 échantillon en polyuréthane obtenu par PU spray,
- 1 échantillon en PVC obtenu par slush,
- 4 peaux, 3 en TPO et 1 en PVC utilisées pour le thermoformage négatif,
- 1 peau en PVC grainée par cylindre de grainage, utilisée pour le thermogainage.

La figure 3.4 présente les photos des échantillons. La taille réelle des images est de 15 mm x 7 mm.

¹ Pour le détail et la liste des procédés de production d'une pièce grainée voir le chapitre 02, 4.2 PROCÉDÉS, MATIÈRES ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES DES PIÈCES GRAINÉES

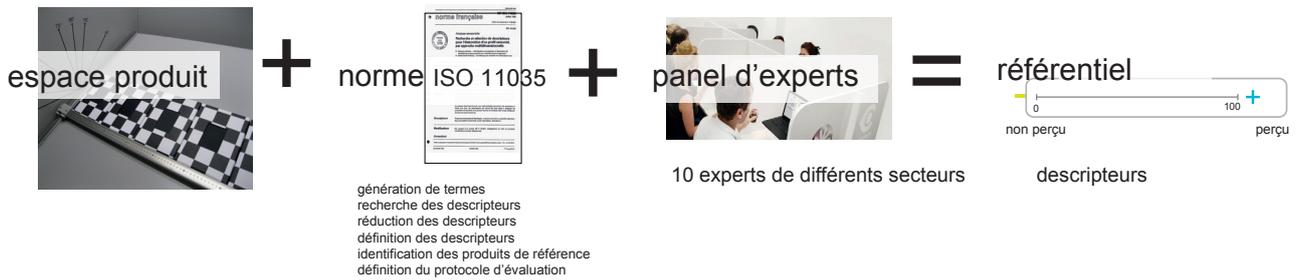


Fig. 3.5 : Méthode du profil sensoriel.

3.2.1.2 MÉTHODE DU PROFIL SENSORIEL

Afin d'analyser la façon dont les textures sont comprises et perçues, nous avons procédé à une analyse sensorielle suivant les étapes du Profil Sensoriel Classique QDA. La méthode utilisée est décrite dans la norme ISO 11035 [56][57] et permet de fournir une description quantifiée d'un ensemble de produits, basée sur les perceptions d'un groupe de sujets (Fig. 3.5).

3.2.1.2.1 ÉTAPES DU PROFIL SENSORIEL CLASSIQUE

La mise en place d'un profil [56] pour la création d'un référentiel répond à différentes étapes :

- Génération et tri des termes
- Recherche des descripteurs potentiels
- Réduction et analyse statistique des descripteurs
- Définition des descripteurs
- Identification des produits de référence
- Définition du protocole d'évaluation
- Entraînement et évaluation des produits

3.2.1.2.2 LE PANEL D'ÉVALUATEURS

Le panel d'évaluateurs [58] regroupe des professionnels de la conception de la planche de bord ainsi que des spécialistes de la qualité perçue, des matériaux polymères, du grainage et de l'analyse sensorielle. C'est donc un panel «interne». L'hétérogénéité des métiers des évaluateurs qui composent le panel permet d'avoir à la fois des experts qui sont quotidiennement en contact avec des pièces grainées et des sujets moins experts dont la lecture des caractéristiques des produits n'est pas influencée par l'activité professionnelle.

Le groupe d'étude est composé de 10 participants provenant de différents secteurs :

- Qualité Design Couleur et aspect
- Perception et Analyse Sensorielle
- Section métier planche de bord
- Analyse non destructive et Sensorielle
- Intérieur Carrosserie
- Métier Qualité Perçue

3.2.1.2.3 MODE OPÉRATOIRE

Les échantillons utilisés pour la création du référentiel sont sous différentes formes (plaques injectées, échantillons moussés, etc.). Afin de ne pas distraire la perception des échantillons par la géométrie ou technologie de production, nous avons réalisé des porte-échantillons. Ces porte-échantillons permettent de rendre les différents échantillons uniformes dans leurs tailles et leur poids. Chaque porte-échantillon a une taille de 20x15x2cm, la partie visible de l'échantillon est une fenêtre de 6x8cm. Les échantillons sont présentés aux examinateurs en ordre aléatoire pour éviter les effets d'ordre [30] ; ils sont positionnés dans des cabines à lumière, sous un éclairage standard type «concession» (TL84) [59]. La première séance de génération de termes est individuelle. L'ensemble des autres séances prévoit un travail de groupe des évaluateurs pour s'accorder sur le tri des termes, leur réduction et pour la définition des descripteurs.

3.2.2. PROFIL SENSORIEL DES PIÈCES GRAINÉES

3.2.2.1 GÉNÉRATION ET TRI DES TERMES : ANALYSE SÉMANTIQUE

La première séance de l'étude est la séance de génération de termes. Elle est individuelle. Chaque évaluateur a pour consigne de décrire les échantillons présentés.

L'ensemble des séances de génération de termes a fourni un total de 203 termes. À partir du corpus de termes, nous avons effectué un travail de tri et d'analyse afin de structurer la compréhension d'un grain et de choisir les termes les plus appropriés à la caractérisation. Le tableau 3.2 illustre les termes générés. Ils sont disposés selon leur fréquence d'apparition (colonne) et leur appartenance à une catégorie (lignes).

Les catégories regroupent différents termes :

- Termes hédoniques ou de jugement : ce sont des adjectifs employés pour juger l'ensemble de l'échantillon, par exemple s'il est «agréable», «moderne», «vieillot», «classique». Cette catégorie contient également des termes qui se réfèrent de la lecture globale du grain. Ce sont des considérations d'appréciation qui appartiennent parfois au champ lexical des émotions.
- Termes de ressemblance utilisés pour indiquer à quoi ressemble la surface, ce qu'elle évoque, si l'échantillon ressemble à une «peau», à un «cuir», ou à un «tissu» etc.
- Termes de description globale qui décrivent les caractéristiques globales de la surface, si le grain est «régulier», «homogène», «chargé».
- Termes d'échelle de grandeur qui font référence à la finesse du grain, à sa profondeur. On y retrouve également le terme « râpeux » qui fait référence à une qualité tactile qui est devinée à partir de la rugosité de l'échantillon.
- Termes de description de forme : «ligne», «triangle», «arrondi», «rond».
- Termes de description d'agencement et de disposition : «horizontal», «vertical», «aligné».
- Termes de description chromatique : «noir», «gris», «clair», «café», etc.
- Termes de description du brillant : «terne», «réfléchissant», «brillant», «mat».

La fréquence d'utilisation des termes nous renseigne sur leur pertinence. Les termes peu utilisés peuvent être ou non pertinents (par exemple le terme «fragile»), ou relatifs à un seul échantillon («losange»). Les termes trop fréquemment utilisés ne permettent pas de discriminer les échantillons entre eux («grain», «motif»). Parmi le corpus généré, on retrouve plusieurs synonymes. Le travail de groupe des examinateurs consiste à s'accorder sur les termes et à choisir une définition consensuelle.

3.2.2.2 DÉCLINAISON

L'analyse sémantique nous conduit à décomposer la lecture d'un grain à plusieurs niveaux. De même qu'un texte sur papier peut être décrit comme des signes noirs sur un fond blanc, un texte peut aussi être lu et nous renvoyer à des mots, et donc à une sémantique plus complexe. Ces deux types de langage subsistent aussi dans la texture. Une texture peut en effet être vue comme un

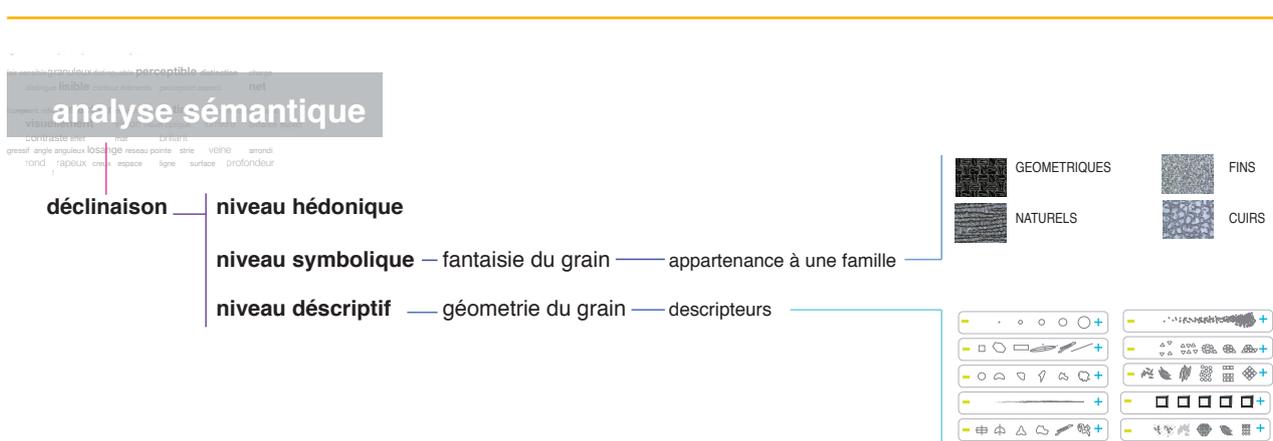


Fig. 3.6 : Structure du tri des termes et déclinaison du grain.

ensemble de signes sur un fond ; mais elle peut également renvoyer à des notions plus abstraites. Les différents niveaux de lecture reprennent la subdivision en catégories du tableau 2 et permettent une **déclinaison** du grain, c'est-à-dire une description à différents niveaux (Fig. 3.6) :

- Le niveau le plus élémentaire est un niveau descriptif qui concerne la composition de la structure. Les **termes descriptifs** permettent de décrire la géométrie des grains. Cependant ils ne renseignent pas sur la compréhension de la texture.
- Le niveau supérieur, composé de **termes de ressemblance**, se base sur le niveau descriptif mais fait également référence à la connaissance du client. C'est un autre niveau de lecture d'une texture, une lecture qui renvoie à des associations.
- Le niveau plus abstrait et subjectif est le niveau des **termes hédoniques**, qui expriment un jugement sur ce que le grain représente ou sur sa réalisation.

Les **termes de ressemblance** sont ceux employés pour classer les échantillons en macro familles d'appartenance. On distingue donc des grains de la famille des grains géométriques, de la famille des grains cuirs, de la famille des grains fins et de la famille des grains naturels (Fig. 3.6).

Les **termes descriptifs** sont des descripteurs potentiels car ils permettent de décrire la géométrie de la texture. Ils décrivent à la fois l'ensemble de la texture («homogène») ou son motif («régulier»), les éléments qui le composent («arrondis», «anguleux», etc.) et leurs disposition («alignés»). Cependant il n'est pas toujours simple d'établir un consensus sur les éléments de la texture auxquels les termes font référence.

Par exemple, pour les termes d'échelle de grandeurs, parle-t-on de la taille des éléments, des motifs ou de la texture en général? Pour évaluer la finesse d'un grain, considère-t-on le plus petit composant de la texture, le plus grand, ou le plus représentatif ?

La description de la texture ne doit pas uniquement prendre en considération le niveau de lecture, mais aussi la composition de sa structure. Une texture (Fig. 3.7 a.), par exemple, peut contenir des motifs composés d'éléments simples qui se répètent. Ce même élément (Fig. 3.7 b.), dans un autre grain, peut composer un dessin qui, répété, génère un motif. La répétition de ce même dessin, peut

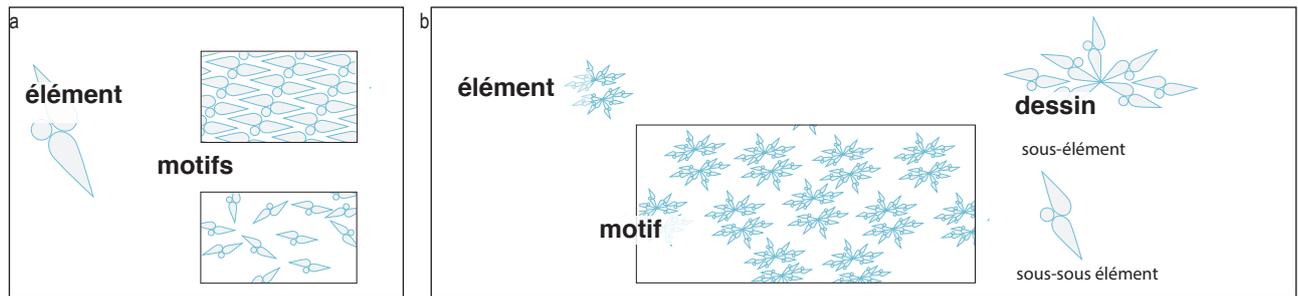


Fig. 3.7 : Structure d'un grain

représenter le motif de la texture. L'élément du grain a. devient alors un sous élément du grain b. Une texture peut également avoir différents motifs qui se superposent où qui apparaissent et disparaissent en fonction de la distance de vision.

Afin de s'accorder sur les termes et définitions des descripteurs, il a fallu premièrement se donner des règles de définition :

Le grain est décrit par la perception d'un motif.

Le motif est généré par la répétition d'éléments, il est caractérisé par la disposition de l'élément et par sa forme

L'élément est l'entité perçue comme unitaire de l'échantillon, la plus représentative de l'échantillon qui se distingue du fond.

L'ensemble des éléments du grain, leurs dessins et leurs dispositions en détermine la « fantaisie » :

3.2.2.2 RECHERCHE DES DESCRIPTEURS POTENTIELS

Sur l'ensemble des 203 termes générés, l'analyse, le tri et la fréquence d'emploi ont permis d'écartier les termes hédoniques, les termes quantitatifs, les termes qui décrivent le produit par lui-même et les termes non pertinents [56]. Le but est de trouver des termes pour décrire objectivement les grains. Les termes écartés sont des descripteurs potentiellement inadéquats car ils ne renvoient pas à une sensation objective et mesurable de l'échantillon, mais plutôt à un jugement qui tourne autour de cette perception.

Les termes retenus comme **descripteurs potentiels sont les termes descriptifs**. Certains termes sont des termes qui font référence à l'ensemble du grain et sont multidimensionnels, d'autres sont monodimensionnels.

Les termes descriptifs d'ensemble, comme les notions d'homogénéité, d'aspérité, de granulosité, sont très utilisés pour décrire un grain, mais ne constituent pas de bons descripteurs car ils sont peu précis et leur interprétation est subjective. L'homogénéité peut en effet faire référence à la taille des éléments, comme à leur forme, et à leur disposition. L'aspérité d'un grain est associée à la profondeur du grain, mais également à sa forme, comme pointue et saccadée. Les termes monodimensionnels permettent de décrire de façon simple les notions plus générales qui sont souvent utilisés

	I	F	M	POSITION DES DESCRIPTEURS
dimension	56	94	73	5
netteté	58	91	73	4
occupation de l'espace	67	93	79	1
densité	63	95	77	2
lisibilité	58	92	73	3
brillance	55	93	71	6
contraste de brillance	41	79	57	9
dénivelé	45	87	62	8
relief	28	54	39	13
creux	12	27	18	14
allongement	37	81	55	11
angulosité	41	77	56	10
complexité	55	84	68	7
alignement	37	64	49	12

Tableau 3.3 : Notations pour le classement des descripteurs par ordre de pertinence selon la moyenne géométrique M. (I = intensité, F = fréquence).

pour décrire un grain. Nous pourrions ainsi dire que les concepts de finesse ou de granularité sont perçus lorsque certaines des caractéristiques monodimensionnelles ont des valeurs qui appartiennent à une certaine plage.

La perception de la finesse du grain, par exemple, est provoquée par une très grande densité d'éléments, de petites dimensions, de faible netteté et faible profondeur. Lorsque la profondeur et la taille des éléments augmentent, ce même grain qui semblait «fin», devient «granuleux». Lorsque la netteté et l'angulosité augmentent, nous arrivons à percevoir l'aspérité du grain.

Ces termes généraux sont la résultante de la coexistence de certains descripteurs. Ils sont plus instinctifs, mais difficilement objectifs car ils regroupent des perceptions très différentes. Ainsi, ils sont écartés de la liste des descripteurs potentiels.

Les termes retenus comme descripteurs potentiels sont monodimensionnels. Cependant, dans la liste des descripteurs potentiels, nous avons gardé la notion de lisibilité, afin d'avoir un indicateur sur la compréhension immédiate de la texture. Ce descripteur multidimensionnel pourrait sembler ne pas avoir sa place dans le référentiel, mais nous faisons l'hypothèse que la facilité à comprendre un grain participe à son évaluation, d'où la nécessité de le garder. L'équipe de travail retient alors 14 descripteurs issus du regroupement et de l'analyse des termes générés :

- 5 relatifs à la perception de l'élément et à sa forme (dimension, netteté, allongement, angulosité, complexité)
- 3 relatifs à la perception de la disposition de l'élément dans l'échantillon (occupation de l'espace, densité, organisation),
- 2 relatifs à la perception de la brillance (brillance et contraste de brillance),
- 3 relatifs à la perception du relief (creux, dénivelé, relief)
- Et enfin un descripteur qui décrit la lisibilité globale de la texture.

3.2.2.3 RÉDUCTION DES DESCRIPTEURS ET ANALYSE STATISTIQUE

Les examinateurs procèdent à une première notation des produits. Ils évaluent l'intensité de chaque perception sur une échelle de 0 à 5 en utilisant les descripteurs qu'ils considèrent comme les plus adaptés parmi les 14. Afin de réduire le nombre de descripteurs, la norme ISO 11035[56] prévoit un

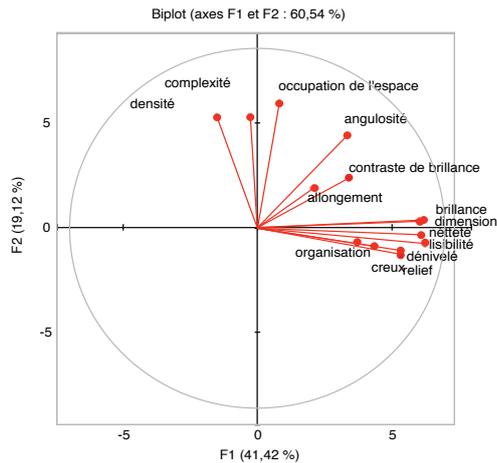


Fig. 3.8 : Analyse en Composantes Principales

	F1	F2	F3	F4
Dimension de l'élément	13,093	0,296	4,565	0,591
Netteté	13,116	0,127	6,288	0,000
Occupation de l'espace	0,132	26,274	9,130	5,290
Densité	1,922	20,261	8,116	7,902
Lisibilité de l'élément	13,746	0,529	5,672	0,000
Brillance	12,636	0,153	4,132	0,633
Contraste de brillance	3,517	3,066	4,309	31,721
Dénivelé	12,875	0,238	1,471	3,495
Relief	12,632	0,003	1,736	1,177
Creux	7,582	0,005	8,570	18,969
Allongement de l'élément	1,616	3,682	19,021	0,795
Angulosité des bords de l'élément	3,901	15,636	1,254	17,774
Complexité de la forme de l'élément	0,114	29,254	6,560	0,706
Alignement des éléments	3,119	0,477	19,174	10,945

Tableau 3.4 : Contributions des variables (%) :

classement des termes selon la moyenne géométrique M , racine carrée du produit de la fréquence de citation F , par l'intensité I

$$M = \sqrt{F \cdot I}$$

[a]

Le calcul de la moyenne géométrique permet de prendre en compte de la même façon les descripteurs peu cités mais dont l'importance est grande par l'intensité perçue et les descripteurs dont l'intensité perçue est faible, mais qui sont souvent cités. Le classement des descripteurs selon l'importance de cette moyenne permet d'éliminer un certain nombre de descripteurs dont les moyennes géométriques sont relativement faibles [56].

Le tableau 3.3 reporte les résultats de la notation qui nous permettent de classer les descripteurs par ordre de pertinence selon la moyenne géométrique M . Les descripteurs «relief» et «creux» sont classés en dernier, ayant les moyennes les plus faibles.

La notation des échantillons par les descripteurs permet également d'effectuer d'autres traitements statistiques. Le jeu de données fait alors l'objet d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) (Fig. 3.8). L'ACP est un traitement d'analyse multidimensionnelle qui permet de visualiser les relations entre les descripteurs. Ce traitement statistique permet de transformer des variables corrélées, en nouvelles variables décorréées. Ces variables, appelés composantes principales ou axes, sont projetées dans l'espace multidimensionnel et correspondent aux descripteurs. La «longueur» de l'axe représente le pourcentage de la variance expliquée dans le plan de projection. Un axe court représente une variable qui se projette «peu» dans le plan. Au contraire, un axe avec une longueur égale au rayon du cercle indique que la variable est «totalement expliquée» dans le plan. L'influence d'une variable sur un facteur est représentée par la longueur de sa projection sur celui-ci. Plus le segment est long, plus il a d'influence.

Les segments rouges de la figure 3.8 sont les variables projetées dans le plan des deux premiers facteurs (F1 et F2) de l'ACP. Certains descripteurs exercent une influence faible dans ce plan. Ils sont donc représentés par un segment de faible longueur (par exemple le descripteur d'allongement de la forme de l'élément nommé *allongement*). Pour ces descripteurs, serait nécessaire d'aller

regarder leur influence sur d'autres plans de l'espace multidimensionnel.

La lecture de l'ACP et de son tableau des variables (tableau 3.4) permet de voir l'importance des descripteurs dans différents plans de l'espace de dispersion des données. Le tableau 3.4 montre les contributions des variables dans les différents axes de l'espace créé. Les descripteurs de la *Dimension*, la *Netteté*, la *Lisibilité*, la *Brillance*, le *Dénivelé*, le *Relief* et le *Creux* ont une forte contribution sur l'axe F1. *Occupation* et *Densité*, ainsi que *Angulosité* et *Complexité* sont mieux représentés sur l'axe F2. Tous ces descripteurs sont bien représentés dans le plan décrit par F1 et F2 décrit, qui toutefois ne prennent en charge à eux deux que 60 % de la variance totale des données. Les contributions des descripteurs *d'Allongement* et *Organisation* sont mieux représentés dans le plan décrit par les axes F1 et F3. On note que le descripteur *Relief* et le descripteur *Dénivelé* sont fortement corrélés.

Le classement selon la moyenne géométrique, analyse de l'ACP et le consensus du panel ont permis de réduire les descripteurs à 12. Les descripteurs *Creux*, *Relief* et *Dénivelé* ont été regroupés en un seul descripteur, *Relief*

3.2.2.4 DÉFINITION DES DESCRIPTEURS

La réduction des descripteurs et leur analyse statistique a permis aux experts de s'accorder sur les descripteurs pertinents et leur définition. Les descripteurs retenus sont :

- **Dimension** perçue de l'élément : on évalue la surface de l'élément perçu.
- **Netteté** des bords de l'élément : on évalue la précision du contour de l'élément perçu, un contour net est bien défini, très facilement lisible, bien dessiné. Au contraire, un contour peu net est perçu comme flou et mal défini.
- **Occupation** de l'espace par les éléments : on évalue l'espace occupé par les éléments par rapport au fond. L'occupation de l'espace prend en considération la distance entre les éléments perçus par rapport à leurs dimensions. C'est le ratio entre l'espace entre éléments et leurs dimensions :
 - Un échantillon avec une occupation de l'espace non perçue est un échantillon sans éléments, composé uniquement d'un fond.
 - Une occupation de l'espace faible correspond à la présence d'éléments assez espacés les uns par rapports aux autres
 - Un échantillon avec une forte occupation de l'espace est composé d'éléments tellement proches qui ne permettent pas de juger de la perception du fond.
- **La densité** d'éléments de l'échantillon.
- **La lisibilité** de l'élément : on évalue la perception immédiate de l'élément, la facilité à le reconnaître et à l'identifier rapidement.
- **Le brillant** : on évalue la perception de la quantité de lumière réfléchié par la globalité de l'échantillon.
- **Le contraste de brillant** : on évalue la variation mat/brillant perçue à l'intérieur de l'échantillon.
- **Le relief** de l'échantillon : on évalue la variation de hauteur perçue par rapport à un niveau d'altitude jugé majoritaire, constituant un plan de référence.
- **L'allongement** de la forme de l'élément perçu.

- **L'angulosité** des bords : on évalue le caractère anguleux, saccadé des bords de l'élément. L'échelle va d'un élément avec des bords lisses à un élément avec les bords très anguleux. On ne prend pas en considération la forme mais juste la nature des bords.
- **La complexité** de la forme : on évalue le degré de complexité de la forme de l'élément perçu. L'échelle part d'une complexité nulle (élément de forme circulaire) à une forme complexe, difficile à dessiner. Pour aider à la compréhension du descripteur, on exprime la complexité comme la difficulté à reproduire la forme par un dessin manuel.
- **L'organisation** des éléments : on évalue la disposition des éléments. Une forte organisation est un alignement régulier sur deux axes x et y :
 - Une organisation non perçue décrit un échantillon qui présente des éléments disposés de façon désordonnée et jugée aléatoire.
 - Une organisation faible (périodicité faible, approximative, perceptible de façon non constante)
 - Une organisation plutôt faible (périodicité perçue en une seule direction de façon constante)
 - Une organisation plutôt forte (périodicité forte, non isotrope)
 - Une organisation forte (périodicité forte et isotrope sur x et y)

3.2.2.5 ÉCHELLES GRAPHIQUES

Un travail graphique a permis d'illustrer les concepts et de les relier aux descripteurs.

Les échelles graphiques, présentées dans la figure 3.9, ont pour but d'aider à la compréhension des descripteurs et d'aider la notation des échantillons. Les icônes ont été validées par des discussions du panel.

Les échelles graphiques qui ont demandé le plus de réflexion sont celles de l'angulosité des bords, de la complexité de la forme, de l'organisation des éléments et de la lisibilité. Les dessins des icônes sont issus de l'analyse des géométries des grains, avec une attention particulière à ne pas représenter les descripteurs de façon abstraite, mais en cherchant à s'approcher au plus près des éléments graphiques de notre espace produit.

3.2.2.6 IDENTIFICATION DES PRODUITS DE RÉFÉRENCE

L'ACP permet également de visualiser la pertinence des échantillons par rapport aux descripteurs. Ainsi, pour chaque échelle de chaque descripteur le panel identifie les échantillons de référence qui fixent les bornes inférieures et supérieures de l'échelle de notation. Ces références font office de balises, elles illustrent le descripteur en question et facilitent les notations (Fig. 3.9).

3.2.2.7 PROTOCOLE D'ÉVALUATION

Le protocole d'évaluation prévoit le positionnement des échantillons en cabines à lumière, sous un éclairage standard TL84 et sur un plan incliné à 45 degrés. Le panel est autorisé à saisir l'échantillon grâce à son porte-échantillon et à le bouger, sans cependant toucher la surface de l'échantillon.

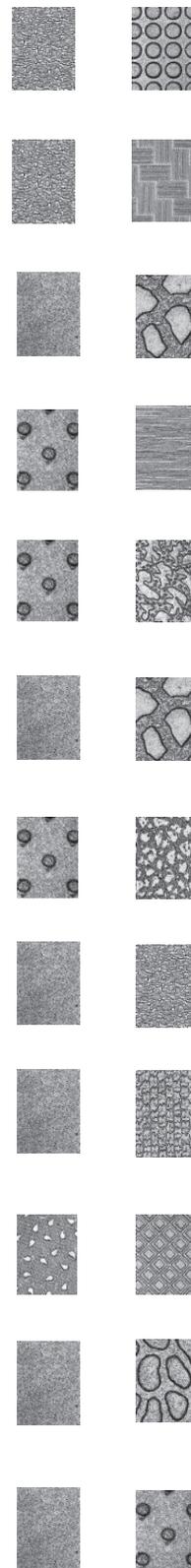
DESCRIPTEUR	DÉFINITION
Brillant	évaluation la perception de la quantité de lumière réfléchiée par la globalité de l'échantillon.
Contraste de brillant	évaluation de la variation de mat/brillant à l'intérieur de l'échantillon.
Dimension de l'élément	évaluation de l'ordre de grandeur de la surface de l'élément perçu.
Allongement de l'élément	évaluation de l'allongement de la forme de l'élément perçu, de la proportion entre la largeur et la longueur.
Angulosité des bords	évaluation du caractère anguleux, saccadé des bords de l'élément. On va d'un élément avec des bords lisses à un élément avec les bords très anguleux. On ne prend pas en considération la forme mais juste la nature des bords.
Netteté des éléments	évaluation de la précision du contour de l'élément perçu, un contour net est défini, très facilement lisible, bien dessiné. Au contraire, un contour peu net est perçu comme flou et peu défini.
Complexité de la forme de l'élément	évaluation du degré de complexité à reproduire ou décrire la forme de l'élément.
Densité	évaluation de la densité perçue, du caractère chargé en éléments ou sous éléments de l'échantillon.
Occupation de l'espace	évaluation de la perception de l'espace occupé par les éléments par rapport au fond : l'occupation de l'espace prend en considération la distance entre éléments perçus par rapport à leur dimension (ratio entre l'espace entre éléments et leurs dimensions).
Organisation des éléments	évaluation de la disposition régulière ou non des éléments entre eux.
Relief visuel	évaluation la variation de hauteur perçue dans l'échantillon.
Lisibilité	évaluation de la perception immédiate de l'élément, de la facilité à le reconnaître et à l'identifier rapidement.

Fig. 3.9 : Référentiel visuel des pièces grainées.

ÉCHELLE GRAPHIQUE



BORNES DE RÉFÉRENCE



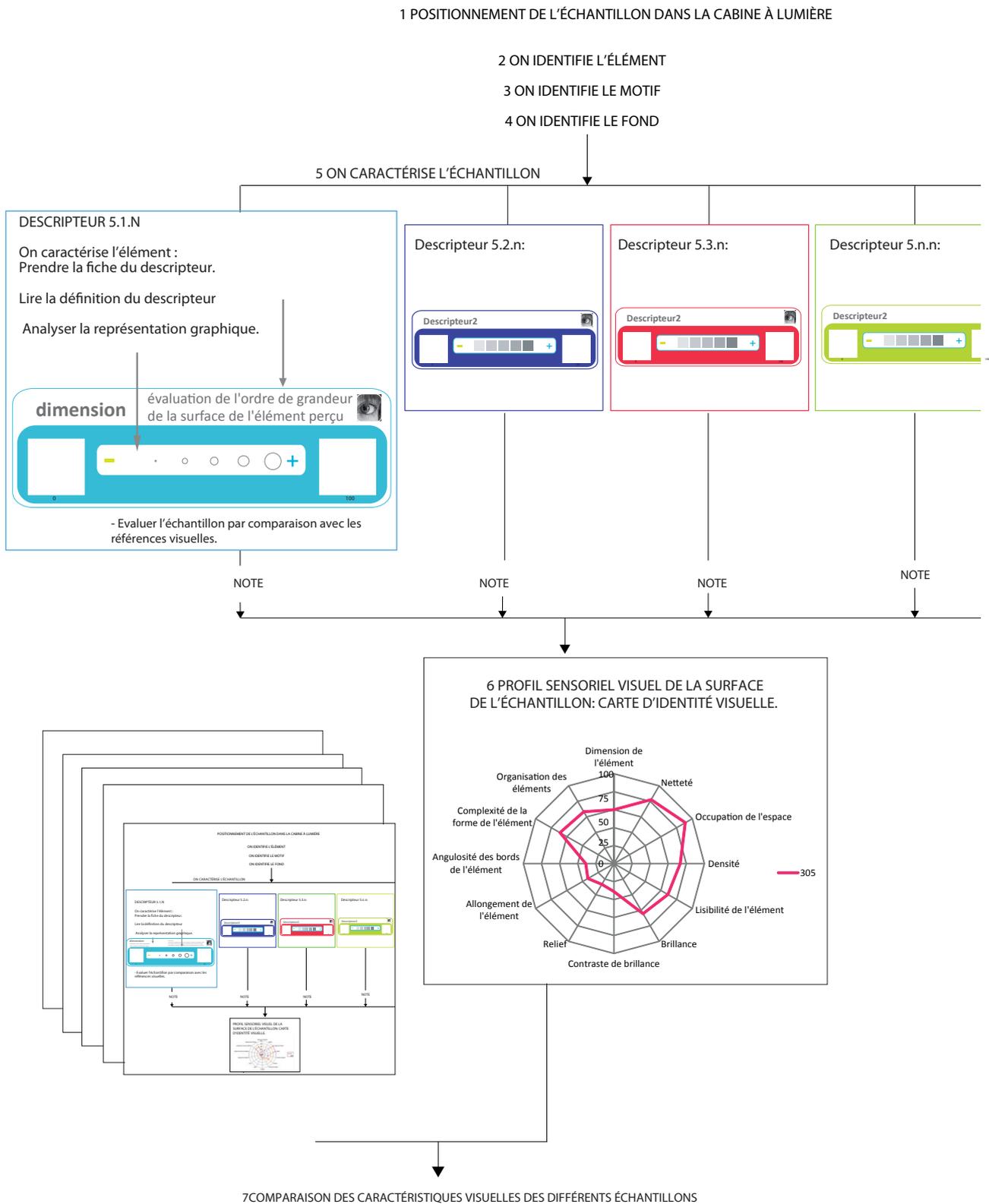


Fig. 3.10 : Etapes de l'utilisation du référentiel.

3.2.3 LE RÉFÉRENTIEL VISUEL

3.2.3.1 GRILLE DE COTATION : FICHES DES DESCRIPTEURS

Le panel d'experts a généré un total de 203 termes qui, après tri et réduction, a engendré **12 descripteurs** permettant de décrire les différentes textures des planches de bord. Certains descripteurs sont spécifiques à des éléments fermés et définis, certains à leur disposition, et d'autres à une perception d'ensemble. Chaque descripteur a une **définition**, un **protocole** de notation, et une **échelle d'intensité**. Les bornes de l'échelle sont fixées par deux échantillons représentatifs. La figure 9 présente le référentiel visuel des pièces grainées.

3.2.3.2 ETAPES DE L'UTILISATION DU REFERENTIEL

Les étapes d'utilisation du référentiel sont illustrées par la figure 10 :

1. L'échantillon à caractériser est placé dans la cabine à lumière, sous un éclairage standard TL84 et sur un plan incliné à 45 degrés. L'évaluateur se tient à une distance d'environ 30 cm de l'échantillon; il est autorisé à bouger l'échantillon ou la pièce à évaluer, sans cependant toucher la surface.
2. On identifie l'élément : l'entité perçue comme unitaire de l'échantillon, la plus représentative de l'échantillon.
3. On identifie le motif : la répétition de l'élément génère le motif. Le motif est caractérisé par la disposition de l'élément unitaire et de sa forme.
4. On identifie le fond de l'échantillon : l'élément et le motif se détachent du fond de l'échantillon.
5. On caractérise l'échantillon grâce au référentiel.
 - 5.1 On caractérise l'élément avec les fiches relatives à la perception de l'élément et à sa forme :
 - On prend la fiche du premier descripteur.
 - On lit la définition du descripteur et on analyse la représentation graphique pour comprendre les éléments à évaluer.
 - On note l'échantillon pour chaque descripteur grâce à une comparaison avec les références visuelles du référentiel.
6. L'ensemble des notes sur les différents descripteurs permet la création d'un profil sensoriel visuel de l'échantillon.
7. La comparaison statistique des notes des différents descripteurs des différents échantillons permet le placement dans un espace selon les similitudes et dissimilitudes perçues.

3.3 CONCLUSION

Le référentiel visuel élaboré comporte 12 descripteurs permettant de décrire les différents grains des planches de bord. L'ensemble des descripteurs, de leurs définitions, de leurs échelles graphiques et des étapes d'utilisations ont fait l'objet d'un brevet [60].

Les descripteurs spécifiques aux éléments sont les descripteurs de *Dimension*, *Netteté*, *Angulosité*, *Allongement et Complexité de la forme*. Les descripteurs relatifs à leur disposition sont les descripteurs de *Densité*, *Occupation de l'espace*, et *Organisation des Eléments*. Les descripteurs de perception d'ensemble sont les descripteurs de *Relief*, *Lisibilité*, *Brillant et Contraste de brillant*.

Chaque descripteur a une définition, un protocole de notation, et une échelle d'intensité. Les bornes de l'échelle sont fixées par deux échantillons repères.

L'ensemble du référentiel permet de discriminer les échantillons et de les caractériser. Cet outil permet de tracer la carte d'identité visuelle des grains. Son utilisation par un panel visuel spécialement formé est présentée dans le chapitre 04. Suite à la caractérisation sensorielle par le panel visuel, nous présenterons également la caractérisation instrumentale. Cette caractérisation instrumentale est possible grâce à des modèles qui reconstruisent instrumentalement les descripteurs du référentiel.

CHAPITRE 04 CARACTÉRISATIONS SENSORIELLE ET INSTRUMENTALE

Le chapitre 04 présente les **caractérisations sensorielle et instrumentale** des pièces grainées à travers l'utilisation du **référentiel visuel** créé dans le chapitre 03. L'objectif est de qualifier et quantifier les perceptions visuelles des surfaces des échantillons.

La partie 4.1 présente la **caractérisation sensorielle** qui rassemble les **analyses sensorielles** d'une collection de 15 échantillons spécialement choisis à cet effet. Les évaluations ont été réalisées par un groupe d'experts, un **panel visuel** que nous avons formé et entraîné à l'utilisation des descripteurs. La caractérisation sensorielle des pièces grainées permet de critiquer la validité du référentiel visuel et de voir les interactions entre descripteurs.

La partie 4.2 présente la mise en place du **panel instrumental**, c'est-à-dire un ensemble de **modèles de prédiction** de la perception des 12 descripteurs. Les modèles reposent sur les notes sensorielles de 12 des 15 échantillons et de la combinaison de variables instrumentales. Les trois échantillons qui ont été retirés de l'espace produit ont servi à la création de certaines échelles sensorielles, mais ne sont pas adaptés à la reconstruction des modèles de prédiction. Les motivations de ce choix sont présentées dans la partie 4.1.2.2.

Les variables instrumentales sont issues du traitement de données de différents instruments de mesure. Nous avons intentionnellement limité l'instrumentation à des matériels relativement communs et de niveau de performance standard dans le domaine du contrôle qualité, qui nous permettent de disposer de données :

- Topographiques, provenant d'un rugosimètre optique,
- Photométriques, provenant d'un gonio-spectrophotomètre
- Et du traitement d'images prises grâce à une caméra couplée à une loupe binoculaire.

L'approche utilisée pour la création des modèles vise à obtenir une performance statistique convenable tout en respectant un réalisme psychophysique, en employant un minimum d'instruments de mesure. Notre démarche est empirique : l'objectif est de réaliser une démonstration de faisabilité, en recherchant la meilleure prédiction des données de l'expérience sans prétendre à l'universalité du résultat. À ce stade du travail, le but est de créer un outil de caractérisation instrumentale des descripteurs qui puisse reproduire les perceptions du panel. L'emploi de l'outil instrumental est à envisager comme support aux évaluations sensorielles, qui permet une pré-évaluation et un regroupement des échantillons par familles, avant de passer à une évaluation plus fine par le panel. Les performances du panel instrumental par rapport au panel visuel seront comparées dans la partie 4.2.

Ref. échantillon	Technologie	Grain
8	injection	cuir
17	thermoformage	cuir
21	thermogainage	naturel
23	thermogainage	fin
112	injection	tissé
120	injection	tissé
123	injection	cuir
127	injection	géométrique
128	injection	naturel
129	injection	géométrique
130	injection	cuir
132	injection	cuir
133	injection	cuir
134	injection	géométrique
135	injection	géométrique

Tableau 4.1 : Codes, technologies et familles de l'espace produit.

4.1 CARACTÉRISATION SENSORIELLE

4.1.1 MATÉRIAUX ET MÉTHODES

4.1.1.1 L'ESPACE PRODUIT : 2 ÈME COLLECTION D'ÉCHANTILLONS

Nous avons retenu pour l'étape de caractérisation sensorielle une collection de 15 échantillons représentative de l'espace produit des pièces grainées noires.

Le tableau 4.1 présente les échantillons de l'espace produit, la figure 1 présente les images de leurs grains. Les échantillons ont été choisis pour refléter l'ensemble des variations de formes, de tailles et de typologies de grains présents dans le monde automobile.

Les échantillons 132 et 133 (Fig. 4.1) présentent des grains de très grandes tailles, et avec un relief important. L'échantillon 23 présente un grain de petite taille. L'échantillon 130 à un grain avec une faible profondeur et une faible définition. 8 échantillons sont des grains employés pour des pièces grainées de planche de bord et panneaux de porte (8, 17, 21, 23, 120, 123, 127 et 135), 3 sont des grains employés pour des pièces de décor (112, 128 et 129) et 4 sont des grains employés pour les grainages d'autre pièces comme les fonds de porte clefs ou les accessoires du véhicule (130, 132, 133, 134).

La collection utilisée contient :

- 6 échantillons de la famille des «cuirs»;
- 1 échantillon de la famille des grains «fins»;
- 2 échantillons de la famille des grains «naturels»;
- 2 échantillons de la famille des grains «tissés»;
- 4 échantillons de la famille des grains «géométriques».

La plupart de ces échantillons (12) a été obtenue par injection de polypropylène, tandis que trois échantillons sont des peaux en PVC grainées par cylindre de grainage, utilisées dans le thermogainage et le thermoformage (Tableau 4.1). Parmi ces 15 échantillons, 12 sont employés pour la

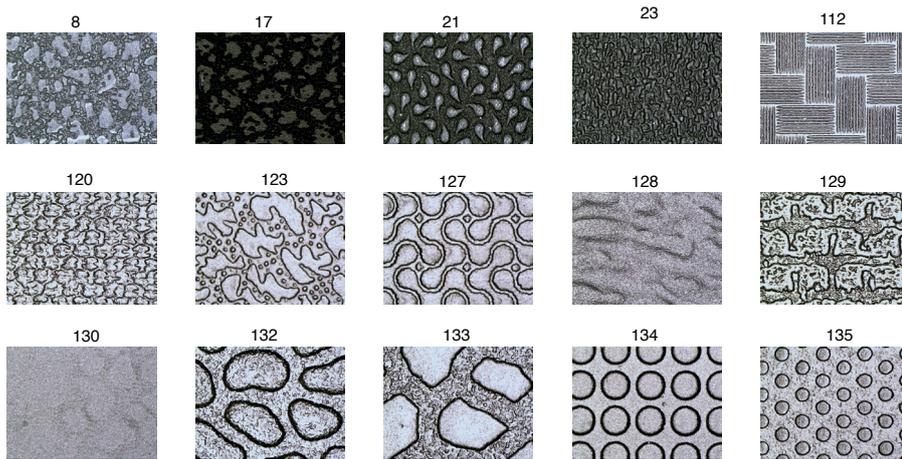


Fig. 4.1 : images de l'espace produit. La taille des images est de 15mmx7mm.

caractérisation instrumentale. Les trois échantillons retirés sont des échantillons particuliers et ne sont pas adaptés à la reconstruction des modèles de prédiction. Les motivations de leur exclusion sont présentées dans la partie 4.1.2.2 (p. 74).

4.1.1.2 LE PANEL VISUEL

La caractérisation sensorielle des pièces grainées passe par l'utilisation du référentiel visuel par le panel visuel, un groupe de personnes que nous avons entraîné à son utilisation. La mise en place du panel visuel a comporté 3 étapes [30] :

- Le recrutement et la sélection des panelistes ;
- L'apprentissage et l'entraînement à l'utilisation du référentiel ;
- L'évaluation des performances du panel (fiabilité des réponses et répétabilité).

4.1.1.2.1 LE RECRUTEMENT

Le recrutement des panelistes est fait en interne. Les participants sont des volontaires provenant d'horizons différents de l'entreprise. Le groupe est composé de 6 individus :

- 3 femmes et 3 hommes ;
- 4 d'âge compris entre 30 et 40 ans, 2 entre 40 et 50 ;
- 2 myopes, 1 astigmate et 3 sans défauts de vision.

4.1.1.2.2 L'APPRENTISSAGE ET L'ENTRAÎNEMENT À L'ÉVALUATION

Les panelistes recrutés ont commencé par des séances d'apprentissage des descripteurs et d'analyse des définitions. Vient l'étape de l'entraînement et de l'évaluation des échantillons.

La phase d'entraînement des sujets consiste à demander à chaque paneliste de positionner, pour chaque descripteur, un ensemble d'échantillons d'entraînement sur une échelle de 0 à 100 points. La notation est individuelle et est suivie de discussions de groupe sur les notes attribuées. Le but est d'obtenir un panel sensoriel formé à l'utilisation du référentiel. Les phases d'apprentissage et d'entraînement à l'évaluation ont exigé 15 séances de travail de deux heures chacune.

4.1.1.2.3 L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DU PANEL VISUEL

Le contrôle des performances des panelistes impliqués dans la caractérisation sensorielle a trois objectifs :

- Évaluer le pouvoir discriminant des sujets, c'est-à-dire leur capacité à percevoir des différences entre échantillons ;
- Vérifier leur répétabilité, c'est-à-dire leur capacité à juger de la même façon un échantillon d'une séance à l'autre ;
- Évaluer leur consensus sur les notes attribuées, c'est-à-dire leur capacité à donner des notes similaires.

Afin de s'assurer de la répétabilité des panelistes, deux évaluations successives de chaque produit pour chaque descripteur sont requises. Les séances de notation sont individuelles et effectuées selon le protocole présenté dans le chapitre 03. Les produits sont présentés tous en même temps à l'examineur. Il positionne tous les produits, en intensité, sur l'échelle structurée à 100 points dont les bornes inférieures et supérieures sont balisées par des échantillons repères. Il répète ce travail pour chaque descripteur.

La qualité du panel visuel est évaluée par une analyse statistique des performances de leurs notations sensorielles. Nous avons utilisé des analyses de variance (ANOVA) pour chaque descripteur. Cet outil statistique est un des outils statistiques les plus utilisés pour l'évaluation des performances d'un panel sensoriel [61][62][63]. Il permet d'analyser les données et de déterminer s'il existe des différences significatives entre plusieurs échantillons, évalués selon un descripteur, et si ces différences sont perçues de la même façon par les différents panelistes lors des différentes répétitions. Le modèle utilisé pour l'analyse du panel est à 3 facteurs (échantillon, paneliste et session), sans interaction.

Les résultats du panel et des calculs d'analyse de variance ont été réalisés en utilisant le logiciel XLSTAT [64]. Les tests statistiques confirment la répétabilité, le consensus et la capacité de discrimination des produits pour un intervalle de confiance à 5%. La dispersion moyenne de la note sensorielle est de 10,5%. Les détails des performances du panel visuel sont en annexes 4.1 et 4.2.

4.1.2 ÉVALUATION SENSORIELLE

Nous présentons ici les résultats des évaluations sensorielles de l'espace produit. Les moyennes présentées sont issues de la deuxième session de notation après un travail de groupe pour une utilisation consensuelle des échelles. Le tableau des moyennes est en annexe 4.3. Le travail de groupe a permis une discussion sur les descripteurs au sein du panel, et une éventuelle correction des notes pour les panelistes désireux de réévaluer certains produits.

Les graphiques 4.2 à 4.5 illustrent les évaluations sensorielles des 15 échantillons de l'espace produit par le panel visuel. Pour chaque descripteur, ils présentent :

- Les échantillons les plus représentatifs du descripteur, c'est-à-dire ceux ayant reçu une note très haute (en vert) ou très basse (en bleu);
- Les échantillons les plus problématiques, c'est-à-dire les échantillons avec un écart-type supérieur à 20 (en rouge) ;
- Les moyennes des évaluations sensorielles avec leur écart-type. Les échantillons sont rangés en ordre croissant selon leur valeur moyenne.

Afin de faciliter la lecture de la critique de l'analyse sensorielle, nous rappelons ici la structure du référentiel visuel élaboré dans le chapitre 03. Les détails sont disponibles page 58. Le référentiel compte 12 descripteurs :

- 5 descripteurs spécifiques aux éléments : *Dimension, Netteté, Angulosité, Allongement et Complexité de la forme.*
- 3 descripteurs relatifs à leur disposition : *Densité, Occupation de l'espace, et Organisation des éléments*
- 4 descripteurs de perception d'ensemble : *Relief, Lisibilité, Brillant et Contraste de brillant*

La critique de l'utilisation de l'échelle et la discussion des échantillons problématiques permettent d'identifier les caractéristiques de l'espace produit.

4.1.2.1 UTILISATION DE L'ÉCHELLE

Pour les descripteurs de *Dimension, Relief, Complexité, Brillant et Lisibilité*, la distribution des notes est homogène et couvre l'ensemble de l'échelle sensorielle.

Pour le descripteur *Angulosité*, 7 échantillons sur 15 ont une note très faible (inférieure à 20). Pour le descripteur *Occupation*, les notes sensorielles sont élevées et couvrent 60% de l'échelle.

Pour le descripteur *Densité*, les notes sont également élevées. 12 échantillons sur 15 ont une note supérieure à 50. En effet, un grain est caractérisé par la présence d'éléments qui se répètent. Un grain avec une très faible *Occupation* et une très faible *Densité* n'est donc pas attendu.

Pour les descripteurs *Netteté* et *Organisation*, les échantillons ont des notes soit très hautes soit très basses (10 échantillons sur 15 se situent dans la zone inférieure à 20 points ou supérieure à 80). Les échantillons sont donc perçus avec une faible *Netteté* et *Organisation*, ou une forte *Netteté* et *Organisation*.

Pour le descripteur *Contraste de brillant*, les notes sont relativement faibles sur l'ensemble de l'espace produit, 12 échantillons sur 15 ont une note inférieure à 50.

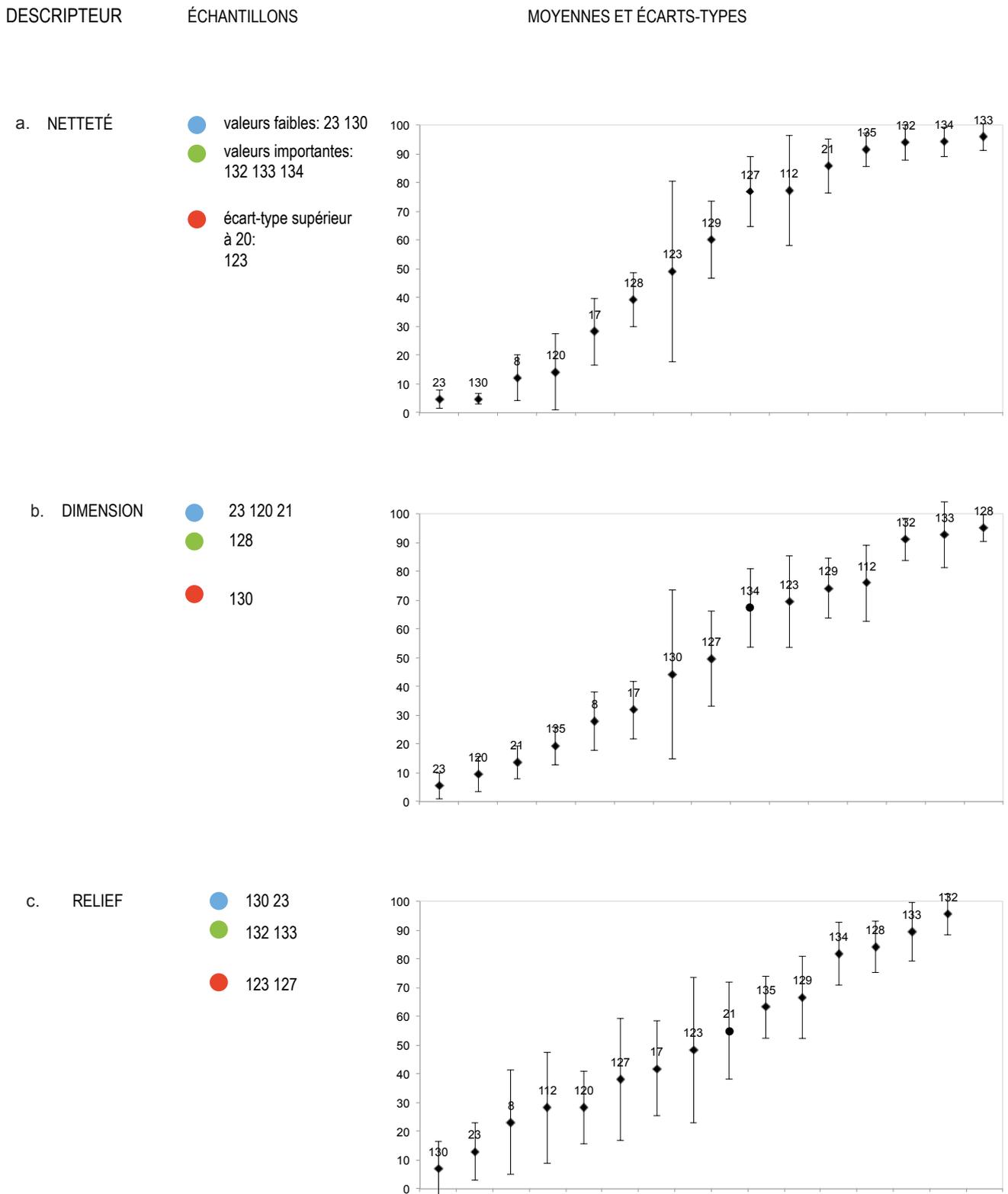


Fig. 4.2 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Netteté, (b.) Dimension et (c.) Relief.

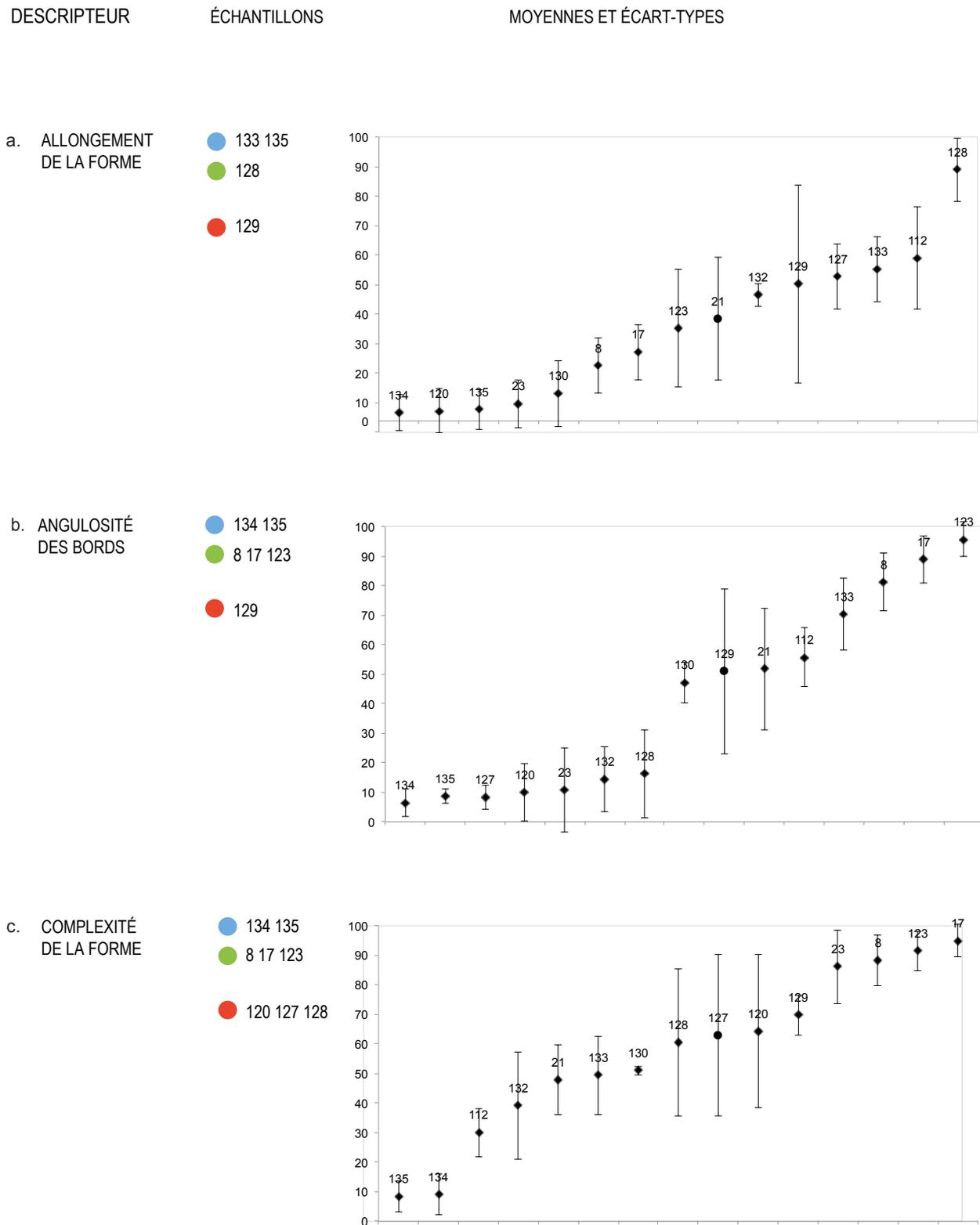


Fig. 4.3 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Allongement, (b.) Angulosité et (b.) Complexité.

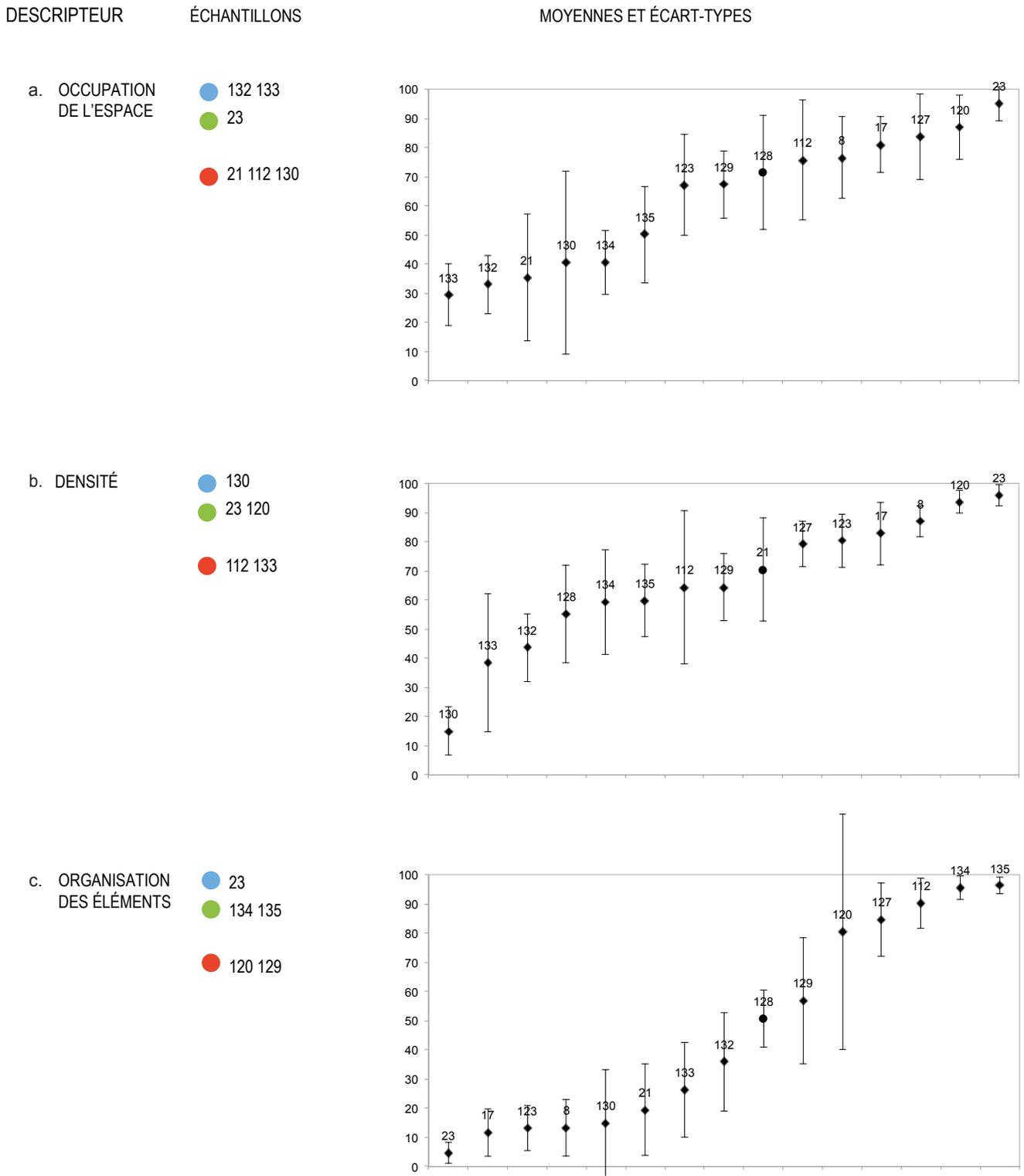


Fig. 4.4 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Occupation de l'espace, (b.) Densité et (c.) Organisation des éléments.

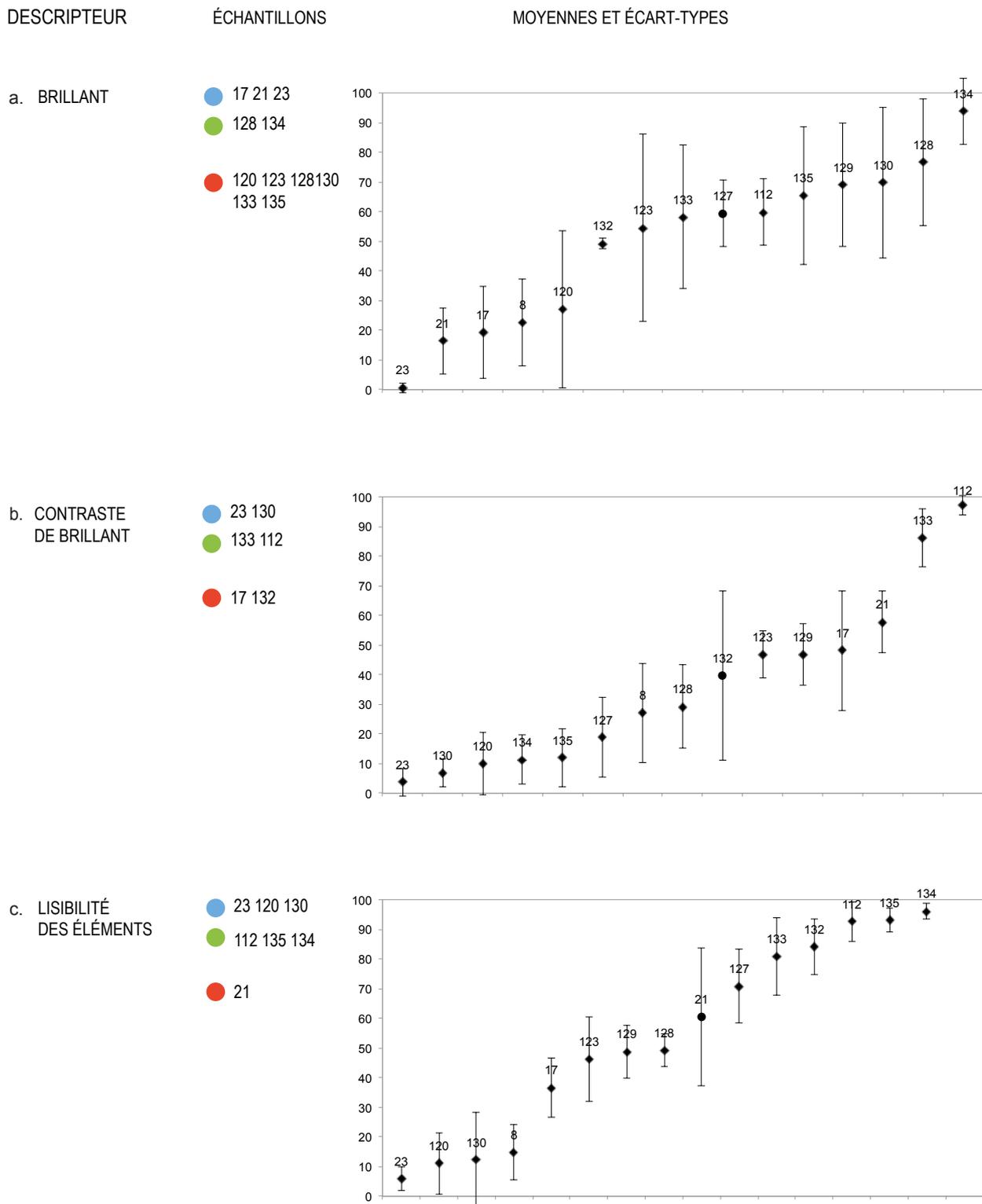


Fig. 4.5 : Échantillons représentatifs (note faible en bleu, note élevée en vert), problématiques (en rouge), moyennes des notes sensorielles et écart-types des descripteurs (a.) Brillant, (b.) Contraste de brillant et (c.) Lisibilité.

4.1.2.2 ÉCHANTILLONS PROBLÉMATIQUES

L'analyse des évaluations par descripteurs nous permet de relever les échantillons problématiques. Ce sont les échantillons qui ont un écart-type supérieur à 20. Ils sont identifiés par des points rouges dans les graphiques des figure 4.2 à 4.5.

Nous allons ici présenter (en ordre croissant de numérotation) et discuter les échantillons problématiques pour tous les descripteurs sauf pour le *Brillant* et le *Contraste de brillant*. Ces deux descripteurs, et leurs échantillons problématiques, sont discutés à la fin de cette partie. Les explications des écarts de notes sont issues des discussions du panel visuel. Le lecteur peut se reporter aux images des grains de la figure 1 du chapitre 04, p. 67.

L'échantillon 21 a des éléments de petite taille en forme de goutte et un fond de grain structuré composé de rides qui arrivent transversalement au contour des gouttes. La forme en goutte et les rides du fond de grain perturbent l'évaluation de l'*Occupation de l'espace*. La taille réduite des éléments cause une hétérogénéité de la perception de la *Lisibilité*. Elle est évaluée avec une note faible pour certains évaluateurs, tandis que d'autres l'évaluent avec une note élevée.

L'échantillon 112 est un grain de décor, caractérisé par un motif géométrique avec des éléments très orientés composés de petites lignes très fines. Cet échantillon est conçu pour avoir un effet optique selon l'angle d'observation. La brillance des ses éléments change fortement sous certains angles, ainsi que leur contraste avec le fond. Il a été choisi pour illustrer le *Contraste de brillant*. Sa notation d'*Occupation de l'espace* et de *Densité* est problématique à cause de la présence des sous-éléments qui le composent. L'effet optique rend difficile le jugement de sa brillance : en fonction de l'angle d'observation le *Contraste de brillant* varie.

L'échantillon 120 est un grain tissé, avec des éléments de petite taille et une *Netteté* relativement faible. Ces deux caractéristiques perturbent l'évaluation de son *Organisation* et de la *Complexité de la forme* de ses éléments.

L'échantillon 123 est caractérisé par des éléments avec une forme très complexe qui perturbe l'évaluation de *Netteté* et de *Relief*.

L'échantillon 128 est un grain naturel, avec des éléments de grande dimension, dont les contours peu définis et diffus sont perçus comme discontinus et non «fermés». Il a été choisi pour illustrer le descripteur d'*Allongement des éléments*. La géométrie du grain ne permet pas la perception du contour des bords et rend difficile sa notation de *Complexité de la forme*.

Le grain 129 est caractérisé par des éléments avec des contours mal délimités, non définis, non «fermés», de forme irrégulière. Ces caractéristiques rendent difficiles les évaluations de *Allongement de la forme*. Les éléments de cet échantillon sont alignés. La combinaison d'élément mal délimités et alignés provoque le même effet que pour l'échantillon 120 : son évaluation d'*Organisation* varie selon les évaluateurs.

L'échantillon 130 est caractérisé par un *Relief* et une *Netteté* extrêmement bas. On ne perçoit presque pas les éléments du grain. Il en résulte des difficultés dans son évaluation de *Dimension* et *Occupation de l'espace* : certains panelistes considèrent l'échantillon comme n'ayant pas d'éléments, d'autres perçoivent les éléments et évaluent leur taille et la place prise dans l'échantillon.

L'échantillon 133 est caractérisé par des éléments de très grande *Dimension* et avec un fort *Contraste de brillant*, l'évaluation de *Densité* est légèrement au-dessus de la tolérance fixée par le panel. Le fond du grain est très rugueux par rapport aux éléments, très lisses. Cette variation de texture pourrait être responsable des écarts de notes de *Densité* perçue.

Les notes des échantillons du descripteur brillant sont celles qui comportent le plus d'écarts. En effet, il est difficile de juger le brillant global pour des échantillons avec des valeurs hautes de contraste de brillant comme le 112 et 133, ou avec des sous-éléments qui perturbent le fond de grain comme l'échantillons 123.

Les échantillons 17 et 132 sont problématiques dans leur évaluation de contraste de brillant. L'échantillon 17 est caractérisé par une faible note de brillant. Pour le panel, il est en général plus difficile de percevoir le contraste de brillant sur des échantillons peu brillants que sur des échantillons brillants. L'échantillon 132 a un fond de grain très rugueux et est qualifié par le panel de « satiné ». Cette caractéristique est perçue par certains panelistes comme vecteur de contraste de brillance, ce qui explique l'écart-type des évaluations.

L'analyse des écarts-types des notes indique que les échantillons 112 et 129 sont les plus problématiques pour l'ensemble des descripteurs. Ces échantillons correspondent à des échantillons « particuliers » de l'espace produit, choisis pour leurs différences et pour illustrer certains descripteurs. L'échantillon 128 est également un échantillon « particulier » choisi pour illustrer le descripteur d'Allongement des éléments.

Les échantillons 112, 128 et 129 ont été utilisés pour fixer certaines bornes des échelles sensorielles car ils permettent de représenter au mieux leurs extrémités. Ils permettent d'avoir des échelles étendues afin d'inclure tout type de grain dans l'analyse perceptive. Cependant, ils sont très éloignés des topographies caractéristiques des pièces grainées de planche de bord et panneaux de porte. Leurs grains sont trop distants du domaine que l'on souhaite caractériser et sont irréalistes dans le cas d'une mesure instrumentale. Ces échantillons ne sont donc pas utilisés dans la reconstruction instrumentale.

4.1.3 LES RADARS DES PROFILS SENSORIELS

Les notes sensorielles permettent de caractériser les 15 échantillons de l'espace produit. L'intérêt de l'utilisation du référentiel n'est pas essentiellement dans la notation par descripteur, mais dans la possibilité de regarder les relations entre les valeurs des différents descripteurs. Le radar des profils sensoriels est un bon moyen de visualiser les caractéristiques des différents échantillons.

La figure 4.6 illustre les différents profils sensoriels des grains sous forme de radar. Nous avons construit les radars en regroupant les descripteurs selon leur typologie et pour mettre en évidence les familles de grains. Chaque radar présente, en ordre antihoraire à partir de la droite :

- Les descripteurs *Netteté et Relief*, qui permettent la détection des éléments ;
- Le descripteur de la *Dimension*;
- Les descripteurs de caractérisation de la forme des éléments (*Allongement des éléments, Angulosité des bords et Complexité de la forme de l'élément*).
- Les descripteurs *Occupation l'espace, Densité des éléments et Organisation des éléments* qui caractérisent l'agencement des éléments dans l'échantillon.
- Les descripteurs de *Brillance et Contraste de brillance* qui ne sont pas en rapport avec la fantaisie mais sont plus affectés par le procédé et par la matière ;
- Le descripteur de la *Lisibilité* qui donne une évaluation globale du grain.

La forme des radars donne une indication visuelle globale de la famille d'appartenance du grain. On peut distinguer 4 radars caractéristiques (Fig. 4.7) :

- Les grains cuirs, caractérisés par des basses valeurs d'*Organisation des éléments* et généralement des fortes valeurs d'*Angulosité* et de *Complexité de la forme*. Cependant, certains grains cuirs de très grosse taille, et dont la fantaisie s'éloigne d'une imitation cuir classique, ont des éléments de forme moins complexe (132 et 133) et moins anguleuse (132) ;
- Les grains fins, caractérisés par une petite *Dimension des éléments*, une grande *Occupation l'espace* et une grande *Densité* ;
- Les grains géométriques caractérisés par une forte *Organisation des éléments* et une forte *Lisibilité* et *Netteté* ;
- Les grains tissés caractérisés par une forte *Occupation l'espace* et une forte *Organisation des éléments*, avec une faible *Netteté*.

4.1.4 LE GRAPHE DES CORRÉLATIONS

Un graphe des corrélations (fig. 4.8) nous permet de visualiser les relations entre descripteurs. Les corrélations positives et négatives de valeurs comprises entre 0,5 et 0,9 sont les plus intéressantes pour la critique des relations entre descripteurs. Ces valeurs indiquent des forts liens entre descripteurs, sans pour autant impliquer leur redondance.

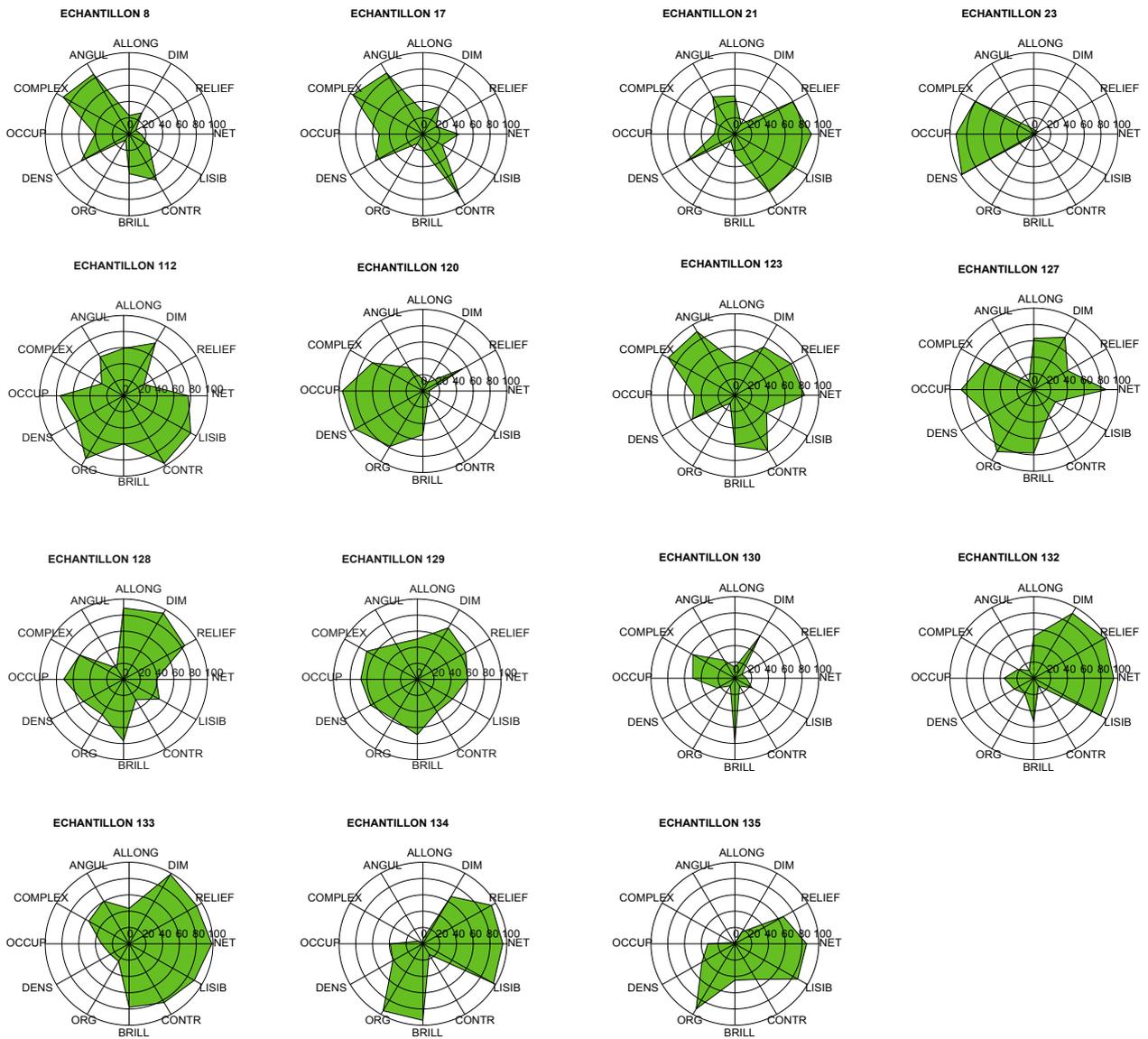


Fig. 4.6 : Radars des profils sensoriels de l'espace produit.

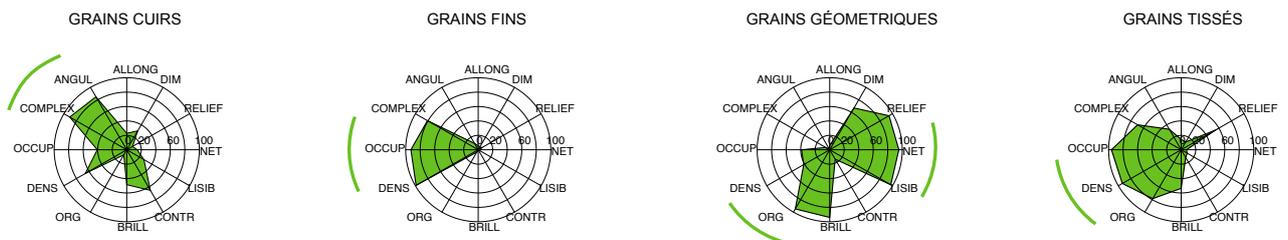


Fig. 4.7 : Les 4 familles de radars selon les profils sensoriels des échantillons.

Le graphe des corrélations montre les fortes corrélations positives (en orange entre 0,75 et 0,9) pour les descripteurs :

- *Lisibilité, Relief et Netteté*
- *Contraste de brillant et Angulosité*

Les fortes corrélations négatives (en bleu entre -0.75 et -0.9) sont entre :

- *Lisibilité des éléments et Occupation de l'espace ;*
- *Lisibilité des éléments et Complexité de la forme ;*
- *Dimension et Densité*

L'analyse du graphe des corrélations permet d'expliquer les relations entre descripteurs ainsi que certaines incohérences de notation. Nous allons critiquer premièrement le descripteur multidimensionnel de la *Lisibilité* et les descripteurs avec lesquels il a de fortes corrélations positives (*Netteté* et *Relief*) et négatives (*Complexité de la forme* et l'*Occupation de l'espace*). Nous allons ensuite comprendre les facteurs qui rendent difficile la lecture de ces échantillons et expliquer les conséquences dans l'évaluation de la *Netteté* et de la *Dimension*. Suit la critique de la *Complexité de la forme*, des descripteurs reliés à la concentration d'éléments (*Densité* et *Occupation de l'espace*) et enfin de la brillance (*Brillance* et *Contraste de brillance*).

Le descripteur de la *Lisibilité* est le descripteur qui a le plus d'interactions avec d'autres descripteurs. Ce premier a des corrélations positives entre 0,75 et 0,9 avec les descripteurs de *Netteté* et *Relief*. En effet la *Lisibilité* d'un grain dépend directement de la présence de *Relief* qui permet de percevoir les contours des éléments. La *Netteté* de ces contours contribue également à la perception des éléments. La *Lisibilité* diminue lorsque la *Complexité de la forme* et l'*Occupation de l'espace* augmentent (corrélations négatives entre -0,75 et -0,9). L'échantillon 127 est un bon exemple de baisse de la *Lisibilité*, à cause d'une trop forte *Occupation de l'espace* et une trop grande *Organisation*. En effet, la géométrie de la forme des éléments est relativement complexe, et surtout liée à l'agencement serré des éléments. Il en découle une difficulté de lecture.

Les grains présentent des caractéristiques différentes en fonction de leurs topographies. La détection visuelle du contour de l'élément peut être une tâche problématique pour les panelistes. Les différences chromatiques entre l'élément et le fond, la présence de discontinuités du contour ou encore la présence de sous-éléments sont des caractéristiques du grain qui demandent des approches différentes à la lecture du grain. On distingue 3 catégories d'échantillons en fonction de la définition de contraste (Fig. 4.9) :

- Le contour de l'élément est bien défini (ex échantillon 134) ;
- Le contour de l'élément ne correspond pas à la perception de l'élément (ex échantillon 112). Les éléments perçus sont composés de sous-éléments ;
- Le contour n'est pas fermé (ex échantillon 128).

L'évaluation de la *Dimension* d'un élément est précédée par la détection de son contour. Ainsi, un contour net aide à l'évaluation de la *Dimension* de l'élément et influence sa perception. Dans le cas de contours peu nets, comme ceux de l'échantillon 128, la difficulté à séparer l'élément du fond engendre des écarts dans les notes attribuées par le panel.

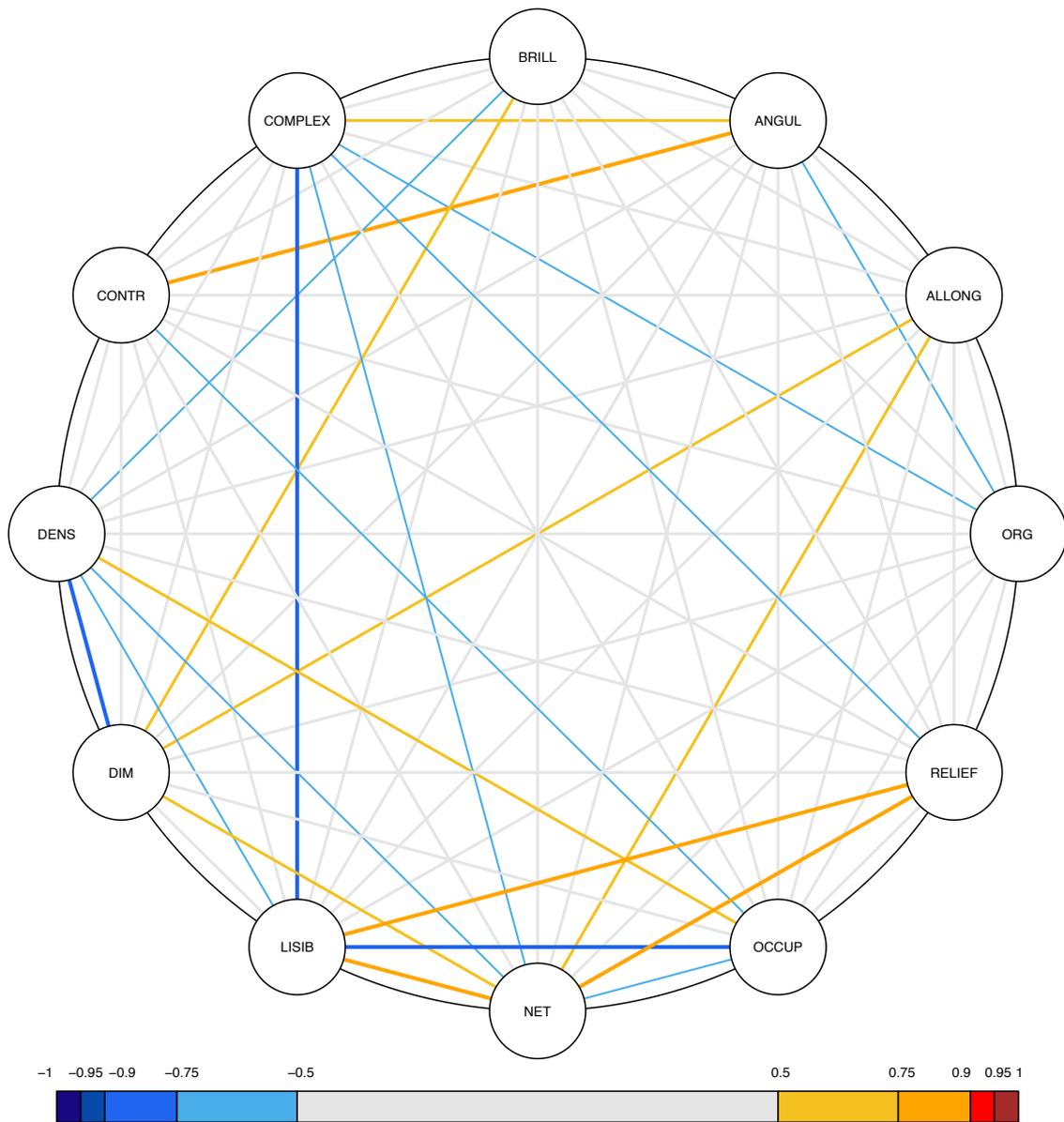


Fig. 4.8 : Graphe des corrélations entre descripteurs selon les notes du panel visuel.

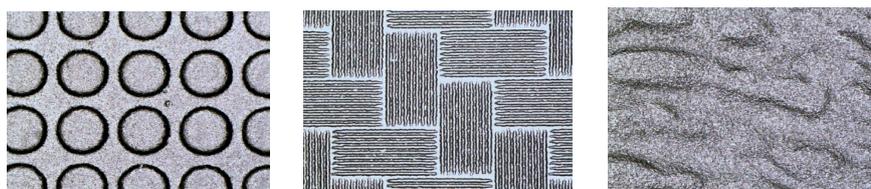


Fig. 4.9 : Images des 3 catégories d'échantillons, représentées par 134, 112 et 128.

La *complexité de la forme* dépend de plusieurs facteurs, non seulement perceptifs mais également cognitifs. En effet, la capacité à reconnaître une forme est influencée par la connaissance de l'observateur. Par exemple, une forme en étoile peut être considérée comme assez complexe par rapport à un rond. Cependant, du fait qu'une forme en étoile soit un symbole courant, elle sera perçue comme relativement simple.

La théorie des prototypes de Rosch [65], explique que la reconnaissance des formes est basée sur la comparaison avec des prototypes, des formes abstraites qui représentent les éléments les plus représentatifs de la classe de stimuli. La théorie suggère que l'analyse de chaque motif complexe s'effectue par décompositions en éléments plus simples. L'étude des formes permet de reconnaître les formes géométriques communes à partir desquelles on obtient des formes plus complexes.

Ainsi, dans la perception de la complexité d'une forme, les formes dites géométries, même si elles sont composées de plusieurs géométries de base, seront évaluées comme plus simples que des formes organiques.

La *Complexité de la forme* a une bonne corrélation avec l'*Angulosité des bords* (entre 0,5 et 0,75), plus une forme est anguleuse, plus elle est perçue comme complexe. Ces deux descripteurs ont des valeurs importantes pour les grains cuirs.

La *Densité* est fortement inversement corrélée à la *Dimension* (entre -0.75 et -0.9) et corrélée à l'*Occupation de l'espace* (entre 0,5 et 0,75). En effet, dans les pièces grainées, le motif est toujours caractérisé par la présence d'éléments. Plus les éléments sont petits, plus leur nombre sera élevé, plus la densité sera grande. Une grande *Densité* est généralement reliée à une grande *Occupation de l'espace* (entre 0,5 et 0,75). L'évaluation de la *Densité* pourrait sembler redondante avec l'évaluation de l'*Occupation de l'espace*. Cependant, nous avons voulu avoir des descripteurs qui permettent de différencier des échantillons ayant la même occupation de l'espace mais avec une densité perçue supérieure. Ici aussi, la dimension des éléments entre en jeu dans la perception. Par exemple, l'échantillon 21 a une *Occupation de l'espace* plus faible que l'échantillon 133 mais une *Densité* perçue supérieure. Les échantillons 112 et 127 ont une *Occupation de l'espace* très importante, mais le 127 est perçu comme nettement moins dense que le 112. Pour l'échantillon 112, la présence de sous-éléments augmente le caractère chargé de l'échantillon.

Le *Brillant* d'une surface est évalué en traitant simultanément des informations acquises sous différentes conditions de réflexion. Sur des échantillons plans (ici nous manipulons des plaques), la perception du *Brillant* est évaluée par rotation de l'échantillon, ou de l'œil, ou de la source de lumière. De la discussion de groupe, il ressort que l'angle le plus réfléchissant diffère d'un échantillon à un autre, et que certains échantillons présentent une variation de brillance à leur surface (ex : il y a une différence de brillance entre le haut du grain, généralement plus brillant, et le fond). Le panel évalue ces variations de brillance et donne une note moyenne de l'échantillon.

L'absence de corrélations fortes entre *Brillant* et *Contraste de brillance* nous indique que ces descripteurs examinent bien deux caractéristiques de réponse à la lumière différentes deux caractéristiques différentes de réponse à la lumière.

Le *Contraste de brillant* a une forte corrélation avec le descripteur *Angulosité* (entre 0,75 et 0,9). Les discussions du panel n'expliquent pas la présence de ce lien qui est simplement un résultat descriptif de l'espace produit analysé : les échantillons avec une forte *Angulosité* choisis ont, en général, un fort *Contraste de brillant*, et les échantillons peu *Anguleux* inversement.

Ainsi, certaines corrélations entre descripteurs sont contextuelles, et décrivent les caractéristiques des échantillons choisis, certaines sont explicatives des logiques de perception du panel visuel. Ces dernières sont essentielles pour l'analyse et compréhensions des descripteurs et sont le point de départ de leur reconstruction instrumentale.

4.2 RECONSTRUCTION INSTRUMENTALE

Dans cette partie du chapitre 04, nous nous intéressons à la reconstruction instrumentale des 12 descripteurs du référentiel. Le but est de créer des échelles psychophysiques des descripteurs.

La reconstruction instrumentale des descripteurs repose sur les données sensorielles et sur les mesures instrumentales. Le but est de créer un modèle de prédiction de la perception pour chaque descripteur avec les mesures instrumentales qui reflètent le comportement sensoriel.

L'espace produit pour la reconstruction instrumentale est constitué de 12 des 15 échantillons précédemment analysés (Tableau 4.1 et Fig. 4.1 partie 4.1). Les échantillons 112, 128 et 129 ont été retirés de l'espace produit du fait de leur singularité (voir partie 4.1.2.2).

L'analyse du graphe des corrélations des descripteurs sensoriels nous permet d'émettre des hypothèses quant à la décomposition des descripteurs en un ensemble de mesures. A partir de ce ensemble de mesures, le modèle prédictif est construit en recherchant la meilleure correspondance avec les données sensorielles. Le but ici n'est pas de construire pour chaque descripteur un instrument de mesure dédié optimalement corrélé, mais de démontrer qu'il est possible de recomposer chaque descripteur en associant des mesures provenant éventuellement d'instruments différents.

10 des 12 descripteurs sont issus de modèles avec des paramètres de mesures instrumentales, tandis que les deux descripteurs multidimensionnels (*Complexité de la forme* et *Lisibilité du grain*) sont reconstruits à travers l'usage des autres descripteurs instrumentaux.

Pour la reconstruction des 12 descripteurs, cette partie présente :

- Les hypothèses de reconstruction basées sur le graphique des corrélations et sur les discussions du panel visuel ;
- Les instruments de mesure ;
- Le traitement des mesures instrumentales ;
- Le modèle choisi.

4.2.1 HYPOTHÈSES

4.2.1.1 HYPOTHÈSES SUR LA NETTETÉ

L'analyse du graphe des corrélations (fig. 4.8) et les discussions du panel confirment que la perception de la *Netteté* dépend :

- De la *Dimension* (plus les éléments sont grands, plus il est facile d'identifier leur contour),
- Du *Relief* (plus le *Relief* est marqué et plus les pentes entre élément et fond sont raides, plus le contour est perçu)

Nous faisons l'hypothèse que la perception de *Netteté* cumule :

- L'épaisseur du contour de l'élément,
- Le contraste : plus le contraste entre le contour de l'élément et le fond de grain est important, plus la *Netteté* sera perçue.

4.2.1.2 HYPOTHÈSES SUR LA DIMENSION

La perception de la *Dimension* demande premièrement la détection du contour de l'élément et ensuite la détection du fond. On évalue ensuite l'ordre de grandeur de la surface des éléments.

L'hypothèse que l'on formule pour la reconstruction du descripteur est que la mesure des surfaces moyennes des éléments calculés est corrélée avec sa perception.

4.2.1.3 HYPOTHÈSES SUR LE RELIEF

Pour le descripteur du *Relief*, nous faisons l'hypothèse que sa perception visuelle correspond à la lecture du relief réel du grain.

- Il est lié à la profondeur du grain, c'est-à-dire à la hauteur de marche;
- Sa perception est influencée par les caractéristiques de la topographie du grain, c'est-à-dire à l'évolution de ses pentes.

4.2.1.4 HYPOTHÈSES SUR L'ALLONGEMENT DE LA FORME

La perception de l'*Allongement de la forme* concerne le rapport de la hauteur par rapport à la largeur des éléments, leur taille et leur forme. Elle est influencée par la *Dimension* des éléments. En effet, pour des éléments de très petite taille, on ne perçoit pas d'allongement. Pour la reconstruction instrumentale du descripteur nous formulons l'hypothèse qu'il est relié :

- Au rapport de la hauteur par rapport à la longueur de l'élément ;
- À la *Dimension* des éléments.

4.2.1.5 HYPOTHÈSES SUR L'ANGULOSITÉ

La perception de l'*Angulosité des bords* s'intéresse au caractère plus ou moins « saccadé » des bords de l'élément. Nous émettons les hypothèses que ce descripteur est influencé par :

- La taille des éléments : pour des éléments très petits la perception du bord et de son angulosité est une tâche difficile et le paneliste perçoit un bord lisse ;
- Le nombre d'angles ;
- La forme générale des éléments : en effet il est parfois difficile de faire la part entre l'angulosité des bords et la complexité de la forme pour des grains très irréguliers.

4.2.1.6 HYPOTHÈSES SUR L'OCCUPATION DE L'ESPACE

Le descripteur de l'*Occupation de l'espace* est fortement corrélé avec la *Dimension* des éléments. Ce descripteur correspond à la surface occupée par les éléments par rapport à la surface totale des éléments.

Pour la reconstruction de ce descripteur, nous faisons l'hypothèse que :

- Le calcul du rapport de la surface occupée par des éléments sur la surface totale est relié à la perception du descripteur,
- Le nombre d'éléments doit être pris en considération dans la reconstruction du descripteur,
- La *Dimension* des éléments influence la perception d'occupation de l'espace.

4.2.1.7 HYPOTHÈSES SUR LA DENSITÉ

L'hypothèse formulée, pour le descripteur de la *Densité*, est que :

- Sa perception correspond à la densité calculée, c'est-à-dire à la somme des surfaces des éléments par rapport à la surface totale de l'image.
- La distance entre les éléments influence la perception de densité
- Sa perception est influencée par la *Dimension* des éléments.

4.2.1.8 HYPOTHÈSES SUR L'ORGANISATION DES ELEMENTS

La perception de l'*Organisation des éléments* dépend très fortement de leur disposition et surtout de leur forme. En effet, pour des éléments allongés, l'alignement dans une même direction génère la perception d'organisation. Pour des formes organiques, très différentes entre elles, une disposition régulière ne permet pas forcément une perception de l'organisation. C'est le cas des grains cuirs dont les éléments sont généralement placés assez régulièrement mais qui ne donnent pas une perception organisée. Ainsi pour la reconstruction instrumentale du descripteur de l'*Organisation des éléments* les hypothèses de reconstruction sont liées à l'orientation des éléments.

4.2.1.9 HYPOTHÈSES SUR LA COMPLEXITÉ DE LA FORME

L'analyse du graphe des corrélations entre les notes sensorielles montre que la *Complexité* de la forme est reliée à l'*Angulosité des bords*. Un *Relief* important augmente également la perception de la complexité de la forme. Au contraire, l'*Organisation des éléments*, ainsi que la *Netteté* diminuent la perception du descripteur car ils permettent une lecture facilitée du grain.

Nous avons donc fait l'hypothèse que la perception de la *Complexité de la forme* est reliée principalement à :

- *L' Angulosité des bords ;*
- *Le Relief ;*
- *L' Organisation des éléments du grain ;*
- *La Netteté.*

4.2.1.10 HYPOTHÈSES SUR LE BRILLANT

Le graphe des corrélations entre les variables sensorielles (partie 4.2) montre qu'il existe une corrélation modérée entre le *Brillant* et d'autres descripteurs sensoriels, principalement de la *Dimension* et dans une moindre mesure du *Relief*, avant tout type de mesure instrumentale. Nous avons donc choisi de les introduire dans nos modèles de prédiction du brillant.

Les hypothèses pour ce descripteur sont les suivantes :

- La *Dimension* et le *Relief* du grain ont un impact sur l'évaluation de la brillance et doivent être pris en compte dans la mesure de la brillance et de sa prédiction.
- La relation entre les mesures à plusieurs angles de la réponse spéculaire de la surface devrait donner des informations plus précises sur le brillant que la mesure à un seul angle. Afin de simuler l'évaluation humaine, il faut prendre en compte les mesures à plusieurs angles.
- La perception visuelle de la brillance des surfaces grainées de faible brillant peut être liée au ratio entre les composantes spéculaire et aspéculaire de la lumière réfléchi (qui correspond au brillant de contraste [66] et non simplement à la réflexion spéculaire sous différents angles.

4.2.1.11 HYPOTHÈSES SUR LE CONTRASTE DE BRILLANT

Le *Contraste de brillant* concerne les variations de mat/brillant à l'intérieur de l'échantillon. Ces différences de brillant sont essentiellement entre le haut du grain, généralement plus brillant, et le fond. De plus, certains échantillons possèdent des zones avec de grandes variations de brillant en fonction de l'angle d'observation. Les hypothèses pour la reconstruction instrumentale du descripteur sont :

- La variation abrupte de réponse spéculaire aux différents angles est perçue comme contraste de brillant;
- La variation abrupte de réponse spéculaire des différentes zones (haut du grain et fond de grain) est perçue comme contraste de brillance;
- Les réponses spéculaires des différentes zones aux différents angles dépendent de la topographie de l'échantillon.

4.2.1.12 HYPOTHÈSES SUR LA LISIBILITÉ

L'analyse du graphe des corrélations sensorielles relie avec des corrélations négatives importantes le descripteur de la *Lisibilité* à la perception de la *Complexité de la forme* et à l'*Occupation de l'espace*. Les remarques du panel visuel nous indiquent que la présence de *contraste de brillant* augmente la facilité à lire le grain.

Ainsi, nous faisons l'hypothèse que la reconstruction de ce descripteur est possible à travers l'utilisation des données instrumentales de :

- *La Complexité de la forme ;*
- *L'Occupation de l'espace ;*
- *Le contraste de brillant.*

4.2.2 INSTRUMENTS DE MESURE

4.2.2.1 IMAGES

Les surfaces des échantillons ont été photographiées grâce à un dispositif composé de :

- Une loupe binoculaire Leica WILD MZ8 avec un grossissement pouvant varier de façon continue de x0,63 à x5,
- Une source lumineuse Volpi Intralux 6000-1 ;

- Un éclairage annulaire Volpi ;
- Les images sont capturées par une caméra numérique Moticam 2300 RGB standard, avec une résolution de 3 mégapixels.
- Le logiciel Motic Images plus 2.0. permet le réglage des conditions d'acquisition et la capture.

Les images sont acquises avec un grossissement de $\times 0,63$ de la loupe, ce qui donne un grandissement réel de $\times 2$. Les images sont ensuite égalisées avant le traitement. Les images sont utilisées pour la création des modèles des descripteurs suivants : *Netteté des contours*, *Dimension de l'élément*, *Allongement de l'élément*, *Angulosité des bords*, *Densité*, *Occupation de l'espace* et *Organisation des éléments*.

4.2.2.2 RUGOSIMETRE OPTIQUE

Les topographies des surfaces des échantillons sont mesurées grâce à un rugosimètre optique sans contact STIL [64] avec un capteur confocal chromatique composé de :

- Une station de mesure Micromesure STIL comprenant 3 axes motorisés X, Y, et Z avec une résolution de positionnement de $0,156 \mu\text{m}$ dans les trois axes ;
- Un coffret optoélectronique CHR 150-L, équipé d'un spectromètre et d'une source lumineuse LED blanche, avec une plage de fréquence de mesures de 30 à 1000Hz ;
- Un crayon optique OP300VM, avec une plage de mesures de $300 \mu\text{m}$ et une résolution latérale de $4 \mu\text{m}$.

Le dispositif de mesure focalise les différentes longueurs d'onde de la lumière à différentes profondeurs de la surface de l'échantillon. La lumière reçue en retour est analysée par le spectromètre, l'altitude est mesurée par l'analyse de la couleur. On recueille simultanément les intensités renvoyées par la surface de l'échantillon et on mesure en chaque point les distances au capteur.

La procédure de mesure est adaptée au matériau de la surface :

- Pour les échantillons injectés en PP, 4 zones de $2,5 \times 2,5 \text{ mm}$ sont analysées avec une résolution de $5 \mu\text{m}$ pour une fréquence de 100HZ.
- Pour les échantillons PVC (peau) la zone relevée est de $5 \times 5 \text{ mm}$, avec une résolution de $5 \mu\text{m}$ pour une fréquence de 30hz.

Les altitudes sont traitées par le logiciel STIL SurfaceMap. Les données rugosimétriques sont employées pour la création du modèle du descripteur du Relief.

4.2.2.3 GONIO-SPECTROPHOTOMETRE

Le brillant de contraste [66] est mesuré à l'aide d'un gonio-spectrophotomètre, radiomètre et colorimètre [67] composé de :

- Une alimentation stabilisée Delta Elektronika.
- Une source de lumière blanche, Instrument Systems LS100-130, avec un spectre de 350-2200nm.
- Un goniomètre Instrument Systems GON360 avec deux bras indépendants motorisés pour l'illumination et le récepteur. La plage de réglage de l'angle d'éclairage est de 360° avec un pas de $0,1^\circ$. La plage de réglage de l'angle de mesure est de 246° avec un pas de $0,1^\circ$. Les positions de l'illuminant et du détecteur créent un angle «mort» autour de la direction d'illumination de 12° . La valeur de l'angle solide du détecteur est de $4,6^\circ$ pour un angle de 10° avec la normale.

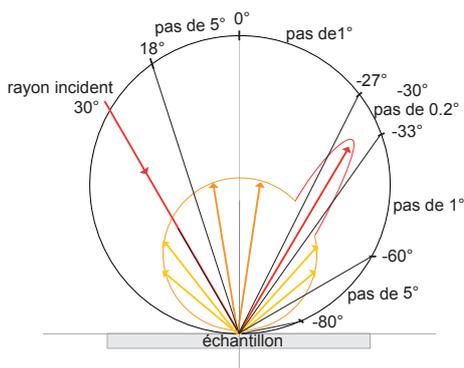


Fig. 4.10 : Paramètres des mesures du gonio-spectrophotomètre.

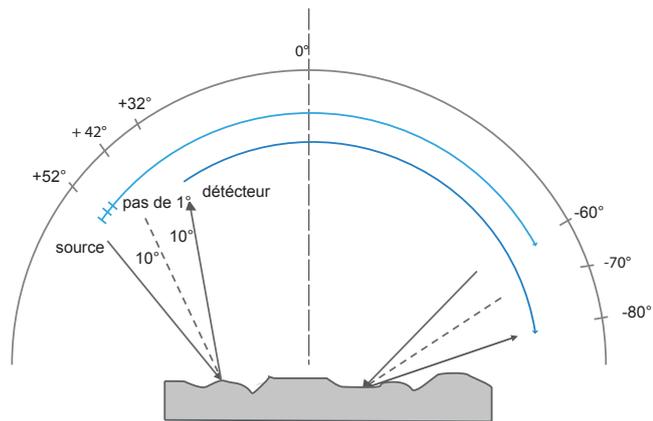


Fig. 4.11 : Acquisition des mesures du gonio-spectrophotomètre, protocole 2.

- Un contrôleur Isel CNC Steuerung C 10c.
- Un spectrophotomètre Instrument Systems MAS40 LED 40-120 à détecteur matriciel, avec une résolution spectrale de 2,5 nm.

La dimension de la surface illuminée est de 10 mm². L'échantillon de référence pour le blanc est un étalon standard de réflexion certifié, Labsphère n. SR-99-010, en Spectralon. Les mesures sont enregistrées par le logiciel SpecWin Pro. Les résultats sont traités avec le logiciel R.

Les mesures du gonio-spectrophotomètre sont recueillies avec deux protocoles différents. Le premier vise à mesurer le brillant de contraste des échantillons, la deuxième vise à mesurer les contributions spéculaires des différentes facettes du grain. Le choix de ces conditions permet d'assurer la mesure des échantillons noirs présentés, mais également d'assurer la mesure d'échantillons chromatiques (présentés dans le chapitre 05).

Le premier protocole (Fig. 4.10) a un angle d'incidence de l'illumination fixé à 30°. Le détecteur recueille les intensités dans la plage comprise entre 30° et -80° :

- Avec un pas de 0,2° dans des zones très proches à la direction spéculaire (-27°, -33°).
- Avec un pas de 1° dans les zones hors de la direction de la réflexion spéculaire (18° à -27° et -33° à -60°);
- Avec un pas de 5° dans les zones éloignées de la réflexion spéculaire (30° à 18° et -60° à -80°);

Le deuxième protocole (Fig. 4.11) permet de mesurer les intensités en conditions spéculaires pour chaque orientation normale aux facettes du grain. La source et le détecteur se déplacent de façon synchrone avec un angle constant de 20°. Ils forment un dièdre fermé qui se déplace avec un pas de 1° pour collecter la contribution « spéculaire » des différentes orientations de la surface. La bissectrice du dièdre, pour laquelle on collecte le signal spéculaire, varie dans une plage comprise entre +42° et -70°.

Les mesures du protocole 1 sont employées pour la création du modèle prédictif du descripteur de Brillant, tandis que le protocole 2 est utilisé pour prédire le Contraste de brillant.

Tous les calculs et graphiques ont été réalisés dans l'environnement de calcul statistique R [69].

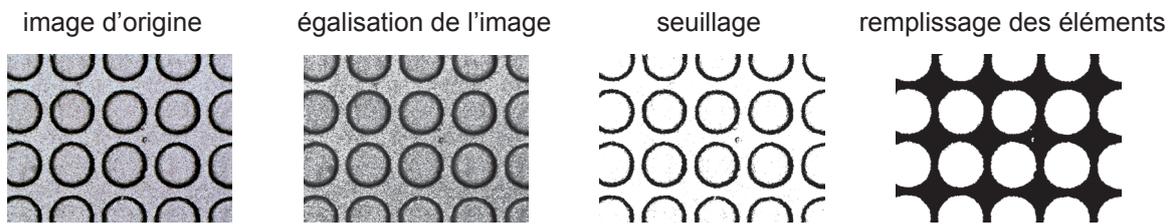


Fig. 4.12 : Traitement des images.

4.2.3 METHODE DE TRAITEMENT ET MESURES

4.2.3.1 TRAITEMENT DES IMAGES

Les reconstructions instrumentales des descripteurs de *Netteté des contours*, *Dimension de l'élément*, *Allongement de l'élément*, *Angulosité des bords*, *Densité*, *Occupation de l'espace* et *Organisation des éléments*, utilisent les images recueillies par la loupe binoculaire.

L'extraction des mesures utilise des techniques d'analyse d'image issues de la morphologie mathématique. Née dans les années soixante grâce aux travaux de Matheron et de Serra [70] sur les milieux poreux, la morphologie mathématique est un ensemble de techniques s'appliquant à des images binaires considérées comme des ensembles. Elles permettent la détection de zones de l'image à contrastes différents et de résoudre un grand nombre de problèmes de traitement d'images tels que :

- Le filtrage d'images pour la conservation ou suppression des structures d'une image possédant certaines caractéristiques, notamment de forme (morphologiques).
- L'obtention de valeurs numériques caractérisant certaines propriétés des objets de l'image (exemple : granulométrie, analyse de textures, ...).
- La segmentation pour une répartition de l'image en différentes régions d'intérêt.

Les images des grains sont égalisées et seuillées. La reconstruction de la netteté utilise directement les images égalisées et les images seuillées, tandis que la reconstruction des autres descripteurs utilise des images où les éléments sont détectés par leur contour et remplis. On obtient une image binaire du grain : les pixels blancs correspondent aux éléments et les pixels noirs le fond (Fig. 4.12) Pour le descripteur de la *Netteté*, on cherche à mesurer l'épaisseur des contours des éléments et le contraste entre contour et fond de grain. On procède à (Fig. 4.13) :

- La détection et extraction des contours et au calcul de leurs largeurs ;
- La mesure du contraste entre l'intensité des pixels du contour par rapport à l'intensité des pixels du fond de l'image.

La mesure instrumentale du descripteur de la *Dimension* exploite les images à travers un traitement d'image basé sur la détermination des caractéristiques morphologiques par des algorithmes d'analyse de particules [71]. On réalise une granulométrie par ouverture sur les images binaires. On obtient la taille i (en pixels) et la surface occupée par des éléments de taille au moins égale à i . On trace la fonction de distribution cumulative, qui donne une courbe granulométrique cumulée. On obtient alors l'unité de surface arbitraire pour chaque échantillon. (Fig. 4.14)

Pour le descripteur de l'*Allongement de la forme*, les images binaires sont analysées par différents moments géométriques (Fig. 4.15) :

- On calcule l'excentricité : (longueur / largeur);
- On calcule la longueur de l'axe maximal de l'ellipse contenant l'élément;
- On calcule le rayon maximal du centroïde au point de contour le plus éloigné
- On calcule la dimension moyenne de l'élément.

Pour le descripteur de l'*Angulosité des bords* on exploite les images binaires et on calcule (Fig. 4.16) :

- Le nombre d'angles
- Le périmètre du cercle contenant l'élément
- Le périmètre de l'élément
- La surface de l'élément
- Le moment d'Haralick IDM (inverse difference moment)
- Le moment d'Haralick DEN (difference entropy)

Les moments d'Haralick [71] sont des moment géométriques qui s'intéressent à la géométrie des bords des éléments à deux échelles différentes : au niveau des éléments entre eux et au sein du même élément.

Pour le descripteur de l'*Occupation de l'espace*, on calcule (Fig. 4.17) :

- Le nombre d'éléments de l'image,
- Le pourcentage de la surface occupée par les éléments,
- La Dimension des éléments

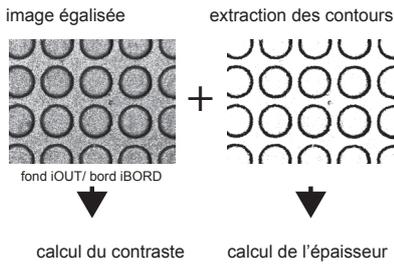
Pour le descripteur de la *Densité*, on calcule (Fig. 4.18) :

- Le ratio entre la surface occupée par les éléments et le fond
- Les médianes de la distance entre les centres
- La Dimension des éléments

Pour le descripteur de l'*Organisation des éléments*, on calcule (Fig. 4.19) :

- Le nombre des éléments
- L'orientation des éléments extraite à partir de l'histogramme des directions. La valeur mesurée exprime la dissymétrie de l'histogramme.

NETTETÉ



DIMENSION



Fig. 4.13 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de la « Netteté ».

Fig. 4.14 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de la « dimension des éléments ».

ALLONGEMENT

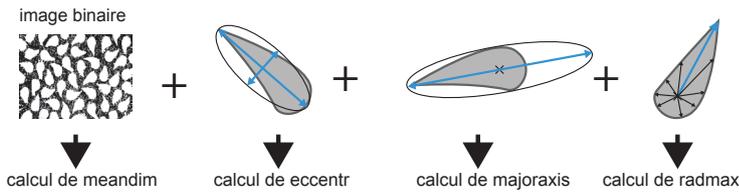


Fig. 4.15 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « allongement »

ANGULOSITÉ

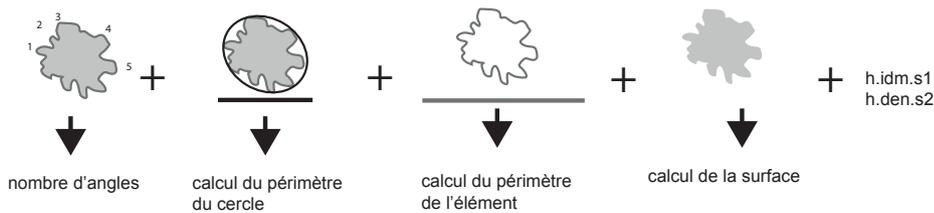
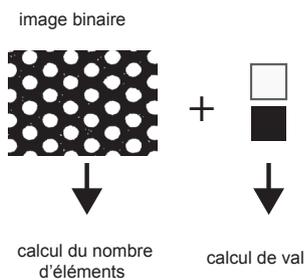


Fig. 4.16 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « angulosité des bords »

OCCUPATION



DENSITÉ

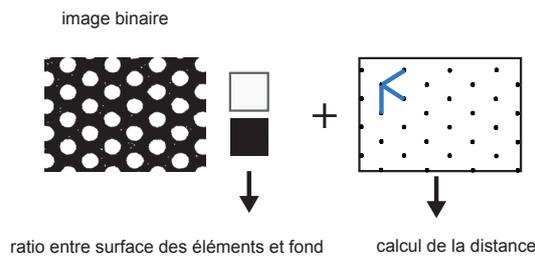


Fig. 4.17 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « occupation de l'espace »

Fig. 4.18 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de la « densité ».

ORGANISATION

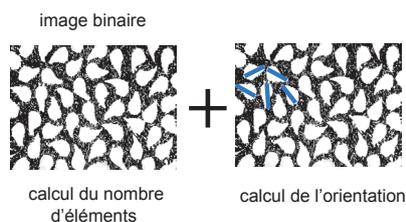


Fig. 4.19 : Procédure de traitement des images pour les mesures instrumentales de l' « organisation ».

4.2.3.2 TRAITEMENT DES DONNES RUGOSIMETRIQUES

La reconstruction instrumentale du descripteur du Relief a recours aux mesures relevées par le rugosimètre. L'exploitation des données des altitudes est faite à travers le software STIL SurfaceMap. Le rugosimètre optique nous permet de relever la surface de l'échantillon en créant un fichier qui recueille les positions xyz des points de la surface étudiée (Fig. 4.20). A partir du fichier xyz des altitudes, on procède à la création d'un modèle digital DEM (Digital Elevation Model) de la surface. Ce modèle est composé d'un nuage de points correspondant aux coordonnées des points de la surface étudiée. Le nuage de points permet de générer des facettes triangulaires reproduisant un modèle mathématique de l'échantillon. On obtient une image tridimensionnelle de la surface du grain (Fig. 4.20).

Le traitement des images tridimensionnelles prévoit (Fig. 4.21) :

- Le remplissage des points non mesurés ;
- La suppression de la forme, c'est-à-dire la distorsion éventuelle de l'échantillon ;
- Le filtrage de l'image pour enlever le bruit instrumental.

Il est alors possible d'extraire un profil et de mesurer la profondeur du grain selon la méthode ISO 4287 [72]. On mesure la variation de dénivelé du profil primaire. Cette mesure correspond à la procédure utilisée par Renault [73].

Le fichier des altitudes permet également d'étudier les répartitions facettes triangulaires approximant la surface mesurée. Nous regardons les variations des angles des pentes de la surface en fonction de l'altitude en utilisant une approche non-standard dans le domaine des matériaux, issue de la géographie descriptive. Son application à l'étude des topographies de nos grains nous intéresse pour deux raisons. Premièrement, elle permet la classification typologique des reliefs et, deuxièmement, elle pourra permettre de tester l'utilisation de modèles d'ensoleillement pour l'approche du brillant des grains à relief complexe. Cette deuxième raison présente une forte analogie avec nos problèmes de brillant, analysés dans le chapitre 05.

La classification typologique des reliefs a été initialement utilisée par Katsube et Oguchi [74] dans l'étude de la forme des pentes des Alpes Japonaises. Elle est basée sur l'analyse des variations des angles des pentes, c'est à dire au profil de courbure de la topographie en fonction de l'altitude. La figure 4.22 présente le graphique original de cette étude où Katsube distingue trois zones d'altitudes, dont les caractéristiques topographiques reflètent des caractéristiques d'érosion.

L'approche de Katsube appliquée aux grains nous permet d'étudier cette répartition des angles des pentes en fonction de l'altitude. Cette visualisation des données nous permet de synthétiser la statistique des pentes par tranches d'altitude, de classer les échantillons en typologies et de les comparer entre eux en prenant en considération la pente du profil.

L'information que nous considérons est la forme de la courbe, à quelle profondeur du relief se situe le maximum et la pente maximale qui décrit le caractère abrupt du grain. Cette dernière mesure correspond à la variation des pentes responsables de la perception du contour de l'élément et donc du relief du grain.

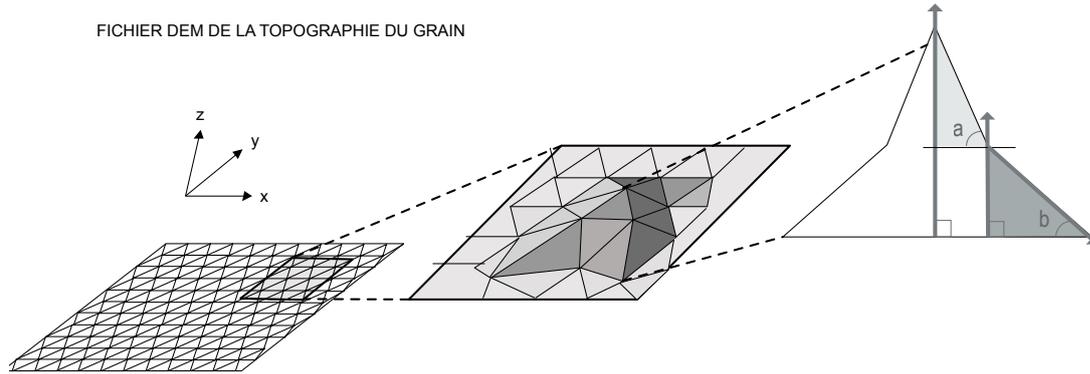


Fig. 4.20 : Grille du fichier xyz.

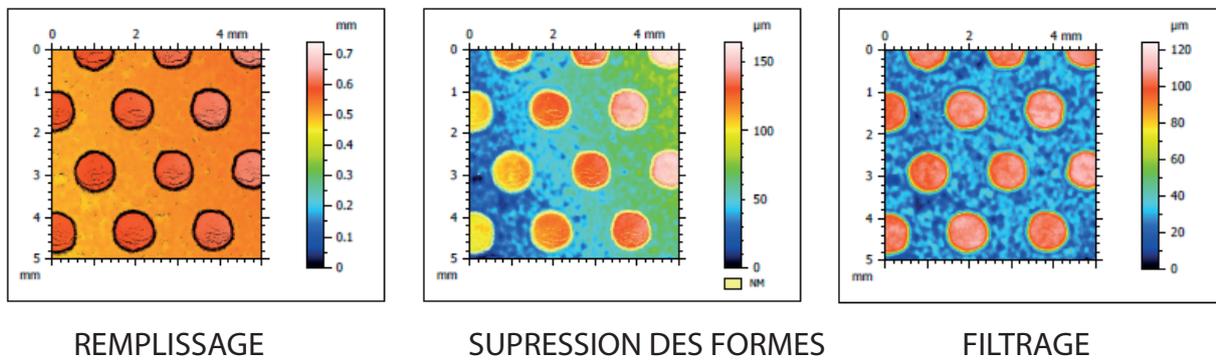


Fig. 4.21 : Traitement des images tridimensionnelles.

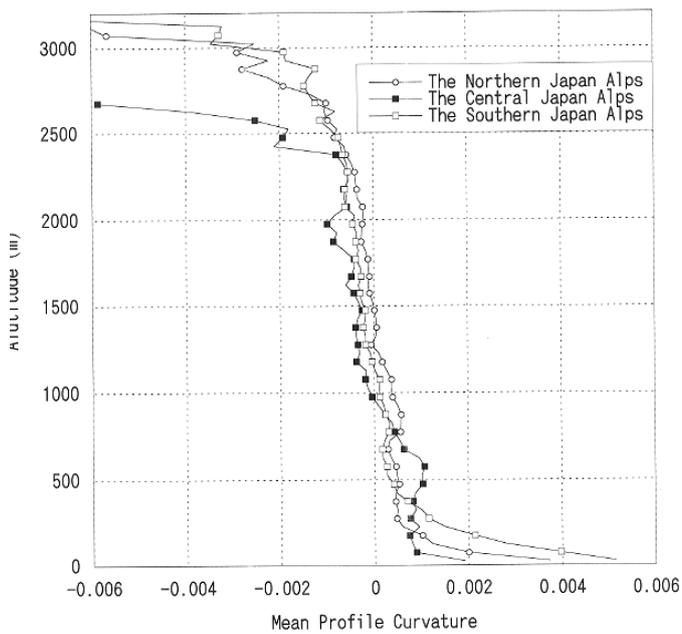


Fig. 4.22 : Graphique original de Katsube de la répartition des pentes en fonction de l'altitude [74].

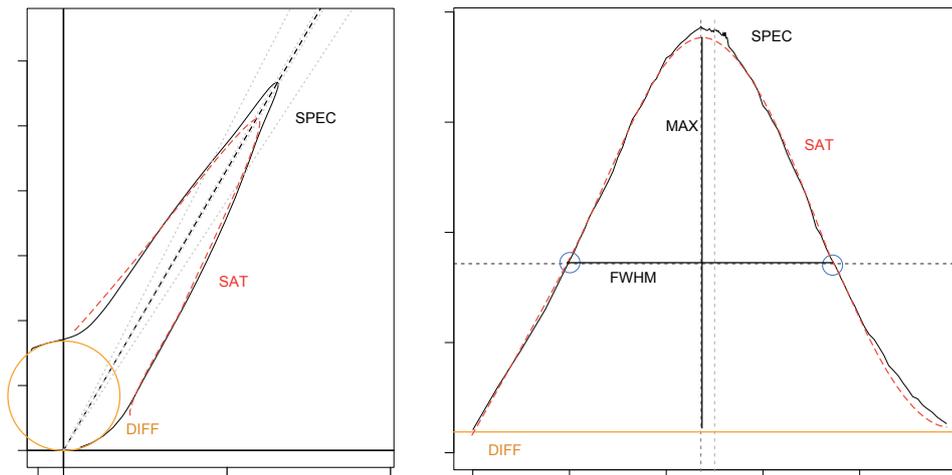


Fig. 4.23 : Décomposition des intensités mesurées par le protocole 1.
 (MAX : intensité maximum du pic spéculaire ; FWHM : largeur à mi-hauteur ; DIFF SPEC et SAT : pourcentages du total de l'intensité détectée des secteurs angulaires diffusants, spéculaires et satinés)

4.2.2.3 TRAITEMENT DES MESURES DU GONIO- SPECROPHOTOMETRE

Pour le descripteur de Brillant, le traitement des données instrumentales du gonio-spectrophotomètre se fait par la décomposition des intensités mesurées par le protocole 1 en trois composantes (Fig. 4.23) :

- Une composante spéculaire (SPEC) est évaluée à partir des données d'intensité en ajustant un pic gaussien aux intensités dans la plage angulaire entre 27° et 33° .
- Une composante diffuse (DIFF) est évaluée à partir d'une forme hémisphérique correspondant à un comportement quasi-lambertien en dehors de la plage angulaire 20° et -40° .
- L'intensité de la composante « satiné » (SAT) correspond à la zone de liaison entre le pic spéculaire et le fond hémisphérique. Sa valeur est obtenue en soustrayant les intensités de la zone diffuse (DIFF) et de la zone spéculaire (SPEC) à l'intensité totale dans l'ensemble de la plage angulaire étudiée.

La somme des trois composantes (SAT, SPEC et DIFF) est normalisée à 1 pour chaque échantillon. La combinaison des pourcentages conduit à notre définition de « brillant de contraste », c'est-à-dire au rapport entre l'intensité spéculaire totale et l'intensité totale diffusée. Le choix de ne pas prendre l'intensité totale en considération a été influencé par l'analyse de l'évaluation sensorielle de la brillance par le panel. Les panelistes examinent la réponse de la lumière des différentes zones de l'échantillon sous différents angles et construisent leur évaluation du brillant. L'évaluation n'est pas fondée sur des comparaisons entre les échantillons, mais sur des indices visuels extraits de chaque échantillon lors de l'observation.

Nous voulons éviter de spéculer sur les angles d'éclairage les plus ou les moins importants pour la perception de la brillance. Par conséquent, nous avons mesuré des intensités sur plusieurs secteurs angulaires, imitant ainsi l'approche de BRDF en réflexion. Dans ces graphiques, le brillant apparaît comme un pic spéculaire au-dessus d'un fond diffus. Le pic spéculaire peut être caractérisé par sa hauteur par rapport au fond (MAX) et la largeur à mi-hauteur (FWHM). Le fond est caractérisé par son rapport à l'intensité totale réfléchiée dans le plan d'éclairage.

MAX et FWHM ont un comportement classique, anti-corrélé et leurs coefficients de corrélation sont identiques à l'estimation du panel visuel (0.72 et -0.69). MAX montre un comportement non-linéaire par rapport à FWHM et les valeurs de brillance.

Pour le descripteur de Contraste de brillant, les indicatrices mesurées par le gonio-spectrophotomètre avec le protocole 2 permettent de relever la réponse spéculaire des différentes facettes du grain.

4.2.4 CONSTRUCTION DES MODÈLES

4.2.4.1 APPROCHE

L'approche utilisée pour la construction des modèles instrumentaux des différents descripteurs vise à respecter le réalisme psychophysique en essayant d'atteindre une performance statistique correcte, c'est-à-dire respecter à la fois la description et la qualité de la prédiction.

Afin de ne pas multiplier les incertitudes dans les transformations des fonctions lors de la création de modèles de prédiction à plusieurs variables, notre approche vise à transformer les variables avant de les employer dans le modèle. Nous avons donc choisi d'employer des modèles linéaires avec des variables transformées au lieu de modèles non linéaires avec des variables brutes. Les transformations des variables sont « minimales » et permettent de corriger la « forme » des dépendances entre certains paramètres et les notes.

Pour ne pas faire d'hypothèses sur la normalité de la distribution des variables, nous avons choisi d'adopter la famille des modèles linéaires généralisés (GLM). C'est une généralisation du modèle linéaire classique qui a pour caractéristique principale de permettre d'estimer le maximum de vraisemblances des paramètres du modèle par la méthode des moindres carrés. Alors que dans le modèle linéaire classique, on suppose que la variable est normalement distribuée, dans le cadre de modèles linéaires généralisés la variable peut être une variable aléatoire avec une distribution issue d'une structure exponentielle, ou binomiale, ou de Poisson, etc.

On utilise la régression multiple des variables sensorielles avec des variables instrumentales (et pour certains descripteurs couplés à d'autres données sensorielles). Dans le domaine de la prédiction, la qualité du modèle doit être mesurée par un critère de performance et des paramètres de régression statistiquement significatifs. Afin de respecter l'approche sensorielle pour chaque descripteur, il faut utiliser uniquement des variables instrumentales pertinentes et essayer de faire une prédiction qui aie des propriétés de distribution (moyenne et dispersion) aussi proches que possible de celles de la variable sensorielle [75][76][77].

La performance prédictive des modèles est évaluée en examinant l'écart-type interne des populations prédites et observées, l'écart-type entre les notes des modèles et les notes du panel, et leurs corrélations.

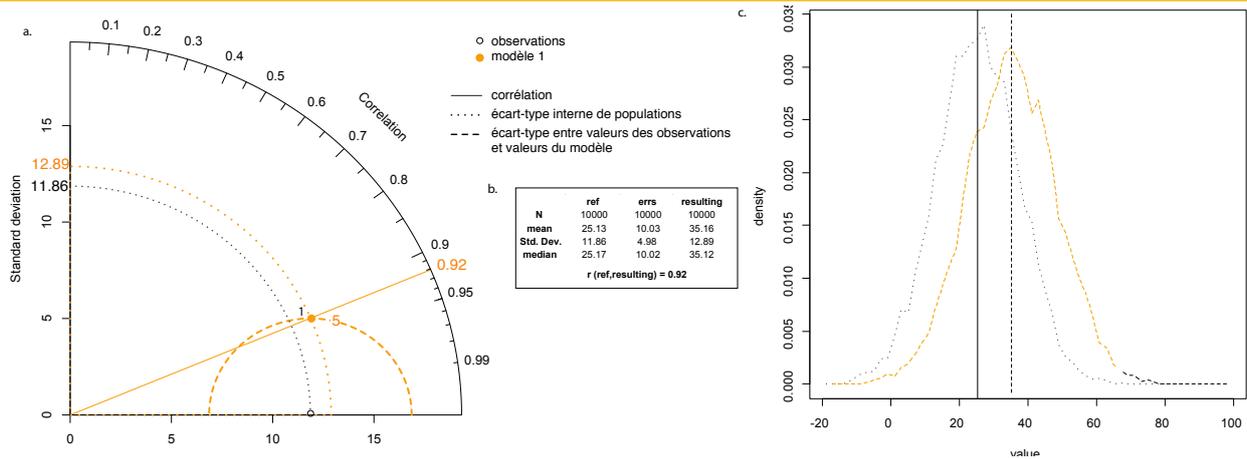


Fig. 4.24 : Diagramme de Taylor [78](a), tableau de l'ANOVA (b) et distribution des observations et des données du modèle1(c). Le modèle 1 et les observations sont des données fictives à titre d'exemple.

Ces trois paramètres peuvent être résumés graphiquement en utilisant le diagramme de Taylor [78] [79] mis en œuvre dans le package plotrix de l'environnement de calcul statistique R [69].

Il s'agit d'un diagramme polaire où :

- L'écart-type interne de la population de référence et l'écart-type interne des valeurs prédites sont représentées par leur distance radiale de l'origine ;
- Et l'écart-type entre les valeurs du modèle et les valeurs des observations sont représentées par des cercles concentriques autour de la position des observations.
- La corrélation entre les notes des modèles et les notes du panel sont représentées par l'angle avec l'axe horizontal. Les valeurs de corrélations sont lues radialement sur le cercle extérieur.

La figure 4.24 est un exemple théorique, comparant deux populations. La population dénommée «modèle 1» a été obtenue en ajoutant une erreur issue d'une loi normale (de moyenne 10 et d'écart-type 5), à une population référence de 10000 observations issues d'une loi normale de moyenne 25,13 et d'écart-type 11,86. Le résultat possède une moyenne de 35,16 et un écart-type de 12,89. La corrélation entre les deux populations est de 0,92 et un écart-type entre les valeurs de 5.

4.2.4.2 LES MODÈLES

Pour chaque descripteur sensoriel, nous présentons ici les modèles prédictifs construits à partir de valeurs instrumentales. Le Tableau 4.2 résume les paramètres des modèles, leurs contributions, leurs transformations et les équations.

4.2.4.2.1 MODÈLE « NETTETÉ »

Notre modèle de la perception de *Netteté* se base sur deux paramètres :

- LARG, les moyennes des largeurs des contours des éléments,
- OUT, le contraste moyen entre le contour et le fond.

Les deux paramètres ont des contributions positives, plus la largeur des contours et leur contraste avec le fond sont importants, plus la netteté est perçue.

4.2.4.2.2 MODÈLE « DIMENSION DES ELEMENTS »

Notre modèle prend en considération un seul paramètre avec une contribution positive : la mesure des surfaces des éléments en pixels.

4.2.4.2.3 MODÈLE « ALLONGEMENT DE LA FORME »

Le modèle choisi est un modèle linéaire à 4 variables :

- meandim, la longueur moyenne de la forme,
- mcentr, l'excentricité des éléments,
- major, la longueur de l'axe maximal de l'ellipse contenant l'élément,
- radmax, la distance maximale du centroïde de l'élément à son point de contour plus éloigné

meandim, eccentr et major axis ont une contribution positive (plus la forme est excentrique, plus l'élément est grand et allongé, plus l'allongement de sa forme va être perçue), tandis que radmax a une contribution négative. Le paramètre radmax a pour but de corriger la mesure d'allongement dans le cas d'éléments aux formes complexes. La mesure de l'excentricité (eccentr) est transformée : on utilise son logarithme décimal afin de donner un poids important aux éléments avec une faible excentricité.

4.2.4.2.4 MODÈLE « ANGULOSITE DES BORDS »

Le modèle d'*Angulosité des bords* est un modèle à 6 paramètres :

- MesANGUL, le nombre d'angles
- Per2Circle, le périmètre du cercle contenant l'élément
- S.area, la surface de l'élément
- S.perimeter, le périmètre de l'élément
- H.idms.1, le moment d'Haralick IDM (inverse difference moment)
- H.den.2, le moment d'Haralick DEN (difference entropy)

La mesure du nombre d'angles et le calcul du périmètre ont une contribution positive tandis que les autres paramètres ont une contribution négative. Les moments d'Haralick [71] sont des correcteurs qui concernent la géométrie des bords des éléments à deux échelles différentes :

4.2.4.2.5 MODÈLE « OCCUPATION DE L'ESPACE»

Notre modèle d'*Occupation de l'espace* est un modèle à trois paramètres :

- NBR, le nombre d'éléments de l'image,
- val, le pourcentage de la surface occupée par les éléments
- DIM, les valeurs prédites du descripteur de *Dimension*.

Les deux premiers paramètres ont une contribution positive tandis que le dernier a une contribution négative.

4.2.4.2.6 MODÈLE « DENSITÉ»

Le modèle de *Densité* est un modèle à trois paramètres :

- dens, la densité calculée,
- medDist, la distance moyenne entre les centres,
- DIM, les valeurs prédites du descripteur de *Dimension*.

Les deux premiers paramètres ont une contribution positive tandis que le dernier a une contribution négative. Le paramètre principal de prédiction est la densité calculée, corrigée par les mesures de la dimension et de la distance entre les centres.

4.2.4.2.7 MODÈLE « ORGANISATION DES ELEMENTS»

Notre modèle de l'*Organisation des éléments* est un modèle à deux variables :

- NBR, le nombre d'éléments de l'image,
- orientElement, l'orientation des éléments a une contribution positive

L'orientation des éléments a une contribution positive. La valeur du nombre d'éléments est transformée ($1/NBR$) et a une contribution négative.

4.2.4.2.8 MODÈLE « RELIEF»

Le modèle instrumental du *Relief* a trois paramètres :

- RELIEF ISO, la profondeur moyenne du grain,
- Max.slope, la profondeur à laquelle tombe la pente maximale,
- NET, les mesures instrumentales de *Netteté*

Les paramètres RELIEF ISO et NET ont des contributions positives (plus la *Netteté* augmente et plus la hauteur de marche est importante, plus on va percevoir le *Relief*), tandis que le paramètre max.slope a une contribution négative. Ce dernier permet de corriger la prédiction pour des grains ayant plusieurs hauteurs de marche, ce qui contribue à un aplatissement de la perception du *Relief*.

4.2.4.2.9 . MODÈLE « BRILLANT »

Le modèle instrumental du *Brillant* a cinq paramètres : trois variables instrumentales (MAX, FWHM et DIFF) corrigées par les variables de topographie (DIM et Relief). Notre modèle utilise le logarithme des valeurs de MAX au lieu de ses valeurs brutes.

4.2.4.2.10 MODÈLE « CONTRASTE DE BRILLANT »

Notre modèle instrumental du *Contraste de brillant* a 5 paramètres.

- THETA 25, la valeur de l'intensité à 25° ,
- THETA 0, la valeur de l'intensité à 0° ,
- THETA -4, la valeur de l'intensité à -4° ,
- THETA -10, la valeur de l'intensité à -10° ,
- THETA -20, la valeur de l'intensité à -20° .

A partir du tableau 4. des mesures d'intensité lumineuse selon le protocole 2, ces 5 angles sont obtenus par une procédure d'optimisation d'un modèle linéaire généralisé en imposant un maximum de 5 angles. L'information qui nous intéresse est l'évolution de la contribution spéculaire des facettes sous diverses orientations de l'échantillon dans un dièdre source-détecteur fixe, ce qui simule des variations d'inclinaison de l'échantillon en cabine à lumière lors de l'examen.

Les angles que la procédure d'optimisation retient (Θ 25, Θ 0, Θ -4, Θ -10, Θ -20) suggèrent l'utilisation de 2 échelles de d'appréciation : une échelle qui prend en compte des grands écarts angulaires (entre 25, 0 et -20°), et une échelle qui regarde a des petits écarts angulaires (entre -4 et -10°).

La comparaison entre les mesures aux angles 25, 0 et -20° peut être interprétée comme un recours à deux positions symétriques (25° et -20°) par rapport une position d'observation de « référence » du dièdre source-détecteur, normal à l'échantillon (à 0°).

Les informations des grands écarts angulaires sont raffinées par la mesure d'une variation locale de brillant à de petits écarts angulaires : les intensités à 0° sont modérées par les intensités à -4 et les intensités à -20° par celles à -10°.

Ainsi, les angles choisis par la procédure d'optimisation du modèle semblent refléter la stratégie de la procédure d'observation des panelistes qui effectuent une rotation de l'échantillon et évaluent le contraste de brillant des différentes zones du grain aux différents angles d'observation. Le grain est observé à la fois aux angles proches de la position d'observation de «référence» (correspondant à 0 et -4° : on considère spontanément que la normale à l'échantillon tout entier est la bissectrice du dièdre source lumineuse-observateur) et hors de la position d'observation de « référence » (correspondants à 25 et -20), sans regarder aux angles rasants.

4.2.4.2.11 MODÈLE « COMPLEXITÉ DE LA FORME »

Notre modèle instrumental de la *Complexité de la forme* est un modèle à quatre variables qui correspondent aux mesures instrumentales de :

- ANG, l'Angulosité des bords,
- ORG, l'Organisation,
- RELIEF, Relief,
- NETT, la Netteté.

L' *Angulosité des bords* et le *Relief* ont des contributions positives tandis que l' *Organisation* et la *Netteté* ont des contributions négatives.

4.2.4.2.12 MODÈLE « LISIBILITÉ »

Le modèle instrumental de la *Lisibilité* est un modèle à trois variables qui correspondent aux mesures instrumentales de :

- COMPLEX, la *Complexité de la forme*,
- CONTR, le *Contraste de brillant*
- OCCUP, l'*Occupation de l'espace*.

Le premier paramètre a une contribution positive tandis que les deux suivants ont une contribution négative.

Les tableaux des valeurs des variables des modèles sont en annexe 4.4.

DESCRIPTEUR	PARAMÈTRE	CONTRIB.	TRANSF	ÉQUATION
NETTETÉ	<i>LARG</i>	+	log LARG	58,587 x log LARG – OUT +15,4000
	<i>OUT</i>	-	-	
DIMENSION	<i>mesure</i>	+	-	0,281 x $\sqrt{\text{mesure}}$ – 15,317
ALLONGEMENT	<i>eccentr</i>	+	log eccentr	53,991 x log eccentr + 0,285xmeandim + 0,372xmajoraxis – 0,950xradmax + 24,997
	<i>meandim</i>	+	-	
	<i>majoraxis</i>	+	-	
	<i>radmax</i>	-	-	
ANGULOSITÉ	<i>mesANGUL</i>	+	-	23,09xmesANGUL – 128,9xPer2Circle – 2,44 10-3 x area + 0,145xperimeter – 356,3xhidms1 – 329,7xhdens2 + 619,3
	<i>Per2Circle</i>	-	-	
	<i>area</i>	-	-	
	<i>perimeter</i>	+	-	
	<i>hidms1</i>	-	-	
OCCUPATION	<i>val</i>	+	-	1,199xval + 0,069xNBR – 0,435xDIM – 0,006
	<i>NBR</i>	+	-	
	<i>DIM</i>	-	-	
DENSITÉ	<i>dens</i>	+	-	127,272xdens + 0,621xmedDist – 0,847xDIM – 254,912
	<i>medDist</i>	+	-	
	<i>DIM</i>	-	-	
ORGANISATION	<i>OrientElems</i>	-	-	-0,872xOrientElems + 200,238x(1/NBR) + 28,538
	<i>NBR</i>	+	1/ NBR	
RELIEF	<i>RELIEFiso</i>	+	-	0,127xRELIEFiso + 0,627xNET – 0,210xmax.slope + 8,466
	<i>NET</i>	+	-	
	<i>max.slope</i>	-	-	
BRILLANT	<i>MAX</i>	+	log MAX	102xlogMAX + 0,915xFWMH + 6,35xDIFF + 0,010xDIM + 0,424xRELIEF – 394
	<i>FWMH</i>	+	-	
	<i>DIFF</i>	+	-	
	<i>DIM</i>	+	-	
	<i>RELIEF</i>	+	-	
CONTRASTE DE BRILLANT	<i>THETA25</i>	+	-	10599xTHETA25 + 4356xTHETA0 – 8841xTHETA-4 + 10249xTHETA-10 – 16295xTHETA-20 + 13,7
	<i>THETA0</i>	+	-	
	<i>THETA-4</i>	-	-	
	<i>THETA-10</i>	+	-	
	<i>THETA-20</i>	-	-	
COMPLEXITÉ	<i>ANGUL</i>	+	-	0,368xANGUL – 0,433xALIGN – 0,221xNET + 0,078xRELIEF + 71,5
	<i>ALIGN</i>	-	-	
	<i>NET</i>	-	-	
	<i>RELIEF</i>	+	-	
LISIBILITÉ	<i>CONTR</i>	+	-	0,200xCONTR – 0,777xOCCUP – 0,714xCOMPLEX + 133
	<i>OCCUP</i>	-	-	
	<i>COMPLEX</i>	-	-	

Tableau 4.2 : Paramètres mesurés, contributions, transformations éventuelles et équations des modèles de prédiction des notes sensorielles. Les coefficients des équations sont présentés avec trois chiffres significatifs.

4.2.3.3 PERFORMANCES DES MODÈLES

La performance des modèles est évaluée en fonction de trois critères :

- La corrélation avec les notes du panel,
- L'écart-type entre notes sensorielles et notes des modèles,
- La -sur ou sous-dispersion liée à l'écart-type de la population des notes du panel par rapport à l'écart-type moyen avec les notes du panel.

Les diagrammes de Taylor de la figure 4.25 illustrent ces trois valeurs pour chaque modèle.

Les modèles créés ont une corrélation avec le panel visuel qui varie entre 0,75 et 0,96, avec une moyenne de 0,83. Les modèles prédictifs avec une corrélation plus importante sont ceux des descripteurs de la *Netteté* (0,96), *Densité* (0,96), *Brillant* (0,94) et *Contraste de brillant* (0,89). Les modèles avec une corrélation moins importante sont ceux des descripteurs de la *Lisibilité* (0,79), de l'*Occupation de l'espace* (0,79) et de l'*Allongement* (0,75).

Les écarts types entre notes sensorielles et notes prédites sont en moyenne de 14,3. Les modèles de *Netteté*, *Densité* et *Brillant* ont des écart-types avec les observation inférieurs ou égales à 10. Les écarts de notation du panel visuel sont de 10,5 sur l'ensemble des descripteurs et de 9,8 sur ces trois derniers. Nos modèles prédictifs sont donc aussi performants que le panel visuel pour ces descripteurs.

Uniquement le modèle de *Lisibilité* à un écart-type supérieur à 20. Les écarts-types des populations des modèles sont inférieurs ou égaux à ceux des observations. Ceci indique qu'aucun modèle n'est sur-dispersé, ils sont plutôt sous-dispersés, c'est à dire qu'ils sont moins performants que le panel pour distinguer les différences entre échantillons.

Globalement les modèles plus performants sont les modèles de *Netteté*, *Densité*, *Relief*, *Brillant*, et *Contraste de brillant*. Les échantillons de l'espace produit choisi sont hétérogènes afin de s'assurer que le référentiel visuel et sa reconstruction instrumentale soient adaptés à tout type de grain. Cependant, cette hétérogénéité comporte des incohérences dans les prédictions. L'analyse de l'écart de notes entre prédiction instrumentale et panel visuel a pour but de déterminer :

- Les limites des modèles,
- Les échantillons problématiques,
- Et surtout les écarts entre analyse quantitative des instruments et la perception humaine.

Pour une compréhension des performances des modèles, nous allons maintenant analyser les échantillons qui ont des notes prédites en dehors de l'intervalle de confiance de leur évaluation par le panel.

Les figures 4.26 à 4.29 présentent les moyennes des notes du panel visuel avec leurs intervalles de confiance et les notes issues des modèles instrumentaux. L'ordre de présentation suit l'ordre de présentation des modèles de descripteurs.

Pour l'ensemble des descripteurs, 82% des notes prédites par les modèles sont dans l'intervalle de confiance des notes du panel visuel.

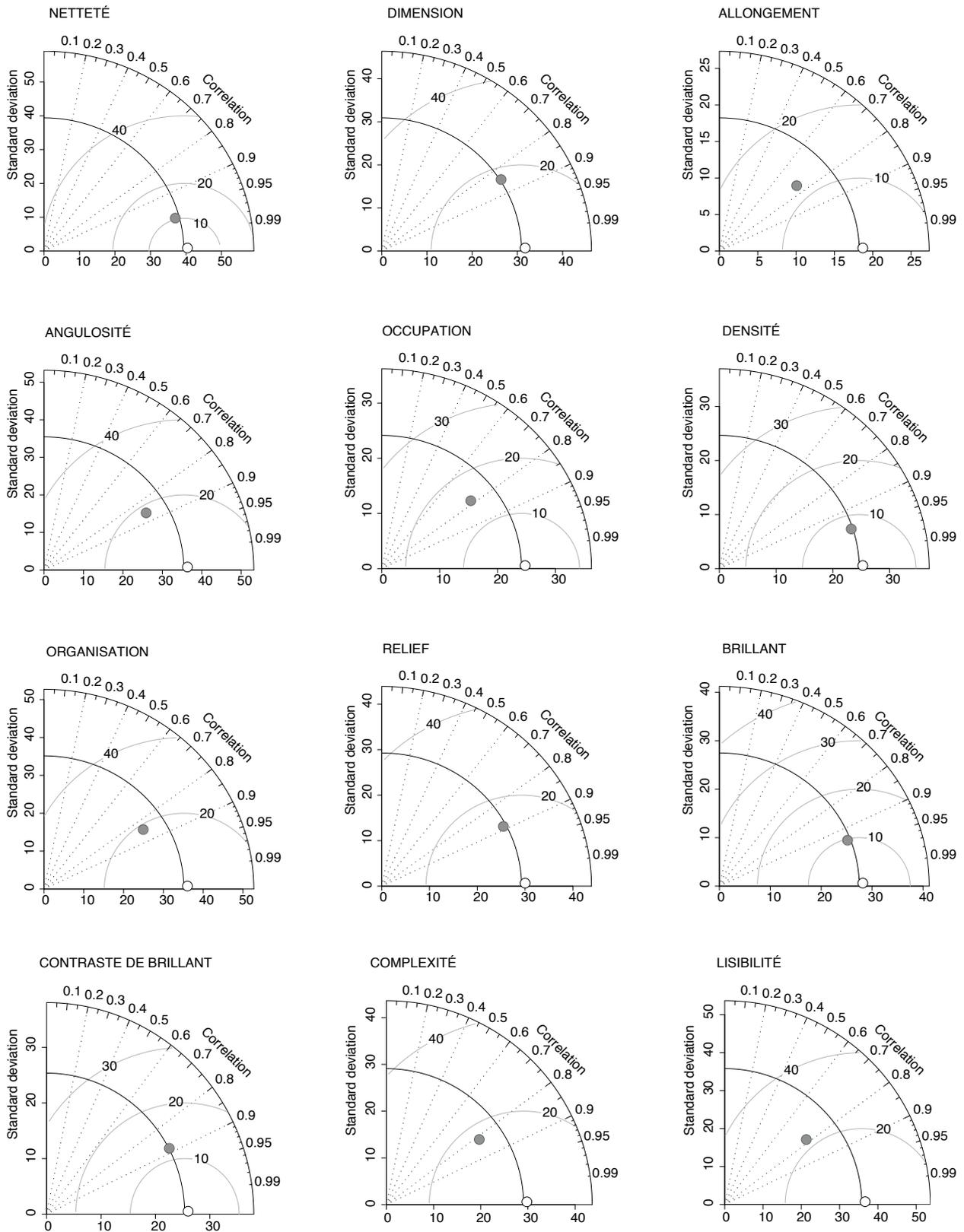


Fig. 4.25 : Diagrammes de Taylor [78] des 12 modèles.

Nous présentons ici les descripteurs et les échantillons ayant des notes prédites hors intervalles de confiances et une explication des écarts de notes :

- *Netteté* (23),
- *Dimension* (21, 23, 120, 127, 130, 134),
- *Angulosité* (127, 135)
- *Occupation* (21, 127)
- *Organisation* (8, 23, 127)
- *Relief* (17, 23, 132)
- *Brillant* (8),
- *Contraste de brillant* (21, 23, 132)
- *Complexité* (17, 21, 130, 133, 135)
- *Lisibilité* (23, 21, 120, 130, 133, 134),

Les explications des écarts organisées par type de cause. Pour chaque cause nous listons les conséquences sur les différents descripteurs en donnant les numéros d'échantillons intéressés.

La perception des éléments ne correspond pas à la mesure instrumentale pour différentes raisons :

1. L'image de l'échantillon souligne un contraste qui ne correspond pas exactement à la perception visuelle. Ceci engendre une surévaluation des valeurs prédites de :

- La *Netteté* de l'échantillon 23 : la largeur du contour des éléments et le contraste avec le fond de l'image, utilisés dans la reconstruction instrumentale, sont plus importants que leur perception visuelle.
- La *Dimension* des échantillons 21, 23, 120 et 130. Pour ces échantillons l'analyse de l'image inclut des détails du fond dans les contours des éléments, ce qui augmente la taille des éléments par rapport à la perception visuelle du panel.
- Le *Relief* des échantillons 23 et 17. Le fort contraste des images augmente la prédiction du descripteur.

2. La définition des images que nous avons adoptée pour la mesure de instrumentale est à un grossissement trop important, rendu possible par l'échelle de prise de vue. À cette échelle, la géométrie mesurée des éléments présente des déformations non perçues par les panelistes avec des répercussions sur les prédiction de :

- La *Dimension* de l'échantillon 134. L'image du grain montre que les disques ne sont pas parfaits : ils sont légèrement déformés et surtout incomplets. La perception des panelistes interprète la forme intuitivement comme un disque complet. La surface mesurée est donc inférieure à la surface perçue.
- L'*Angulosité* de l'échantillon 135. Comme pour l'échantillon précédent, les éléments sont perçus comme parfaitement ronds. Cependant, la forme capturée par l'image présente de l'*Angulosité*.

3. Le modèle prédictif de l'*Organisation des éléments* ne prend pas assez en considération la perturbation de sa perception pour :

- Des échantillons avec une forte *Angulosité des bords* (échantillons 8 et 17). Le modèle prédictif prend en considération l'alignement des centres dans son estimation. Or, pour des grains cuirs, avec une forte *Angulosité des bords* et une *Complexité de la forme*, l'alignement des éléments n'est pas perçu par les panelistes et est évalué comme non organisé.
- Des échantillons avec des formes complexes mais un agencement très organisé (échantillon 127)

4. La *Complexité de la forme* d'éléments avec des formes topographiquement complexes mais familières entraînent des surestimations. L'échantillon 21 a sa note prédite fortement surestimée (42 points). Cet échantillon présente des éléments en forme de goutte, que le panel juge de forme relativement peu complexe, alors que le modèle prédictif le juge complexe à cause de l'excentricité de la forme ainsi que de l' *Angulosité des bords*.

5. Les motifs des grains créent des jeux optiques qui causent un décalage entre la perception et la prédiction de la *Dimension* de l'échantillon 127, qui est surévalué. Cet échantillon a une forme en quinconce très complexe avec un agencement très organisé. La perception de la *Dimension* de ce type de géométrie diffère de la taille réelle.

L'*Angulosité* est «mal mesurée» lorsque le grain possède une grande variation de forme et des angles très arrondis. C'est le cas de l'échantillon 127 est surévalué par les prédictions instrumentales.

L'échantillon 8 est surévalué dans sa prédiction de *Brillant* de 2 points à cause de la composante SAT mesurée qui est très importante.

Les échantillons 23 et 132 sont surévalués (respectivement de 20 et 26 points) dans leur prédiction de *Contraste de brillant* tandis que l'échantillon 21 est sous-évalué (15 points).

Certains écarts de notes sont dus à la propagation d'erreurs de prédiction dans les paramètres d'autres modèles pour les descripteurs de :

- De l'Occupation de l'espace de l'échantillon 21. Sa note est surestimée (35 points) par le modèle prédictif à cause d'une propagation de la surestimation de sa Dimension.
- De Complexité de la forme des échantillons 130, 133 et 135. Ils sont surestimés à cause d'une surestimation de l'Angulosité des bords pour le 135, la grande Dimension du 133 et la Netteté très faible du 130.

Certaines prédictions sont en dehors de l'intervalle de confiance des notes panel mais sont compatibles avec l'incertitude globale des notes du panel. En effet, pour certains échantillons le panel est plus performant des modèles : ils sont très bien évalué et l'intervalle de confiance est très étroit. (échantillon 17 sous-estimé en *Complexité de la forme* de 11 points et échantillon 132 sous évalué en *Relief* de 8 points)

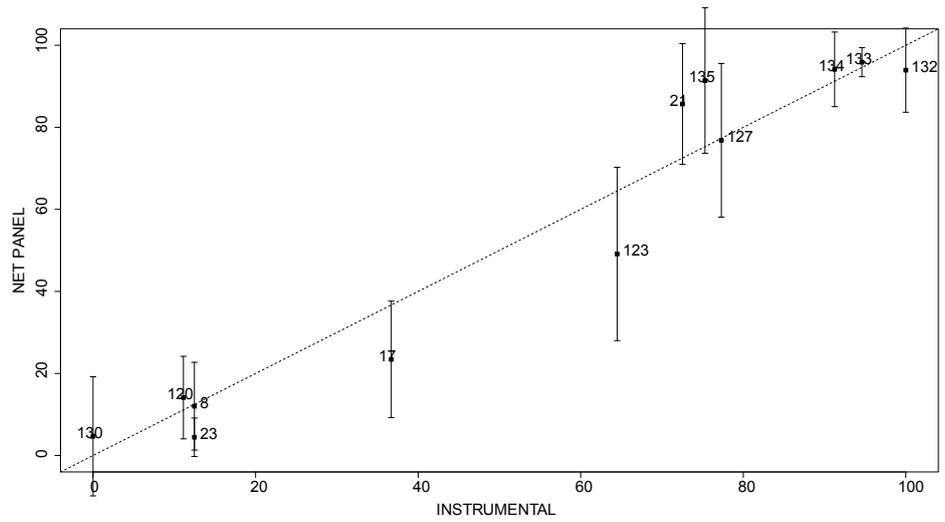
Le modèle prédictif de la *Lisibilité* est moins performant que les autres modèles prédictifs. La notation sensorielle de ce descripteur est une des plus problématiques car elle est pluridimensionnelle

DESCRIPTEUR

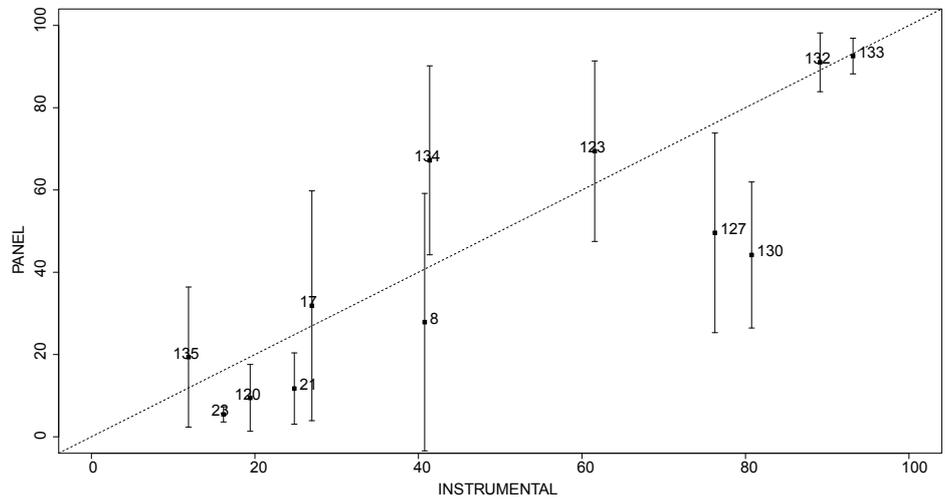
ÉCHANTILLONS

PRÉDICTIONS ET INTERVALLES DE CONFIANCE DU PANEL

a. NETTETÉ ● 23



b. DIMENSION ● 21
23
120
127
130
134



c. ALLONGEMENT

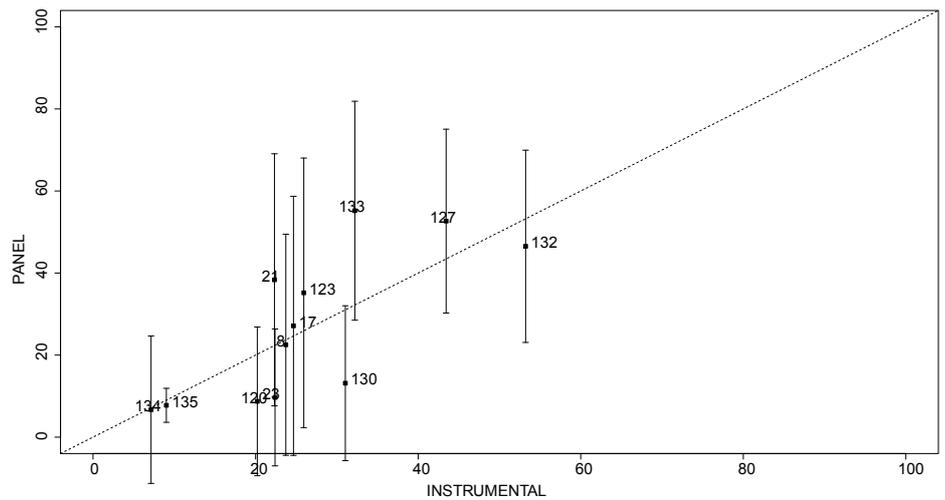


Fig. 4.26 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Netteté, (b.) Dimension et (c.) Allongement.

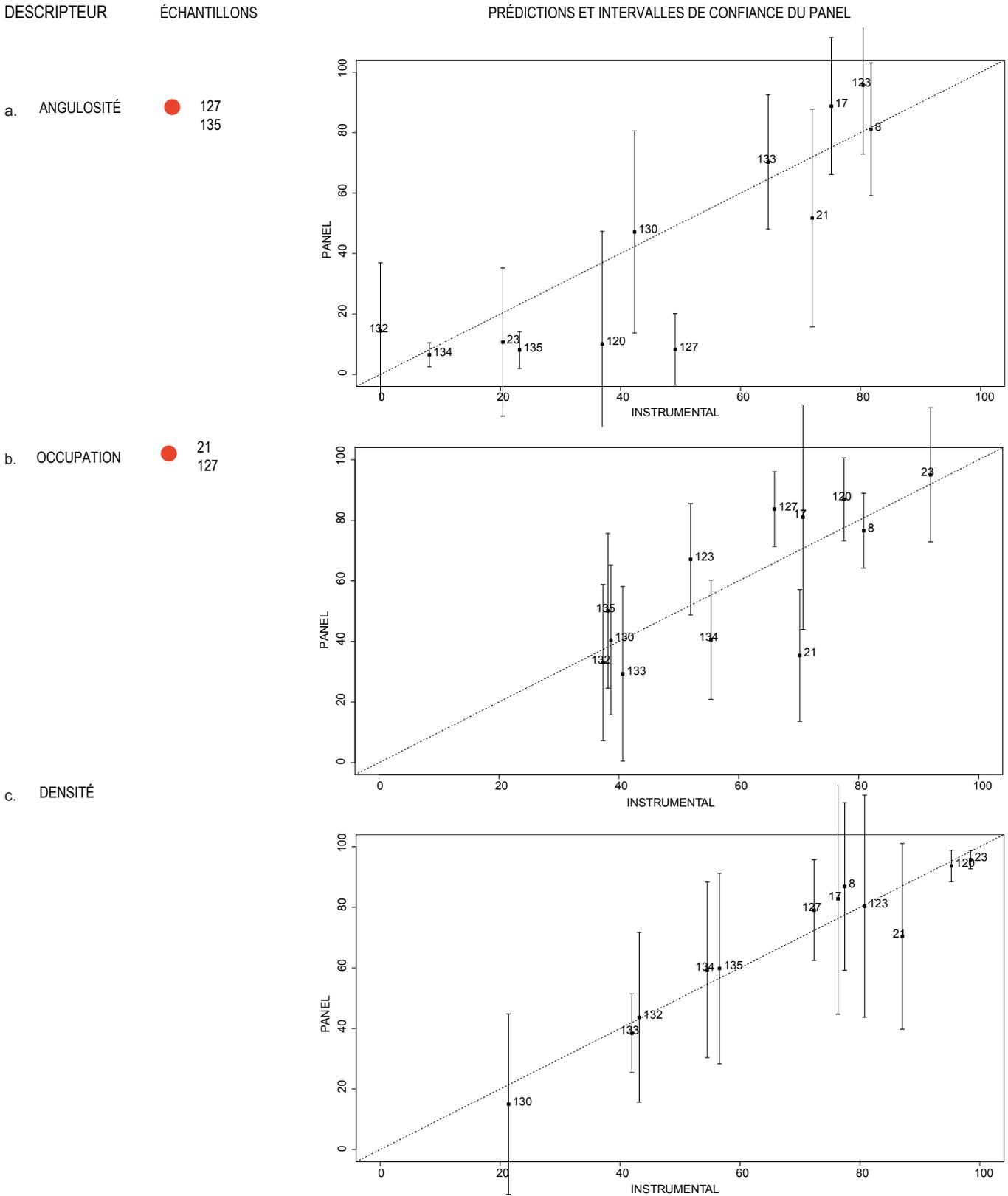
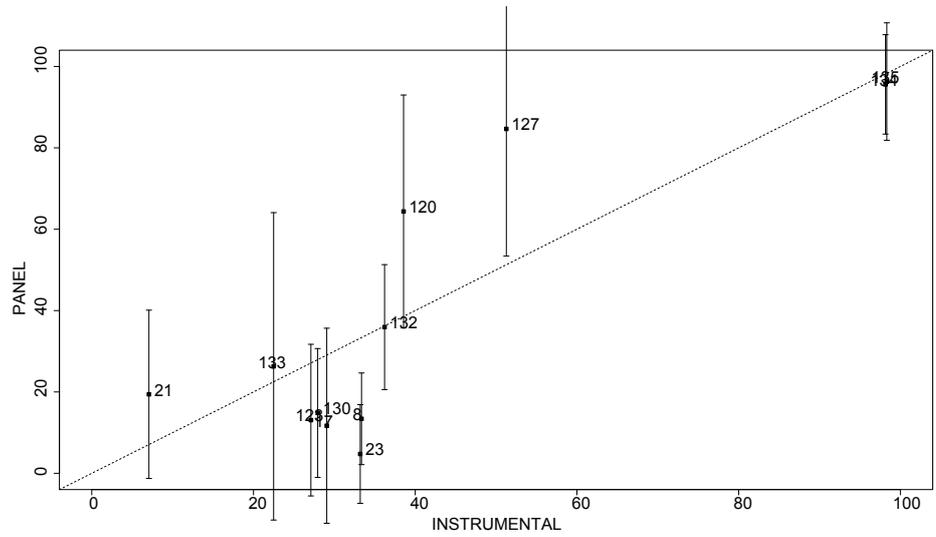


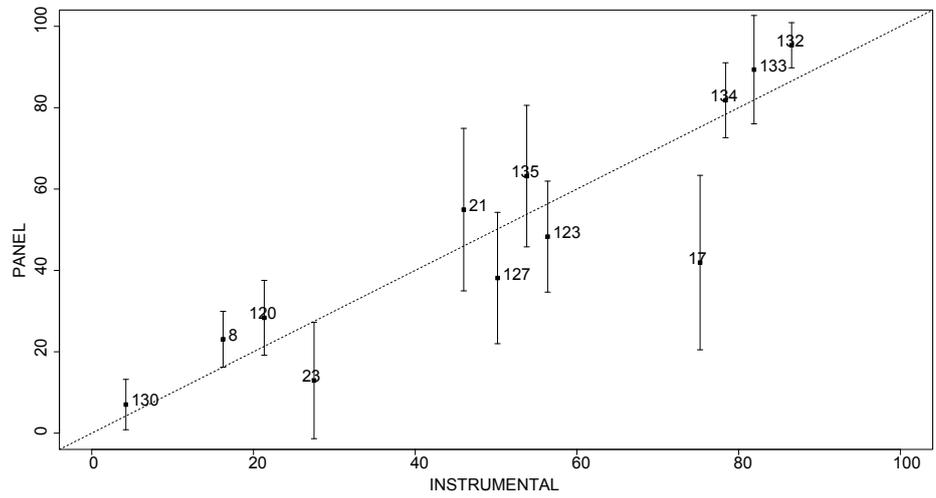
Fig. 4.27 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Angulosité, (b.) Occupation et (c.) Densité.

DESCRIPTEUR ÉCHANTILLONS PRÉDICTIONS ET INTERVALLES DE CONFIANCE DU PANEL

a. ORGANISATION ● 8
23
127



b. RELIEF ● 17
23
132



c. BRILLANT ● 8

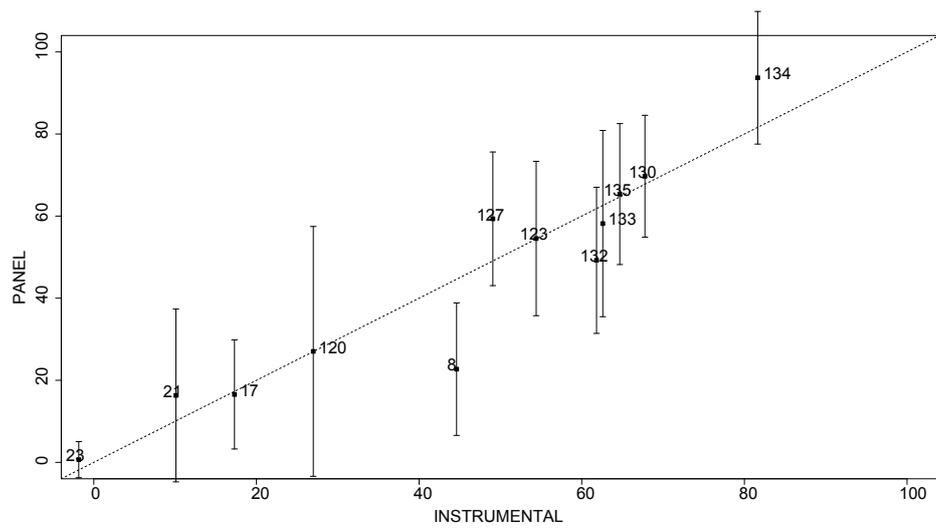


Fig. 4.28 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.) Organisation, (b.) Relief et (c.) Brillant.

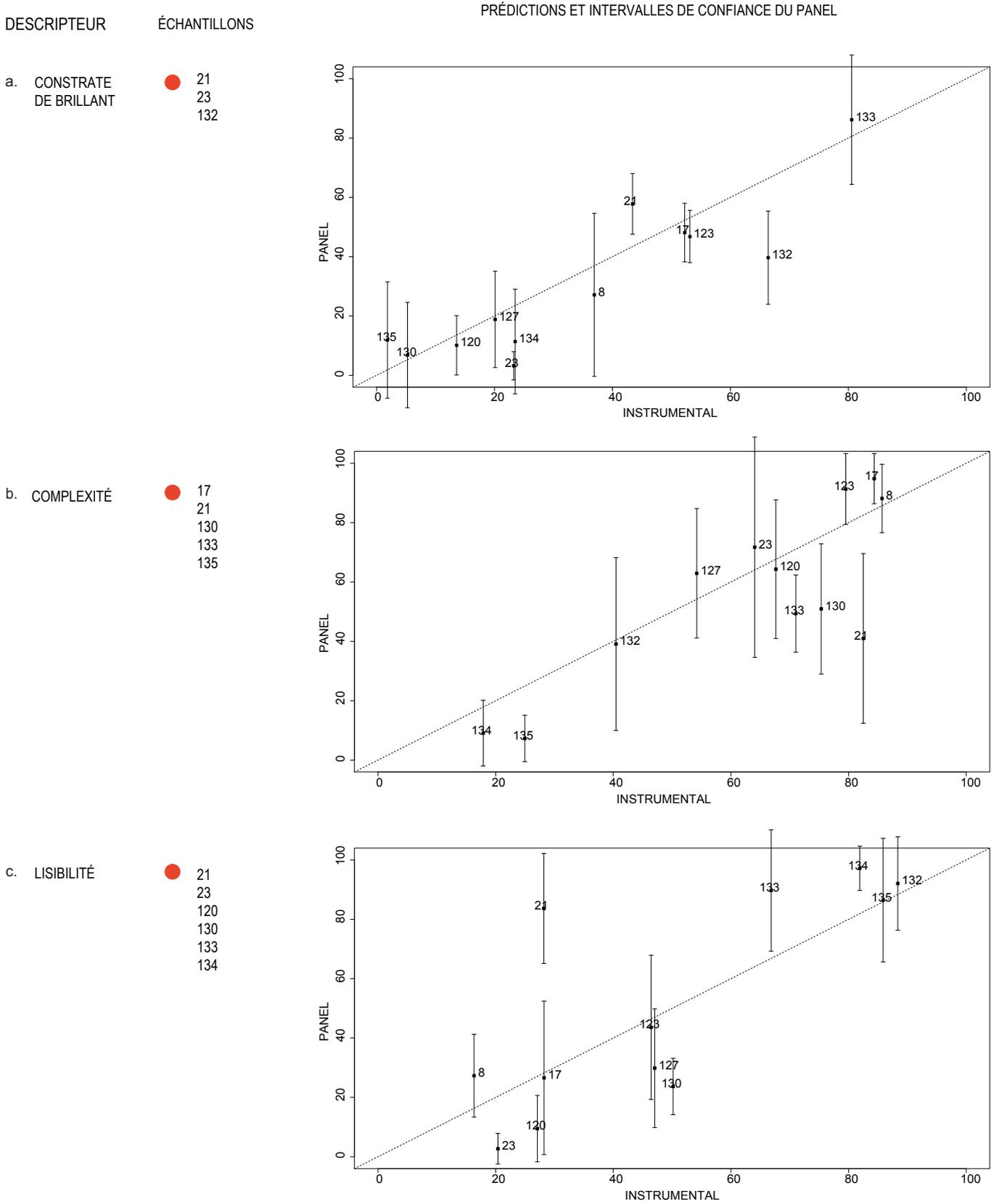


Fig. 4.29 : Comparaison entre notes prédites par les modèles instrumentaux (en abscisses) et notes du panel (en ordonnées) des descripteurs (a.)Contraste de brillant, (b.) Complexité et (c.) Lisibilité.

et conduit à des grandes variations de notes entre juges. Cependant, l'intérêt de ce descripteur réside aussi dans la possibilité de mettre en avant ses variations de notes. Une texture très lisible pour certains, et peu pour d'autres, peut avoir un impact fort en termes d'appréciation. Nous avons donc les échantillons 23, 120 et 130 qui ont une prédiction de la *Lisibilité* surévaluée, tandis que les échantillons 21, 133 et 134 sont sous-estimés.

4.2.4.3 RADARS DES NOTES DU PANEL VS NOTES DES MODÈLES

La figure 4.30 reporte en vert les radars issus des notes du panel et en bleu les radars prédits par les modèles instrumentaux.

Pour certains échantillons, les deux radars ont une bonne superposition : 8, 17, 123, 130, 132, 133, 134, 135.

Les radars des échantillons 21 et 127 sont problématiques.

L'analyse des modèles, de leurs prestations par descripteurs et de l'écart de leurs notes avec les notes du panel permet d'identifier certains axes d'amélioration des modèles instrumentaux.

Le premier point d'amélioration serait la prise en considération des mécanismes d'approximation que la perception humaine effectue sur des formes simples. Par exemple, les mesures instrumentales de l' *Angulosité*, de la *Complexité de la forme* et de la *Densité* de l'échantillon 21 sont surévaluées par rapport à la perception du panel. Comme déjà vu dans la critiques des notes prédites par descripteur, ceci est dû au fait que les éléments de l'échantillon sont en forme de goutte. C'est une forme interprétée comme simple par le panel alors que le modèle surestime sa *Complexité de la forme* et son *Angulosité* et sous-évalue sa *Lisibilité*.

Un autre exemple de ce mécanisme d'approximation est illustré par l'évaluation des échantillons 134 et 134. Les panelistes perçoivent les éléments comme des cercles parfaits, hors leur géométrie des éléments n'est pas parfaite. Cet écart entre perception et mesure se répercute sur les descripteurs de *Dimension* et *Angulosité*.

Le second point d'amélioration est sur la relation entre la perception élevée de l' *Angulosité* et de la *Complexité*, et la baisse de la perception de l' *Organisation*.

Le troisième point est sur la prise en considération, dans les modèles, de certains effets optiques. Un exemple d'effet optique est représenté, dans notre espace produit par les incohérences des notes de l'échantillon 127. La géométrie complexe du motif est perçue à la fois comme des éléments en quinconce et comme des éléments ronds reliés par des traits transversaux. La petite distance entre les éléments du grain crée une confusion dans la lecture du motif et des jeux optiques de lecture des formes. La perception de *Dimension*, d' *Occupation de l'espace* et d' *Organisation* ont des écarts par rapport aux notes des modèles. Le cerveau des panelistes interprète la géométrie du grain. Il est très difficile de prédire avec des mesures instrumentales ces perceptions.

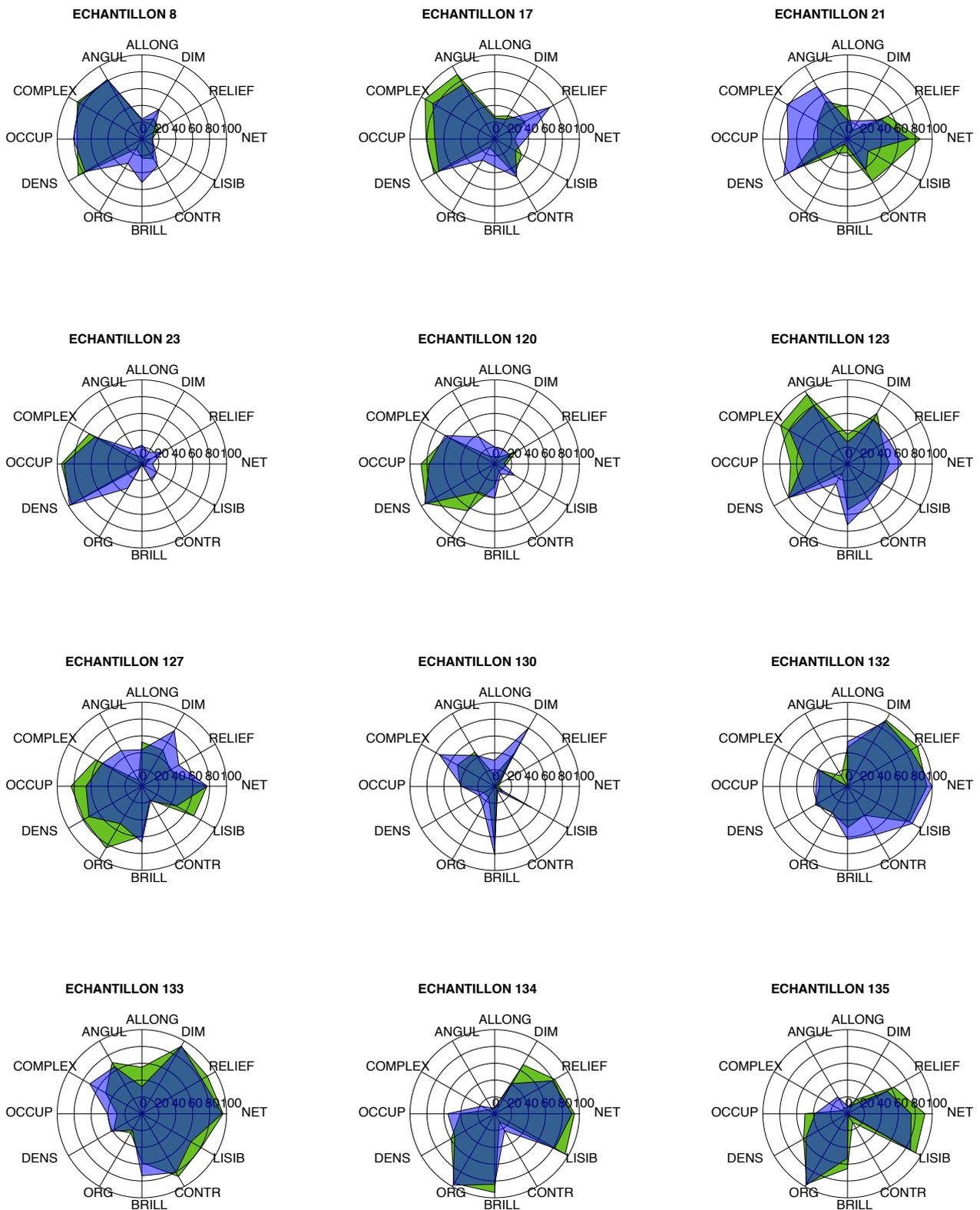


Fig. 4.30 : Radars des notes du panel (en vert) et des prédictions instrumentales (en bleu).

4.3 CONCLUSIONS

Dans ce chapitre, nous avons présenté la caractérisation sensorielle des grains à travers l'utilisation du référentiel visuel. La caractérisation sensorielle se concrétise dans la qualification et la quantification des perceptions visuelles issues des surfaces des échantillons. Les profils sensoriels des échantillons, sous forme de radars, permettent de visualiser les caractéristiques des échantillons et donnent une indication visuelle de la famille d'appartenance du grain.

La caractérisation sensorielle permet également de tracer le graphe des corrélations et d'expliquer les relations entre descripteurs. Ces relations statistiques traduisent les interactions sensorielles entre descripteurs et la logique d'analyse du panel visuel.

L'analyse du graphique des corrélations des descripteurs est la base sur laquelle nous avons émis les hypothèses pour la reconstruction instrumentale des descripteurs. Pour chaque descripteur, nous avons créé une échelle psychophysique, mise en oeuvre dans un modèle de prédiction. Notre objectif était celui de mettre en place un outil instrumental qui démontre qu'il est possible de reconstruire le profil sensoriel d'un grain.

Les modèles de prédictions se basent sur des mesures instrumentales qui reflètent le comportement sensoriel. Ils se construisent sur :

- La définition de paramètres physiques pertinents en termes d'aspect visuel exprimant la sensation perçue par l'utilisateur ;
- La corrélation entre les résultats de l'analyse sensorielle obtenue par le panel et les paramètres physiques mesurés.

Les modèles créés ont une corrélation moyenne avec le panel visuel de 0,83, les écarts types entre notes sensorielles et notes prédites sont en moyenne de 14,3 et les écarts types des populations des modèles sont légèrement inférieurs ou égaux à ceux des observations. Les modèles plus performants sont les modèles de *Netteté*, *Densité*, *Relief*, *Brillant*, et *Contraste de brillant*. Le modèle moins performant est celui de la *Lisibilité*. 82% des prédictions sont dans les intervalles de confiance des notes du panel.

Les modèles pourront être mis à jour en intégrant de nouvelles notations du panel visuel en fonction de la précision recherchée et améliorés en optimisant les procédures de mesure des paramètres instrumentaux.

Le panel visuel sera utilisé dans le chapitre suivant (chapitre 05) pour l'analyse du couple grain/matière sur les caractéristiques de la surface de pièces injectées. L'espace produit du chapitre 05 réunit un ensemble d'échantillons en polypropylène injecté avec 3 couleurs, 4 grains et 3 matières. La caractérisation des échantillons par évaluation sensorielle du panel permettra la critique de la perception des grains en fonction des couleurs et des matières employées. Cet espace produit nous permettra également de tester les modèles de prédictions développés dans ce chapitre 04.

CHAPITRE 05 IMPACT DU COUPLE MATIÈRE/GRAIN SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE SURFACE

Le chapitre 05 présente l'analyse de l'influence du couple grain/matière sur les caractéristiques de la surface de pièces injectées.

L'espace produit de ce chapitre est présenté dans le sous-chapitre 5.1. Il réunit un ensemble d'échantillons en polypropylène injecté, spécialement produit pour cette étude. Il comporte 3 couleurs, 4 grains et 3 matières.

Les couleurs de l'espace produit sont des couleurs choisies par le département du design pour les pièces d'aspect d'intérieur habitacle. Ce sont des couleurs d'harmonie que l'on retrouve sur différents véhicules de la gamme Renault. Les grains choisis sont également des grains que l'on trouve sur les véhicules de la gamme et dans les véhicules en développement. Les matières de l'espace produit sont trois formulations de polypropylène, généralement utilisés pour la production de pièces d'intérieur du secteur automobile. Deux des trois matières injectées font partie du Panel Matière Renault et sont considérées comme équivalentes pour les cahiers des charges de l'entreprise. La troisième matière est une proposition des fournisseurs, décrite comme plus qualitative du point de vue visuel et tactile, qualifiée de « soft », mais avec des prestations mécaniques inférieures.

Le but de l'étude est de répondre aux questions suivantes :

- Les matières du Panel Matières Renault, considérées équivalentes du point de vue technique, sont-elles équivalentes du point de vue visuel ?
- La matière dite « soft » est-elle perçue différemment des deux autres matières ?
- Quels sont les descripteurs qui permettent de différencier les matières ?
- Les matières ont-elles un impact différent en fonction du grain et des couleurs ?
- Quelles sont les causes des variations perceptives ?

La partie 5.2 présente la caractérisation des échantillons par évaluation sensorielle du panel visuel et par analyse des couleurs, des grains et des matières employées. L'espace produit nous permet également de tester l'outil de caractérisation sensorielle développé dans le chapitre 04.

Les évaluations sensorielles du panel visuel mettent en relief les différences perçues des matières en fonction du grain (à iso-couleur) et en fonction de la couleur (à iso-grain). Elles permettent également de différencier les descripteurs relatifs à l'esthétique, c'est-à-dire au design du grain, par rapport aux descripteurs reliés à la matière.

L'analyse sensorielle des échantillons indique que les différences entre les matières injectées sont perçues de manière significative uniquement pour les pièces noires. Il en suit une analyse, dans le sous-chapitre 5.3, des causes des différences de perception dans les caractéristiques topographiques de la surface, dans les caractéristiques de sa mise en forme et dans la nature de la matière des échantillons noirs.

	Romalien	Mikado	15/40	Monde
TKG 300 N	Rom-TKG-N	Mik-TKG-N	15/40-TKG-N	Mon-TKG-N
	Rom-TKG-Be	Mik-TKG-Be	15/40-TKG-Be	Mon-TKG-Be
	Rom-TKG-BI	Mik-TKG-BI	15/40-TKG-BI	Mon-TKG-BI
TRC 411 N	Rom-TRC-N	Mik-TRC-N	15/40-TRC-N	Mon-TRC-N
	Rom-TRC-Be	Mik-TRC-Be	15/40-TRC-Be	Mon-TRC-Be
	Rom-TRC-BI	Mik-TRC-BI	15/40-TRC-BI	Mon-TRC-BI
PPC 9180	Rom-PPC-N	Mik-PPC-N	15/40-PPC-N	Mon-PPC-N

Tableau 5.1 : Espace produit.

5.1 L'ESPACE PRODUIT

Le jeu d'échantillons de ce chapitre représente le 3^{ème} espace produit du travail de thèse. Il contient 28 échantillons avec 3 couleurs, 4 grains et 3 matières.

Le tableau 5.1 et la figure 5.1 listent l'ensemble de l'espace produit que nous avons injecté. L'espace produit étudié est issu des choix de l'entreprise et est «non équilibré» à cause de la non disponibilité de certains couples couleur/matière. La matière TKG 300 N, est injectée dans les trois couleurs, ainsi que le TRC 441N. Pour le PPC 9180, nous avons uniquement la couleur noire. Les matières sont nommées par la suite TKG, TRC et PPC.

5.1.1 COULEURS

Les couleurs choisies sont des couleurs très faiblement saturées, qualifiées *d'achromatiques* développés par le design pour l'intérieur des véhicules Renault. Le choix de ne pas employer des couleurs chromatiques vives a été motivé par plusieurs raisons. Premièrement, les couleurs saturées comme le rouge, le jaune ou encore le bleu, sont très peu employées dans le secteur de l'automobile pour des pièces d'aspect d'intérieur véhicule. De plus, le développement de couleurs vives pour ce genre de pièce se fait parallèlement au développement de grains spécifiques. Enfin, le contretypage de couleurs vives pour différentes matières n'était pas disponible. Les couleurs de notre espace produit sont dénommées «blanc ivoire», «beige alpaga» et «noir titane».

5.1.1.1 ANALYSE DES COULEURS

5.1.1.1.1 INSTRUMENT DE MESURE

Les données colorimétriques des échantillons sont issues de mesures d'un spectrophotomètre Dattacolor CS-3 CHROMA SENSOR ® [80]. Cet instrument de mesure se compose d'une source lumineuse générant un spectre lumineux contrôlé, d'une sphère d'intégration pour illuminer de manière diffuse l'échantillon et utilise un angle d'observation de 8° degrés, par rapport à la normale à la surface de l'échantillon.



Fig. 5.1 : Images de l'espace produit.

L'instrument permet deux géométries de mesures des rayons réfléchis par l'échantillon à tester : des mesures qui incluent la réflexion spéculaire (SCI) réfléchi en direction du système de détection suivant l'angle de l'observation et des mesures qui excluent la réflexion spéculaire (SCE). Les mesures ont été prises en mode SCE.

5.1.1.1.2 MESURES COLORIMETRIQUES

Plusieurs référentiels permettent de représenter les couleurs. Les deux plus couramment utilisés sont les systèmes CIEL*a*b* [81] et CIEL*C*h* [82] de la C.I.E (Commission Internationale de l'Éclairage). Le système L*a*b* permet de décrire une couleur par trois coordonnées rectangulaires dans un espace orthonormé. Il est composé de trois axes :

- L'axe des abscisses décrit l'évolution de la teinte de vert (-a*) au rouge (+a*).
- L'axe des ordonnées décrit l'évolution de la teinte de bleu (-b*) au jaune (+b*).
- L'axe perpendiculaire au plan (ab) représente la clarté (L*, 0 noir, 100 blanc).

Les graphiques des figures 5.3, 5.4 et 5.5 illustrent les coordonnées colorimétriques des échantillons par couleurs dans l'espace L*a*b* (Illuminant D65, observateur 10°). Pour chaque couleur, les échantillons sont groupés par matière. Les coordonnées correspondent aux moyennes des valeurs des 4 grains, pour la même matière et la même couleur (ex : TRC= moyennes des échantillons en TRC avec les grains Mikado, Romalien, 15/40 et monde). Les intervalles de confiance représentent les variations dues à l'influence du grain sur la mesure de couleur.

Les différences de couleur entre échantillons sont évaluées selon différents indices en fonction de leurs coordonnées colorimétriques[83]. Pour l'ensemble des échantillons groupé par couleurs, nous calculons tout d'abord conformément à l'usage courant la distance euclidienne entre 2 couleurs de l'espace L*a*b*, dénommée ΔE [84].

De nombreuses études ont permis de préciser par des indices plus adaptés les spécificités de la perception des différences dans les domaines du blanc [85][86] et du noir [89][90][1][93]. Pour la comparaison des échantillons blancs nous avons choisi les formules classiques recommandées par la C.I.E. [85] [87] et l'indice de jaune [88]. Pour la comparaison des échantillons noirs nous avons

choisi de confronter trois formules d'indice de noir : celles de Clontes [90], Westland [91] et Schumacher [92].

Pour les échantillons blancs, l'indice W de la C.I.E. [85] permet de déterminer le niveau de blancheur des échantillons blancs à partir des mesures colorimétriques. Cette valeur est complétée par un indice de teinte qui donne la teneur en rouge ou en vert selon la norme C.I.E. 1964 [87]. Une valeur positive de T indique une tendance vers le vert et une valeur négative indique une tendance vers le rouge.

L'indice de jaune (yellow index) permet également de caractériser les échantillons blancs. C'est un nombre calculé à partir des données spectrophotométriques qui décrit le changement de couleur d'un échantillon clair vers le jaune [88].

Différentes formules permettent la mesure d'indices de noir [89] :

- La formule de Clontes et. al [92] est issue d'une étude de perception et quantification du noir sur des papiers de couleur Munsell (X-Rite) et des tissus acryliques teints dans différentes nuances de noir ;
- La formule de Westland [91] qui se base sur la corrélation avec la perception de noir de 100 échantillons imprimés ;
- La formule de Schumacher [92] qui prend en considération la clarté et la chromaticité des échantillons dans l'espace couleur de Adams. Sa formule permet de déterminer les différences de noirceur entre échantillons bleuâtres et brunâtres avec la même clarté.

Blanc Ivoire :

Les graphiques de la figure 5.2 présentent les coordonnées colorimétriques des moyennes des échantillons en TKG et TRC en blanc. La moyenne du TKG présente des intervalles de confiance plus importants par rapport à la moyenne du TRC. Les coordonnées des moyennes indiquent que le TKG est plus jaune-vert et plus foncé que le TRC.

Les résultats de la formule de blancheur C.I.E. des deux matières TKG et TRC sont présentés dans le Tableau 5.2. Le TKG est moins blanc et plus vert que le TRC. Les Yellow Index, selon la norme DIN 6167, sont identiques pour TKG et TRC (respectivement 0,10 et 0,099, Tableau 5.2). Le ΔE entre matières (TKG/TRC) est de 0,5 (Tableau 5.2).

Beige Alpaga :

Les graphiques de la figure 5.3 présentent les coordonnées colorimétriques des moyennes des échantillons en TKG et TRC en beige. Le TKG et le TRC présentent les mêmes intervalles de confiance. Le TKG est plus rouge, plus jaune et plus foncé que le TRC. Le ΔE entre matières (TKG/TRC) vaut pour les beiges 0,32 (Tableau 5.2).

Noir Titane :

Les graphiques de la figure 5.4 présentent les coordonnées colorimétriques des moyennes des échantillons en TKG, TRC et PPC en noir. La moyenne du PPC présente les intervalles de confiances les plus importants, suivit du TKG et du TRC.

TKG est plus bleu que le TRC, qui est à son tour plus bleu que le PPC.

Au niveau de la clarté, le TKG est plus foncé que le PPC qui est plus foncé du TRC.

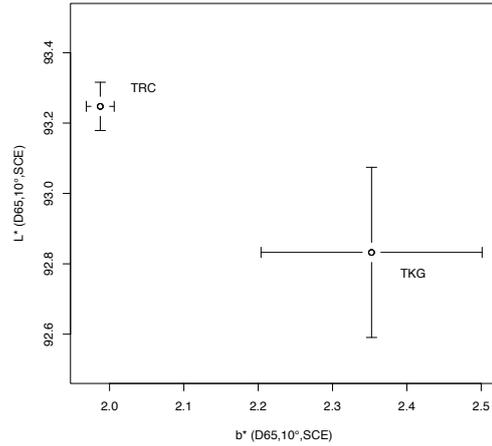
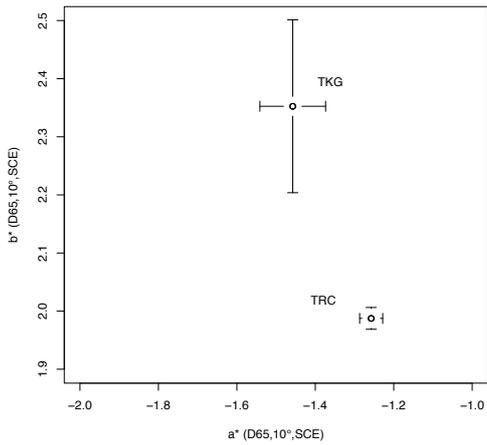


Fig. 5.2 : Coordonnées colorimétriques des échantillons en blanc ivoire.

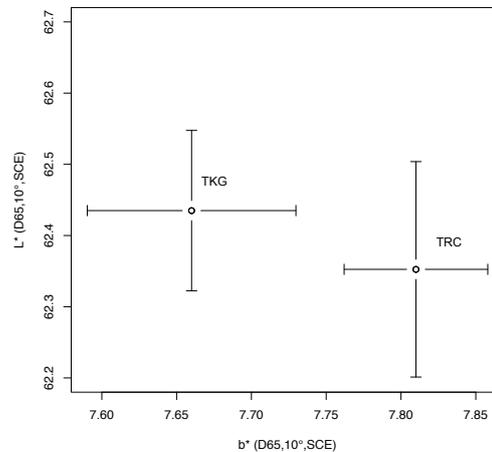
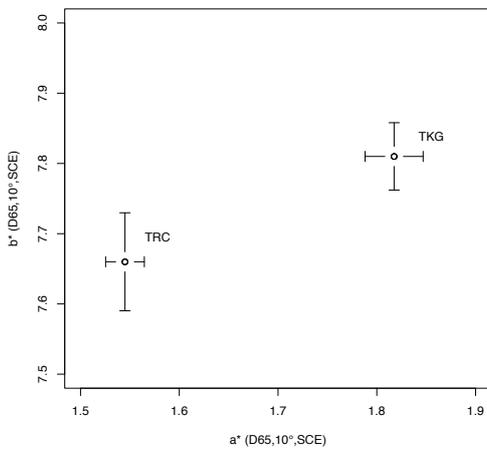


Fig. 5.3 : Coordonnées colorimétriques des échantillons en beige alpaga.

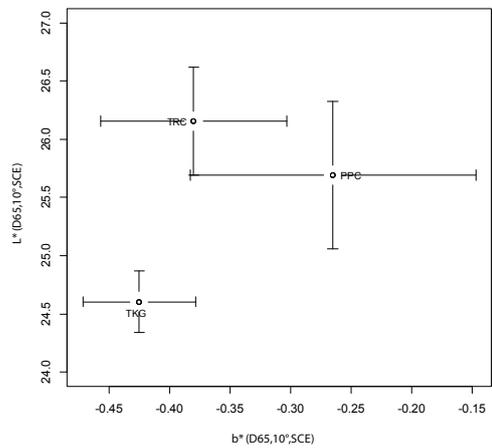
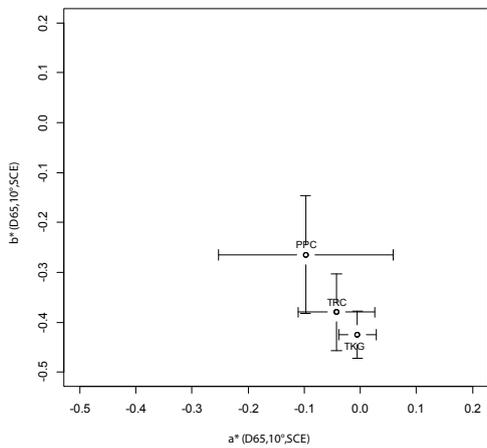


Fig. 5.4 : Coordonnées colorimétriques des échantillons en noir titane.

	DELTA E	WHITENESS	TINT	YELLOW
TKG	0,59	71,56	1,41	0,1
TRC		74,26	1,23	0,099
TKG	0,32			
TRC				

	DELTA E		BLACKNESS		
	TKG	TRC	NCSU _{BK}	Westland	Schumacher
TKG	/	/	3,32	1,98	60,9
TRC	1,55	/	3,31	1,497	58,24
PPC	1,1	0,48	3,31	1,641	59,02

Tableau 5.2 : ΔE et indices de couleurs des échantillons.

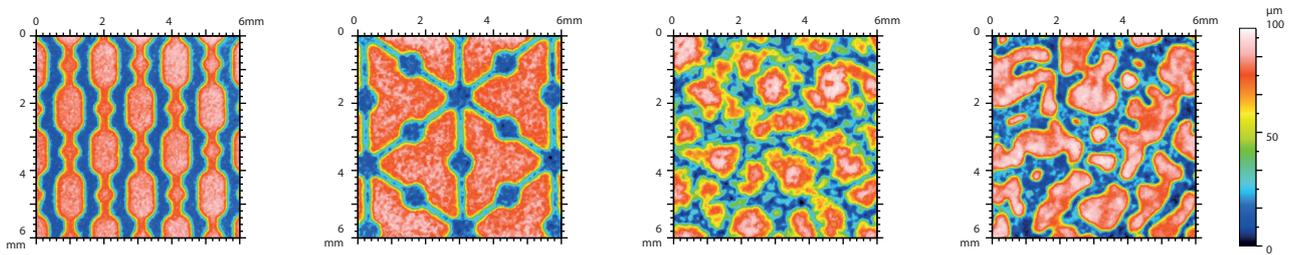


Fig. 5.5 : Cartes d'altitude des surfaces des grains Romalien, Mikado, 15/40 et Monde (échantillons noirs TRC).

Les indices de noir sont très proches pour les trois matières, on note que selon les trois formules, la matière TKG a des valeurs supérieures au PPC et TRC (Tableau 5.2).

Le ΔE entre TKG et PPC est de 1,10, entre TKG et TRC 1,55 et entre PPC et TRC de 0,48 (Tableau 5.2).

Chez Renault, lors du contretypage de couleurs en différentes matières, la couleur de la pièce injectée est appréciée visuellement en cabine à lumière [93].

Elle est jugée par un expert et doit être conforme à celle de l'étalon validé par la Direction du Design Industriel, c'est à dire une feuille de PVC ayant la couleur de référence.

Les couleurs de notre espace produit ont été jugées par l'expert couleur. Pour les échantillons noirs, les différences perçues entre les matières sont dans les tolérances exigées par l'entreprise. L'expert a noté des différences plus importantes pour les blancs et les beiges, qu'il considère cependant également conformes aux tolérances exigées par l'entreprise.

5.1.2 GRAINS

Les grains choisis sont des grains actuellement employés dans les véhicules Renault. L'espace produit compte deux grains géométriques, dénommés «Romalien» et «Mikado», et deux grains cuirs dénommés «15/40» et «Monde» :

- Le grain Romalien est un grain de fond, utilisé pour les planches de bord de différents véhicules et pour les panneaux de porte. C'est un grain géométrique/tissé, relativement petit.
- Le grain Mikado est un grain géométrique identitaire, développé spécialement pour la Clio IV.
- Le grain 15/40 est un grain cuir fin, employé dans plusieurs véhicules de la future gamme Renault.
- Le grain Monde est un grain cuir, plus grossier, employé dans différents véhicules d'entrée de gamme.

Les grains Romalien, Mikado et Monde sont obtenus par attaque chimique du métal à travers un seul masque représentant l'image du décor à créer sur la pièce. Le grain 15/40 est obtenu par at-

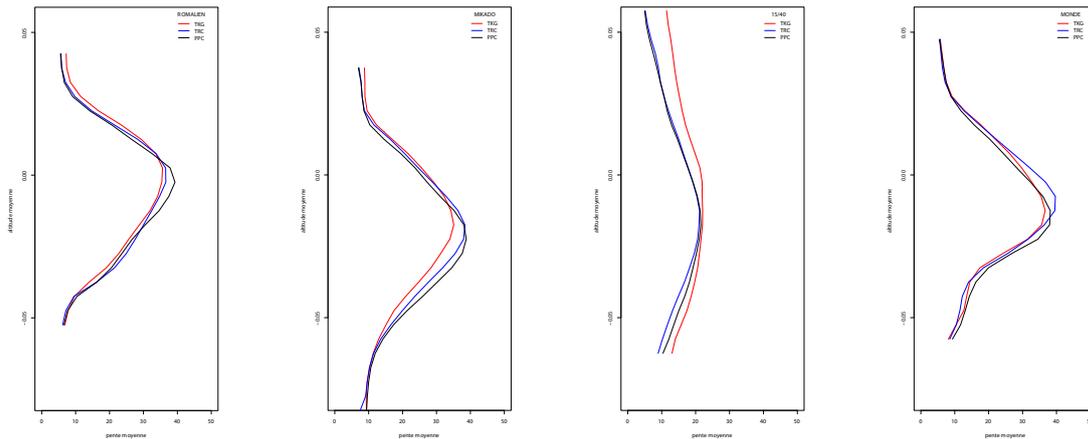


Fig. 5.6 : Graphiques de Katsube [74] des pentes des facettes en fonction de l'altitude des grains Romalien, Mikado, 15/40 et Monde (échantillon noirs). Les couleurs des courbes correspondent aux matières : TKG en rouge, TRC en bleu, PPC en noir.

taque chimique du métal à travers plusieurs masques afin d'avoir une topographie plus riche qui se rapproche le plus possible de l'aspect visuel du cuir. Ce grain est plus coûteux à cause des différents passages d'acide pour la création du moule.

5.1.2.1 ANALYSE DU GRAIN

5.1.2.1.1 INSTRUMENT DE MESURE

Les topographies des surfaces des échantillons sont relevées grâce au rugosimètre optique sans contact STIL (voir chap. 4.2.1.2.2).

5.1.2.1.2 MESURES RUGOSIMETRIQUES

A partir du fichier xyz des altitudes, nous avons obtenu une image tridimensionnelle de la surface du grain et effectué un calcul des pentes des facettes du grain en fonction de leur altitude (graphiques de Katsube).

La figure 5.5 reporte les images des topographies des différents grains.

Les images reportent les altitudes du grain grâce à une échelle de couleurs. L'échelle va du fond du grain en bleu foncé jusqu'au blanc pour le haut du grain, avec une amplitude de 100 μm et des teintes dominantes respectivement bleu, bleu-vert, jaune-orange et rouge-blanc pour chaque tranche de 25 μm .

Romalien, Mikado et Monde sont caractérisés par des grains très plats, d'une hauteur d'environ 90 μm , qui se différencie nettement du fond bleu. On remarque que le grain 15/40 a une topographie beaucoup plus douce des autres grains, caractérisée par des variations d'altitude moins abruptes (zones vert-jaune).

La figure 5.6 présente les graphiques de Katsube des échantillons noirs. Pour les grains Romalien, Mikado et Monde, la pente maximale des facettes unitaires est de 40 degrés. Le grain 15/40 a la pente maximale à 25 degrés ; son relief a une variation d'altitudes moins abrupte.

Ce regroupement est valable aussi pour les échantillons beiges et blancs.

PROPRIÉTÉS	MÉTHODE	TKG	TRC	PPC
Physiques				
Densité	ISO 1183	1,09 g/cm ³	1,02 g/cm ³	1,02 g/cm ³
Indice de fluidité (IF) (230°C/2.16kg)	ISO 1133	6 g/10 min	18 g/10 min	24 g/10 min
Mécaniques				
Résistance à la rupture (23 °C)	ISO 527	36 MPa	\	15 MPa
Module de flexion (23 °C)	ISO 178	2500 MPa	1900 MPa	2050 MPa
Thermiques				
Températures de fléchissement B (0.45 MPa)	ISO 75B	125 °C	100 °C	110 °C

Tableau 5.3 : Extrait des fiches techniques des matières (données fournisseurs)[94][95].

5.1.3 MATIÈRES

Les matières des échantillons de l'espace produit sont :

- Le TKG 300 N, Sofftell produit par Lyondell Basell. C'est un polypropylène renforcé de fibre de verre destiné à assurer une très faible déformation, une haute rigidité et bonne résistance à la rayure. Ce grade de polypropylène a été conçu pour les pièces d'aspect de l'intérieur du véhicule. Il est décrit par le producteur comme combinant un toucher soft, à une surface mate.
- Le TRC 411 N, Hostacrom produit par Lyondell Basell. C'est un copolymère PP/PE, chargé talc, avec de bonnes prestations mécaniques, résistance à l'impact et haute fluidité.
- Le PPC 9180 produit par Sabic. C'est un copolymère PP/PE, chargé talc, avec les mêmes prestations techniques que la matière précédente.

Ces deux dernières matières sont considérées comme équivalentes pour le cahier des charges Renault.

Les données techniques des fournisseurs de matières [94][93] sont reportées dans le Tableau 5.3. Les densités des matières sont très proches (1,09 g/cm³ pour le TKG et 1,02 g/cm³ pour le TRC et PPC).

Les indices de fluidité renseignent sur la fluidité des matières et donc sur la facilité à les mettre en forme. Ils permettent de subdiviser les matières :

- À basse fluidité (de moins de 1 à 15 g/cm³),
- À moyenne fluidité (de 15 g/cm³ à 25 g/cm³),
- Et à haute et très haute fluidité (supérieur à 25 g/cm³).

Le procédé d'injection plastique est généralement adapté à des matières relativement fluides avec un indice supérieur à 12 g /10min. Plus la matière est fluide, plus il est possible d'augmenter la vitesse d'injection et de diminuer la pression pour le moulage. Pour l'injection des matières avec des indices de fluidité très bas (1-2 g /10min), il est donc nécessaire de diminuer la vitesse d'injection et augmenter les pressions.

Les indices de fluidité sont différents pour les trois matières (de 6 g /10min pour le TKG ; 18g/10 min pour le TRC ; 24 g/10 min pour le PPC). La matière PPC permet donc des vitesses d'injection supérieures et des pressions inférieures à celles des deux autres matières.

		TKG 300 N			TRC 411 N			PPC 9180
		Noir titane	Beige alpaga	Blanc ivoire	Noir titane	Beige alpaga	Blanc ivoire	Noir titane
PARTIE ORGANIQUE	IR	PP /EPR	PP /EPR	PP /EPR	PP / PE	PP / PE	PP / PE	PP / PE
	DSC	Copolymère PP	Copolymère PP	Copolymère PP	Copolymère PP/PE	Copolymère PP/PE	Copolymère PP/PE	Copolymère PP/PE
CHARGES	ATG	Pyrolysable: 68%	Pyrolysable: 69%	Pyrolysable: 68%	Pyrolysable: 78%	Pyrolysable: 80%	Pyrolysable: 79%	Pyrolysable: 80%
		NdC: 2,5%	NdC: 0%	NdC: 0%	NdC: 1,7%	NdC: 0%	NdC: 0%	NdC: 0,4%
	Charges: 28,7%	Charges: 30,8%	Charges: 31,1%	Charges: 19,6%	Charges: 20,3%	Charges: 20,1%	Charges: 18,6%	
	Charge par Calcination	27,6%	29,50%	30,0%	18,5%	19,8%	19,5%	17,7%
Diffraction X	Rutile	Rutile	Rutile	<i>Kaolinite, Pyrophyllite, Talc</i>	<i>Kaolinite, Hematite, Talc</i>	Talc	<i>Kaolinite, Pyrophyllite, Hematite, Talc</i>	
FX composition charge	(*) Fibre de verre : ~27% TiO ₂ : ~0,6 %	(*) Fibre de verre : ~27% TiO ₂ : ~2 %	(*) Fibre de verre : ~27% TiO ₂ : ~2,3 %	Talc : 18% TiO ₂ : 0,3%	Talc : ~19 % TiO ₂ : 1,2 %	Talc : ~18 % TiO ₂ : 1,4 %	Talc : ~18%	

Tableau 5.4 : Résultats des analyses sur les matières. Les données en italique indiquent la présence de traces des charges.

5.1.3.1 ANALYSE DE LA MATIÈRE

5.1.3.1.1 TYPES D'ANALYSE

Afin de recueillir plus d'information sur les matières employées, nous avons procédé à plusieurs analyses des trois matières, dans les trois couleurs. Une partie des analyses a été effectuée chez Renault, l'autre partie dans les laboratoires de l'École des Mines :

- La spectroscopie infrarouge (IR) permet l'identification de matrice (analyse Renault).
- La DSC (Differential scanning calorimetry) est une technique d'analyse thermique qui nous renseigne également sur la nature de la matrice (analyse Renault).
- L'analyse thermogravimétrique (ATG) consiste à mesurer la variation de masse d'un échantillon liée à la transition et à la dégradation thermique lors d'un cycle thermique de chauffage jusqu'à 1000°C ou plus. Couplée à la spectroscopie infrarouge, l'ATG permet de compléter l'analyse et l'identification des produits dégagés lors du cycle thermique. L'analyse permet de mesurer le pourcentage de matière pyrolysable, le taux de charges et le taux de noir de carbone (Renault).
- Le taux de charges est confirmé par calcination (analyse Renault et École des Mines).
- La diffraction X est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X sur la matière sur les matériaux cristallins. Elle permet d'identifier les structures cristallines, c'est-à-dire d'identifier les matériaux cristallins et les différents polymères (analyse École des Mines).
- La spectrométrie de fluorescence X (FX) nous indique la composition chimique élémentaire des matériaux. Elle peut être couplée à la diffraction X pour l'identification des charges, ou donner des indications sur la présence d'additifs (analyse Renault).

5.1.3.1.2 COMPOSITION DES MATIÈRES

Le tableau 5.4 reporte les résultats des analyses. Le TKG est composé de PP et d'un copolymère éthylène-propylène EPR (ethylene propylene rubber). Le TKG contient environ 30% de charges dont principalement des fibres des verres (27%) et du dioxyde de titane (0,6% pour les TKG noirs, 2% pour les beiges et 2,3% pour les blancs). La couleur du TKG en noir titane est donnée par le noir de carbone (2,5%).

Le TRC et le PPC sont des copolymères PP/PE. Le TRC contient environ 20% de charges dont principalement du talc (18% environ) et du dioxyde de titane (0,3% pour les TRC noirs, 1,2% pour les beiges et 1,4% pour les blancs). Le TRC noir contient 1,7% de noir de carbone.

Le PPC contient environ 18% de talc et 0,4% de noir de carbone.

La teneur en noir de carbone pour le TKG est en ligne avec son indice de noir supérieur aux deux autres matières : son pourcentage de noir de carbone le plus élevé et les indices de noir plus importants (2,5% de NdC et indices de noir de 3,32, 1,98 et 60,9). Le TRC contient plus de noir de carbone que le PPC (1,7% et 0,4% respectivement) mais leurs indices de noir sont très proches (3,31, 1,497, 58,24 et 3,31, 1,641, 59,02 respectivement). Le TRC contient également du dioxyde de titane (0,3%) ce qui pourrait expliquer que ses indices de noir ne soient pas plus importants.

5.1.4 PARAMÈTRES D'INJECTION

L'injection plastique des échantillons utilise 4 moules grainés. La figure 5.7 présente la géométrie des échantillons injectés. La dimension de la plaque injectée est de 164mm x 94mm, la zone grainée est d'environ 145mm x 94mm. L'épaisseur des plaques est de 3mm à laquelle il faut ajouter l'épaisseur du grain dans la zone grainée.

Les paramètres ont été imposés par le protocole d'injection utilisé en interne par l'entreprise. Le but est d'obtenir des pièces conformes aux pièces utilisées pour la validation des grains et des couleurs. Le tableau 5.5 reporte les paramètres d'injection pour les différents échantillons. Les températures d'injection sont de 220 C° pour les TRC en blanc et le grain Monde en PPC, et de 230 C° pour tous les autres échantillons. La température du moule de la partie fixe et grainée est de 25°C pour le TKG en noir pour les grains Mikado, 15/40 et Monde en noir et pour les échantillons en TRC beige. Pour le reste des échantillons, la température des deux parties du moule est de 30°C. Les pressions d'injection sont de 2 bars pour les TRC en blanc, de 4 bars pour les TKG et pour les PPC en Mikado et Monde et de 6 bars pour les autres échantillons.

Les vitesses sont réglées par l'opérateur en fonction du grain et de la matière injectée pour obtenir une brillance comprise entre 1,5 UB et 2 UB pour les échantillons noirs et des brillances entre 2,0 UB et 2,5 UB pour les teintes claires [48]. Elles sont de 55 mm/s pour les TKG et les TRC en beige et de 30mm/s pour les TRC blancs.

La figure 5.8 reporte les graphiques des vitesses d'injection en fonction des grains et des matières pour les échantillons noirs. Les diagrammes de Tukey (boîtes à moustaches) des graphiques reportent les médianes des vitesses d'injection (trait noir épais) et les premier et troisième quartiles (extrémités du rectangle). La longueur des « moustaches » vaut 1,5 fois l'écart interquartile.

Les variations des médianes traduisent les réglages de vitesses d'injection effectués par l'opérateur. L'injection du grain 15/40 exige la vitesse la plus basse (environ 25mm/s) suivie du grain Mikado, Monde et Romalien (environ 70, 90 et 95 mm/s). Les médianes des vitesses d'injection des grains Monde et Romalien sont très proches, cependant le grain Monde a une très grande variation de vitesse. Pour ce dernier grain en matière TKG, l'opérateur a dû diminuer sensiblement la vitesse d'injection.

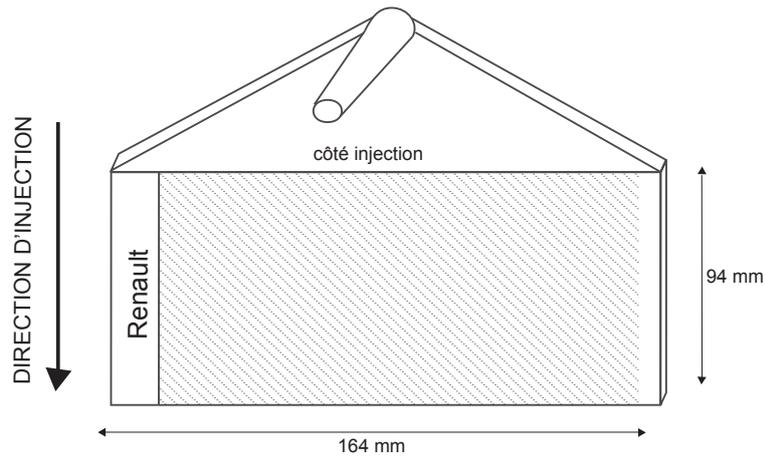


Fig. 5.7 : Dimensions et géométrie de la plaque injectée.

mat	color	grain	temperature matiere					dosage (mm)	contre pression pr(bar)	temperature regulation moule		profil injection mm/s	temps injection		commutation		profil de mretien		temp refroid s	temps cycle s	
			z5	z4	z3	z2	z1			fixe	mobile		s	mm	Pmax(bar)	bar	s				
TKG	NOIR	ROMALIEN	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	70	1,1	18	28	20	12	20	42
TKG	NOIR	MIKADO	205	210	215	220	225	230	75	65	4	25	25	70	1,2	16	22	25	12	20	42
TKG	NOIR	15/40	205	210	215	220	225	230	75	65	4	25	25	20	3,2	18	21	20	12	20	42
TKG	NOIR	MONDE	205	210	215	220	225	230	75	65	4	25	25	20	3,2	18	21	20	12	20	42
TKG	BEIGE	ROMALIEN	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,4	18	26	20	12	20	42
TKG	BEIGE	MIKADO	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,3	17	26	22	12	20	42
TKG	BEIGE	15/40	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,3	17	26	20	12	20	42
TKG	BEIGE	MONDE	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,3	18	25	20	12	20	42
TKG	BLANC	ROMALIEN	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,4	18	26	20	12	20	42
TKG	BLANC	MIKADO	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,4	17	25	20	12	20	42
TKG	BLANC	15/40	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,4	17	25	20	12	20	42
TKG	BLANC	MONDE	205	210	215	220	225	230	75	65	4	30	30	55	1,4	18	25	20	12	20	42
TRC	NOIR	ROMALIEN	205	210	215	220	225	230	75	65	6	30	30	95	0,9	20	22	18	18	15	40
TRC	NOIR	MIKADO	205	210	215	220	225	230	75	65	6	30	30	60	1,2	17,5	18	15	15	20	40
TRC	NOIR	15/40	205	210	215	220	225	230	75	65	6	30	30	35	1,8	18,5	16	15	15	18	40
TRC	NOIR	MONDE	205	210	215	220	225	230	75	65	6	30	30	100	0,9	20	22	20	20	20	42
TRC	BEIGE	ROMALIEN	205	210	215	220	225	230	75	70	4	25	25	55	1,3	19	19	14	12	22	42
TRC	BEIGE	MIKADO	205	210	215	220	225	230	75	70	4	25	25	55	1,3	17	18	14	12	22	42
TRC	BEIGE	15/40	205	210	215	220	225	230	75	70	4	25	25	55	1,3	19	18	14	12	22	42
TRC	BEIGE	MONDE	205	210	215	220	225	230	75	70	4	25	25	55	1,3	19	17	14	12	22	42
TRC	BLANC	ROMALIEN	200	205	205	210	215	220	75	65	2	30	30	30	2	19,5	16	15	12	20	42
TRC	BLANC	MIKADO	200	205	205	210	215	220	75	65	2	30	30	30	2	18	16	13	12	20	42
TRC	BLANC	15/40	200	205	205	210	215	220	75	65	2	30	30	30	2	18,5	16	12	12	20	42
TRC	BLANC	MONDE	200	205	205	210	215	220	75	65	2	30	30	30	2	18	16	13	12	20	42
PPC	NOIR	ROMALIEN	200	205	205	210	215	230	75	65	6	30	30	95	0,9	20	20	18	18	15	40
PPC	NOIR	MIKADO	200	205	205	210	215	230	75	65	4	30	30	75	1	18	18	18	18	15	40
PPC	NOIR	15/40	200	205	205	210	215	230	75	65	6	30	30	25	2,4	18,5	11	12	12	20	42
PPC	NOIR	MONDE	200	205	205	210	215	220	75	65	4	30	30	90	0,9	20	21	20	16	15	40

Tableau 5.5 : Paramètres d'injection de l'espace produit.

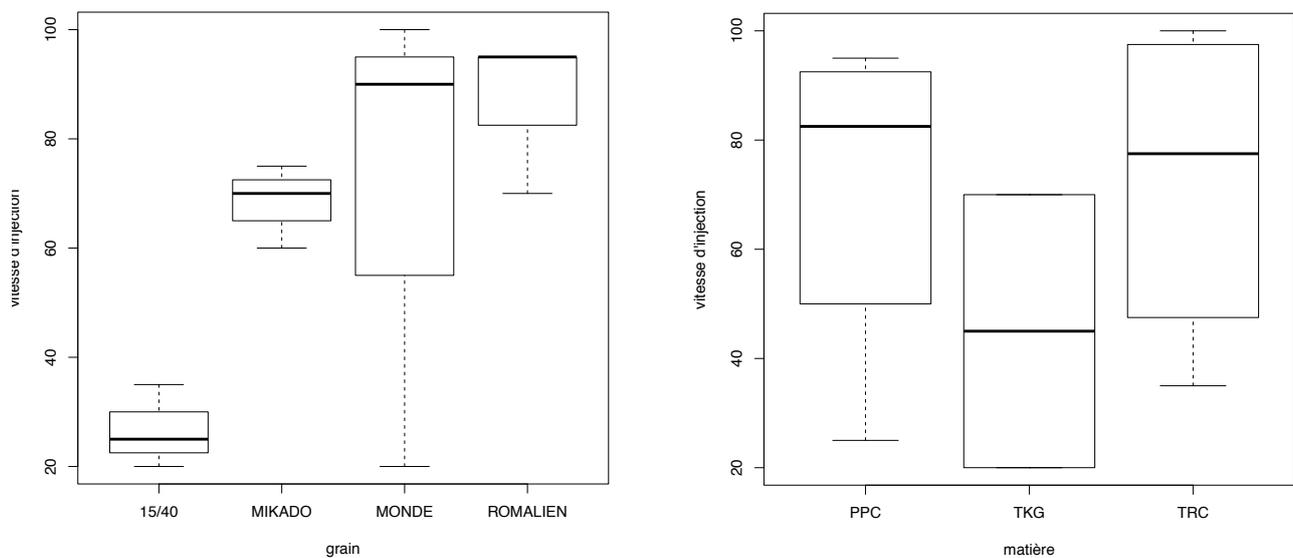


Fig. 5.8 : Vitesse d'injection en fonction du grain et de la matière pour les échantillons noirs.

L'opérateur adapte la vitesse d'injection aux grains mais également aux matières. La vitesse d'injection par matière a des valeurs plus dispersées que les valeurs par grains à cause du grain 15/40 qui exige une vitesse beaucoup plus basse que les deux autres grains. La vitesse d'injection médiane réglée par l'opérateur pour le TKG est d'environ 45 mm/s. Pour les deux autres matières, les valeurs médianes sont proches, d'environ 77 mm/s pour le TRC et 82 pour le PPC.

Ceci est en ligne avec les indices de fluidité des matières. La matière PPC, qui a l'indice de fluidité le plus élevé (24 g/10 min), a été injectée à la vitesse plus importante. La matière TRC, qui a un indice de fluidité inférieur mais proche de celui du PPC (18g/10 min), a été injectée une vitesse proche de ce dernier. Enfin, la matière TKG, qui a un indice de fluidité relativement faible (6 g /10min), a été injectée avec la vitesse la moins importante.

5.2 ANALYSE SENSORIELLE DE L'ESPACE PRODUIT

Ce sous-chapitre présente l'analyse sensorielle de l'espace produit. Les résultats présentés sont issus de deux sessions de notation du panel visuel et d'un travail de groupe pour une utilisation consensuelle des échelles.

L'analyse sensorielle de l'espace produit par le panel visuel a un double but :

- Fournir les valeurs de référence auxquelles comparer les prédictions des modèles construits dans le chapitre 04 ;
- Mettre en évidence les descripteurs qui varient en fonction des matières, des grains et des couleurs.

5.2.1 VALIDATION DE L'OUTIL : ÉCHANTILLONS NOIRS

La validation des modèles prédictifs est faite sur les 12 échantillons noirs de l'espace produit. Pour chaque descripteur, nous présentons les radars des profils sensoriels (en vert) et les radars prédits (en bleu) dans la figure 5.9. L'ensemble des notes sensorielles et prédites par descripteur est en annexe 5.1. Le diagramme de Taylor de la figure 5.10 présente les performances de l'outil prédictif sur ce deuxième jeu d'échantillons. Ses performances sont équivalentes à celles du panel sensoriel dans sa prédiction (dispersion interne légèrement inférieure) avec un écart type de 13 %. Les notes sensorielles et les notes prédites ont une corrélation de 0,84.

De l'analyse des radars, on note que la prédiction de certains descripteurs est problématique notamment la prédiction de la dimension et de la densité. Les écarts de notes sont liés à différents facteurs. Nous avons premièrement des écarts liées à la sémantique et à la détermination de l'élément. Pour le grain Mikado, l'évaluation instrumentale de la dimension est sous-estimée de 50%. Le panel visuel interprète les losanges, composés des deux triangles, comme l'élément du motif, tandis que l'analyse d'image prend comme élément un triangle uniquement. Notre modèle de prédiction n'est pas en mesure de reconnaître automatiquement les motifs des grains. L'intégration de méthodes de détection des motifs par reconnaissance de patterns périodiques basées sur les théories mathématiques des groupes cristallographiques [96] pourra éliminer cette limite.

Certains écarts découlent de la distance de prise de vue instrumentale de l'échantillon. Les photos

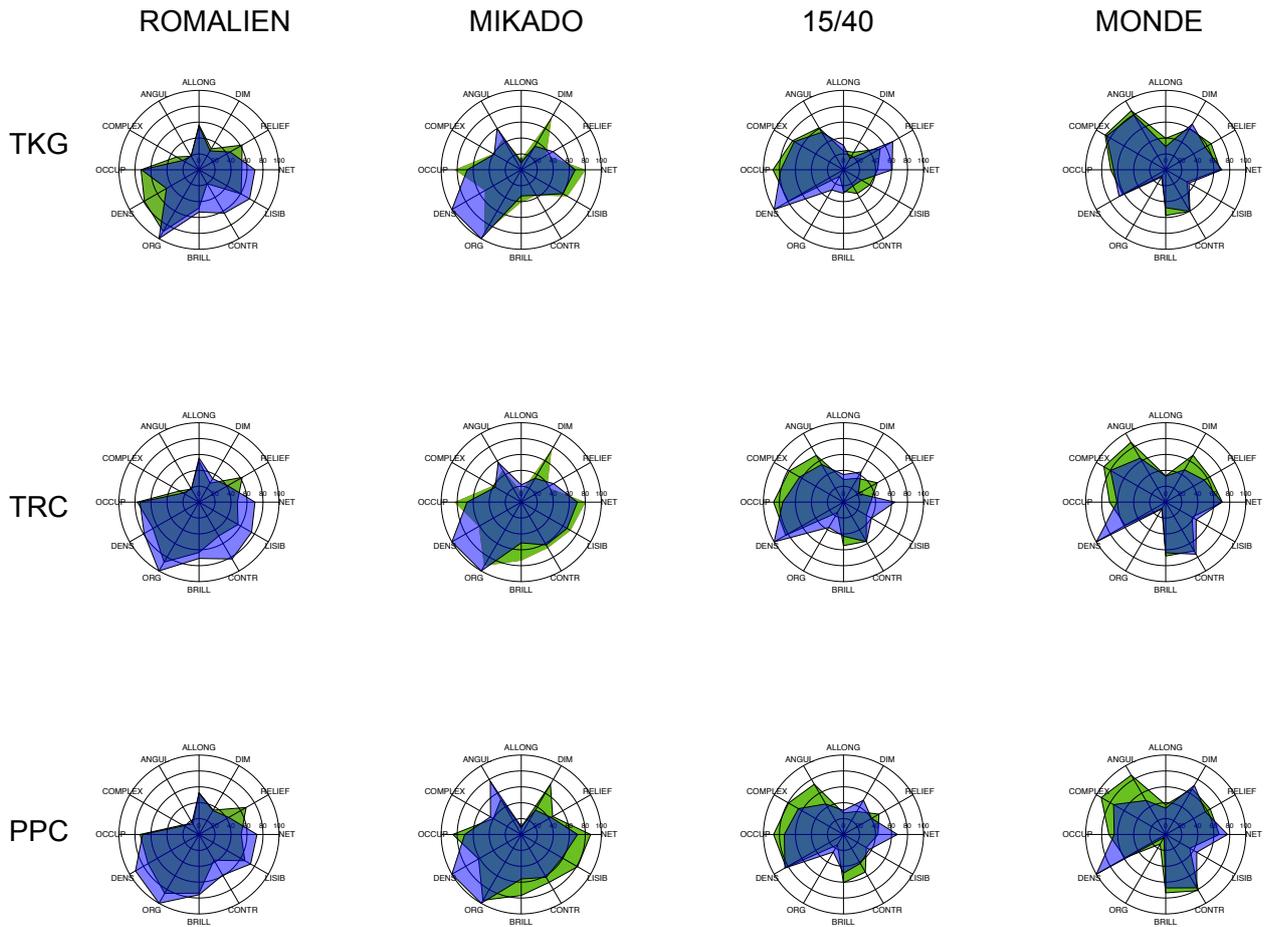


Fig. 5.9 : Radars des notes du panel (en vert) et des prédictions instrumentales (en bleu).

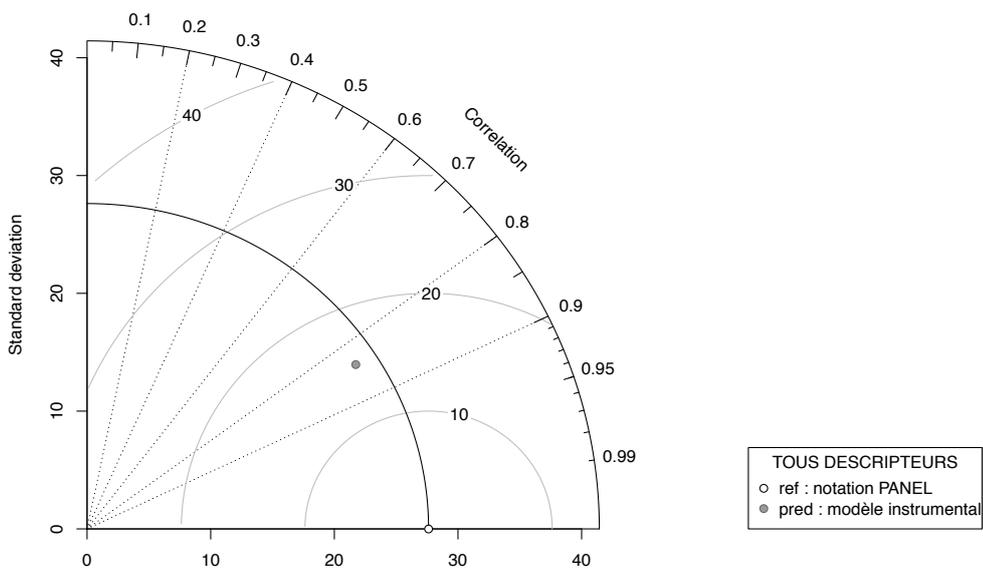


Fig. 5.10 : Diagramme de Taylor [78] du modèle prédit par rapport aux notes sensorielles. Clés de lecture du diagramme à p. 94.

sont prises de trop près, sur une zone trop petite, dans le cas où les éléments sont grands. De plus, nous prenons une seule image de l'échantillon ce qui induit des erreurs d'évaluation des dimensions moyennes des grains pour des échantillons avec des éléments de différentes tailles comme le grain Monde, notamment dans le cas de l'échantillon avec grain Monde en TRC. De plus, la dimension d'éléments avec une forme très irrégulière et «biscornue» est perçue comme plus importante que la mesure instrumentale.

Nous avons noté un autre type d'écart dû à la difficulté de calculer les centroïdes d'éléments allongés (comme dans le cas du Romalien) des formes complexes. Il en ressort une mauvaise prédiction de la distance entre centroïdes qui influe sur les écarts de densité instrumentale. C'est le cas de l'échantillon avec le grain Romalien qui a une prédiction de la densité sous-évaluée par la prédiction instrumentale. La médiane des valeurs de distance entre centres des éléments est trop faible et fausse la prédiction.

L'ensemble de ces écarts dans la prédiction de dimension a des répercussions sur la prédiction de la densité, qui est surévaluée. C'est le cas pour les échantillons avec le grain Monde en TRC et le grain 15/40 en TKG. La propagation des erreurs se retrouve également dans la prédiction de la lisibilité des éléments, dans le relief, l'angulosité de la forme et la netteté.

Enfin, on note que le panel semble être plus sensible aux variations de brillant et de contraste de brillant que l'outil instrumental pour le grain Mikado et le grain Romalien

5.2.2 BILAN SENSORIEL DE L'ESPACE PRODUIT

5.2.2.1 PERCEPTION EN FONCTION DES COULEURS

Les radars des figures 5.11 permettent de comparer les évaluations sensorielles des échantillons. Chaque radar présente la superposition des échantillons ayant même grain et même matière, avec des couleurs différentes. Le code couleur des radars représente les couleurs des échantillons. La superposition des radars permet de visualiser l'impact de la couleur sur les notes des descripteurs. Pour l'ensemble des échantillons en TRC et TKG, on confirme que les échantillons de couleur noire sont perçus comme plus brillants, suivis des beiges et des blancs. Cette observation est conforme avec la définition d'un brillant dit «de contraste». Le descripteur du contraste de brillant suit la même logique mais sa tendance est moins marquée. On constate que les variations de contraste de brillance entre échantillons de mêmes grains et couleurs différentes sont plus importantes pour les échantillons en TRC.

Pour les échantillons en **TKG** (première et troisième lignes de radars), les grains Mikado et Romalien sont les plus sensibles dans la variation des notes de brillant et contraste de brillant. Les échantillons de grain 15/40 beiges et blancs ont également une variation de note de brillance importante. Pour ce grain, les échantillons blancs sont perçus avec une angulosité, un relief et une complexité de la forme plus faibles.

Pour les échantillons en **TRC** (deuxième et quatrième lignes de radars) la variation de perception de brillant et de contraste de brillant entre échantillons noirs (plus brillants) et échantillons blancs (moins brillants) est constante pour les différents grains. Pour les beiges, en grain Romalien et

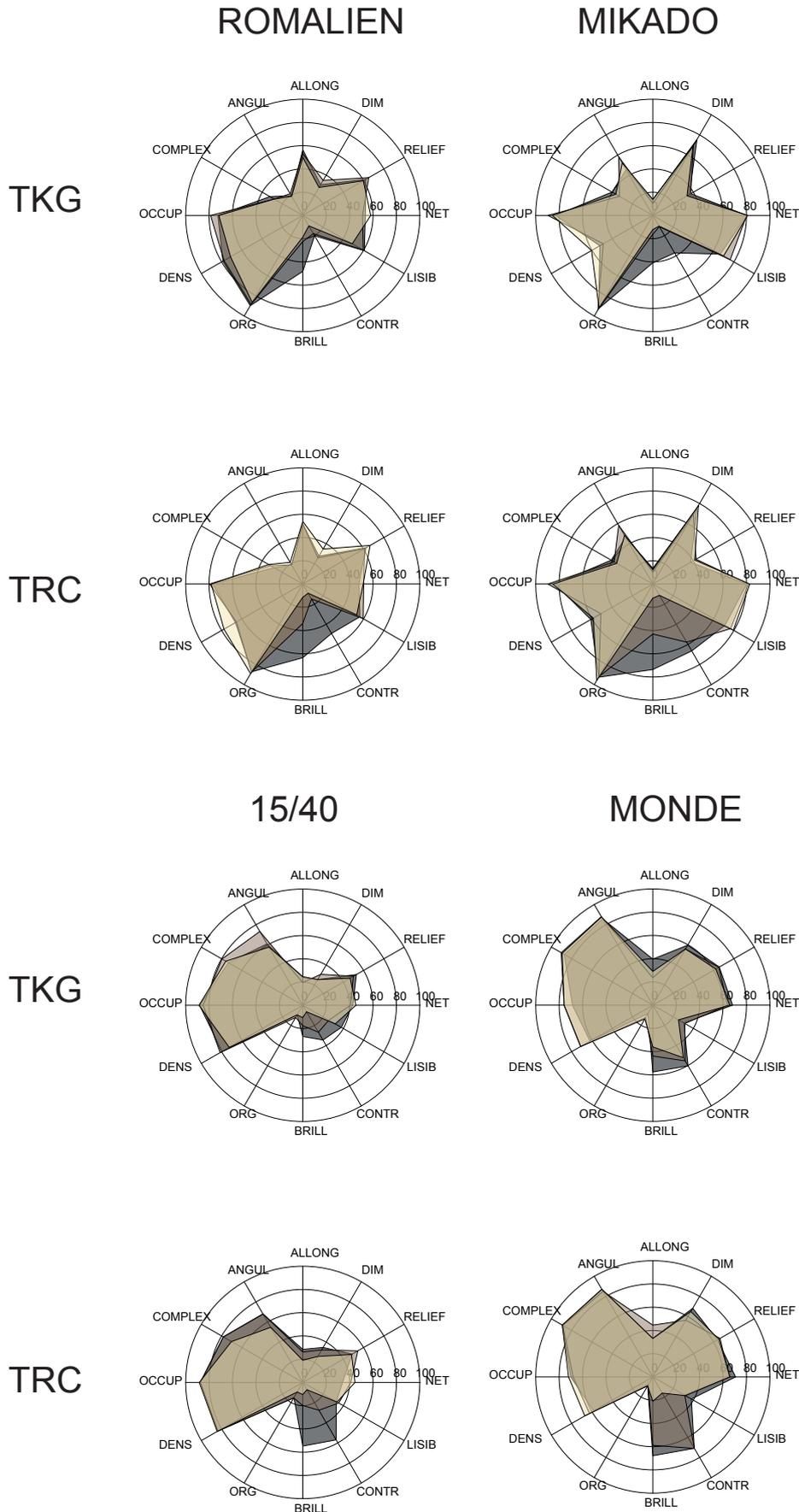


Fig. 5.11 : Radars des notes du panel en fonction des couleurs : en gris les échantillons noirs, en marron les échantillons beiges et en ivoire les échantillons blancs.

15/40, les différences en contraste de brillant sont faibles. Pour le grain Mikado en beige, les différences perçues sont intermédiaires. Pour le grain Monde en brillant et en contraste de brillant, les échantillons beiges ont des valeurs proches des valeurs des échantillons noirs.

La couleur a donc principalement un impact sur la perception de la brillance et du contraste de brillance. On note également des variations, beaucoup plus faibles, sur d'autres descripteurs, notamment sur l'angulosité (pour les grains Mikado et 15/40), sur la complexité (pour le grain 15/40), sur l'allongement (pour le grain Monde), sur la densité et sur la lisibilité. Ces variations ne semblent pas être homogènes par grain et par couleur. Ceci laisse supposer qu'il y a une interaction entre la matière et le couple couleur/grain dans la perception de ces descripteurs.

5.2.2.2 PERCEPTION DES MATIÈRES

Les radars de la figure 5.12 présentent les évaluations des échantillons noirs groupés par grains. Chaque radar présente la superposition des échantillons ayant même grain et matière différente. Le TKG est en rouge, le TRC en bleu et le PPC en gris. La superposition des radars permet de visualiser l'impact de la matière sur les notes des descripteurs.

On note que pour l'ensemble des descripteurs et l'ensemble des grains les notes des échantillons noirs (première ligne de radars) en TRC et en PPC sont très proches. Les échantillons noirs en TKG subissent des variations plus importantes. Les descripteurs qui ont les plus grosses variations de notes sont le brillant et le contraste de brillant.

Le PPC est perçu comme plus brillant (moyenne de 71) suivi du TRC (moyenne de 65) et du TKG (moyenne de 43). Le PPC a également un contraste de brillant supérieur (moyenne de 70) suivi du TRC (moyenne de 68) et du TKG (moyenne de 51).

Le grain Mikado et le grain 15/40 sont les plus sensibles aux variations de brillant. Pour le descripteur du contraste de brillant, le grain Romalien n'a pas de variation perçue.

Les autres descripteurs ont des variations qui ne peuvent pas être décrites comme significatives. Cependant, on note des tendances de variation, statistiquement non significatives, des descripteurs de netteté et de relief, qui ont une répercussion sur le descripteur de la lisibilité.

Les différences perçues entre TRC et PPC sont de l'ordre de grandeur de la marge d'erreur du panel, ces matières ne sont donc pas perçues comme différentes pour la couleur noir.

Les notes des échantillons beiges (deuxième ligne de radars) présentent plus de différences que les notes des échantillons blancs. Pour les échantillons beiges, le grain Mikado est le grain plus sensible en brillance et contraste de brillance, suivi par le grain Monde.

Pour les échantillons blancs (troisième ligne de radars), le grain Monde a une variation en contraste de brillance entre le TRC et TKG

Les résultats de l'analyse sensorielle de l'espace produit par couleurs et par matières nous permettent d'affirmer que les échantillons noirs sont perçus différemment en fonction des matières en brillance et contraste de brillance. Pour les couleurs claires, l'impact de la matière est peu perçu et non significatif.

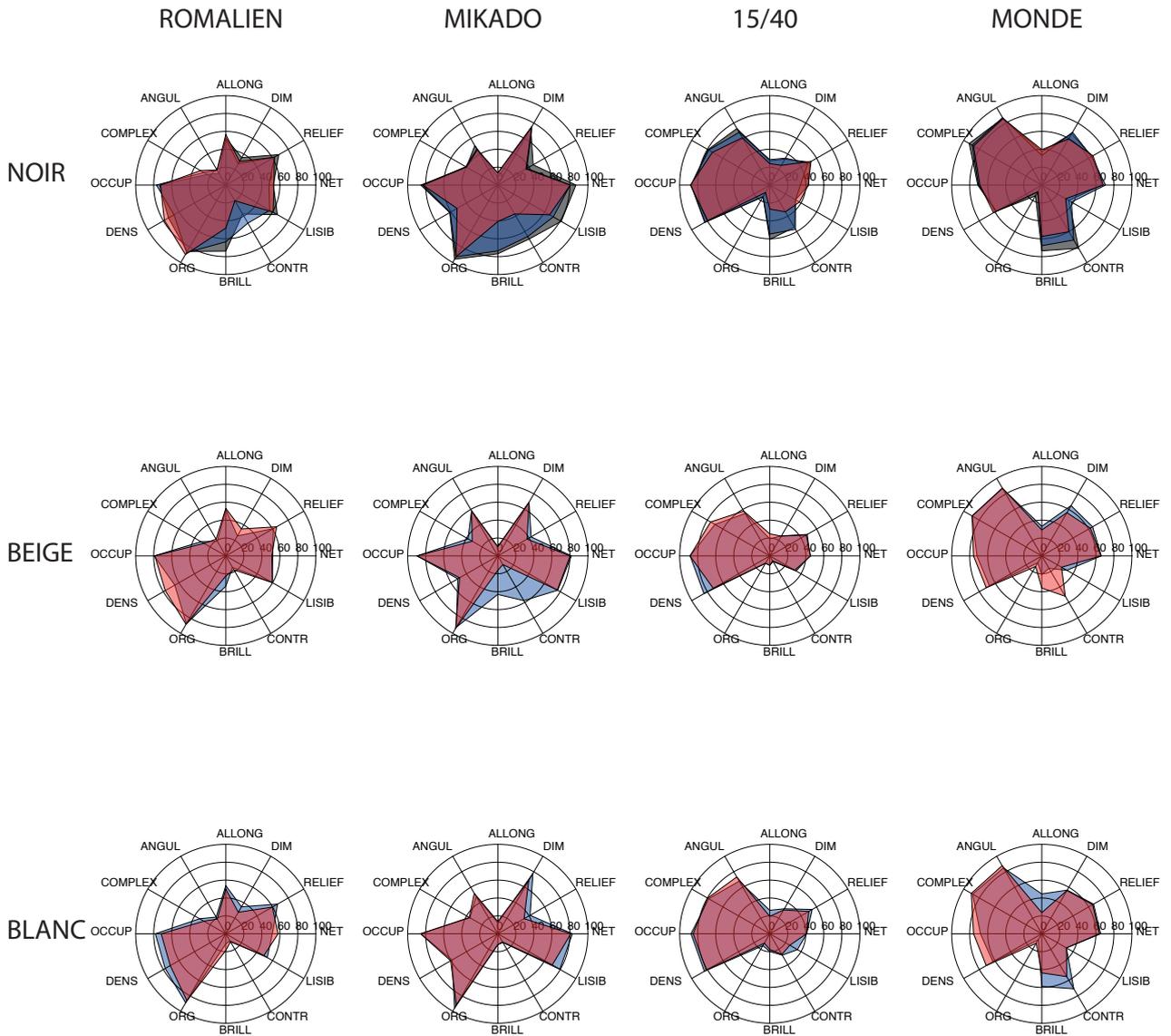


Fig. 5.12 : Radars des notes du panel en fonction des matières : en rouge les échantillons en TKG, en bleu les échantillons en TRC et en gris les échantillons en PPC.

Le but de l'analyse sensorielle de l'espace produit est de vérifier si les matières sont perçues différemment. Les variations plus significatives sont perçues sur les échantillons noirs en brillant et contraste de brillant. La matière TKG est plus différenciée que le TRC et PPC qui ont des écarts de notes moins importantes.

Nous allons donc continuer l'investigation sur l'impact de la perception du couple grain/matière sur le jeu d'échantillons noirs uniquement et pour les descripteurs du brillant.

5.3 IMPACT DE LA MISE EN FORME SUR LE BRILLANT

L'analyse sensorielle de l'espace produit indique que la brillance est le descripteur avec la plus grande variation de perception. Ce descripteur est suivi, dans ses variations, par le contraste de brillance. Les variations sont les plus importantes pour les échantillons noirs. Nous nous concentrons ainsi sur ces échantillons pour chercher dans la nature des pièces, de leurs surfaces et dans la nature des matériaux les causes des variations perçues de brillant. Les hypothèses initiales que nous avons formulées et testées sont les suivantes :

- Les variations de brillant sont liées à la déformation du grain issue des retraits. Cette déformation a un impact sur l'orientation des facettes du grain et sur la réponse des intensités des indicatrices des différentes facettes (hypothèse examinée dans les parties 5.3.1 et 5.3.2).
- Les variations de brillant sont liées à la nature de la surface exposée, c'est-à-dire à sa composition et à ses défauts, c'est-à-dire aux perturbations à l'échelle du micron qui diminuent la réponse spéculaire (hypothèse examinée dans la partie 5.3.3).

5.3.1 RETRAITS

Les échantillons injectés ont des déformations dimensionnelles dues au retrait lors du refroidissement de la pièce. Les dimensions longitudinales des échantillons ont été mesurées du côté dans le sens de l'injection et du côté opposé avec un pied à coulisse, tandis que le volume du grain (V_m) a été évalué par mesure du volume entre sommet et fond du grain. La valeur de V_m est calculée grâce au fichier des altitudes recueillies par le rugosimètre optique. Le pied à coulisse permet une précision de 0,1 mm et est utilisé pour des mesures de l'ordre de 100 mm, tandis que le rugosimètre permet une précision de 0,156 μm et est utilisé pour des mesures de l'ordre de 100 μm .

La figure 5.13 présente les dimensions longitudinales des zones grainées des échantillons. Les zones grainées des échantillons avec le grain Mikado ont des dimensions plus importantes (entre 143 et 144,5 mm). Ils sont suivis des grains Monde (entre 142,5 et 143 mm) et des grains 15/40 (entre 140 et 141 mm). Les échantillons avec le grain Romalien ont la zone grainée la moins longue (entre 138 et 139,5 mm).

La figure 5.14 présente les ratios des retraits longitudinaux des échantillons. Les ratios sont calculés pour chaque grain en prenant comme référence la mesure la plus grande pour chaque longueur de zone grainée. L'axe des y présente les ratios des retraits du côté de l'injection, l'axe des x le côté opposé. Le graphique permet de voir l'impact de la matière ainsi que celui des grains. Les échantillons en TKG ont les ratios les moins importants (entre 0 et -0,003 pour 3001, 3002, 3003). Les échantillons en TRC et PPC ont les ratios plus importants, qui varient entre -0,005 et -0,009.

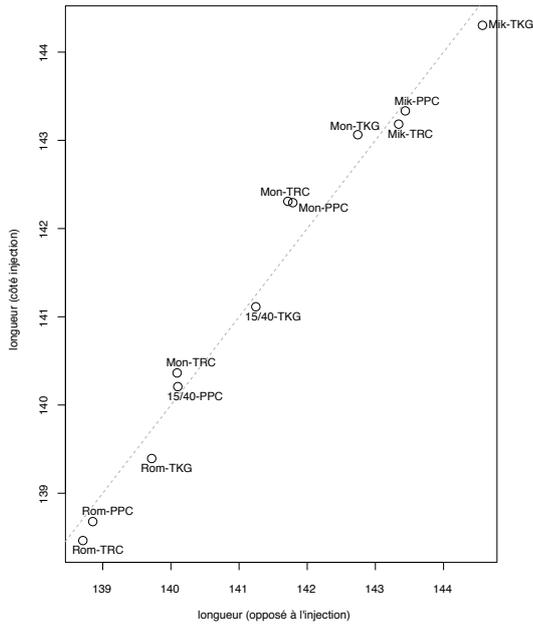


Fig. 5.13 : Dimensions longitudinales des zones grainées des échantillons.

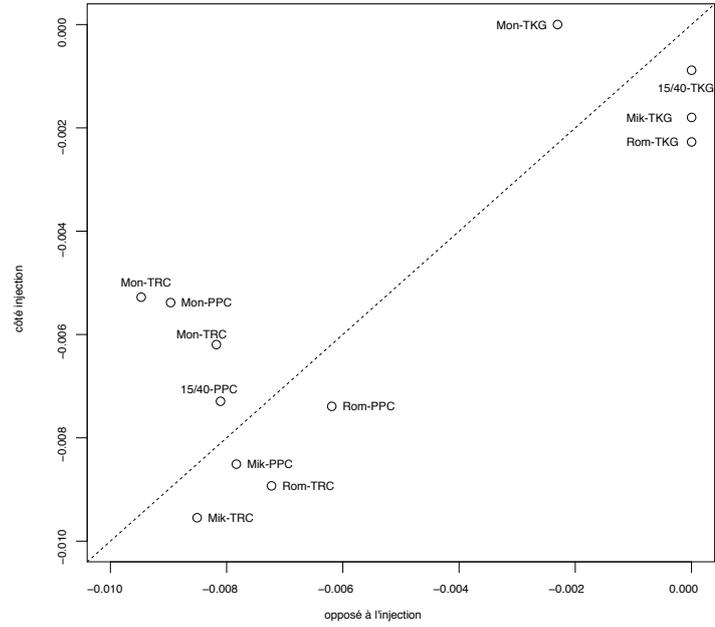


Fig. 5.14 : Ratios des retraits longitudinaux.

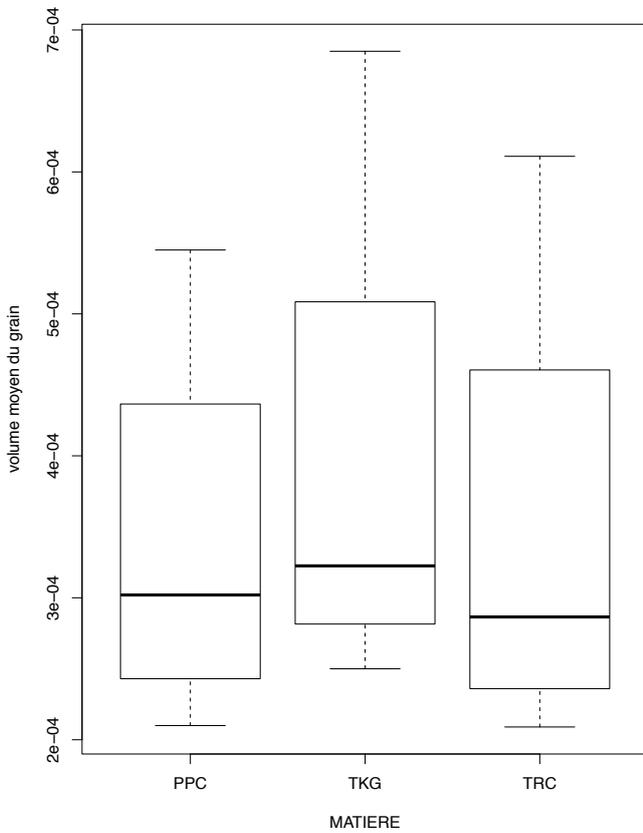


Fig. 5.15 : Volume du grain des échantillons en fonction des matières.

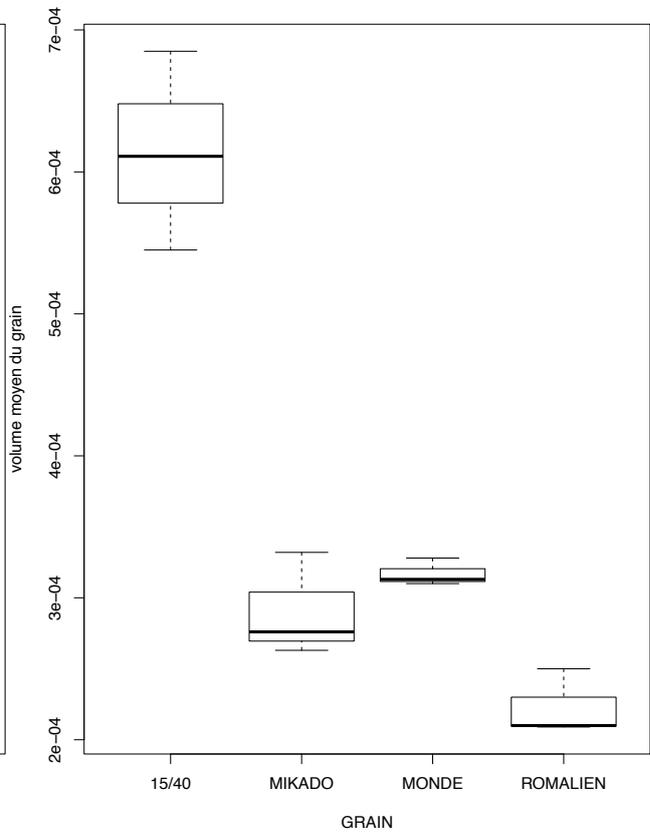


Fig. 5.16 : Volume du grain des échantillons en fonction des grains.

Les figures 5.15 et 5.16 présentent les retraits verticaux des échantillons calculés à partir du volume moyen d'un grain (V_m). Le grain avec les retraits verticaux les plus importants est le grain 15/40 ($6 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$) suivi du grain Monde ($3 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$), du grain Mikado ($2,5 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$) et du grain Romalien ($2 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$).

Le retrait vertical en fonction des matières (Fig. 5.17) a une tendance inverse de celle des retraits longitudinaux de la figure 5.16. La matière avec les retraits verticaux les plus importants est le TKG ($3,2 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$), suivit du PPC ($3 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$) et du TRC ($2,8 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$).

Le volume du grain des échantillons varie, bien évidemment, en fonction de la géométrie du moule. Le grain 15/40 est caractérisé par un V_m nettement supérieur aux autres grains. Les matières ont un impact plus faible sur les variations de dimensions et volume. Les échantillons en matière TKG ont des valeurs de dimensions et volume supérieures aux autres échantillons. Ceci indique que cette matière a un retrait d'injection inférieur aux deux autres matières.

5.3.2 IMPACT DE LA TOPOGRAPHIE DU GRAIN SUR LE BRILLANT

Les échantillons ont des retraits différents en fonction de la matière et du grain. On fait l'hypothèse que ces déformations ont un impact sur l'orientation des facettes du grain et donc sur les indicatrices des intensités réfléchies en fonction des angles. Dans ce cas la topographie de la surface devrait impacter la perception du brillant.

5.3.2.1 FRÉQUENCES DES PENTES

A partir du fichier des altitudes x , y , z recueillies par le rugosimètre optique, nous construisons pour chaque échantillon l'histogramme des pentes des facettes de la topographie, c'est-à-dire la fréquence de la distribution des inclinaisons (angles en degrés) des facettes du grain mesurées par rapport à l'horizontale. La figure 5.17 présente les histogrammes des pentes des échantillons, groupés par grain ; chaque graphique présente les trois matières superposées. Le TKG est en rouge, le TRC est en bleu et le PPC est en gris.

La figure 5.17.a présente les histogrammes des échantillons noirs avec le grain Romalien en TKG, TRC et PPC. Les histogrammes du TRC et du PPC sont parfaitement superposés pour la zone entre 0 et 20° . Cette zone représente les plus grandes fréquences d'inclinaisons des facettes. On note que l'histogramme du TKG a une fréquence maximale plus faible dans cette zone. Les fréquences de facettes aux pentes en 15° et 50° du TKG sont supérieures au PPC. Pour le TRC on remarque dans cette zone une augmentation des fréquences des pentes qui ne suit pas les profils des deux autres histogrammes.

La figure 5.17.b présente les histogrammes des échantillons noirs avec le grain Mikado en TKG, TRC et PPC. Les histogrammes du TRC et du PPC sont parfaitement superposés. On note que l'histogramme du TKG a une fréquence maximale plus faible.

La figure 5.17.c présente les histogrammes des échantillons noirs avec le grain 15/40 en TKG, TRC et PPC. Les histogrammes du TRC et du PPC sont parfaitement superposés. La fréquence maximale concerne des pentes de 10° . On note que l'histogramme des fréquences des angles de pentes du TKG du grain 15/40 a un profil différent des deux autres matières.

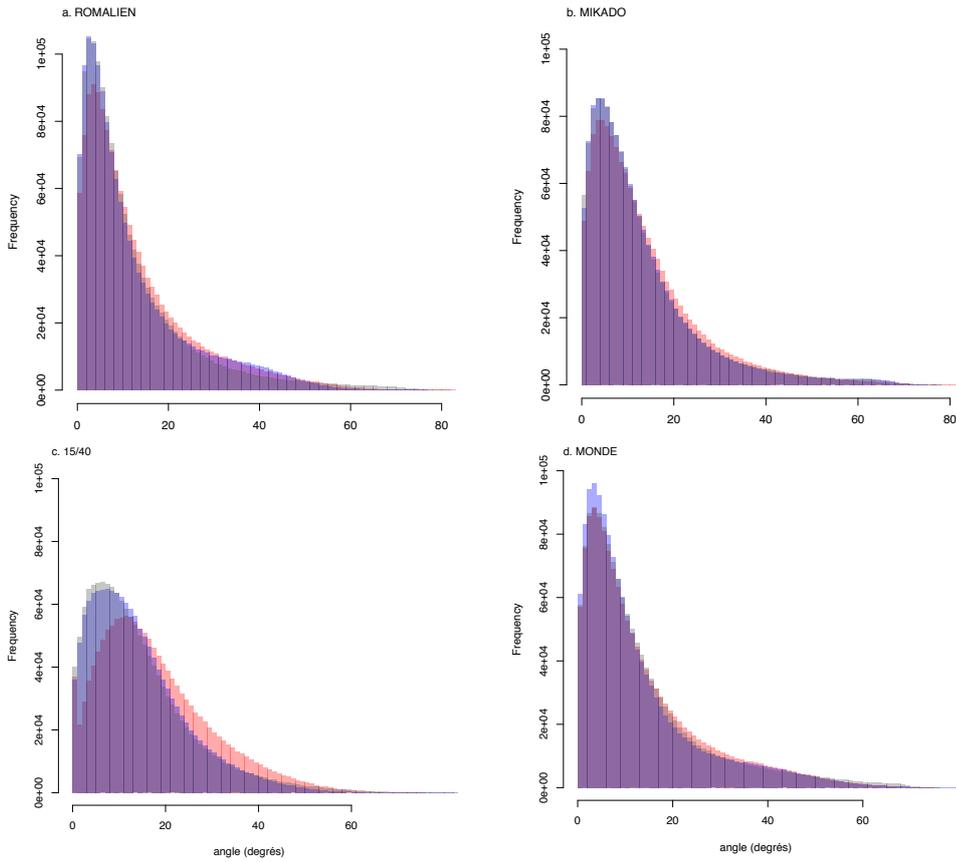


Fig. 5.17 : Histogrammes des pentes des échantillons, groupées par grain a) Romalien, b) Mikado, c) 15/40 et d) Monde. Chaque graphique présente les trois matières superposées, le TKG en rouge, le TRC en bleu et le PPC en gris.

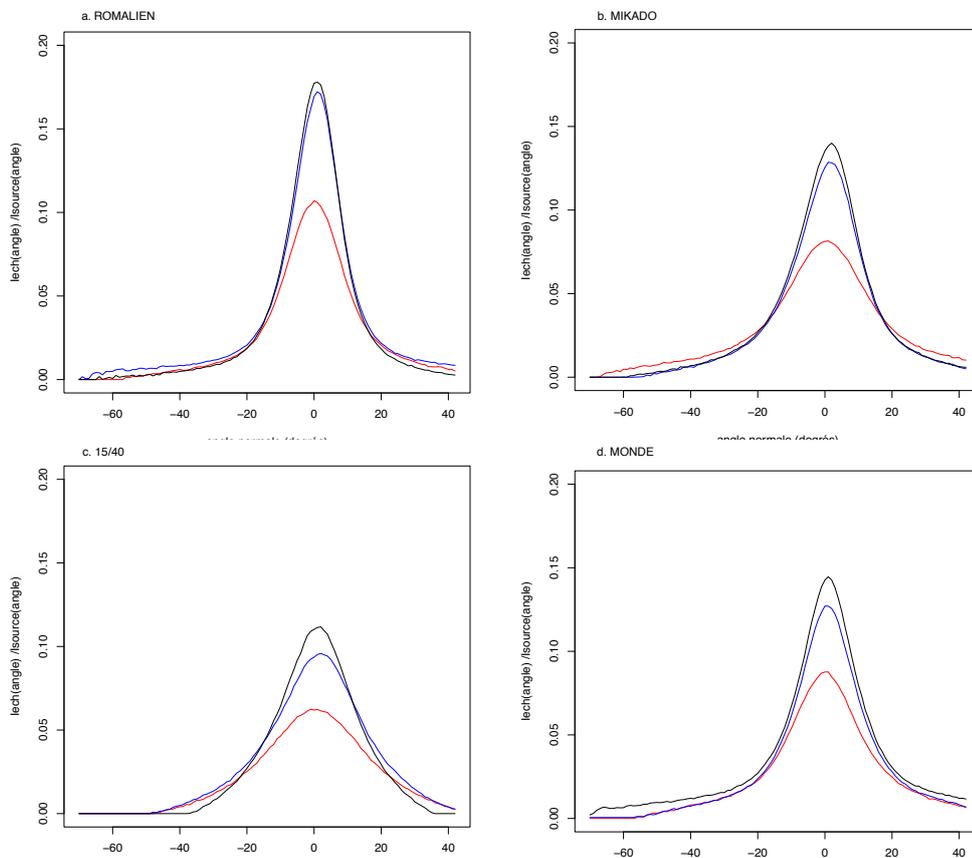


Fig. 5.18 : Intensités en condition spéculaire pour chaque orientation de normale aux facettes, groupées par grain a) Romalien, b) Mikado, c) 15/40 et d) Monde. Chaque graphique présente les trois matières superposées, le TKG en rouge, le TRC en bleu et le PPC en gris.

L'ensemble des fréquences est décalé de 5° . C'est la pente 15° qui est la plus représentée, avec une fréquence maximale de $5,5e^{+04}$.

La figure 5.17.d présente les histogrammes des échantillons noirs avec le grain Monde en TKG, TRC et PPC. Les histogrammes du TKG et du PPC sont parfaitement superposés. Le TRC a des fréquences plus importantes de pentes dans l'intervalle entre 0 et 10° par rapport aux autres matières. Les échantillons en TKG ont, sur l'ensemble des grains, des histogrammes avec des fréquences maximales inférieures et des pentes dans l'intervalle entre 10° et 40° avec des fréquences supérieures aux échantillons des deux autres matières. Ceci indique que ces échantillons ont moins de surface de grain avec un angle faible par rapport à l'horizontale, ils sont donc moins «plats». On s'attend donc à voir une brillance moins prononcée pour les échantillons avec cette matière.

5.3.2.2 INTENSITÉS DES INDICATRICES

Les graphiques de la figure 5.18 montrent les intensités en conditions spéculaires pour chaque inclinaison des facettes du grain mesurés avec le gonio-spectrophotomètre, selon le protocole 2 (voir chap. 4.2.1.3.1). Cette configuration représente les contributions des facettes au brillant. Les intensités des échantillons sont groupées par grain, chaque graphique présente les trois matières superposées. Le TKG est en rouge, le TRC est en bleu et le PPC est en gris.

La figure 5.18.a présente les intensités des échantillons noirs avec le grain Romalien en TKG, TRC et PPC. Les courbes des intensités du TRC et du PPC sont superposées avec une légère supériorité des valeurs maximales de la gaussienne concernant le PPC.

La courbe du TKG a une intensité maximale inférieure.

Pour les intensités mesurées des autres grains (Fig. 5.18.b, .c et .d), nous notons la même tendance : les intensités du PPC sont légèrement supérieures à celle du TRC, ce qui entraîne une valeur de MAX supérieure et FWHM inférieure.

Les intensités du TKG sont nettement inférieures aux deux autres matières que ce soit pour les échantillons avec le grain Mikado, 15/40 et Monde. Ceci est en ligne avec les observations sur les fréquences des pentes. La haute fréquence des facettes à petits angles par rapport à l'horizontale est liée à une augmentation des intensités des indicatrices.

5.3.2.3 MISE EN RELATION ENTRE FRÉQUENCES DES PENTES ET INTENSITÉS DES INDICATRICES

Afin de relier la topographie au brillant spéculaire des facettes, nous examinons maintenant la relation entre la fréquence des angles des facettes du grain et les intensités mesurées des facettes. Mettre en relation la fréquence maximale avec l'intensité maximale vise à comprendre si c'est bien la grande fréquence de l'ensemble des facettes d'une orientation qui est reliée aux intensités maximales mesurées dans la direction correspondante.

Le graphique de la figure 5.19 présente, sur l'axe des y la valeur de l'intensité maximale des indicatrices et en x la fréquence maximale des angles. Le graphique montre qu'il y a une bonne corrélation entre la contribution des intensités des facettes et leur fréquence maximale. Les échantillons sont répartis en fonction à la fois du grain et de la matière.

Fig. 5.19 : Intensités maximales des indicatrices d'intensité réfléchie en fonction des fréquences maximales des pentes des facettes.
 Les lignes obliques séparent les champs des grains (de gauche à droite) et des matières (de haut en bas).

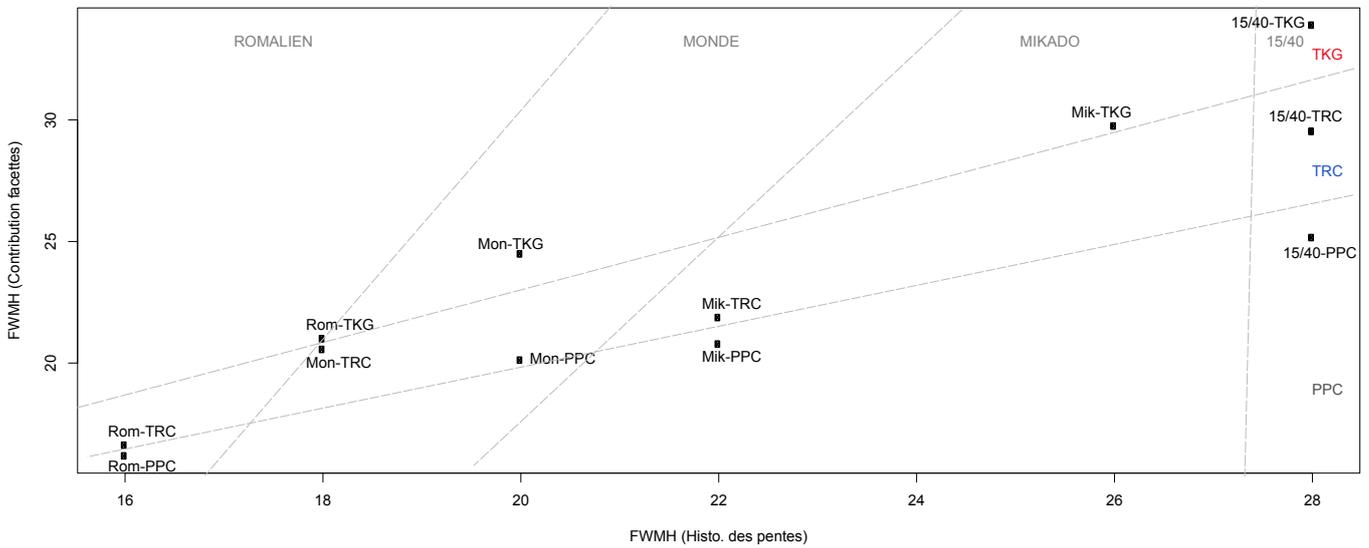
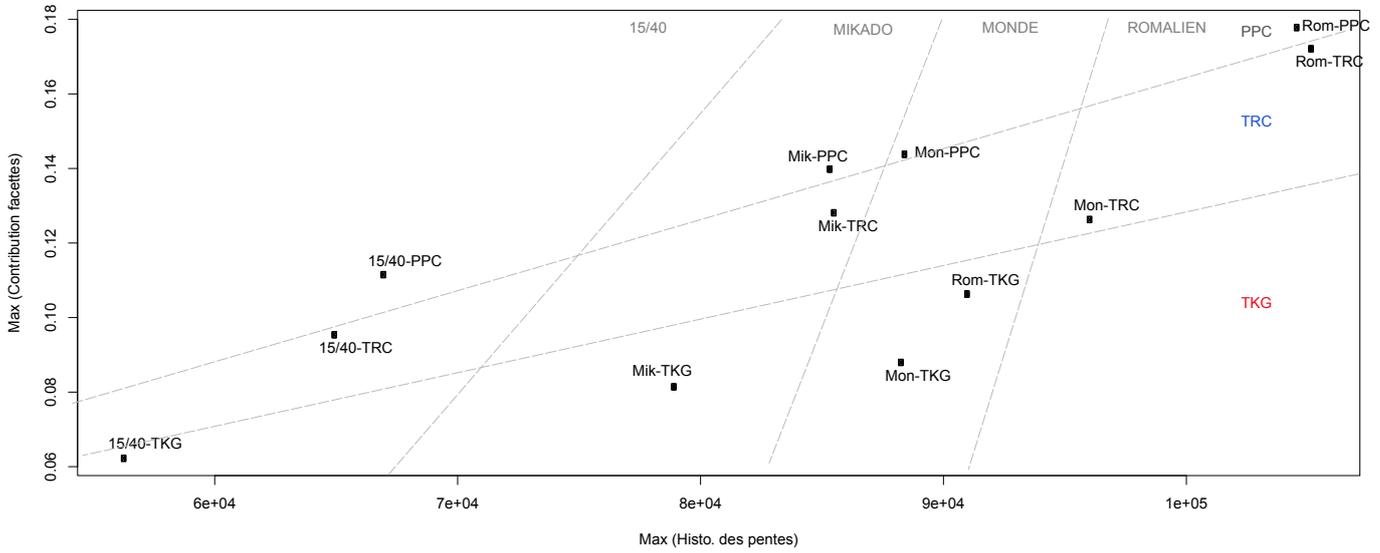


Fig. 5.20 : Largeur à mi-hauteur (FWMH) des indicatrices d'intensité réfléchie en fonction de celle de l'histogramme des inclinaisons des facettes.
 Les lignes obliques séparent les champs des grains (de gauche à droite) et des matières (de haut en bas).

Les échantillons en TKG, à iso-grain, ont des valeurs maximales de la contribution des intensités les plus faibles, suivies par les échantillons en TRC et PPC.

Les grains 15/40 ont les valeurs des fréquences maximales des pentes plus faibles, suivis par les grains Mikado, les grains Monde et enfin les grains Romalien.

Cette disposition des échantillons indique :

- L'orientation des facettes dépend majoritairement du moule mais la matière injectée modifie légèrement la topographie finale de la pièce
- L'intensité des indicatrices dépend majoritairement de la matière injectée

Ces deux facteurs interagissent dans la même direction, portant à une amplification des phénomènes de brillant. Ainsi, lorsque nous sommes face à un moule qui se caractérise par une topographie avec une basse fréquence de facettes à petits angles par rapport à l'horizontale (grain moins «plat»), nous pouvons nous permettre une matière qui porte à des intensités des indicatrices plus importantes, sans perdre l'effet mat. Au contraire, pour des moules avec des grains très plats, l'impact de la matière sera plus visible.

Le graphique de la figure 5.20 présente, sur l'axe des y les valeurs de la largeur à mi-hauteur des intensités calculées sur la représentation rectangulaire (voir chapitre 04) et en x la valeur de la largeur à mi-hauteur de la gaussienne des fréquences des orientations des facettes.

La répartition des échantillons suit la même logique que pour le graphique 5.20, les matières influencent la valeur de la largeur à mi-hauteur des intensités et les grains la largeur à mi-hauteur des histogrammes des pentes, dans l'ordre inverse.

Ainsi, les variations de la fréquence des pentes dépendent du grain (c'est-à-dire de la topographie du moule) est également de la matière. Cette dernière a un fort impact sur l'intensité des indicatrices.

5.3.3 IMPACT DES DÉFAUTS DE SURFACE DU GRAIN SUR LE BRILLANT

Nous testons maintenant l'hypothèse que les différences de brillant perçues proviennent de défauts de surface non détectés par le rugosimètre optique mais qui affectent la réponse spéculaire. Ces défauts pourraient être liés à la nature de la matière et aux paramètres d'injection.

Les surfaces des échantillons noirs ont été observées et photographiées grâce à un Microscope Electronique à Balayage environnemental à haute résolution [97]. C'est une technique de microscopie électronique basée sur le principe des interactions électrons-matière, capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon.

Aux divers types de particules émises lors de l'interaction entre le faisceau électronique et l'échantillon correspondent différents modes de fonctionnement du microscope et donc différents types d'imagerie :

- Une imagerie en électrons secondaires (SE) qui révèle le contraste topographique
- Une imagerie en électrons rétrodiffusés (BSE) qui révèle en partie le contraste chimique

Les images des surfaces (en modalité SE) sont présentées sur la figure 5.21 (grossissement instrumental x100). Ces images des échantillons en TKG présentent des caractéristiques différentes par rapport aux surfaces des échantillons en TRC et PPC. On note la présence de fibres de verre visibles à la surface, avec une orientation principalement dans le sens d'écoulement de l'injection. Les fibres de verre sortent de la matière et créent des défauts, des crevasses et des hétérogénéités au niveau de la surface. Les matières TRC et PPC ont des surfaces beaucoup plus homogènes, où l'on note la présence de ridules sur les contours de grains. Ces ridules sont nettement plus marquées sur les grains 15/40 par rapport aux grains Romalien et Monde.

Les images des surfaces (en modalité BSE) sont présentées dans la figure 5.22 (grossissement instrumental x100). Les images en BSE permettent de voir les charges à la surface des échantillons. On retrouve les fibres de verre des échantillons en TKG. Les surfaces des échantillons en TRC et PPC présentent des charges de talc, distribuées de façon homogène. Elles sont de même taille pour les deux matières.

Les images des surfaces (en modalité BSE) sont présentées dans la figure 5.23 avec un grossissement instrumental x1000. Ces images nous permettent de voir la topographie du fond et du haut de grain avec plus de détails. Leur analyse confirme que les échantillons en TKG ont une surface très irrégulière contrairement aux échantillons en TRC et PPC très homogènes. De plus, on remarque qu'une grosse partie de la surface exposée des échantillons en TRC et PPC est constituée par des faces basales du talc. A ce grossissement, il n'y a pas de différences entre les images en fonction des grains.

Les ridules notées dans les images de la figure 5.21 sont des défauts au niveau des bords de grains. La figure 5.24 présente quelques exemples des défauts (en modalité SE et BSE). Les images du TKG sont à un grossissement de x100, les images du TRC à un grossissement de x200 et les images du PPC à un grossissement de x600. Les différents grossissements ont été choisis afin de montrer les défauts aux dimensions les plus adaptées pour chaque matière. Ces images permettent une évaluation qualitative des surfaces. Bien qu'une analyse quantitative des défauts rencontrés n'ait pas été faite, on note que ces défauts sont plus fréquents et importants dans les échantillons en TRC et pour les grains 15/40.

L'ensemble des images nous permet de comparer les échantillons et de relier leurs caractéristiques aux notes de brillance du panel. Les échantillons en TKG ont une surface très irrégulière, liée au fait que la matrice polymérique contient les fibres de verre. Les fibres créent des perturbations sur l'homogénéité de la matrice polymérique, qui n'adhère pas toujours à leur surface. On trouve ainsi des défauts de surface, des cratères avec une distribution assez homogène. Leur note moyenne de brillance évaluée par le panel visuel est de 47.

Les surfaces des échantillons en TRC et PPC sont nettement plus homogènes. La surface de la matrice polymérique est plus lisse. Une grande partie de leurs surfaces présentent des faces basales du talc. Elles sont réparties de façon homogène et avec mêmes dimensions et densité dans les deux matières et augmentent le brillant de ces matières.

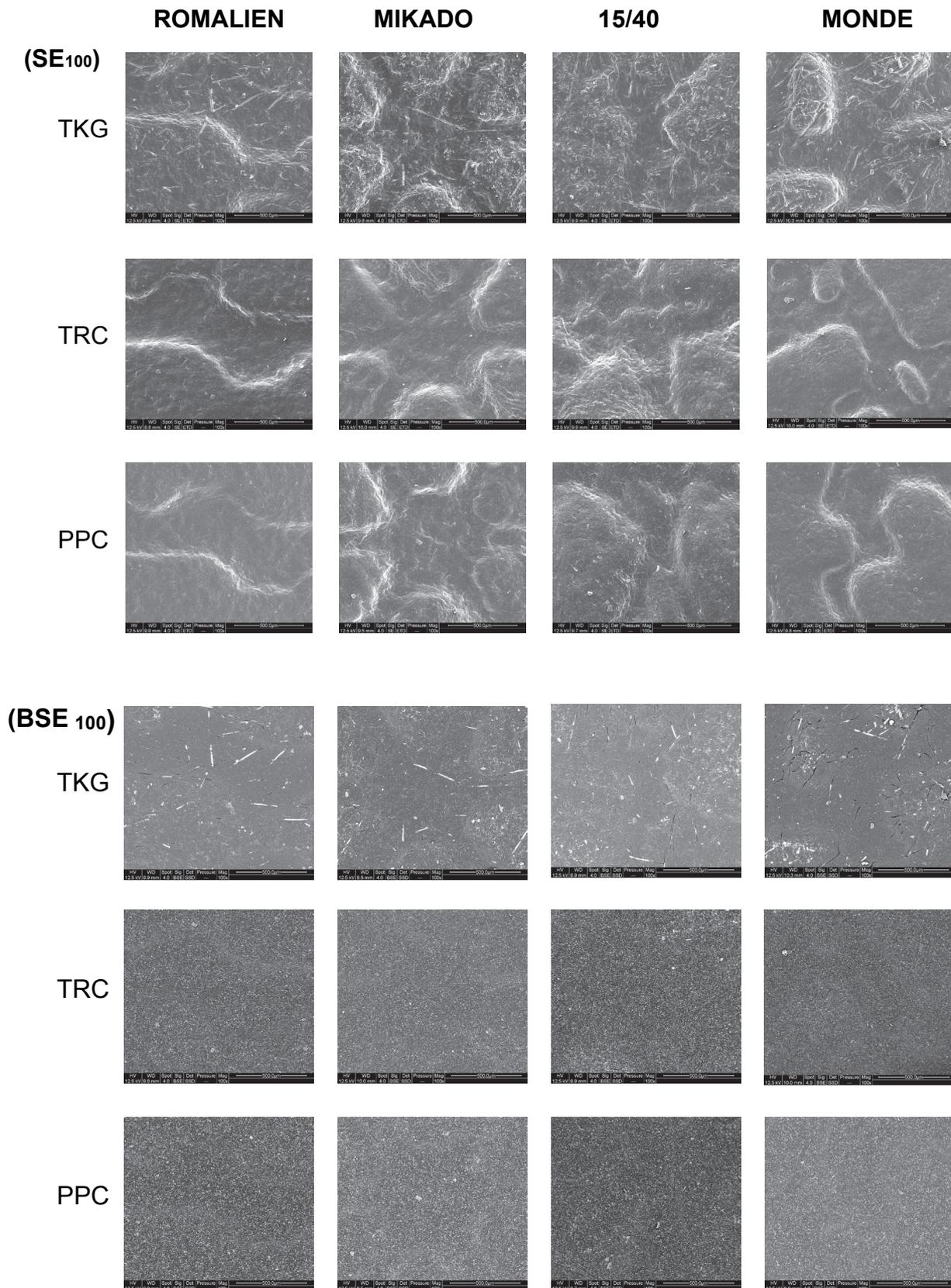


Fig. 5.21 : Images par MEB, modalité SE, grossissement x100 des surfaces des échantillons noirs. (La dimension horizontale réelle de la zone photographiée mesure 1,5mm).

Fig. 5.22 : Images par MEB, modalité BSE, grossissement x100 des surfaces des échantillons noirs. (La dimension horizontale réelle de la zone photographiée mesure 1,5mm).

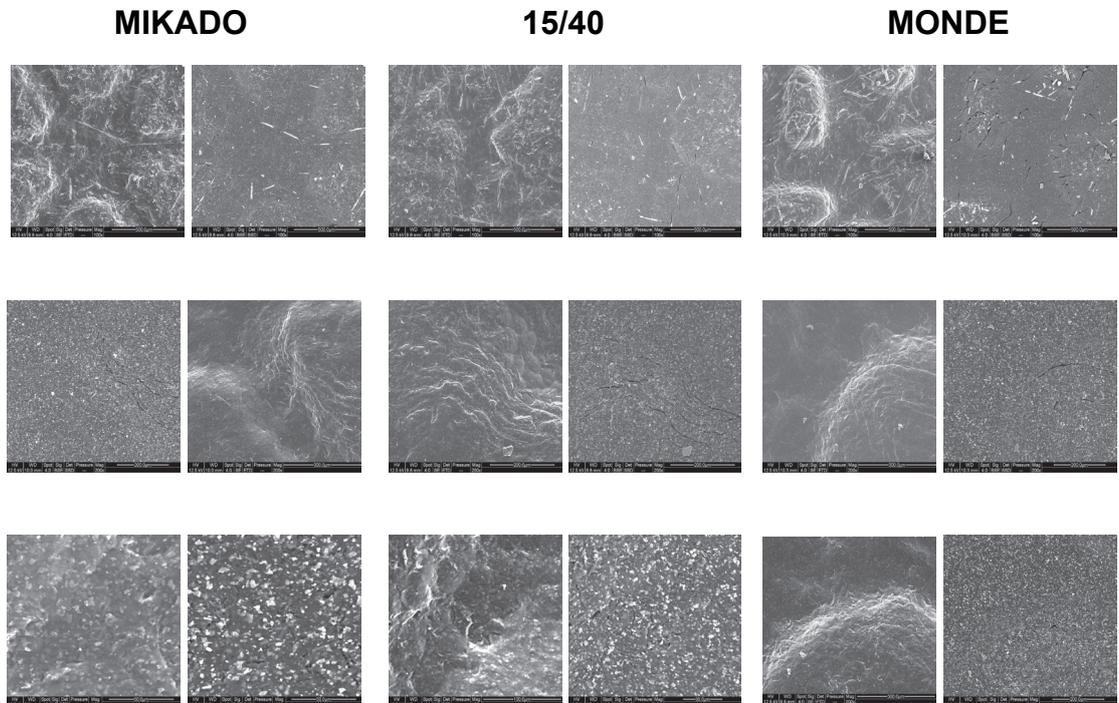
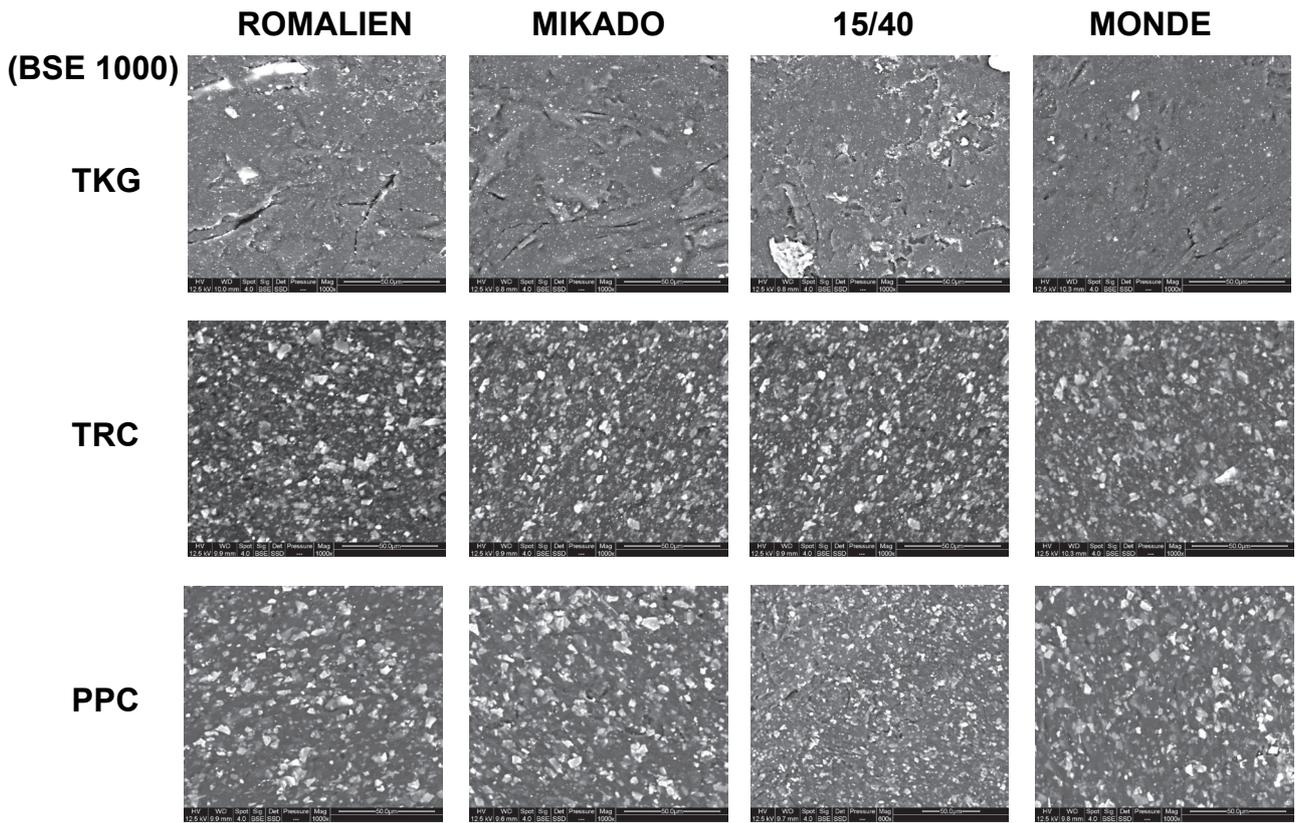


Fig. 5.23 : Images par MEB, modalité BSE, grossissement x1000 des surfaces des échantillons noirs. (La dimension horizontale réelle de la zone photographiée mesure 0,15mm).

Fig. 5.24 : Images par MEB, modalité SE et BSE des surfaces des échantillons noirs. Grossissement x100 pour les TKG (première ligne) x 200 pour les TRC (deuxième ligne) et x 600 pour les PPC (troisième ligne). (Les dimensions horizontales réelles des zones photographiées mesurent 1,5mm, 0,75mm et 0,25mm).

Les défauts de surface sur les échantillons en TRC et PPC sont en bord de grains, et surtout pour le grain 15/40. La topographie du grain ne permet pas une bonne réplification du moule, surtout pour la matière TRC. Les causes des défauts peuvent être dues à une vitesse d'injection trop rapide. En effet, la vitesse d'injection pour le TRC 15/40 est de 35mm/s et l'indice de fluidité de 18g/10min, pour le PPC elle est de 25 mm/s et l'indice de fluidité de 24g/10min. La matière TRC n'est peut être pas assez fluide pour assurer la réplification de ce grain. Leurs notes moyennes de brillance sont de 65 pour le TRC et de 71 pour le PPC

Ainsi, les hétérogénéités de surface et la présence de défauts diminuent la perception de brillance. La matière et les paramètres d'injection influencent directement ce descripteur.

5.4 CONCLUSIONS

Le chapitre 05 présente l'utilisation du système de caractérisation sur un jeu d'échantillons spécifiquement réalisé pour répondre à la question centrale de la thèse. Le jeu en utilise 3 différentes matières en polypropylène commerciale, contretypées en 3 couleurs différentes et injectées dans 4 grains moules avec des grains différents.

Deux des trois matières injectées sont considérées comme équivalentes pour les cahiers des charges de l'entreprise. La troisième matière est une proposition des fournisseurs, décrite comme plus qualitative du point de vue visuel et tactile, qualifiée de « soft ».

Le but de l'étude, annoncé dans l'introduction du chapitre, était de répondre à 5 questions que l'on reporte ici :

1. Les matières considérées équivalentes du point de vue technique, sont-elles équivalentes du point de vue visuel ?
2. La matière dite « soft » est-elle perçue différemment des deux autres matières ?
3. Quels sont les descripteurs qui permettent de différencier les matières ?
4. Les matières ont-elles un impact différent en fonction du grain et des couleurs ?
5. Quelles sont les causes des variations perceptives ?

QUESTION 1

L'étude porte sur 8 échantillons noirs, avec les 4 grains et les deux matières considérées comme équivalentes. La caractérisation visuelle indique que ces deux matières sont perçues de façon indifférenciée sur l'ensemble des descripteurs visuels. Pour les échantillons noirs, on note cependant des différences pour les descripteurs de Brillant et Contraste de brillant qui sont du même ordre de grandeur que la marge d'erreur du panel visuel (d'environ 10 point sur nos échelles sensorielles).

QUESTION 2

La troisième matière dite « soft » (en noir) est évaluée avec des valeurs significativement plus faibles en Brillant et en Contraste de brillant. Elle est donc visuellement perçue différemment. Ces différences sont plus importantes pour certains grains. Pour les couleurs claires, l'impact de la matière est peu perçu et non significatif.

QUESTIONS 3 ET 4

Les descripteurs qui permettent de différencier les matières sont donc les descripteurs de brillant, et leur variation dépend du couple grain/matière et de la couleur des échantillons. Sur des couleurs foncées, la perception des différences de brillant est plus importante (comme prédit par la définition du brillant de contraste) et elle est liée principalement aux caractéristiques des matières.

QUESTION 5

Les matières TRC et PPC sont très proches en termes de composition chimique. Ce sont deux compounds de PP/PE, chargées talc à environ 20% avec un indice de fluidité de 18g/10min pour le TRC et de 24g/10min pour le PPC.

Leur couleurs ont un ΔE très bas (0,48) et des valeurs de «blackness» quasi identiques.

Leur paramètres d'injection sont similaires (vitesses d'injection de 72,5mm/s pour le TRC et de 71,25 mm/s pour le PPC), ainsi que leurs retraits. Leur topographie relevée par le rugosimètre indique une distribution des pentes des facettes identique en fonction des grains, qui se traduit par des contributions des intensités des indicatrices très proches, légèrement supérieures pour le PPC. Les images de leurs surfaces montrent que ces matières ont une homogénéité de surface semblable. Le TRC présente cependant plus de défauts. Ceci implique une moins bonne réplique du moule, qui aussi est partiellement due aux vitesses d'injection, probablement trop faibles pour le TRC. Cette matière est perçue très légèrement moins brillante que le PPC (moyennes des notes du panel 65 pour le TRC et 71 pour le PPC).

Le TKG diffère de par sa composition chimique des deux autres matières. C'est un polypropylène chargé en fibres de verre à 30% avec un indice de fluidité de 6g/10min. Sa couleur est légèrement plus sombre et son ΔE avec le TRC et PPC est d'environ 1.

Sa vitesse d'injection est inférieure à celles employées dans l'injection des deux autres matières. Ceci est dû à la valeur d'indice de fluidité bas. La présence de fibres de verre impacte les retraits. Les fibres sont disposées dans le sens de l'injection et diminuent le retrait longitudinal en figeant la matière. Cette variation topographique se reflète sur les orientations des facettes, qui ont des variations de pentes beaucoup plus douces et sur la réponse des intensités des indicatrices réfléchies, moins importantes.

Les images MEB des surfaces montrent que les fibres de verre sortent de la matière et créent des perturbations au niveau de la surface. L'ensemble de ces caractéristiques conduit à une diminution du brillant perçu. Le TKG est perçu comme nettement moins brillant que les deux autres matières (sa moyenne de brillant du panel est de 47).

L'analyse sensorielle permet également de caractériser l'impact des grains sur les matières. Le grain 15/40 se distingue des trois autres grains de par sa géométrie tridimensionnelle. Ce grain est caractérisé par des variations de hauteurs très graduelles, des fréquences maximales de facettes moins importantes et des intensités des indicatrices réfléchies moins fortes. La topographie du moule du grain 15/40 demande une diminution des vitesses d'injection pour l'ensemble des matières. La complexité de sa géométrie crée de plus des défauts de surface, des ridules et des cratères qui diffusent

la lumière. L'ensemble de ces caractéristiques portent à une perception moyenne de brillant de 47, contre environ 64 pour les autres grains.

Le grain perçu comme le plus brillant est le Romalien (69 de moyenne). Ce grain géométrique a un allongement des éléments dans le sens de l'injection et permet une très bonne réplique du moule. Ses vitesses d'injection sont les plus hautes et ses retraits verticaux les moins importants.

L'analyse sensorielle et la caractérisation des matières, des grains et de leur interaction nous permet d'affirmer que le caractère mat d'un grain dépend :

- Des caractéristiques de la matière (indice de réfraction du polymère, taux de charge affleurant en surface, qualité des pigments en particulier noir),
- De la topographie du grain,
- De la réponse de la matière à cette topographie en fonction des conditions d'injection,
- De la présence de défauts de surface (présence de ridules qui diffractent la lumière incidente, et de crevasses qui la piègent).

La recherche des causes de variation de brillant a été effectuée uniquement sur les échantillons noirs et est exploratoire. C'est une illustration des différentes pistes qu'il est possible d'analyser. Ceci est principalement lié au fait que les paramètres d'injection des pièces sont imposés, et reflètent les protocoles internes de l'entreprise. Notre analyse s'intéresse à un jeu réduit qui a été constitué pour satisfaire les multiples critères permettant de répondre aux 4 premières questions du chapitre et non pas à un plan d'expérience complet.

Dans le secteur automobile, pour les pièces grainées, on cherche à garder un brillant bas car lié à une meilleure impression de qualité perçue des pièces. Afin de voir si les caractéristiques perçues de l'espace produit sont en accord avec la perception de qualité et l'appréciation des clients, nous allons soumettre une partie de l'espace produit à une enquête client. C'est l'objet du chapitre 06.

CHAPITRE 06 ENQUÊTE CLIENT SUR L'APPRECIATION DES MATÉRIAUX GRAINÉS DE LA PLANCHE DE BORD

Le chapitre 06 présente l'enquête client que nous avons réalisée sur l'appréciation tactile, visuelle et visio-tactile des pièces pour planche de bord. Le but est de mettre en relation les caractéristiques sensorielles analysées dans le chapitre 05 avec l'appréciation des clients. L'enquête client recueille les résultats de 60 participants. Le recrutement des participants a été fait en interne, selon les procédures de l'analyse sensorielle appliquées en entreprise. Contrairement à la pratique traditionnelle des enquêtes client, l'espace produit est composé d'échantillons de planche de bord et non pas des pièces automobiles entières de différentes marques. Pour ce genre d'échantillons, nous considérons que le risque de biais par l'utilisation de clients internes est négligeable.

Les échantillons retenus pour cette phase du travail représentent un espace réduit de l'espace produit du chapitre 05. L'espace produit compte donc 3 des 4 grains du chapitre 05, les mêmes matières et les mêmes couleurs. Le but n'est pas de savoir quelle est la couleur préférée mais de comprendre le degré d'appréciation du couple grain/matière dans les différentes couleurs proposées. Nous avons donc choisi d'évaluer les échantillons par couleurs.

Les commentaires recueillis nous permettent de faire une analyse lexicale et de comprendre les motivations des appréciations des échantillons (6.3). Les clients évaluent principalement le grain en fonction de leurs goûts, leurs attentes et leurs craintes. La brillance des différentes matières est à l'origine des jugements sur la qualité de la pièce.

6.1 OBJECTIFS ET DESCRIPTION DE L'ENQUÊTE CLIENT

6.1.1 OBJECTIF DE L'ENQUÊTE CLIENT

L'objectif de l'enquête client est d'évaluer l'appréciation tactile, visuelle et visio-tactile des couples grain/matière en noir, beige et blanc, étudiés dans le chapitre 05. Les pièces analysées sont des pièces grainées injectées en polypropylène qui présentent les mêmes matériaux, surfaces et procédé de production que les planches de bord des véhicules des gammes du segment M0 *Entry* (véhicules d'entrée de gamme de la marque Dacia en Europe et au Maghreb, marque Renault dans le reste du monde) et du segment B (citadines et sous-compactes) avec une finition d'entrée de gamme. L'intérêt est de comprendre l'effet prédominant, entre le grain ou la matière, dans l'évaluation de l'appréciation. L'enquête vise également à évaluer la qualité perçue visuelle des pièces et vérifier si elle coïncide avec l'appréciation visuelle.

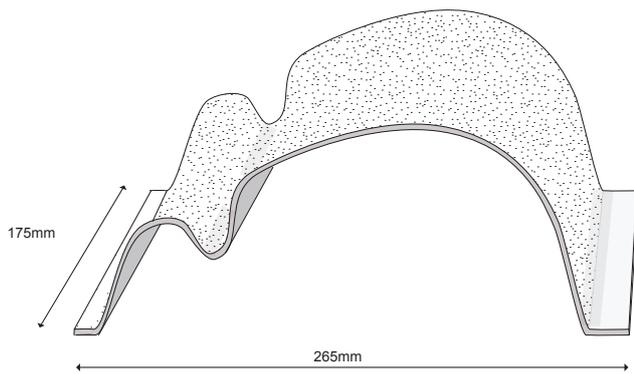


Fig. 6.1 : Géométrie des inserts galbés

	Mikado	15/40	Monde
TKG 300 N	Mik-TKG-N	15/40-TKG-N	Mon-TKG-N
PPC 9180	Mik-PPC-N	15/40-PPC-N	Mon-PPC-N
TKG 300 N	Mik-TKG-Be	15/40-TKG-Be	Mon-TKG-Be
TRC 411 N	Mik-TRC-Be	15/40-TRC-Be	Mon-TRC-Be
TKG 300 N	Mik-TKG-BI	15/40-TKG-BI	Mon-TKG-BI
TRC 411 N	Mik-TRC-BI	15/40-TRC-BI	Mon-TRC-BI

Tableau 6.1 : Espace produit

6.1.2 ESPACE PRODUIT

Les échantillons de l'enquête client représentent un espace produit réduit du chapitre 05. Les échantillons présentés sont sous forme d'inserts galbés. Les inserts galbés sont conçus pour évaluer le rendu visuel des pièces injectées grainées (Fig. 6.1). Ils sont couramment utilisés par la direction du design pour valider le choix du couple grain/matière sur une surface représentative des géométries des pièces du véhicule.

L'intérêt d'utiliser les inserts galbés est double. Premièrement, leur grande surface grainée et leur double courbure permet de mieux percevoir le rendu esthétique de la pièce. Deuxièmement, leur forme se rapproche de la pièce finale et permet au client une meilleure mise en situation. Les inserts galbés sont disponibles en grain Mikado, en grain 15/40 et en grain Monde, mais non disponibles en grain Romalien. Notre espace produit comporte :

- 3 grains (Mikado, 15/40 et Monde),
- 3 couleurs (noir, beige et blanc),
- 3 matières (TKG, TRC et PPC).

Comme pour l'espace produit du chapitre 05, le PPC est disponible en une seule couleur, le noir.

6.1.2.1 RÉDUCTION DES ÉCHANTILLONS : TEST TRIANGULAIRE

L'analyse sensorielle de l'espace produit du chapitre 05 a montré que les différences entre matières contretypées (iso grain et iso couleur) sont perçues, mais sont assez faibles. Afin de déterminer si les différences perçues par les experts sont également perçues par des naïfs, et d'alléger le nombre d'échantillons à tester, nous avons effectué un test triangulaire de discrimination des échantillons [98].

Le test triangulaire a pour but de déterminer s'il existe tactilement et visuellement des différences entre nos échantillons. Nous avons interrogé 18 sujets naïfs, recrutés au sein de l'entreprise.

Les sujets examinent 3 échantillons de même grain et même couleur dont 2 sont identiques (même matière), et le troisième est différent (matière différente). Les sujets sont informés du fait que deux des échantillons sont identiques et qu'un est différent. Ils doivent déterminer quel est l'échantillon

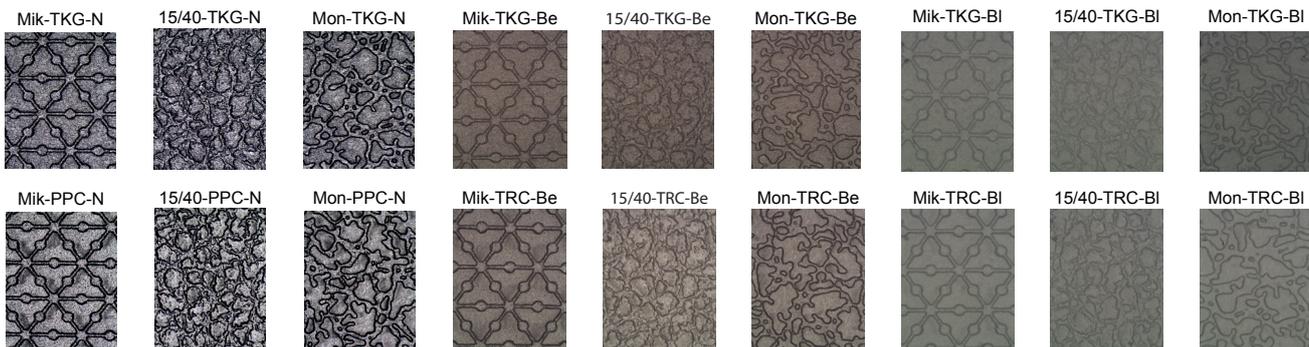


Fig. 6.2 : Images de l'espace produit

non répété, ainsi le choix ne repose que sur une supposition, et est dit «forcé». Le seuil minimal de bonnes réponses pour pouvoir conclure que le client perçoit une différence significative entre les échantillons est de 10 bonnes réponses sur 18 jugements (pour un risque pris de 5%).

En tactile, les résultats du test triangulaire (annexe 6.1) nous permettent d'affirmer que :

- Pour les échantillons évalués à iso-grain, les matières ne sont pas différenciées.
- Pour les échantillons évalués à iso-matière, les évaluateurs différencient le grain Mikado du grain 15-40 et le grain Mikado du grain Monde

Nous avons décidé de garder deux matières PPC et TKG, en grain Mikado et grain 15-40 (4 échantillons).

En visuel, les résultats du test triangulaire nous permettent d'affirmer que :

- Pour le grain Mikado, TKG et TRC en blanc ne sont pas différenciés,
- TRC et PPC ne sont pas différenciés en noir pour tous les grains,
- TRC et TKG sont différenciés en noir pour tous les grains,
- TKG et PPC sont différenciés en noir pour tous les grains.

Nous avons décidé de garder en beige et blanc les matières TKG et TRC et en noir les matières TKG et PPC en éliminant le TRC. Le choix de garder le PPC à la place du TRC découle du fait que les différences entre TKG et PPC sont plus importantes qu'entre TKG et TRC. Il est donc plus intéressant d'évaluer l'appréciation de matières qui sont les plus différentes et limiter le risque de ne pas avoir de différenciations en termes de qualité perçue dans l'enquête client.

6.1.2.2 ÉCHANTILLONS DE L'ENQUÊTE CLIENT

L'espace produit réduit de l'enquête client comprend (Tableau 6.1, fig. 6.2) :

- En noir, les trois grains en PPC et TKG
- En beige, les trois grains en TKG et TRC
- En blanc les trois grains en TKG et TRC

La partie tactile utilise 4 échantillons en noir titane, avec les grains Mikado et 15/40 en PPC et TKG, tandis que la partie visuelle et visio-tactile utilise les 18 échantillons de l'espace produit réduit.

6.1.3 PARTICIPANTS

Les participants de l'enquête client sont 60 salariés Renault. Nous avons envoyé 6000 invitations à l'enquête et avons reçu 650 réponses. Le grand nombre de réponses nous a permis d'être exigeants sur les critères de recrutement et de respecter au maximum une représentativité des clients potentiels des véhicules qui comportent ce genre de matières, grains et couleurs. Nous avons choisi d'exclure de l'enquête les experts de la planche de bord, de la qualité perçue, du secteur d'analyse des matériaux, du secteur du design, les spécialistes de la perception et analyse sensorielle internes à l'entreprise.

Le recrutement des participants prend en considération les clients type des véhicules qui présentent la typologie de pièces présentées. Les clients ont été recrutés parmi les salariés possédant un véhicule des gammes M0 ou B avec une finition intermédiaire ou un véhicule d'entrée de gamme. Nous avons également fait attention à ce que la répartition hommes/femmes soit homogène (58% hommes et 42% femmes), à l'âge des participants, et à l'ancienneté de leur véhicule. Les répartitions sont présentées dans les figures 3 et 4.

Parmi les participants :

- 83% possèdent un véhicule de marque Renault, essentiellement segments M0 ou B
- 47% possèdent une Clio et 18% une Twingo
- 75% ont acheté leur véhicule neuf
- 87% des participants utilisent leur véhicule tous les jours
- 98% des participants font moins de 30 000 km/an (dont 60% entre 10 et 20 000 km)
- 80% vivent en couple
- 94% ont un ou plusieurs enfants

6.1.4 MISE EN SITUATION

La mise en situation a pour but de contextualiser l'enquête et les échantillons présentés. Les clients sont invités à imaginer le contexte suivant :

« Vous avez comme projet de changer votre véhicule actuel contre un véhicule neuf du même niveau de gamme. Vous vous rendez chez le concessionnaire qui vous propose de pouvoir choisir la finition de votre future planche de bord ! Les échantillons que vous allez voir durant cette enquête ont été prélevés au niveau de la planche de bord de différents véhicules. Nous souhaitons recueillir votre avis sur ces échantillons s'ils vous étaient proposés pour la planche de bord de votre nouvelle voiture. »

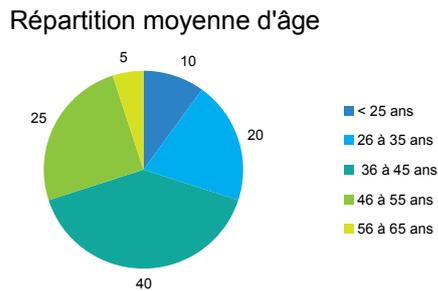


Fig. 6.3 : Répartition des âges des participants de l'enquête.

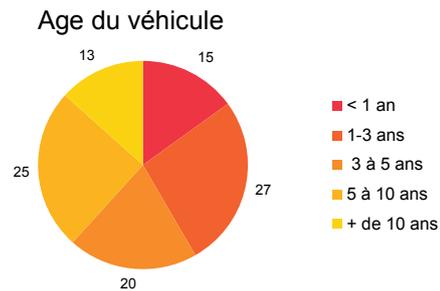


Fig. 6.4 : Répartition des âges des véhicules des participants de l'enquête.

6.1.5 DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE

L'enquête client [30] s'est déroulée en 4 semaines, 1h30 par client, 5 clients/jour. Elle se déroule en trois parties : une première partie tactile, suivie d'une partie visuelle et une visio-tactile. Les évaluations visuelles et visio-tactiles sont effectuées en cabine à lumière avec éclairage standardisé type 'concession' (tubes néons type TL84) [59] afin d'être homogène avec les conditions du panel visuel. Le protocole de l'enquête est présenté dans l'annexe 6.2.

L'évaluation des échantillons en tactile est monadique et est effectuée en aveugle. Les échantillons sont cachés derrière un rideau et sont présentés selon un plan de présentation aléatoire. Chaque client évalue l'appréciation tactile sur une échelle structurée [99] de 0 à 10 (0 je n'aime pas du tout - 10 j'aime beaucoup).

L'évaluation des échantillons en visuel se divise en deux parties :

- Une évaluation de l'appréciation sur une échelle structurée de 0 à 10
- Une évaluation de la qualité perçue sur une échelle structurée par cinq termes (très mauvaise, mauvaise, ni bonne ni mauvaise, bonne, ou très bonne)

La dernière partie est la partie d'évaluation de l'appréciation visio-tactile.

Les échantillons en visuel et visio-tactile sont évalués par couleur. L'ordre de présentation des couleurs et des échantillons suit un plan de présentation en carré latin. Pour chaque partie, le client note en commentaire les caractéristiques de l'échantillon qu'il prend en considération dans son évaluation.

6.2 RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE CLIENT

L'ensemble des résultats a été analysé par analyse de la variance [100] avec un effet produit au seuil de 5%, et un effet grain et matière au seuil de 5%.

Les histogrammes des figures 6.5, 6.6 et 6.7 présentent les résultats des moyennes des notes d'appréciation des produits évalués. Les résultats sont présentés par couleur, les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas appréciés de manière significativement différente. Pour l'appréciation visuelle des échantillons noirs et beiges, un graphique placé à droite illustre l'effet grain et l'effet matière.

6.2.1 APPRÉCIATION TACTILE

La figure 6.5 montre les moyennes des appréciations tactiles. Les échantillons évalués ne sont pas appréciés de manière significativement différente. Les moyennes varient entre 5,4 et 6. Les grains 15/40 et Mikado en TKG et PCC ne sont pas appréciés différemment.

6.2.2 APPRÉCIATION VISUELLE

La figure 6.6 montre les moyennes des appréciations visuelles des échantillons noirs. Les échantillons évalués sont appréciés de manière significativement différente. Les échantillons les plus appréciés sont ceux avec le grain 15/40 en TKG et PPC. L'effet grain est plus significatif que l'effet matière. Les clients apprécient plus le grain 15/40 (6,5), suivi du grain mikado (5,3) et du grain monde (4,9). La matière plus appréciée est le TKG.

La figure 6.7 montre les moyennes des appréciations visuelles des échantillons beiges. Les échantillons évalués sont appréciés de manière significativement différente. Les échantillons les plus appréciés sont ceux avec le grain 15/40 en TKG et TRC. L'effet grain est plus significatif que l'effet matière. Les clients apprécient plus le grain 15/40 (5,6), les différences d'appréciation des grains Mikado et Monde ne sont pas significatifs. La matière la plus appréciée est le TKG.

La figure 6.8 montre les moyennes des appréciations visuelles des échantillons blancs. Les échantillons évalués ne sont pas appréciés de manière significativement différente. La moyenne varie entre 4,7 et 5,5.

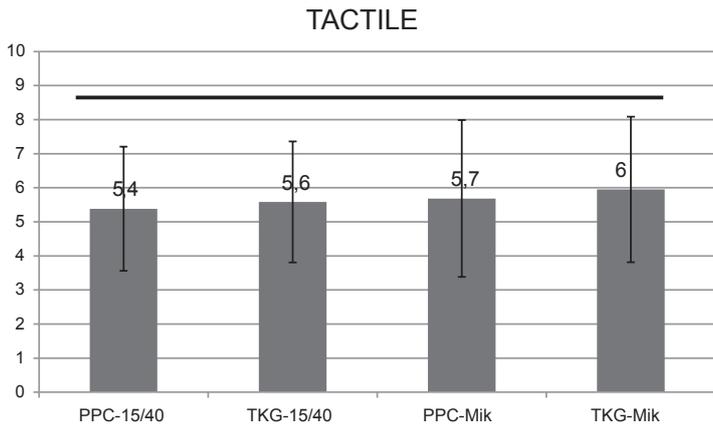


Fig. 6.5 : Moyennes des notes d'appréciation tactile des échantillons. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

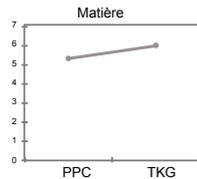
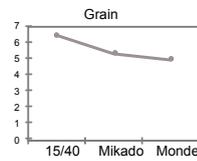
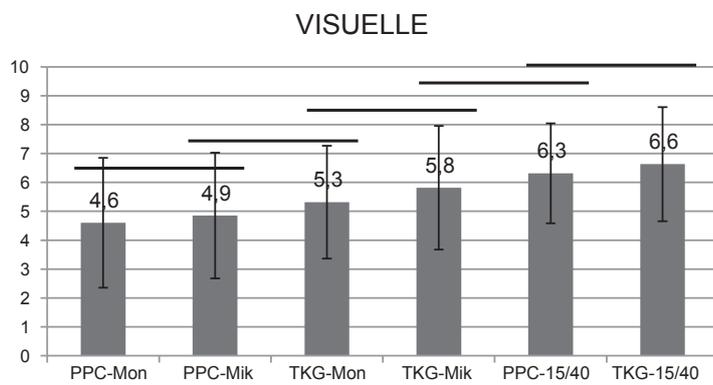


Fig. 6.6 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle des échantillons noirs et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

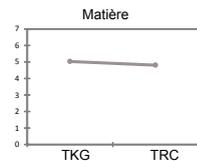
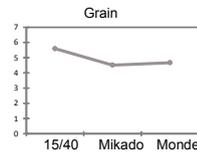
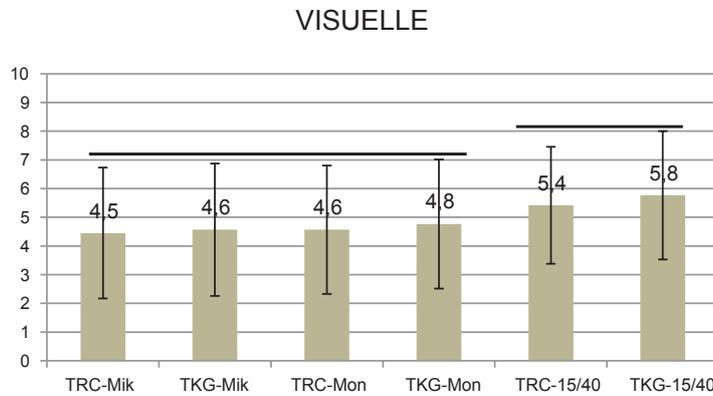


Fig. 6.7 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle des échantillons beiges et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

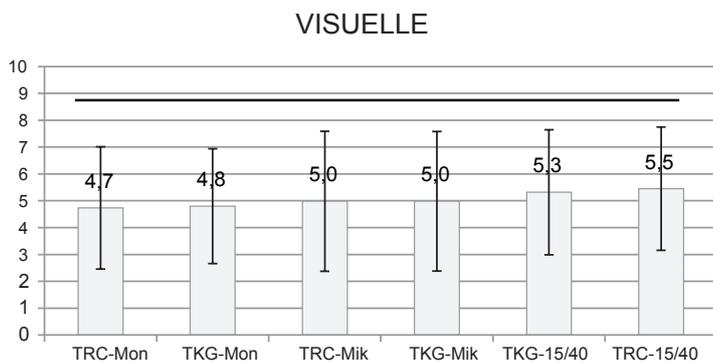


Fig. 6.8 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle des échantillons blancs. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

6.2.3 APPRÉCIATION VISIO-TACTILE

La figure 6.9 montre les moyennes des appréciations visio-tactiles des échantillons noirs. Les échantillons évalués sont appréciés de manière significativement différente. Les échantillons les plus appréciés sont ceux avec les grains 15/40 et Mikado en TKG. L'effet grain et l'effet matière sont équivalents. Les clients apprécient plus le grain 15/40 (6,0), suivi du grain Mikado (5,5) et du grain Monde (4,9). La matière la plus appréciée est le TKG.

La figure 6.10 montre les moyennes des appréciations visio-tactiles des échantillons beiges. Les échantillons évalués sont appréciés de manière significativement différente. L'échantillon le plus apprécié est celui avec le grain 15/40 en TKG. L'effet grain et l'effet matière sont équivalents. Les clients apprécient plus le grain 15/40; les grains Mikado et Monde n'ont pas une appréciation significativement différente. La matière la plus appréciée est le TKG. Pour les échantillons beiges, on note une légère d'interaction grain-matière : le grain Monde est plus apprécié que le grain Mikado en TKG et inversement en TRC.

La figure 6.11 montre les moyennes des appréciations visio-tactiles des échantillons blancs. Les échantillons évalués sont appréciés de manière significativement différente. Les échantillons les plus appréciés sont ceux avec le grain 15/40 en TKG et TRC. L'effet grain est supérieur à l'effet matière. Les clients apprécient plus le grain 15/40, les grains Mikado et Monde n'ont pas une appréciation significativement différente. La matière la plus appréciée est le TKG.

6.2.4 BILAN

La figure 6.12 résume l'ensemble des résultats de l'enquête client. Au niveau tactile (première colonne de la figure), les échantillons ne sont pas appréciés de façon significativement différente.

Au niveau visuel (deuxième colonne de la figure), pour les échantillons noirs, l'appréciation des clients est influencée principalement par le grain. Le grain le plus apprécié est le grain 15/40, suivi du grain Mikado et du grain Monde.

Au niveau des matières, le TKG est plus apprécié que le PPC pour les échantillons noirs, et que le TRC pour les échantillons beiges. Pour les échantillons blancs, l'appréciation des échantillons ne varie pas de façon significative. On note cependant un léger effet grain, il y a une tendance vers une appréciation du grain 15/40, suivi du grain Mikado et enfin le grain Monde.

Au niveau visio-tactile (troisième colonne de la figure), on note que l'effet de la matière prend plus d'importance. Pour les échantillons noirs et beiges, l'impact du grain est équivalent à celui de la matière dans l'appréciation des échantillons. L'ordre d'appréciation des grains est le même entre l'évaluation visuelle et visio-tactile. Ceci nous indique que la modalité visio-tactile permet de mieux discriminer les échantillons selon leurs matières. Les différences entre échantillons, non soulignées par les appréciations tactiles, viennent compléter l'information visuelle. En modalité visuelle, l'impact de la matière est relativement moins important que celui du grain. Les différences entre matières sont d'avantage perçues lorsqu'on ajoute la modalité tactile.

L'échantillon le plus apprécié en visuel est celui avec le grain 15/40 en TKG noir, suivi de celui en PPC. En visio-tactile, l'échantillon le plus apprécié est celui en grain 15/40 en TKG noir, suivi du grain 15/40 en TKG blanc, puis de l'échantillon avec le grain Mikado en TKG noir.

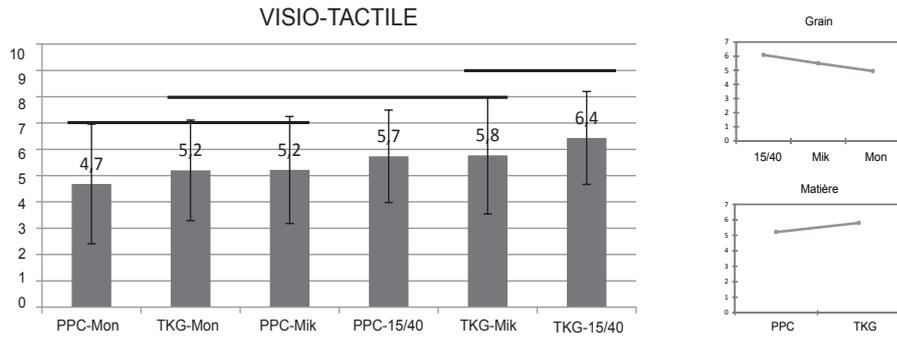


Fig. 6.9 : Moyennes des notes d'appréciation visio-tactile des échantillons noirs et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

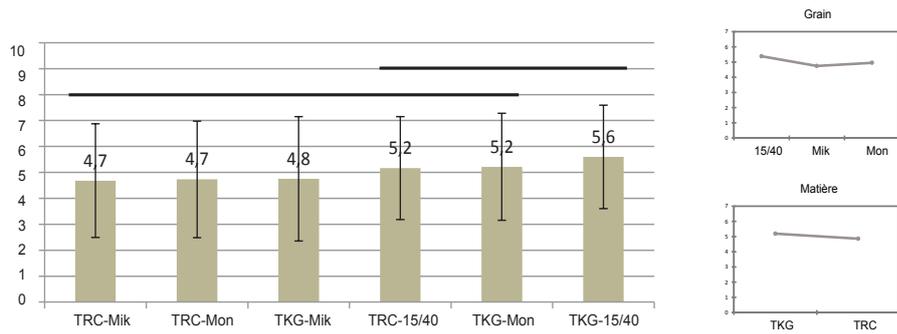


Fig. 6.10 : Moyennes des notes d'appréciation visio-tactile des échantillons beiges et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

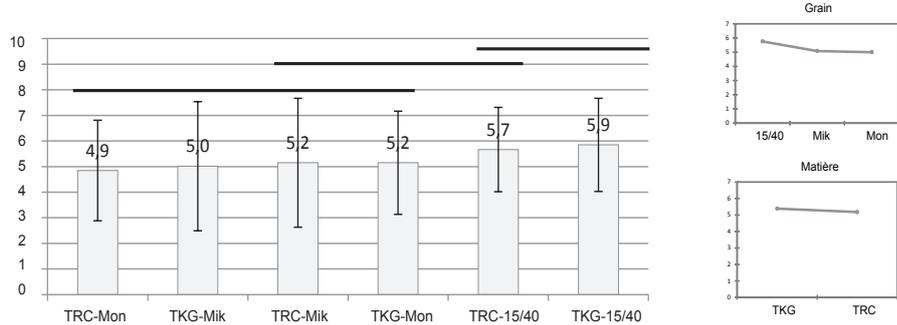


Fig. 6.11 : Moyennes des notes d'appréciation visio-tactile des échantillons blancs et graphiques de l'effet grain et matière. Les échantillons liés par une barre horizontale ne sont pas perçus de manière significativement différente.

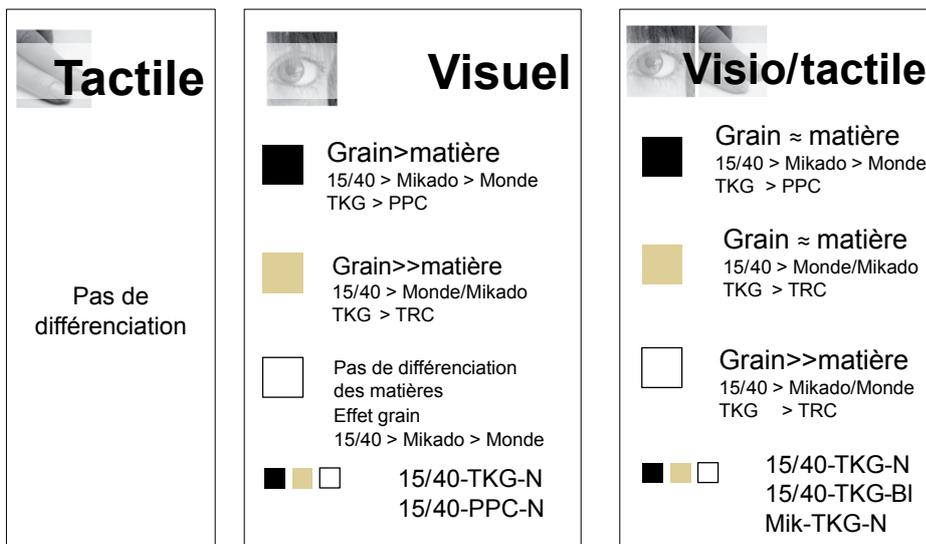


Fig. 6.12 : Bilan des appréciations de l'enquête client.

6.2.5 QUALITÉ PERÇUE EN VISUEL

L'évaluation de la qualité perçue se déroule lors de l'analyse visuelle, sur une échelle structurée par cinq termes (très mauvaise, mauvaise, ni bonne ni mauvaise, bonne, très bonne). Les figures 6.13, 6.14 et 6.15 présentent les répartitions (en pourcentage) des réponses positives (très bonne, bonne qualité perçue), neutres (ni bonne ni mauvaise qualité perçue), et négatives (mauvaise et très mauvaise qualité perçue) pour l'ensemble des échantillons, évalués par couleur.

La figure 6.13 montre le pourcentage des réponses des évaluations de la qualité perçue des échantillons noirs. L'échantillon en 15/40-TKG a la proportion la plus haute de réponses positives (62%) et une très faible proportion de réponses négatives (13%). Les échantillons Mikado-TKG et 15/40-PPC ont la même proportion de réponses positives (48%), mais le 15/40-PPC a plus de réponses négatives que le Mikado-TKG. Les échantillons Mikado-PPC et Monde-TKG ont le même pourcentage de réponses négatives et positives, respectivement 38 % et 35%. L'échantillon Monde-PPC a un pourcentage de réponses négatives de 50%.

La figure 6.14 montre le pourcentage des réponses sur la qualité perçue des échantillons beiges. L'échantillon en 15/40-TKG obtient la proportion la plus importante de réponses positives (57%) et un faible pourcentage de réponses négatives (18%). Il est suivi de l'échantillon 15/40-TRC avec 55% de réponses positives et 25% de réponses négatives. L'échantillon Monde-TRC a un pourcentage de réponses négatives de 48%.

La figure 6.15 montre le pourcentage des réponses sur la qualité perçue des échantillons blancs. Les échantillons 15/40-TKG, Mikado-TKG, 15/40-TRC et Mikado-TRC ont tous environ 50% de réponses positives. Les deux autres échantillons (Monde-TKG et Monde-TRC) ont environ 1/3 de réponses positives, 1/3 de réponses neutres et 1/3 de réponses négatives.

L'évaluation de la qualité perçue par les clients a également pour but de vérifier si un échantillon qui est apprécié et aussi évalué de qualitatif. Le graphique de la figure 16 présente les résultats d'appréciation visuelle en abscisses, et les niveaux de qualité visuelle en ordonnées.

La droite de régression a un coefficient de corrélation de 0,835. On note que les échantillons grain Monde en TRC beige et en PPC noir ont un faible niveau de qualité par rapport à leur appréciation. Ces échantillons sont perçus comme ayant une faible qualité, sans pour autant être jugés désagréables.

6.2.6 DÉTERMINATION DES GROUPES DE CLIENTS

Dans le but de comprendre s'il existe différentes typologies de clients, avec des comportements différents dans leur évaluation, nous avons effectué une classification ascendante hiérarchique (CAH) des participants en fonction de leurs notes d'appréciation visuelle. Cette méthode de classification et de mesure des dissimilarités entre individus nous indique la présence de deux groupes différents. Le tableau 6.2 résume les caractéristiques des deux groupes et les graphiques de la figure 6.17 leur répartition en tranches d'âge.

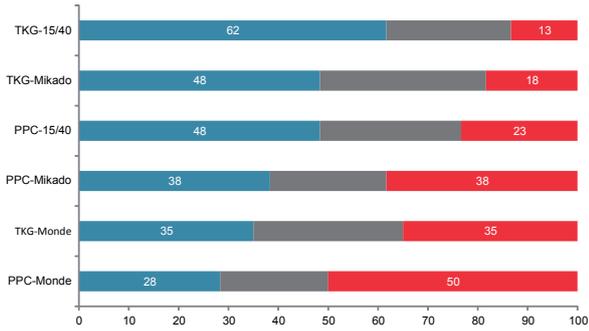


Fig. 6.13 : Pourcentages des réponses des évaluations de la qualité perçue pour des échantillons noirs. En bleu très bonne et bonne qualité perçue, en noir ni bonne ni mauvaise qualité perçue, en rouge mauvaise et très mauvaise qualité perçue.

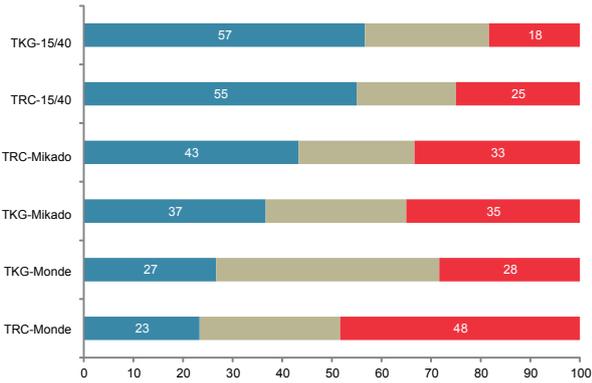


Fig. 6.14 : Pourcentages des réponses des évaluations de la qualité perçue pour des échantillons beiges. En bleu très bonne et bonne qualité perçue, en beige ni bonne ni mauvaise qualité perçue, en rouge mauvaise et très mauvaise qualité perçue.

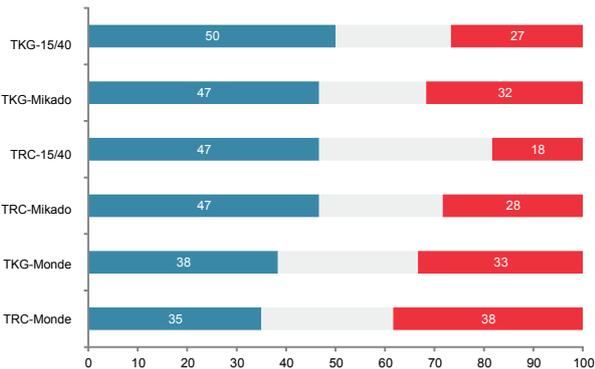


Fig. 6.15 : Pourcentages des réponses des évaluations de la qualité perçue pour des échantillons blancs. En bleu très bonne et bonne qualité perçue, en blanc ni bonne ni mauvaise qualité perçue, en rouge mauvaise et très mauvaise qualité perçue.

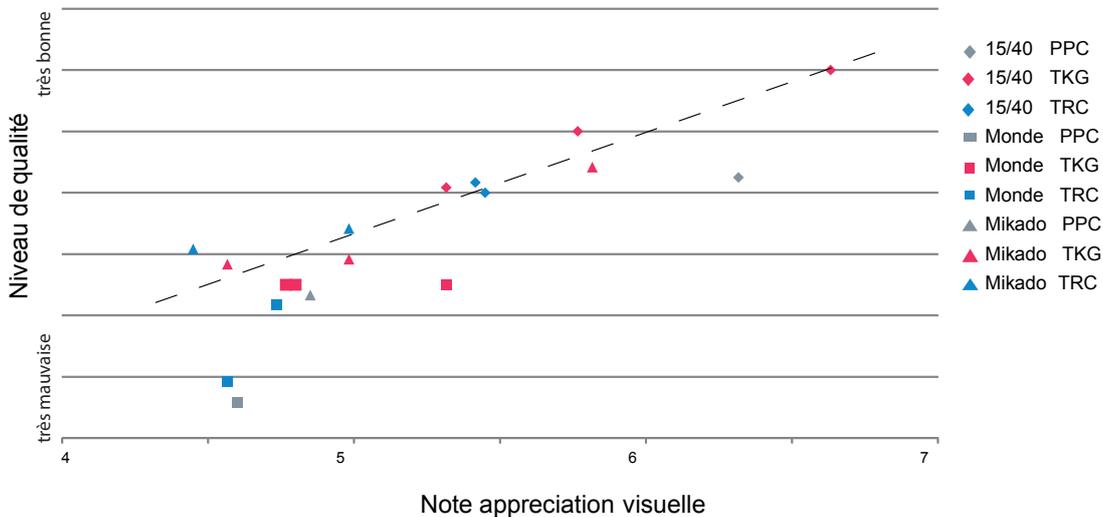


Fig. 6.16 : Appréciation vs qualité perçue. Résultats d'appréciation visuelle en x et en y les niveaux de qualité visuelle. (Code couleur : TKG en rouge, TRC en bleu, PPC en gris; code icônes : 15/40 représenté par un petit carré, Monde représenté par un grand carré, Mikado représenté par un triangle)

Le premier groupe (G1) est composé de 31 personnes, avec une répartition hommes/femmes homogène. 84% des personnes ont un véhicule acheté neuf et 26% possèdent un véhicule haut de gamme. Le groupe 1 est composé d'un tiers de personnes ayant moins de 35 ans, et plus de trois quarts ayant moins de 45 ans. Le groupe 2 (G2) est composé de 29 personnes. 66% ont acheté leur véhicule neuf et 10% possèdent un véhicule haut de gamme. Le groupe 2 est un groupe moins jeune que le groupe 1, 68% a moins de 45 ans et un tiers a entre 46 et 55 ans.

Les graphiques de la figure 6.18 reportent les appréciations visuelles des deux groupes. Les groupes se différencient par leurs appréciations du grain Mikado, le groupe 1 l'aime nettement en noir, en beige et en blanc, tandis que le groupe 2 a tendance à ne pas l'aimer surtout en blanc dans les deux matières (TKG et TRC) et en noir en PPC.

Le grain 15/40 est apprécié par les deux groupes en noir, de façon plus nette pour le groupe 2 que pour le groupe 1. En beige, il est moyennement aimé par le groupe 1, et très aimé par le groupe 2. En blanc, il est très apprécié par le groupe 1 et divise l'opinion du groupe 2 : une partie le rejette complètement, l'autre partie l'apprécie.

Le grain Monde en noir et en beige est moyennement apprécié par le groupe 2 et moyennement non apprécié par le groupe 1. Le groupe 2 aime nettement moins le grain Monde en blanc que dans les deux autres couleurs. Le groupe 1 a le comportement inverse et aime nettement plus le grain Monde en blanc, surtout en TKG.

Le groupe 1 peut être qualifié de plus « moderne » : il préfère le grain Mikado, un grain géométrique et plus moderne que les grains cuirs. Pour les grains cuirs, il préfère le noir et le blanc au beige, qui est une association plus classique. Le groupe 2 au contraire est plus « classique », il rejette le grain Mikado surtout en blanc et les grains cuir en blanc et apprécie les associations grain/couleur classiques, comme le grain 15/40 en beige et en noir.

Les résultats de l'analyse des groupes sont confirmés par l'analyse des notes par grain, et par couleur des deux groupes. Les graphiques 19 et 20 présentent les caractéristiques de la distribution des notes. La caractéristique centrale (la barre épaisse) représente la médiane des notes d'appréciation visuelle des grains et des couleurs. Les points bleus du graphique représentent les clients du groupe 1 et les points rouges les clients du groupe 2.

Le grain **15/40** est le plus apprécié par les deux groupes, le groupe 1 a des notes d'appréciation moins dispersées que le groupe 2 dans l'évaluation de ce grain. Le grain **Mikado** est apprécié par le groupe 1 et rejeté par le groupe 2. Le grain **Monde** est le moins apprécié, sa médiane est de 4,5. Il est globalement apprécié par le groupe 2 et rejeté par le groupe 1.

La teinte la plus appréciée est le **noir**, avec une moyenne de 6. Les deux groupes ont des écarts de notes relativement importants dans l'appréciation de cette teinte, de 3,5 à 7.

La teinte **beige** a une médiane de 5,3. Les notes d'appréciation des deux groupes sont divisées en deux, une partie à une appréciation positive, l'autre une appréciation négative. Le groupe 2 a cependant plus de variations dans les notes pour la teinte beige que le groupe 1. Le **blanc** est la teinte avec la médiane la plus basse, de 4,7. Cette teinte n'est pas appréciée par le groupe 2 mais elle est la plus appréciée par le groupe 1.

	Groupe 1	Groupe 2
nombre de personnes	31	29
distrubution H/F	42 F / 58 H	41 F / 59 H
personnes en couple	77%	83%
ayant des enfants	67%	79%
achat neuf véhicule	84%	66%
véhicule haut de gamme	26%	10%

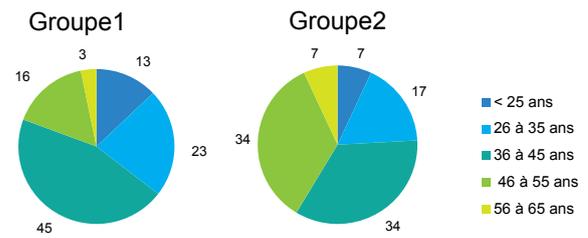


Tableau 6.2 : Caractéristiques des deux groupes.

Fig. 6.17 : Répartitions des âges des deux groupes.

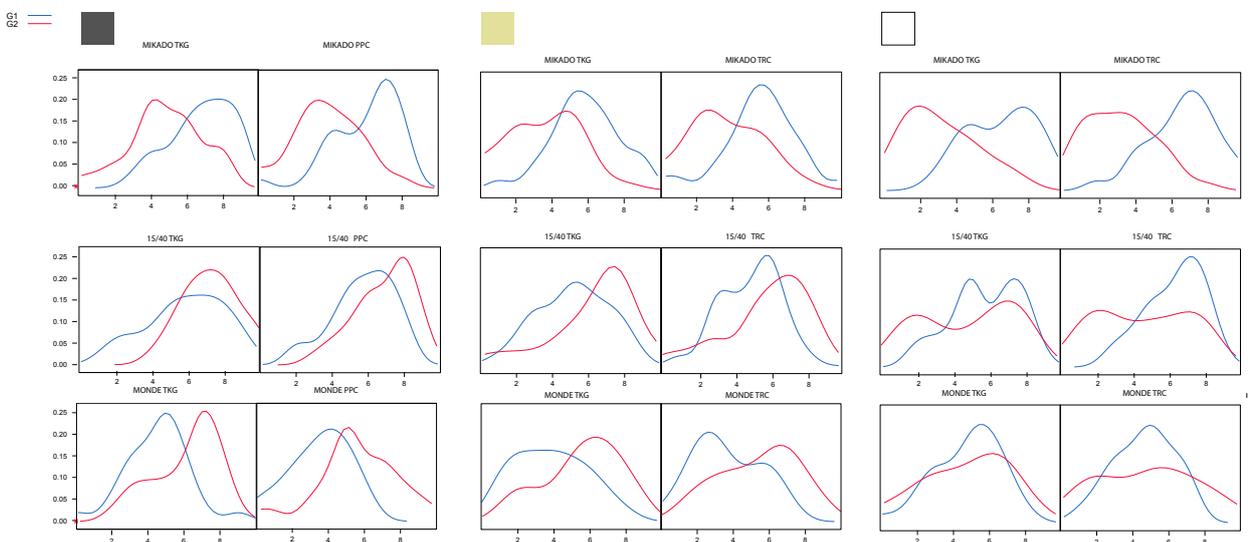


Fig. 6.18 : Appréciations visuelles des deux groupes G1 en bleu, G2 en rouge par couleurs. Pour chaque couleur les grains sont en ligne et les matières en colonne.

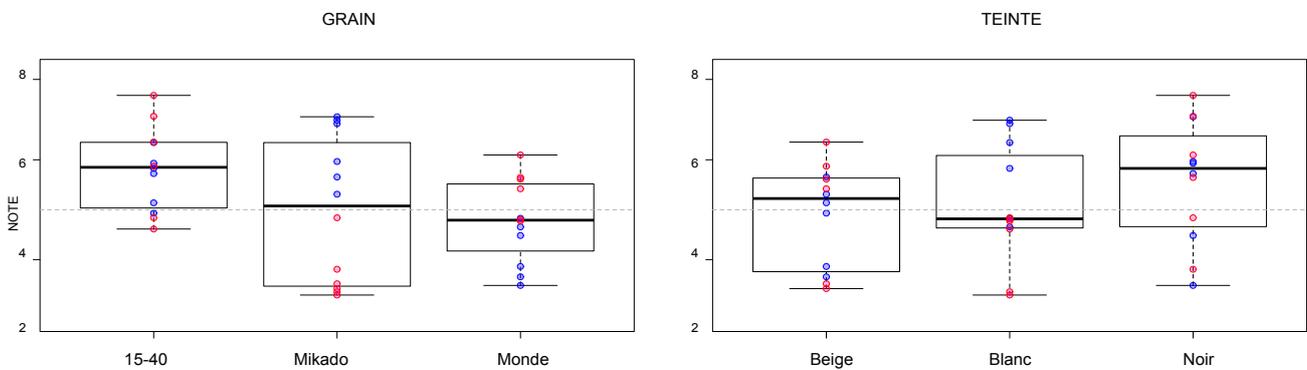


Fig. 6.19 : Boîtes à moustache de l'appréciation visuelle des grains des groupes G1 en bleu et G2 en rouge.

Fig. 6.20 : Boîtes à moustache de l'appréciation visuelle des couleurs des groupes G1 en bleu et G2 en rouge.

6.3 ANALYSE LEXICALE

Les clients motivent leurs notes en laissant des commentaires sur les aspects des échantillons reliés à leur niveau d'appréciation. L'analyse lexicale des commentaires a pour but de répondre à différentes questions. Pour l'ensemble des clients, nous voulons savoir :

- Quels sont les aspects des échantillons les plus importants pour chaque critère sensoriel ?
- Ces aspects sont-ils positifs ou négatifs ?
- Quels termes sont reliés aux échantillons ?
- Comment les termes se regroupent ?

L'analyse des évaluations des échantillons nous a permis de différencier deux types de clients, les groupes 1 et 2. L'analyse lexicale nous permettra également de comprendre les motifs des divergences d'évaluations des deux groupes.

6.3.1 STRUCTURE DU CORPUS

Les commentaires recueillis comptent un total de 439 mots différents, employés 14246 fois.

Nous avons réparti les fréquences d'utilisation des termes en fonction des parties de l'enquête afin de voir quels sont les mots les plus employés pour la partie tactile (T en jaune), visuelle d'appréciation (VA en azur) et de qualité perçue (VQ en bleu) et visio-tactile (VT en vert). Le but étant de comprendre quelles sont les caractéristiques que les clients regardent pour évaluer les échantillons. La figure 6.21 reporte la structure du corpus issue des commentaires de l'enquête client.

Le corpus de la partie tactile est le moins important (11%). Les corpus des trois autres parties ont des fréquences similaires (environ 30%). La richesse du vocabulaire employé dans les différentes parties suit la répartition de la fréquence d'utilisation (fig. 6.22).

Pour chaque terme employé, nous avons regardé s'il était employé de manière positive, négative ou neutre. Le graphique de la figure 6.23 présente les répartitions des valences d'emploi pour l'ensemble des termes dans les différentes étapes de l'enquête. Grâce à la fréquence d'utilisation, on note que les termes sont employés majoritairement de manière négative. Les clients ont plus de facilité à s'exprimer sur ce qui ne leur convient pas, que sur ce qui leur convient.

Les graphiques 6.24 et 6.25 présentent les termes employés en fonction de leur fréquence sur l'ensemble de l'enquête. On note que les termes les plus employés sont les termes « trop » (1500 fois) et « plus » (1030 fois). Ces termes nous indiquent que la logique employée dans l'évaluation de l'appréciation est une logique comparative, les échantillons sont évalués comme « trop » brillants ou « trop » lisses, ou « plus » lisses et « plus » brillants que d'autres.

Nous avons décidé d'enlever du corpus les adverbes de quantité comparatifs et superlatifs, ainsi que les verbes pour ne garder que les adjectifs et les noms. Le graphique de la figure 25 reporte les fréquences des termes du corpus épuré.

Le mot le plus fréquemment employé est le mot «toucher» (1026 fois), suivi des mots «grain», «couleur», «aspect», «motif», «blanc», «agréable» etc. On peut regrouper ces termes en plusieurs catégories :

- en lien avec les modalités sensorielles,
- en lien avec les grains («grain», «motif», «lisse»),

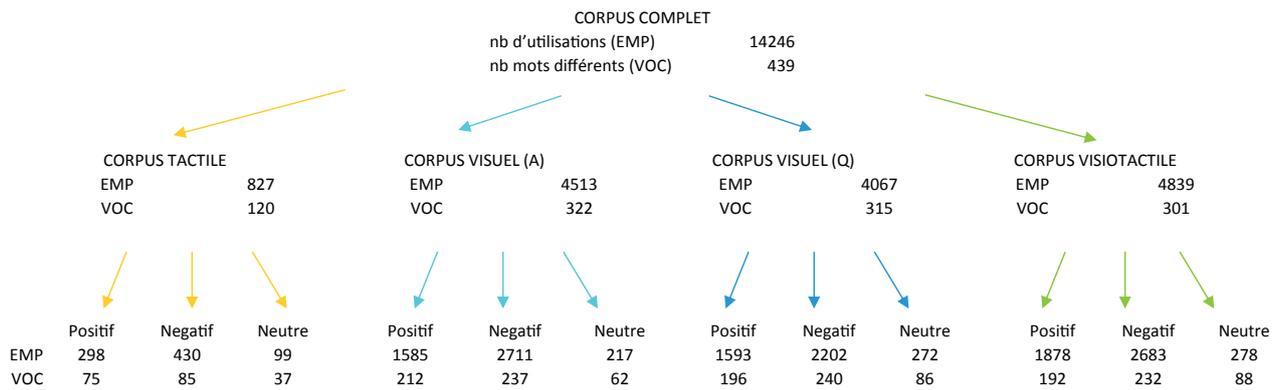


Fig. 6.21 : Structure du corpus lexical. Partie tactile (T) en jaune, visuelle d'appréciation (VA) en azur, de qualité perçue (VQ) en bleu et visio-tactile (VT) en vert.

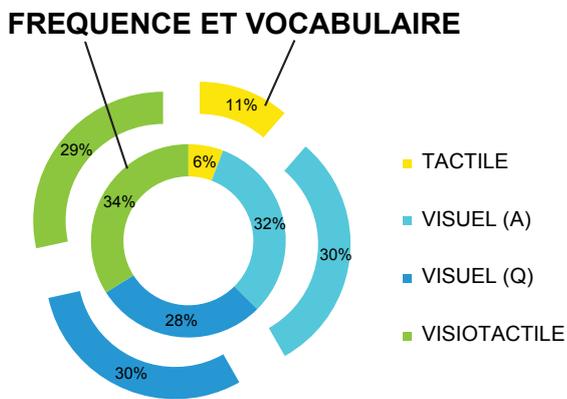


Fig. 6.22 : Pourcentages des fréquences d'emploi et de la richesse de vocabulaire du corpus lexical. Partie tactile (T) en jaune, visuelle d'appréciation (VA) en azur, de qualité perçue (VQ) en bleu et visio-tactile (VT) en vert.

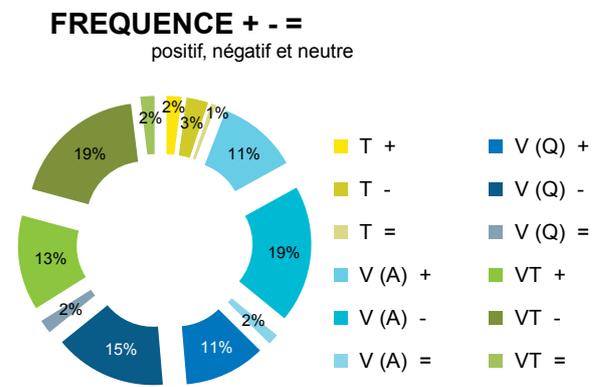


Fig. 6.23 : Pourcentages des fréquences d'emploi en positif, négatif et neutre par partie de l'enquête. Partie tactile (T) en jaune, visuelle d'appréciation (VA) en azur, de qualité perçue (VQ) en bleu et visio-tactile (VT) en vert.

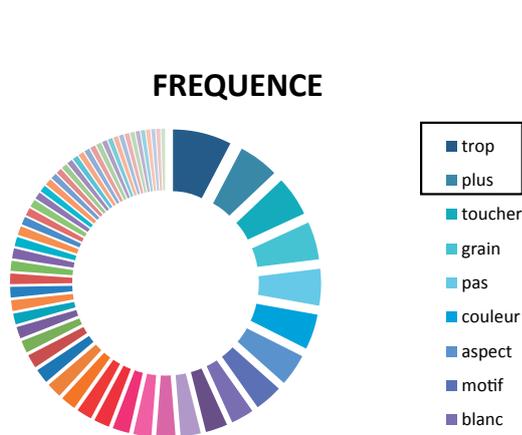


Fig. 6.24 : Fréquences des termes du corpus total.

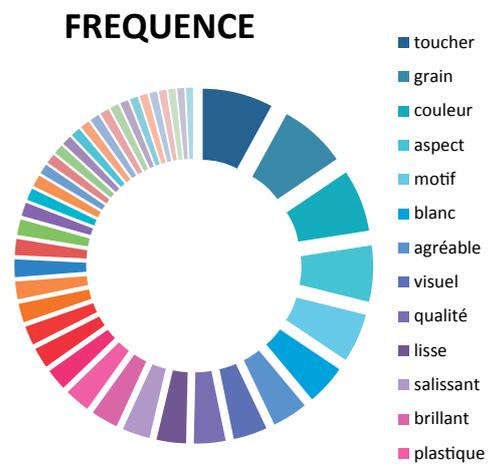


Fig. 6.25 : Fréquences des termes du corpus épuré.

- en lien avec les couleurs («couleur», «blanc»),
- en lien avec l'appréciation («agréable», «qualité», «salissant»)
- et en lien avec les matières («brillant», «plastique»).

6.3.2 FRÉQUENCES DES TERMES PAR MODALITÉ SENSORIELLE

Les graphiques des figures 6.26, 6.27, 6.28, 6.29 présentent les termes employés dans les différentes parties de l'enquête. Le but est de :

- Mettre en relief les aspects les plus importants pour chaque critère sensoriel
- Comprendre si ces aspects sont positifs ou négatifs

Les diagrammes circulaires illustrent les termes employés avec une fréquence supérieure à 10 pour le tactile et 25 pour les autres parties de l'enquête. Les histogrammes des fréquences mettent en évidence la répartition en valence négative (rouge), positive (bleu) ou neutre (gris).

La figure 6.26 illustre les commentaires de l'appréciation tactile des échantillons. Le terme le plus employé est le terme « lisse », principalement employé en négatif, suivi du terme « agréable », employé en positif, et du terme « grain », plutôt en négatif. Le terme « plastique » est le 4ème terme le plus employé, son utilisation est uniquement négative. Suivent ensuite les termes « doux » (positif), « dur » (négatif), « granuleux » (négatif) et « rugueux » (négatif).

Pour l'évaluation tactile, les commentaires des participants se focalisent sur les sensations tactiles des échantillons. Les centres d'intérêts se focalisent sur le caractère agréable, doux et lisse du grain. Une pièce dure, avec un grain dont le relief est important, est commentée de façon négative. Les commentaires de l'évaluation visuelle sont présentés par les graphiques de la figure 6.27.

Le terme avec la plus haute fréquence d'utilisation est le terme « couleur », suivi de « grain », « motif » et « aspect ». Ces termes sont employés majoritairement de manière négative, sauf pour le terme « aspect », employé plutôt en positif. Les termes « brillant » et « salissant » sont employés principalement en négatif, tandis que les termes « cuir » « mat » et « agréable » sont principalement utilisés positivement.

Pour l'appréciation visuelle, les clients regardent donc la couleur et le grain. Ces deux aspects semblent avoir le même poids dans le jugement des échantillons. La plus grande partie des termes employés est constituée de termes descriptifs. Les termes descriptifs ont une répartition homogène en valences négatives et positives. Les termes qui nous renseignent le mieux sur ce qui est déterminant pour les clients sont les termes qui ont une valence soit très positive, soit très négative.

En visuel, les aspects appréciés par les clients sont l'aspect cuir, mat et agréable. L'originalité de certains échantillons est aussi appréciée. L'aspect brillant ou un grain trop gros ou trop marqué ne sont pas appréciés. L'emploi du terme « salissant » en négatif indique une projection du client dans l'utilisation des échantillons, une crainte. Ceci se retrouve également dans la valence principalement négative des termes « blanc », « beige » et « clair ».

La qualité visuelle des échantillons est commentée par les clients avec les mêmes termes que l'appréciation visuelle (Fig. 6.28). On retrouve les termes « grain », « aspect », « couleur » etc. Ceci est en accord avec les résultats présentés par la figure 16, qui montre une bonne corrélation entre les

Fig. 6.26 : Fréquences des termes d'appréciation en tactile.

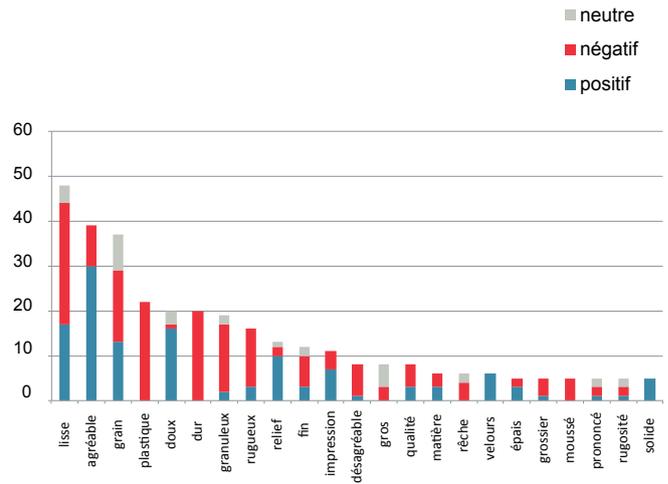
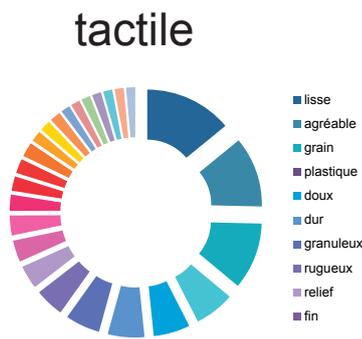


Fig. 6.27 : Fréquences des termes d'appréciation en visuel.

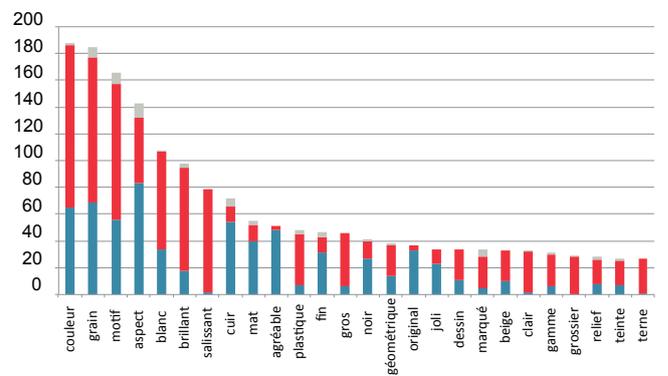
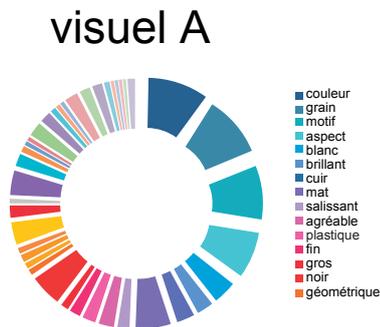


Fig. 6.28 : Fréquences des termes en visuel qualité perçue.

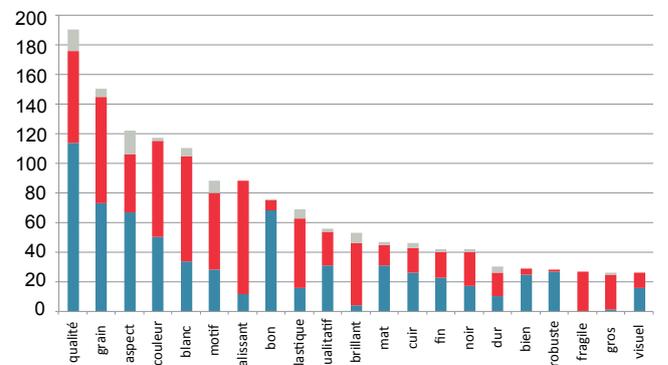
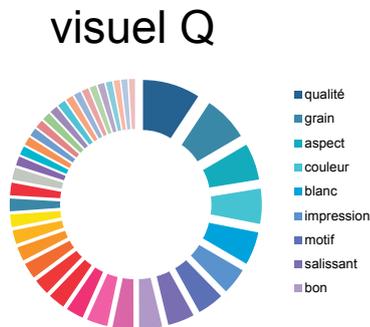
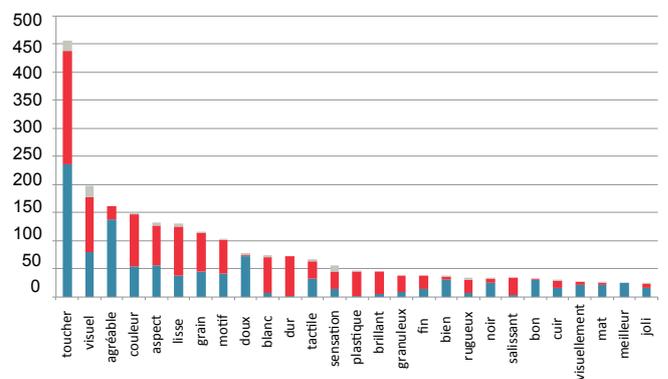
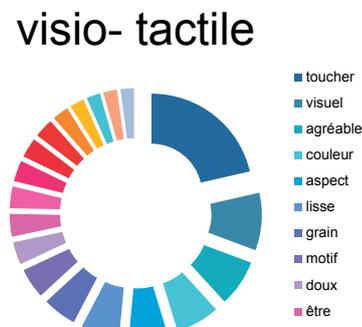


Fig. 6.29 : Fréquences des termes d'appréciation en visio-tactile.



notes d'appréciation visuelle et l'évaluation de la qualité perçue.

On peut donc affirmer que les arguments employés pour commenter l'appréciation et la qualité sont les mêmes. En d'autres termes, les clients apprécient ce qui est de qualité et ce qui «fait qualité» pour les mêmes raisons.

Au niveau visio-tactile (Fig. 6.29), les clients semblent faire un bilan des aspects pris en considération dans les parties visuelles et tactiles. Le terme «toucher» est celui utilisé avec une plus grande fréquence, avec les mêmes valences négatif/positif. On retrouve l'ensemble des termes tactiles et visuels les plus importants. La couleur reste un des aspects les plus discutés, suivi de près par des aspects tactiles comme «lisse» et «doux».

6.3.3 MISE EN RELATION DES TERMES DES ÉCHANTILLONS NOIR EN APPRÉCIATION VISUELLE

Le corpus lexical nous permet de mettre en relation les termes avec les échantillons évalués en appréciation visuelle. La figure 6.30 présente les échantillons et les termes en fonction de leur fréquence d'utilisation dans un diagramme de dualité issu d'une analyse des correspondances sommaire [101][102][103]. Plus les échantillons sont proches, plus ils possèdent des «profils lexicaux» semblables. La proximité des échantillons aux axes des termes indique la fréquence d'emploi du terme dans le commentaire de l'évaluation de l'échantillon.

On remarque que les échantillons de même grain et couleur, et de matières différentes sont très rapprochés, surtout pour les échantillons blancs. Les distances entre les échantillons de même grain en noir et la distance entre échantillons de grain Monde en beige, sont plus importantes. Ceci indique que ces échantillons sont qualifiés avec des combinaisons de termes et fréquences différents.

Les échantillons blancs sont positionnés sur la moitié supérieure de l'espace, tandis que les échantillons noirs et beiges n'ont pas de zone propre. La zone des échantillons blancs est caractérisée par la présence des termes « blanc », « salissant », « doux » et « clair ». Le grain Mikado occupe la zone de droite du diagramme. Cette zone est caractérisée par les termes « original », « moderne », « géométrique », « dessin » et « forme ».

Les échantillons en grain 15/40 et grain Monde occupent la partie gauche du diagramme. Le grain 15/40 se différencie du grain Monde par son positionnement plus haut. Ceci est lié au fait que le bas du diagramme présente les termes « gros » « grossier » « bas de gamme » « vieillot » tandis que le haut présente les termes « lisse » « peau » « fin » et « discret ».

Pour les échantillons beiges et noirs, on remarque que la matière TKG est toujours placée plus haut que pour le TRC pour les beiges et le PPC pour le noir.

6.3.4 FOCUS SUR LES FRÉQUENCES DES TERMES DES ÉCHANTILLONS NOIR EN APPRÉCIATION VISUELLE

Les graphiques de la figure 6.31 illustrent les termes employés pour les échantillons noirs pendant l'appréciation visuelle. Nous avons considéré uniquement les échantillons noirs étant donné qu'ils sont ceux majoritairement différenciés dans les appréciations de l'enquête. Les échantillons sont présentés en colonne selon les matières (TKG et PPC) et en ligne selon les grains (Mikado, 15/40 et Monde).

Les termes pris en considération ont des fréquences d'emploi supérieures à 2. Nous considérons uniquement les termes employés en positif et en négatif. Le but est de comprendre les termes employés pour justifier les évaluations des échantillons, et si leur valence est positive ou négative.

On note que le terme « mat » n'apparaît que pour la colonne des échantillons en TKG, de façon très fréquente et avec une valence uniquement positive pour les grains Mikado et 15/40, moins fréquemment pour le grain Monde. Le terme « brillant », au contraire, n'apparaît que dans la colonne des échantillons en PPC avec une très haute fréquence. Pour les grains Mikado et 15/40, sa valence est principalement négative, pour le grain Monde principalement positive.

Le grain Mikado est caractérisé par l'apparition des termes « original », « agréable », « moderne » et « sympathique » avec des valences uniquement positives et le terme « géométrique » en valence principalement négative. Ceci indique que certains considèrent positivement ce grain géométrique car original et moderne, tandis que d'autres n'apprécient pas ce même caractère.

Le grain 15/40 est caractérisé par l'apparition des termes « cuir », « agréable » et « sobre » avec des valences uniquement positives et les termes « lisse », « matériaux », « terne » et « sembler » en valence négative. Ceci indique que certains considèrent positivement ce grain car c'est un grain cuir sobre et fin, mais n'apprécient pas le côté terne du matériau surtout en matière TKG.

Contrairement au 15/40, caractérisé par une valence uniquement positive pour le terme « cuir », le grain Monde n'est pas toujours apprécié. Il est décrit négativement comme « gros » et « grossier », « bas de gamme », « vieillot » et « sobre ». Certains trouvent ce grain « agréable » en TKG et apprécient son côté « dur » en PPC.

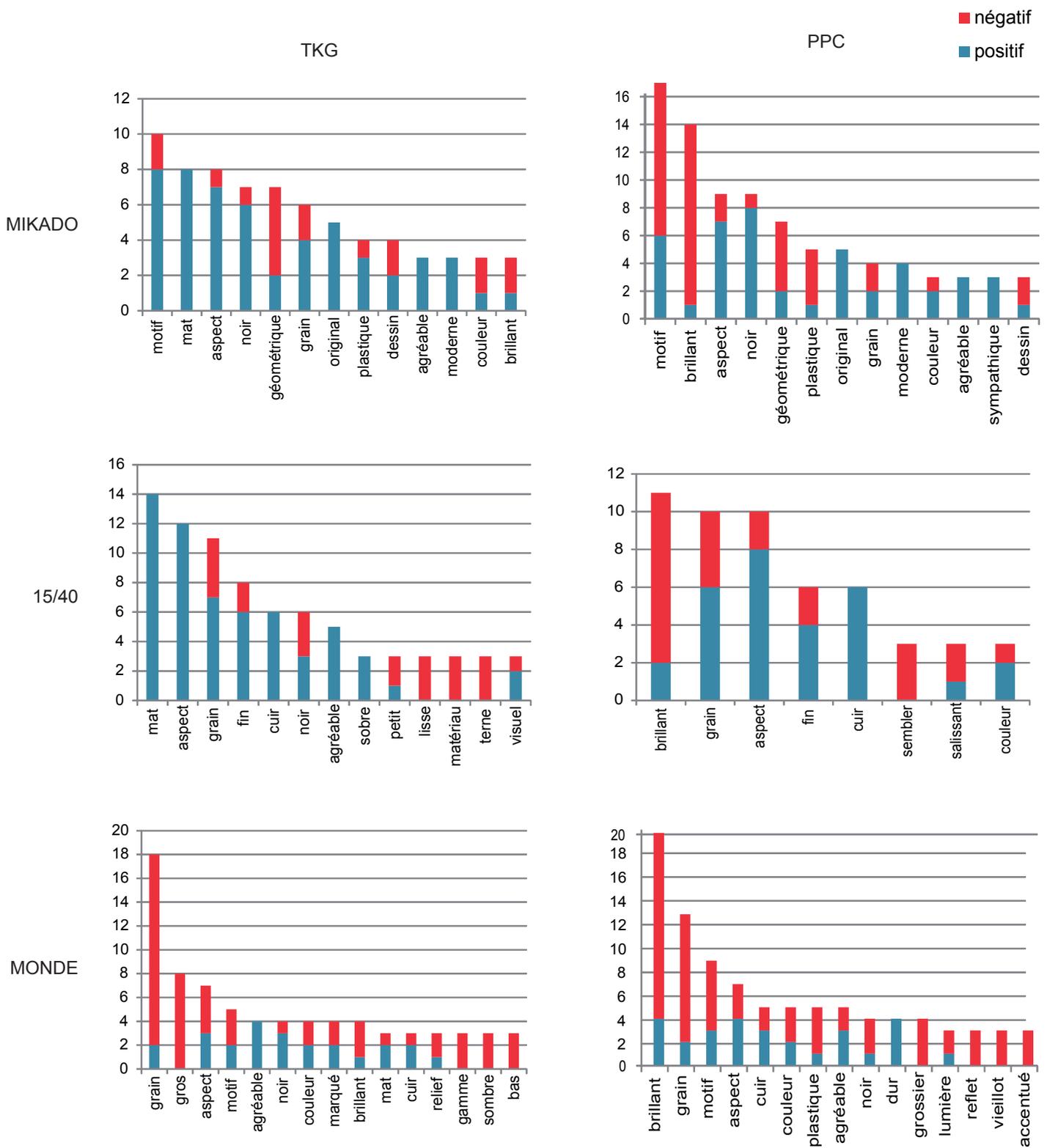


Fig. 6.31 : Histogrammes des fréquences des termes d'appréciation en visuel des échantillons noirs. En colonne les matières : TKG et PPC ; en ligne les grains : Mikado, 15/40 et Monde.

6.3.5 MISE EN RELATION DES TERMES DES ÉCHANTILLONS ET DES NOTES D'APPRECIATION VISUELLES EN FONCTION DES GROUPES

L'analyse des notes d'appréciation du chapitre 6.2 nous a permis d'identifier deux groupes G1 et G2 qui se différencient dans leurs appréciations des échantillons.

Le groupe 1 préfère le grain Mikado, un grain géométrique et moderne aux grains cuirs. Pour les grains cuirs, il préfère le noir et le blanc au beige, qui est une association plus classique. Le groupe 2 rejette le Mikado surtout en blanc. Il rejette également les grains cuirs en blanc. Le groupe 2 apprécie les associations grain couleur classique, comme le grain 15/40 en beige et en noir. Dans ce chapitre, nous examinons si ces résultats sont confirmés par l'analyse lexicale.

L'usage de certains termes est consensuel pour l'ensemble des clients et leurs notes sont en lien avec la fréquence d'emploi dans les commentaires. Un bon exemple, illustré par la figure 6.32, est l'usage du terme « plastique », utilisé par les deux groupes, où la fréquence d'utilisation est liée avec une baisse des notes d'appréciation.

La fréquence d'usage d'autres termes et le lien avec les notes moyennes dépendent des groupes. La mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « géométrique » et de la note d'appréciation associée à l'échantillon pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge est présentée par la figure 6.33. Le terme « géométrique » est principalement employé par le groupe 2 et est associé par une note négative. De même pour le terme « salissant » (Fig. 6.34). Le terme « vieillot » (Fig. 6.35), au contraire est plus employé par le groupe 1 et associé à une note négative, dont la valeur est liée à la fréquence. Plus le terme « vieillot » est employé plus la note est basse.

6.3.6 MATRICE DE COOCCURRENCE, MATRICE MOT/ MOT

Les matrices de cooccurrence permettent de mettre en relief les termes qui apparaissent ensemble fréquemment. C'est une matrice mot-mot où les valeurs représentent le nombre de fois que le mot *i* va se trouver en présence du mot *j* dans les commentaires des clients. Dans une telle matrice, si deux mots sont cooccurrent, nous supposons que ces deux mots ont une relation dans leurs sens et leurs utilisations. L'analyse de la cooccurrence de termes de certains échantillons nous permet d'extrapoler les arguments des clients dans leur évaluation. Nous présentons ici, les matrices de cooccurrence des échantillons noirs. Nous allons considérer la matrice des termes en valence positive et négative des deux groupes. Le Tableau 6.3 regroupe les termes avec une cooccurrence de 1 des matrices des échantillons.

Le groupe 1 décrit le grain Mikado comme ayant un « design luxueux ». Ils apprécient le côté régulier du grain, et son impression de qualité. La cooccurrence des termes « faire », « penser », « moussé » et « donner », « nouveau », « toucher » indique des qualités tactiles attribuées aux impressions visuelles du grain. Ce groupe le préfère en TKG et apprécie l'aspect visuel de la matière (cooccurrence termes « beau », « matière », « regard »).

Certains n'apprécient pas le côté géométrique du grain, le motif est qualifié de « vieillot », « sans

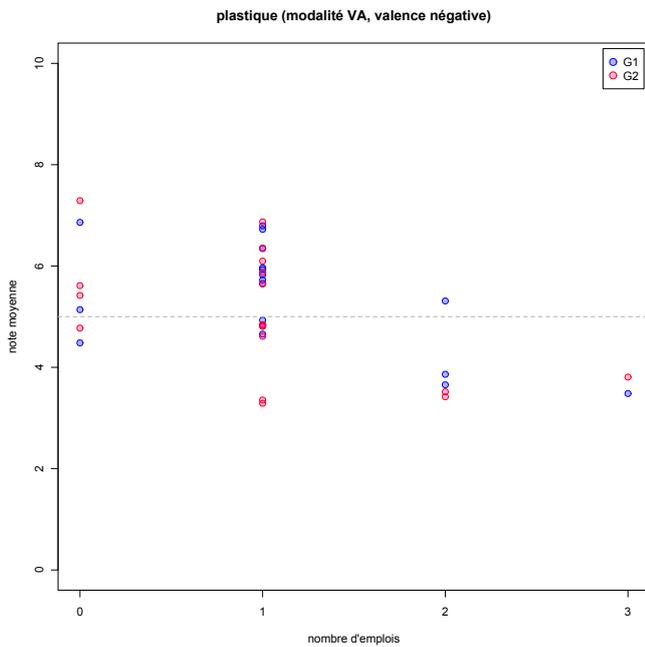


Fig. 6.32 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « plastique » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.

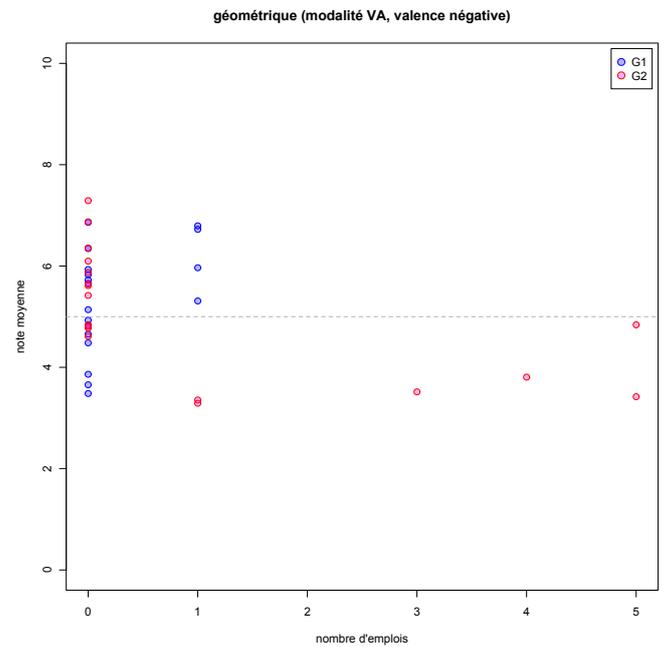


Fig. 6.33 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « géométrique » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.

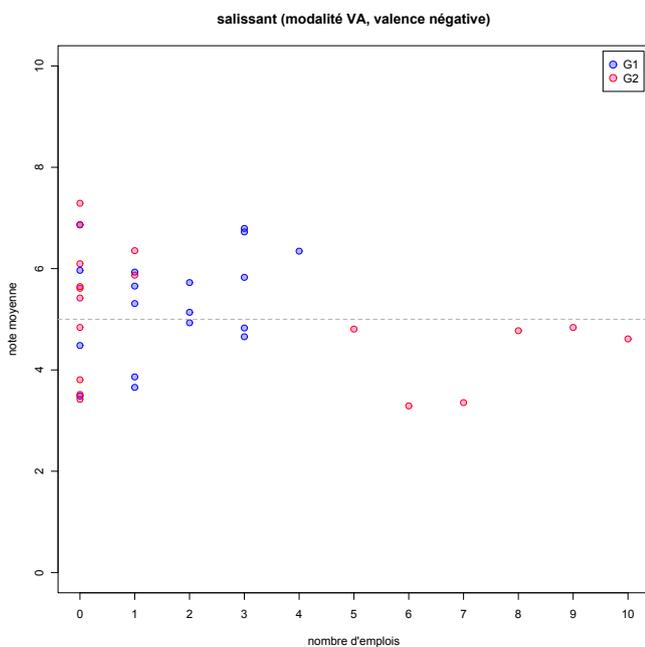


Fig. 6.34 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « salissant » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.

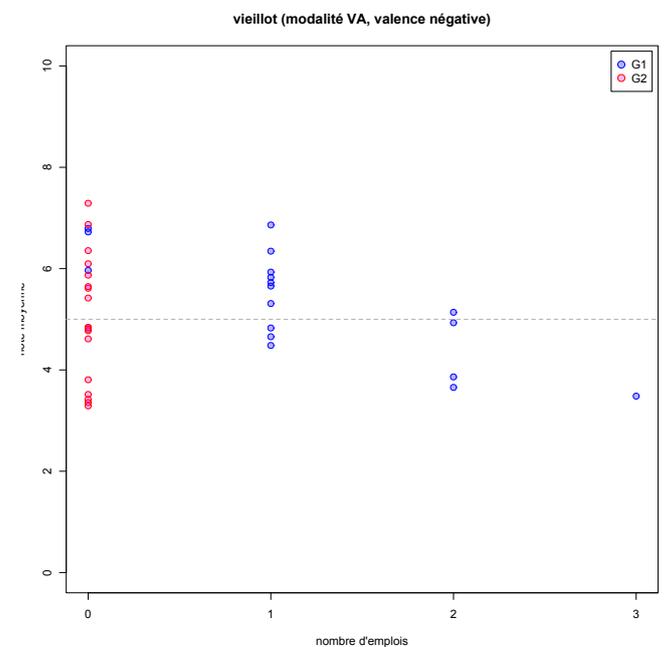


Fig. 6.35 : Mise en relation de la fréquence d'apparition du terme « vieillot » (axe des x) et de la note d'appréciation associée à l'échantillon (axe des y) pour les groupes G1 en bleu et G2 en rouge.

style», surtout pour l'échantillon en PPC qui est décrit comme «rugueux», «cheap» et «toc». Le PPC est décrit comme plus «dur» que le TKG et plus «plastique», son relief est décrit comme plus «marqué».

Les clients du groupe 2 ont la même préférence pour le grain Mikado en TKG, décrit comme plus «mat» par rapport à celui en PPC. On retrouve la même critique que le groupe précédent sur le relief visuel de l'échantillon en PPC, avec une «structure qui fatigue» visuellement. Les clients du groupe 2 affirment que même si le grain n'est pas si mauvais, ils craignent qu'il soit fatiguant pour une grande pièce comme la planche de bord et le préféreraient appliqué à des éléments plus petits. Certains trouvent le grain «géométrique», «moderne» et «propre», certains trouvent qu'il ne fait «pas assez chic».

Pour le grain 15/40, l'appréciation est motivée par l'aspect cuir, décrit par les termes «naturel», «sobre», «doux» et «chaud». En TKG, le brillant de la pièce est apprécié par les deux groupes (G1 : «favorable lumière», «préférer brillant», «briller», «donner» et «joli». G2 : «haut de gamme», «moins plastique», «apparence», «doux», «discret», «pas brillant»). Pour cette matière, les clients du groupe 2 affirment apprécier sa couleur.

Les critiques du grain 15/40 sont, pour le groupe 1 sur le côté «vieillot» du motif, «salissant» et «plastique». Le groupe 2 le qualifie de «sobre», «terne», «triste» et «trop lisse».

Le grain Monde est critiqué par les deux groupes pour son aspect «faux cuir», «neutre», «quelconque», «bas de gamme», «épais», «vieillot», «sobre», «triste» et «dur». Surtout en TKG, le groupe 1 le trouve «terne», avec un aspect de «peau flétrie et malade».

Le groupe 2 apprécie plus le grain Monde que le groupe 1, certains le trouvent «solide» et «agréable».

6.4 MISE EN RELATION ENTRE NOTES D'APPRECIATION ET CARACTÉRISTIQUES SENSORIELLES DES ÉCHANTILLONS NOIRS

Afin de comprendre quelles caractéristiques sensorielles sont reliées à la qualité perçue, nous avons calculé les corrélations entre les notes de l'enquête qualité et les notes par descripteur des échantillons noirs (tableau 6.4).

Les descripteurs avec les corrélations les plus importantes sont *Contraste de brillant* (-0,87) et *Brillant* (-0,82), suivis de *Dimension* (-0,79) et *Netteté* (-0,73). Lorsque le contraste de brillant, le brillant, la dimension et la netteté augmentent, l'appréciation des échantillons diminue et inversement.

Les corrélations des descripteurs *Contraste de Brillant* et *Brillant* sont consensuelles pour les deux groupes, surtout pour le descripteur *Brillant*. Ces deux descripteurs sont des descripteurs de qualité des pièces.

Mis à part les descripteurs de *Dimension*, *Densité* et *Occupation de l'espace*, les autres descripteurs ont des valeurs de corrélation opposées selon le groupe. Leurs valeurs confirment les profils des

		TKG	PPC		
MIKADO	G1	design luxueux impression qualité faire penser moussé donner nouveau toucher moins favorable satiné préférer TKG-MIKADO résistant robuste graphisme plaire beige passer plastique beau matière regard	géométrie grain mais motif faire vieillot pas style	donner nouveau toucher luxueux design oeil régulier dessin impression qualité appréciable être pouvo satiné	dur plastique plus sembler TKG-N-MIKADO géométrie grain cheap rugueux toc marqué relief effet visuel aimer couleur être avoir changer moins noir petit teinte
	G2	grain original plat brillant aimer plus PPC-MIKADO atténuer passer coloris effet négatif aspect haut gamme moins typé	(pas) aimer dur noir strict (pas) assez chic grain fin sombre triste répétition (pas) mauvais mais plutôt surface petit élément	convenir plastique triangle brillant géométrique impression moderne motif propre	peu visible dur (pas) flatteur strict bas gamme prononcé relief fatiguant oeil structure sombre triste moins mat TKG-MIKADO (pas) assez chic grain fin répétition (pas) mauvais mais plutôt surface petit élément
15/40	G1	faire léger moderne PPC-N-MONDE préférer brillant naturel structuré sombre chaud doux favorable lumière briller donner joli trop fin grain arbre lézard animal apprécier écorce efficace	poussière prendre sembler trace couleur fin aimer esthétique trame vieillot motif plastique plus pouvo fragile blanc déjà nouveauté ressenti salissant visuellement	grain parfaitement peau perceptible imitation doux beau aspect faire léger moderne plus PPC-MONDE	entrée gamme fin marqué noble paraître poussière prendre trace noir trame esthétique être dur plastique nouveauté ressenti visuellement voir déjà blanc
	G2	gamme haut moins plastique typé motif petit TKG-MONDE être profond coloris discret faire faible niveau apparence doux pas brillant couleur uniforme finesse présent apporter qualité	pas fin moins noir désagréable sembler fragile rugosité visuel PPC-15/40 aspérité lisse manquer trop	meilleur qualité visuellement mais mat moins raffiné bon niveau uniformité accrocher évoquer lumière peu entretien facile robuste	faire plastique sombre triste rugosité visuel sembler terme dessus laisser penser être mat moins grain pas finesse marqué perdre
MONDE	G1	PPC-MONDE sembler moins relief aspect mat naturel plus favorable noir dessin est_ok chaud confort sensation grain pas désagréable mais (un) peu brillant	faire effet faux cuir noir accentué couleur motif neutre quelconque creux clair gamme bas aspect rugosité PPC-MONDE épais vieillot flétri malade peau ressembler type vieux apprécier	peu brillant aspect sympathique	bas gamme dur plastique style aspect plus relief ressortir neutre quelconque beige faux
	G2	marqué aller bien donner chaud pas reflet trop sembler toucher grain valorisant non original symétrie taille	clair couleur moins bas gamme rester visible plastique rugueux PPC-MONDE terme sombre triste dur visuel important motif sembler assez discret (en) blanc	meilleur plus qualité évoquer lumineux sembler toucher originalité taille lumière visuel rappeler riche impression solidité donner plaire sympathique dessin gamme haut moins plastique typé	assez (en) blanc discret relief sensation dur impression clinquant donner sombre triste accentué visuellement peau clair couleur

Tableau 6.3 : Analyse des matrices de cooccurrence des termes des échantillons noirs.

	ORG	ALLONG	ANGUL	BRILL	COMPLEX	CONTR	DENS	DIM	LISIB	NET	OCCUP	RELIEF
note_G1	0,63	-0,84	-0,91	-0,51	-0,82	-0,76	0,10	-0,07	0,60	0,09	0,81	-0,92
note_G2	-0,87	0,57	0,47	-0,54	0,69	-0,38	0,76	-0,90	-0,86	-0,96	0,08	0,43
note_moy	-0,26	-0,14	-0,27	-0,82	-0,02	-0,87	0,70	-0,79	-0,28	-0,73	0,65	-0,31

Tableau 6.4 : Corrélations entre notes d'appréciation et valeurs des descripteurs sensoriels des échantillons noirs.

deux groupes tracées par les analyses précédentes (analyse des appréciations 6.2 et lexicale 6.3). Le groupe 1 apprécie *l'organisation* et la *lisibilité* et rejette *l'allongement*, la *complexité*, *l'angulosité* et le *relief*. Le groupe 2 a le comportement inverse, il refuse la *lisibilité*, *l'organisation*, la *dimension* et la *netteté* et apprécie la *complexité*.

Ces descripteurs sont donc des descripteurs de *fantaisie* du grain, qui décrivent son dessin et sont sujets à des appréciations très différentes en fonction des goûts des clients. Ce ne sont pas des descripteurs qui font référence à une qualité au sens classique, mais des descripteurs de caractérisation esthétique des grains. Ils peuvent être extrêmement utiles pour la conception de nouvelles fantaisies de grains, permettant des préconisations sur les caractéristiques attendues.

Nous avons calculé la meilleure régression sur les données «panel» par rapport aux évaluation de qualité visuelle en se limitant à 3 variables. Le résultat (figure 6.36) utilise les descripteurs de *Brillant*, *Contraste de brillant* et *Netteté*. Ce résultat confirme que les appréciations des échantillons sont principalement en lien avec la matière (représentée par les deux descripteurs qui varient en fonction des matières à iso-grain : *Brillant* et *Contraste de brillant*) et également avec le grain (représenté par le descripteur *Netteté*).

Du point de vue statistique, le modèle n'est pas très stable (tableau 6.5). Ceci est issu de la faible amplitude de note d'appréciation des échantillons (qui varie entre 4 et 7).

Le *Brillant* est le descripteur qui a la contribution la moins significative dans le modèle global. En effet, sa contribution change dans les deux groupes : il est positif dans le groupe 1, et négatif dans le groupe 2 et sa contribution globale n'est pas significative.

Le signe des contributions des deux autres paramètres varie également en fonction des groupes (tableau 6.6 et 6.7).

Ces résultats confirment une fois de plus les logiques des deux groupes. Pour le groupe 2, qui apprécie les grains cuirs, l'augmentation de *Brillant* et de *Netteté* sont liées à une baisse de l'appréciation. En effet, les grains cuirs font parties des fantaisies qui appartiennent au contexte sémantique de la sellerie. L'archétype d'un cuir de qualité se traduit par une peau avec une trame fine (dans notre cas un grain cuir avec une faible *Netteté*) et relativement peu *Brillant*.

Pour le groupe deux, caractérisé par une appréciation du grain Mikado, l'importance du brillant est moindre et inversée. Pour ce genre de fantaisies, le *Brillant* n'est pas obligatoirement lié à l'idée de qualité et on privilégie la définition du dessin (dans notre cas un grain avec une *Netteté* relativement importante). Pour ces fantaisies modernes de grains, il est possible de redéfinir l'archétype de l'aspect plastique de qualité, moins liée au caractère brillant.

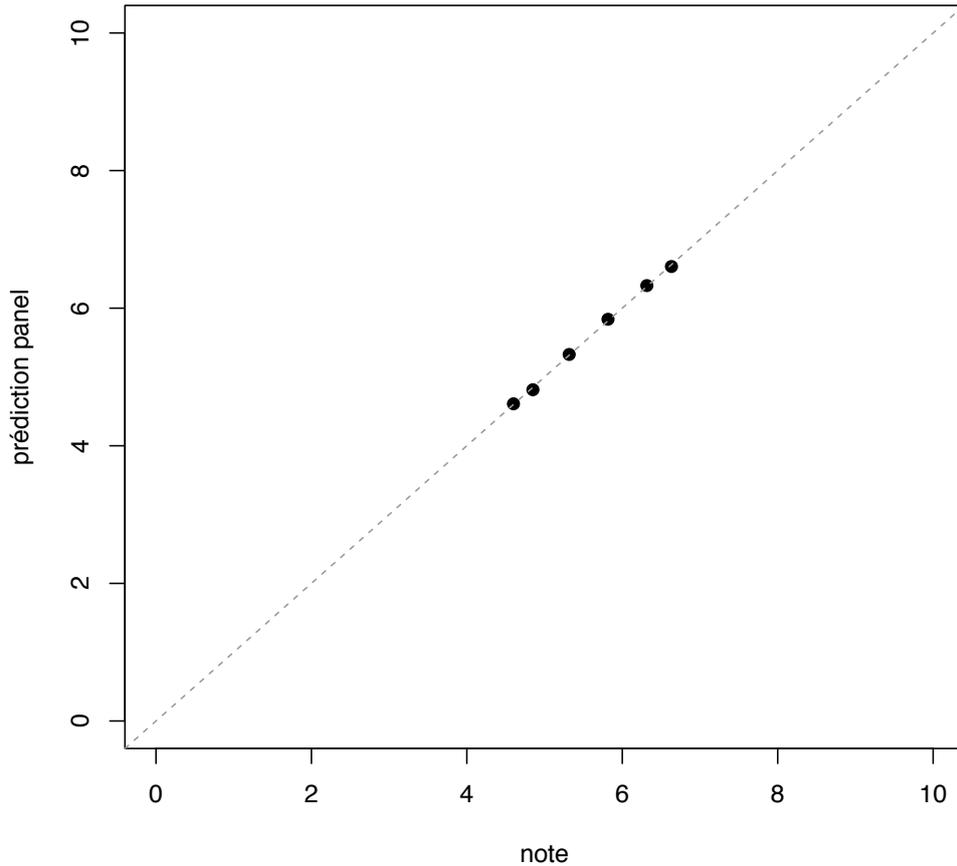


Fig. 6.36 : Prédiction du modèle issu de la régression sur les données «panel» (en y) par rapport aux évaluations de qualité visuelle (en x).

	ESTIMATE	STD. ERROR	T VALUE	Pr (> t)
(intercept)	8,870	0,071	124	6,5 e ⁻⁰⁵
BRILL	0,022	0,002	8	0,013
CONTR	-0,052	0,002	-19	0,002
NET	-0,025	0,001	-23	0,001

Tableau 6.5 : Coefficients du modèle linéaire de l'ensemble des clients.

	ESTIMATE	STD. ERROR	T VALUE	Pr (> t)
(intercept)	7,639	0,966	7,9	0,015
BRILL	0,089	0,036	2,4	0,131
CONTR	-0,142	0,036	-3,9	0,058
NET	0,012	0,014	0,85	0,481

Tableau 6.6 : Coefficients du modèle linéaire du groupe1.

	ESTIMATE	STD. ERROR	T VALUE	Pr (> t)
(intercept)	10,022	0,808	12,4	0,006
BRILL	-0,038	0,030	-1,3	0,326
CONTR	0,031	0,030	1,0	0,403
NET	-0,059	0,012	-5,0	0,037

Tableau 6.7 : Coefficients du modèle linéaire du groupe2.

6.5 CONCLUSIONS

Les résultats de l'enquête client sur l'appréciation tactile, visuelle et visio-tactile des pièces pour planche de bord indiquent qu'au niveau visuel et visio-tactile, le choix du grain impacte l'appréciation plus que le choix du matériau.

Pour l'**évaluation tactile**, le côté doux, non râpeux du grain est apprécié positivement. Pour les évaluations visuelle et tactile, les appréciations sont motivées par le grain en fonction de la couleur, et la brillance de la matière. Le côté plastique de certains échantillons est lié au caractère brillant et est refusé par les clients. Le côté mat, chaud et doux, lié aux grains cuirs est apprécié.

En **visuel et visio-tactile**, seuls les échantillons noir sont appréciés de façon significativement différente en fonction du grain et de la matière. En général, le grain 15/40 et la matière TKG sont les plus appréciés. Pour les échantillons beiges et blancs, l'appréciation est surtout due à la relation entre couleur et grain. En ce qui concerne la matière, surtout pour le blanc, l'impact est très faible en visuel. On remarque cependant des variations d'appréciation entre les évaluations visuelles et visio-tactiles, qui mettent en évidence l'interaction sensorielle dans le jugement d'une pièce.

Le comportement des clients permet de différencier **deux groupes**, avec des divergences d'opinions sur les grains et des couleurs. Le grain Mikado, par exemple, est refusé par le groupe 2 non pas à cause d'une mauvaise qualité perçue, mais principalement car vu comme esthétiquement non conforme aux attentes du groupe, car trop géométrique et qui risque de fatiguer la vue lors de la conduite. L'emploi de ce grain n'est donc pas à prendre en considération pour une clientèle classique, qui voit son véhicule comme un produit qui doit être fonctionnel. Ce même grain est par contre intéressant pour un véhicule sportif adressé à une clientèle plus *trendy*.

Le grain 15/40 a des appréciations consensuelles et positives, surtout en TKG et en couleur noire. Le choix de cette combinaison comporte moins de risques vis-à-vis de l'appréciation des clients.

L'**analyse lexicale** sur les échantillons noirs nous confirme que le comportement vis-à-vis des matières ne varie pas selon les groupes. Ce résultat est confirmé par la **mise en relation entre notes d'appréciation et caractéristiques sensorielles** : les préférences sont toujours vers la matière avec une valeur de brillant et de contraste de brillant faibles. De plus, les valeurs de corrélations entre appréciations et notes sensorielles permettent de séparer les éléments des échantillons qui sont à l'origine des jugements de goût, de ceux qui ne varient pas en fonction des clients.

Contraste de Brillant et Brillant sont des descripteurs de qualité des pièces, tandis que *Organisation, Lisibilité, Néteté, Allongement, Complexité, Angulosité et Relief* sont des descripteurs de *Fantaisies*. Les descripteurs de *Dimension, Densité et Occupation de l'espace* décrivent des caractéristiques des grains qui tranchent moins les opinions.

CHAPITRE 07

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pour que ces conclusions soient compréhensibles, il est nécessaire de resituer la problématique du grain dans ses contextes historique et industriel. Notre système de caractérisation répond à une partie des problématiques. C'est un outil prédictif, une aide à la définition et conception de la surface des pièces grainées.

7.1 LA PROBLÉMATIQUE DU GRAIN

Les problématiques liées aux grains et à leurs fonctions de finition et protection des matières plastiques ne sont pas récentes dans le contexte industriel. Dès la fin de la deuxième guerre mondiale, l'arrivée des matières plastiques a offert une alternative économique aux constructeurs automobiles. Elles permettaient de remplacer les pièces métalliques de l'intérieur véhicule initialement recouvert de cuir. La volonté de faire accepter ces nouveaux matériaux, privés d'histoire, a soulevé le problème de leur identité. Contrairement aux matériaux classiques, tel que le bois, ou les métaux qui ont des aspects de surface familier et dont on connaît les valeurs culturelles et sémantiques, les matières plastiques arrivaient vierges dans l'univers des produits industriels, privée d'histoire et d'identité.

Le grain de surface des premières pièces plastiques de l'intérieur des véhicules avait donc le rôle de simuler l'aspect du cuir et de proposer aux clients des contextes esthétique et sémantique auxquels ils étaient habitués. Le développement de nouvelles matières plastiques, couplées aux développements de nouveaux grains, permet une évolution dans les surfaces de produits industriels. Aujourd'hui, les individus ne sont pas des naïfs face aux matières plastiques et à leur esthétique et savent évaluer leur qualité perçue. En fonction des secteurs, les attentes envers l'aspect des pièces plastiques sont de plus en plus exigeantes. Dans le secteur automobile, les attentes des clients se positionnent entre l'intérêt pour de nouveaux langages expressifs à la recherche de nouveauté, et un contexte sémantique très codé.

Aujourd'hui, ce rôle du grain comme vecteur de l'identité de la matière et de sa qualité perçue, subsiste toujours. Dans un cadre d'innovation des matériaux, il est très difficile de prédire comment son esthétique sera perçue par le client. D'un côté la volonté est celle de donner une identité nouvelle aux matériaux innovants. De l'autre la volonté est celle de s'inscrire dans une continuité esthétique classique, typique du secteur automobile.

7.2 LE SYSTÈME DE CARACTÉRISATION : COEUR DU PROJET.

Ce travail de thèse se voulait un travail d'exploration de la perception des pièces grainées du monde de l'automobile. La question de thèse était focalisée sur le procédé principal de mise en forme des pièces grainées et de leur perception :

« Quel est l'impact du couple grain/matériau des pièces grainées issues de l'injection de polypropylène sur les caractéristiques de la surface et sur la Qualité Perçue? ».

Pour répondre à cette interrogation, nous avons dû mettre au point un système de qualification et de quantification de la perception des pièces avant toute recherche de résultats. C'est ce système de caractérisation qui nous a permis de produire les résultats nécessaires au traitement de la question centrale.

Son développement a été confronté à différentes problématiques qui ont dû être réfléchies, expérimentées et résolues. La première problématique que nous avons isolée était celle de la compréhension et organisation de la perception des surfaces grainées. Le chapitre 03 nous a permis d'élaborer une réponse à travers la définition de 12 descripteurs qui composent notre référentiel visuel. La qualification et la quantification des perceptions des grains représentaient les étapes suivantes et sont le centre du chapitre 04. Nous avons ainsi mis au point un outil de mesure de la perception des grains (le panel visuel) et un outil de prédiction instrumentale de cette mesure (le panel instrumental). Grâce à la mise au point de ce système de caractérisation, nous avons pu analyser au chapitre 05 la perception d'un jeu d'échantillons en polypropylène injecté et les causes de cette perception. Enfin, nous ne pouvions valider notre recherche sans la confronter aux utilisateurs. Le chapitre 06 nous a permis de confirmer que les caractéristiques perçues du couple grain/matériau sont responsables des appréciations des clients.

Ce travail nous a permis de créer une maquette d'un nouvel outil de mesure de la perception visuelle. Cet outil est :

- Cohérent : reflétant les perceptions visuelles issues des surfaces des échantillons, les ressemblances et les différences perçues,
- Robuste : permettant d'intégrer des nouveaux grains,
- Optimisable : en augmentant les degrés de précision et fiabilité des méthodes d'évaluation de chaque descripteur
- Polyvalent : la méthodologie développée pour la création de l'outil est adaptée à tout type de grain de pièce plastique, et adaptable à tout type de surface ayant une texture.

7.2.1 CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

C'est à la fois un système de caractérisation et de prédiction des propriétés d'aspect des pièces grainées. Il comprend :

- Une échelle de caractérisation : le référentiel ;
- Deux « instruments » de caractérisation : le panel visuel et le panel instrumental.

Le panel instrumental simule et prédit les caractérisations du panel visuel. Il nécessite uniquement 3 instruments de mesures :

- 1 rugosimètre optique
- 1 gonio-spectrophotomètre
- 1 caméra couplée à une loupe binoculaire.

Notre première collection d'échantillons nous a servi de base pour construire le référentiel sur un espace produit très étendu :

- 5 technologies de productions principales de pièces grainées
- 4 familles de matières
- 20 grains.

Afin de tester notre échelle et instruments de caractérisation, nous avons confronté notre système à une deuxième collection composée de :

- 3 technologies de productions
- 4 familles de matière
- 15 grains

7.2.2 UN OUTIL PREDICTIF ET ROBUSTE

La figure 7.1 présente le résultat d'un positionnement multidimensionnel (multidimensional scaling, MDS), une technique statistique de visualisation d'informations basée sur la représentation des dissimilarités entre individus caractérisés par des données vectorielles. La technique est ici appliquée à notre deuxième collection (en vert le panel visuel et en bleu le panel instrumental). Elle permet d'obtenir une carte conceptuelle ou cognitive de leur aspect dont l'échelle est isotrope dans toutes les directions du plan. Les distances entre échantillons (mesurables directement sur la carte) représentent les dissemblances en aspect visuel. Le suffixe « -I » indique l'évaluation « instrumentale », le suffixe « -P » indique l'évaluation par le « panel visuel », les points -I et -P de chaque échantillon sont reliés par une ligne qui quantifie l'écart entre les deux méthodes.

La répartition des échantillons dans le plan dessine un espace circulaire continu où s'opposent les grains cuirs aux grains géométriques, de gauche à droite, et les grains fins aux grains gros, de haut en bas. Les grains textiles et fins, en haut, sont à mi-chemin entre les grains géométriques et les grains cuirs. Les gros grains inspirés par la fantaisie des cuirs sont placés en bas du plan, entre les géométriques et les cuirs.

Les points les plus externes du nuage de mesure (des panels visuel et instrumental) permettent de dessiner des « polygones convexes ». Ils représentent l'étendue d'un espace de caractérisation ou de perception contenant l'ensemble des échantillons sélectionnés. La superposition de ces deux espaces nous permet de faire notre analyse.

L'espace instrumental est moins étendu que l'espace du panel visuel ce qui confirme les résultats présentés dans le chapitre 04. En effet, les distances entre échantillons caractérisés instrumentalement sont moins importantes que celles entre les échantillons caractérisés par le panel. Les modèles de prédiction sont moins discriminants et quantifient moins les différences entre échantillons. Cette différence résulte en un espace plus restreint, possédant une dynamique moindre. Cependant, les ressemblances de forme entre ces deux espaces confirment le pouvoir prédictif de l'outil instrumental.

Les grains de notre deuxième collection représentent un espace produit plus étendu que l'espace produit classique des pièces grainées utilisé dans l'automobile. Elle regroupe des fantaisies de grains issues de pièces de décors et d'autres pièces qualifiées d'atypiques. Y confronter nos outils de caractérisation nous assure une robustesse du système qui se doit d'être apte à inclure tout type de pièce grainée, présente et future.

7.2.3 UN OUTIL ÉVOLUTIF ET INFORMATIF

Pour s'assurer de la polyvalence et de la justesse de notre outil, nous l'avons confronté à une troisième collection. Elle représente un espace produit beaucoup plus restreint et dont les différences perceptives sont moins importantes. La troisième collection est la collection centrale pour notre étude du couple grain/matériau des pièces grainées en polypropylène injecté.

Elle est composée de 4 grains :

- Le grain Romalien, un grain géométrique.
- Le grain Mikado, un grain géométrique.
- Le grain 15/40, un grain cuir fin.
- Le grain Monde, un grain cuir plus grossier.

3 formulations de polypropylène

- TKG
- TRC
- PPC

La figure 7.2 reprend la représentation cartographique de la figure 7.1 en mêlant les caractérisations des échantillons de la deuxième et troisième collection. On peut y voir une répartition des échantillons de la troisième collection similaire à ceux de la deuxième. Les grains géométriques à droite et les cuirs à gauche, les grains plus fins en haut et en bas les plus grossiers.

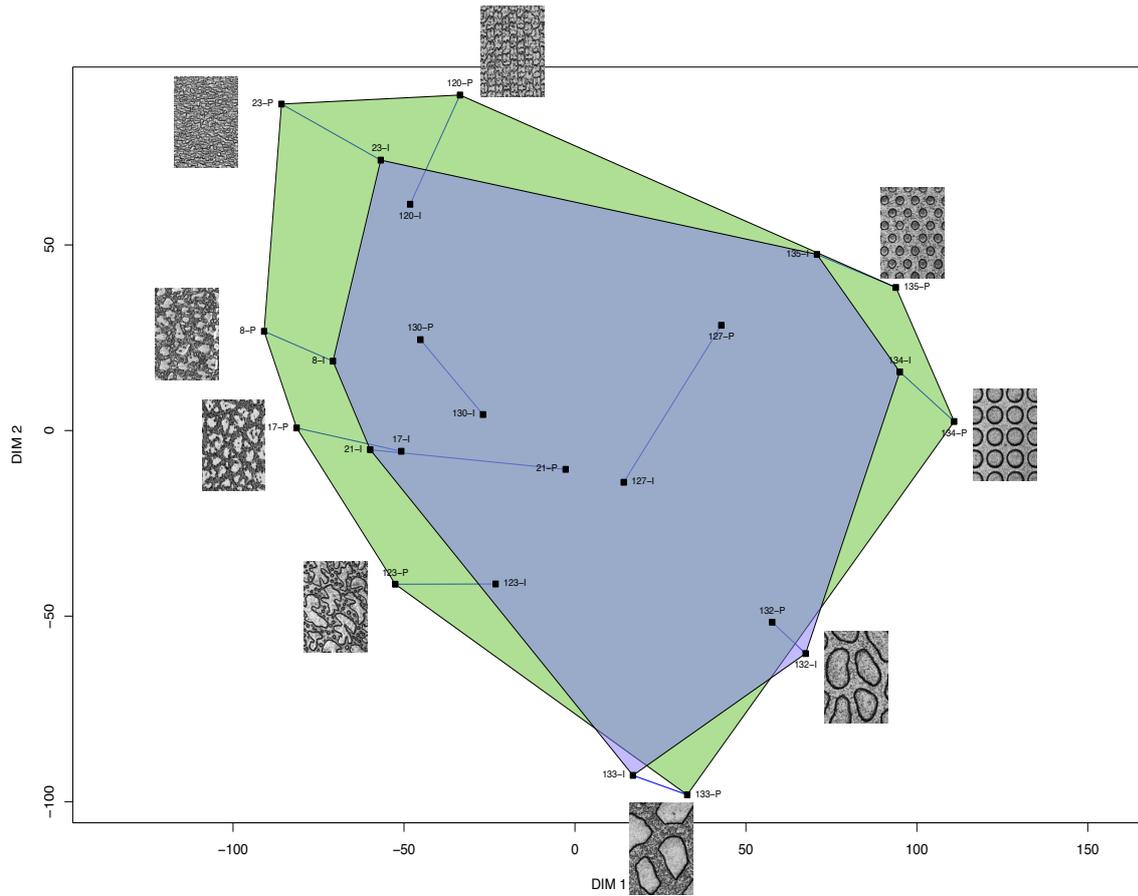


Fig. 7.1 : Positionnement multidimensionnel (MDS) des échantillons de la deuxième collection (en vert le panel visuel et en bleu le panel instrumental).

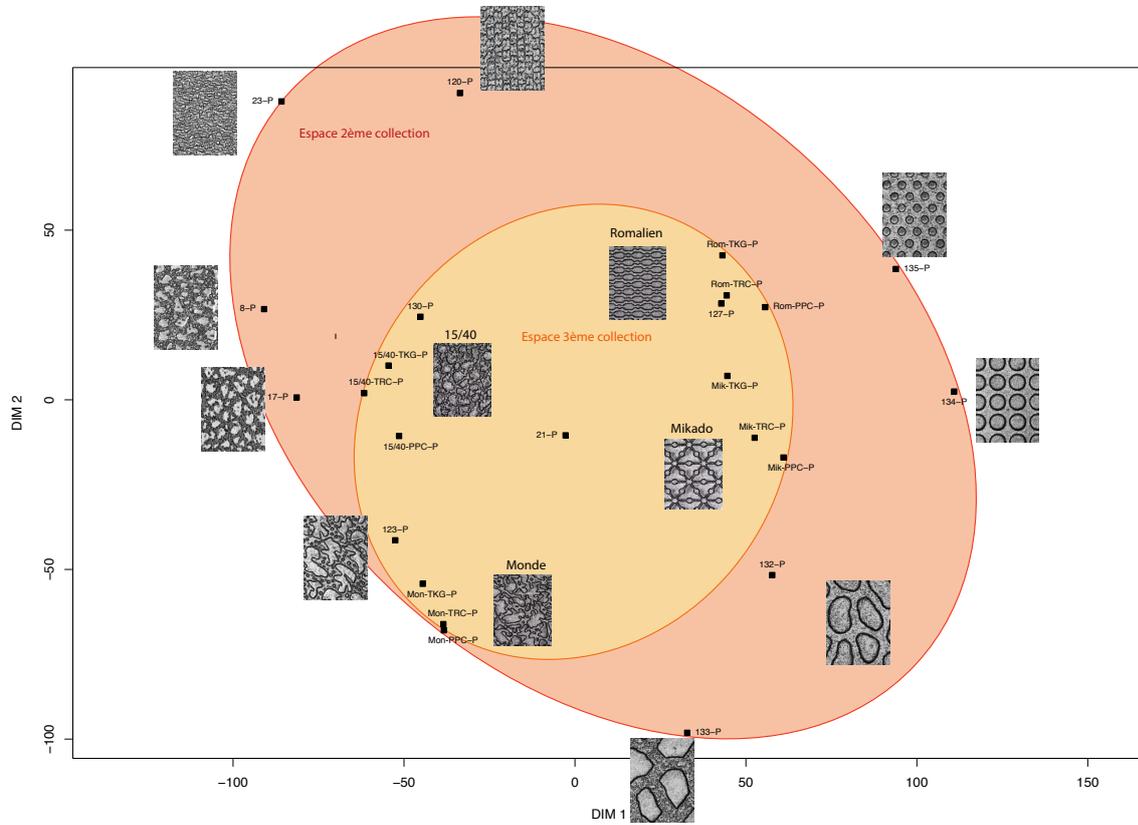


Fig. 7.2 : Positionnement multidimensionnel (MDS) des échantillons de la deuxième et troisième collection (notes du panel visuel).

Les coordonnées des échantillons de la troisième collection de mêmes grains et de différentes matières reflètent la contribution de la brillance à la position des échantillons dans le plan de la carte. Les échantillons en TKG sont positionnés plus haut que les échantillons en TRC qui sont à leur tour plus hauts que les échantillons en PPC. Les échantillons en TRC se rapprochent donc de la zone haute de l'espace, caractérisée par des grains tissés, moins définis, et les échantillons en PPC des grains cuir plus net. Ces positions nous renseignent sur l'évolution de la perception en fonction du changement de matière et sont des indications précieuses pour la conception des grains et le choix des matières.

Ce diagramme des échantillons est un outil de visualisation de leur «espace conceptuel», c'est-à-dire une carte pour décrire les structures topologiques et géométriques associées aux différentes «fantaisies» de grain. Par exemple, le positionnement du grain Mikado, entre grains géométriques et grains cuirs nous indique que sa géométrie est à mi-chemin entre ces deux langages. De même pour le grain Romalien entre grains géométriques et grains textiles, etc. Ainsi, associer au diagramme une valeur de carte d'un espace conceptuel permet à chaque observateur d'y trouver sa propre clé de lecture.

De plus, la superposition de ces résultats avec les résultats des enquêtes client permettent d'avoir des indications sur les choix des matières à employer. Les appréciations des deux groupes de clients indique clairement que lorsque nous voulons concevoir un grain cuir classique, la qualité perçue passe principalement pas la douceur du grain, traduite en une individualisation des éléments et un brillant faibles. Pour la conception de la qualité perçue des grains géométriques, le brillant à un poids moins important et l'attention est à mettre sur la définition et l'esthétique du grain.

7.3 PERSPECTIVES D'UTILISATION DU SYSTÈME DE CARACTÉRISATION

7.3.1 UN NOUVEL OUTIL DE CONCEPTION DES GRAINS.

Le système de caractérisation développé permet de tracer une carte d'identité des pièces grainées. C'est un outil de conception qui, non seulement permet la comparaison des grains et des matières en fonction de leurs propriétés d'aspect, mais représente également un langage codifié pour la communication des différents acteurs qui participent à la conception de ces pièces.

L'espace multidimensionnel de représentation des caractéristiques visuelles permet l'extraction des coordonnées des pièces grainées plus représentatives par fantaisie. Les coordonnées de ces pièces représentent les coordonnées des principaux archétypes de grains. Ce sont des indications précieuses au design, pour la conception et la fabrication des grains. Les différentes zones du plan, balisées par les archétypes de différentes fantaisies, permettent d'obtenir une carte des caractéristiques à concevoir en fonction du type de grain choisi.

Grâce à cet outil, en partant des attentes des clients et des books de tendance des designers, il devrait être désormais possible de tracer les gènes des nouveaux grains. Dans la conception d'un nouveau grain, le choix de la fantaisie du grain, de mettre un grain cuir classique ou un grain tissé,

ou un grain géométrique plus sportif, est le rôle du design et du marketing en fonction du type de véhicule. L'utilisation de notre outil se positionne après cette prise de décision afin de la traduire en choix techniques. Les ingénieurs pourront quantifier les caractéristiques de la topographie de grain, grâce aux descripteurs de fantaisie et auront des leviers sur le brillant à concevoir sur la pièce, à travers le choix de la matière, les paramètres d'injection et la structuration (microrugosité) du moule. Les ingénieurs chargés du choix des procédés et des matériaux pourront également obtenir une première prédiction de l'aspect de la pièce et optimiser leur choix.

D'un point de vue de qualité au sens classique, la caractérisation des grains permet d'analyser et prédire les problèmes d'injection liés à l'organisation des grains et donc à leur design. Les grains géométriques très alignés présentent des problèmes d'aspect liés à l'interaction entre la direction du flux de matière lors de l'injection et de la disposition des éléments du grain. On sait par ailleurs que ces mêmes grains présentent également des problèmes de résistance aux chocs : l'alignement de grains très peu espacés, et avec un relief important simule une entaille dans la pièce et la fragilise. L'utilisation du système de caractérisation permet de remonter les erreurs de conception aux dessinateurs qui, en possession d'indications quantitatives sur les géométries possibles, pourront anticiper et ajuster leur travail en conséquence.

7.3.2 UN NOUVEL OUTIL POUR L'INDUSTRIE

Aujourd'hui, une grande partie des produits qui étaient revêtus ou produit en cuir sont produits en matières plastiques grainées. Dans l'industrie du vêtement, le cuir des vestes et des accessoires est remplacé par des Tissus Enduis Plastiques imitation cuir. Même tendance dans le secteur des meubles où les surfaces plastiques grainées se retrouvent sur les canapés, les revêtements de chaises ou sur celles des bureaux. Dans le secteur de la maroquinerie, les valises autrefois en carton revêtu en cuir, sont aujourd'hui en polycarbonate grainé. La conception et la gestion du grain des pièces plastiques sont des sujets centraux car ils permettent aux designers de concevoir l'identité des nouveaux produits.

Cet outil apporte une innovation et une évolution réelle pour l'analyse, la création, la conception et la fabrication des pièces grainées. Son utilisation résultera en une optimisation de la chaîne de développement de nouveaux produits.

7.3.3 UN NOUVEL OUTIL POUR LA CONCEPTION DE L'IDENTITÉ DES NOUVEAUX MATÉRIAUX GRAINEES

Aujourd'hui, les nouveaux matériaux plastiques, qu'ils soient composites, chargés, nano-chargés ou bio-sourcés, sont en pleine expansion et trouvent leur place dans le contexte industriel grâce à leurs propriétés techniques, économiques, ou écologiques.

Du point de vue esthétique, ces matériaux n'ont pas une identité codée et leur impact sémantique est encore à concevoir. Notre outil de caractérisation peut servir à la conception des nouvelles surfaces des matériaux émergents.

7.3.4 DES VOIES D'AMÉLIORATION

Le but de ce projet de recherche était de faire une première approche transversale du lien entre perception et production des pièces, un premier travail transversal de la perception des pièces grainées du monde de l'automobile. La prétention était d'élaborer et de tester les fondations d'un nouvel outil qui manquait dans le domaine de l'ingénierie des matériaux. Pour réaliser une telle étude exploratoire, nous nous sommes appuyés sur différents outils issues de plusieurs disciplines : Design, Ingénierie, modélisation etc. Ce cahier des charges a été rempli et représente un travail que nous qualifierons de « 1.0 ».

Pour le faire évoluer et le rendre le plus performant possible, cet outil se doit de faire l'objet d'études plus poussées dans chacun des domaines qu'il touche. Lors du développement du système, nous avons référencé les questions et ouvertures suivantes :

- Le système a été confronté à la caractérisation d'échantillons colorés (chap 05). Les espaces de représentation des grains ont-ils les mêmes caractéristiques en fonction des couleurs ?
- Peut-on y inclure la dimension tactile afin de voir et prédire les interactions sensorielles ?
- Peut-on intégrer dans l'outil de prédiction instrumentale une modélisation de reconnaissance des formes familières en intégrant les problématiques de la perception du point de vue des sciences cognitives et de l'intelligence artificielle ?
- Enfin, l'enquête client du chapitre 06 est une ouverture sur les enquêtes sémantiques qu'il sera essentiel de coupler aux futures caractérisations visuelles. Elles permettront de déchiffrer de façon plus pointue comment les propriétés d'aspect des grains sont interprétées par les individus.

Ces 3 ans de recherche ont donc permis de créer de solides fondations pour le développement d'un outil innovant pour la caractérisation de l'aspect visuel des matériaux dans l'industrie et le design. La conception et la gestion du contenu communicatif des nouveaux grains sont des sujets centraux car ils permettent aux designers de concevoir l'identité des nouveaux matériaux et produits. Nous avons grand espoir qu'il soit intégré, utilisé et adapté à tous les domaines touchant de près ou de loin à l'étude de notre discipline qui est celle des matériaux.

RÉFÉRENCES

- [1] Desmet, P., Hekkert, P. (2007) Framework of product experience.
- [2] Crilly, N, et al. (2004) Seeing things: consumer response to the visual domain in product design.
- [3] Aristote (1934) trad. Tricot, J. De l'âme. Vrin, coll. « Bibliothèque des textes philosophiques », Paris
- [4] Hegel, G. W. F. (1807) Phénoménologie de l'esprit. Bamberg et Würzburg.
- [5] Bassereau, J. F. (1995) Cahier des Charges Qualitatif Design, élaboration par le mécanisme des sens. Thèse de doctorat ENSAM, laboratoire CPI, Paris
- [6] Merleau-Ponty, M. (1944) Phénoménologie de la Perception.
- [7] Crozier, R. (1994) Manufactured pleasures: psychological response to design Manchester, University Press, Manchester, UK.
- [8] Cupchik, G. (1999) Emotion and industrial design: reconciling meanings and feelings First International Conference on Design & Emotion Delft, The Netherlands, pp 75–82.
- [9] Lewalski, Z. M. (1988) Product esthetics: an interpretation for designers. Design & Development Engineering Press, Carson City, NV.
- [10] Baxter, M. (1995) Product design: a practical guide to systematic methods of new product development. Chapman & Hall, London, UK.
- [11] Norman, D. (2004) Emotional Design. New York: Basic Books.
- [12] Demirbilek, O., Sener, B. (2003) Product design, semantics and emotional response, Ergonomics Vol 46 No 13/14 1346–1360.
- [13] Russell, B. (2003) Core affect and the psychological construction of emotion. Psychological Review, 110(1),145-172..
- [14] Bradley, M. M., Lang, P. J. (1994) Measuring emotion : the self-assessment mannequin and the semantic differential. Journal of Behaviour Therapy and Experimental Psychiatry, 25(1), 49-59.
- [15] Wundt (1905) Fundamentals of psychology. Liepzig: Engelman (7 ed.).
- [16] Plutchik (2001) The nature of emotions. American scientist 89.
- [17] Russell (1980) Circumplex Model of Affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39(6), 1161-1178.
- [18] Plutchik (1980) Emotion: a psychoevolutionary synthesis. New York: Harper & Row.
- [19] Desmet, Hekkert (2009) Appraisal Patterns of Emotions in Human-Product Interaction.
- [20] Desmet, Hekkert (2009) Design & emotion.
- [21] Zeithaml (1988) Perception of price; quality, and value: a means-end model and synthesis of evidence. Journal of marketing; vol. 52, No. 3, pp.22.
- [22] Giordano, J-L. (2006) L'approche qualité perçue. © Groupe Eyrolles, ISBN : 2-7081-3493-0
- [23] Les Echos (2004) Dossier Les Échos Automobile. 21 septembre.
- [24] Vallade, J-P. (2013) Conférence interne Renault sur la Qualité Perçue. Janvier 2013, Guyancourt Technocentre Renault.
- [25] Etteradossi, O. (2011) Approche cartographique des propriétés des matériaux pour une ingénierie d'aspect. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, octobre 2011.

- [26] Fechner, G. (1860) *Elemente der Psychophysik*. Breitkopf und Hartel, heipzig (republié en 1964 par Bonset, Amsterdam).
- [27] Crochemore, S., Nesa, D. (2004) *Analyse sensorielle des matériaux d'habitacle automobile : vision/toucher*. Edition Techniques de l'ingénieur, AM 3292, pp 1-16.
- [28] Crochemore, S., Nesa, D. (2004) *Méthodes d'analyse sensorielle des matériaux plastiques*. Edition Techniques de l'ingénieur, AM 3 290, pp 1-6.
- [29] Picard, D., Dacremont, C. Valentin, D., Giboreau, A. (2003) *Perceptual dimensions of tactile textures*. *Acta Psychologica* 114 (2003) 165–184
- [30] Depledt, F. (1998) *Evaluation Sensorielle, manuel méthodologique*. Editions Lavoisier TEC & Doc, 2ème édition.
- [31] Giboreau, A., Dacremont, C., Egoroff, C., Guerrand, S., Urdapilleta, I., Candel, D., Dubois D. (2006) *Defining sensory descriptors: Towards writing guidelines based on terminology*. *Food Quality and Preference* 18 (2007) 265–274.
- [32] Ministère de l'industrie (1997) *L'ingénierie centrée sur l'homme*. Rapport issu des Technologies Clés, disponible au centre de documentation du Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, p 17-19, 29-49.
- [33] ISO 5492 (2008) *Analyse sensorielle : Vocabulaire*.
- [34] AFNOR (1995) *Analyse sensorielle : Méthodologie*. Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel. ISO 13299. Paris : AFNOR Ed.
- [35] Deterre, R., Sarda, A. (2004) *Dispositif de mesure du rendu thermique d'un matériau*. Brevet n° FR0210749, déposé par la société Renault SAS au nom des sociétés Renault, Total Fina Elf, Visteon, Valéo, Trèves, le 30 août 2002, et paru le 5 mars 2004.
- [36] Crochemore, S. (2007) *Sensotact®, le premier référentiel tactile*.
- [37] Mercier, E., et al. (1999) *Traité des matériaux*. Introduction à la science des matériaux. Presses Polytechniques et universitaires Romandes.
- [38] Kausch, H. H. et al. (2001) *Traité des matériaux*. Matériaux polymères: propriétés mécaniques et physiques. Presses Polytechniques et universitaires Romandes.
- [39] Darque-Ceretti, E., et al. (2003) *Étude et analyse des surfaces polymères*. Dossier techniques de l'ingénieur.
- [40] Stern, C. (2005) *On the Performance of Polypropylene : between synthesis and end-use properties*. PhD thesis, University of Twente, Enschede ISBN: 90-365-2252-8
- [41] Véret, C. (1995) *Réfractométrie*. Techniques de l'ingénieur. Référence R6300
- [42] Maeder (2008) *De la difficulté d'introduire des polymères et composites dans l'industrie automobile*. MECAMAT.
- [43] Goblet, E. Boulay, R. (2010) *Découverte du grainage chimique des moules d'injection*. 15 avril 2010.
- [44] INEO (2007) *Polypropylene Processing Guide*.
- [45] GLS. *Injection molding guide*.
- [46] Eschmann: <http://www.eschmanntextures.com/>
- [47] Renault (2010) *Méthode d'essai*. Revêtement de peinture, plastiques et caoutchoucs. Mesure du brillant. Normalisation Renault Automobiles D25 1413.

RÉFÉRENCES

- [48] Renault (2014) Cahier des charges. Pièces du poste de conduite. Prescriptions generales. Normalisation Renault Automobiles 32 - 04 - 033.
- [49] Dictionnaire Larousse de la Langue Française
- [50] Lederman, R. L., Klatzky, S. J. (1987) Hand movements : A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*.
- [51] Nalini, B., et al. (1997) The Texture Lexicon : Understanding the Categorization of Visual Texture Terms and Their Relationship to Texture. *Images, Cognitive Science*, Vol.21, No.2, pp.219-246.
- [52] Zuo, H., Jones, M. (2005) Exploration into formal aesthetics in design : (material) texture.
- [53] Zuo, H., et al. (2005) Material texture perception in product design. *The Art of Plastics Design*.
- [54] SNOF Syndicat National des Ophtalmologistes de France. www.snof.org/encyclopedie/acuite-visuelle
- [55] Gatinel, D. (2014) acuité visuelle résolution et pouvoir séparateur de l'œil. www.gatinel.com
- [56] AFNOR NF ISO 11035 (1994) Analyse sensorielle -- Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel, par approche multidimensionnelle
- [57] AFNOR V 09-210 (1990) Recherche de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel
- [58] AFNOR NF ISO 8586-1 (1983) Analyse sensorielle - Guide général pour la sélection, l'entraînement et le contrôlé des sujets - Partie 1 : sujets qualifiés
- [59] Cabine à lumière TL84 36W / 940
- [60] Renault (2014) Brevet. Procédé et système de classement de matériaux en fonction de leurs caractéristiques de surface déterminées par une observation optique. n° FR1351690.
- [61] Pigott, J. R. (1988). *Sensory Analysis of food*. Second edition. Elsevier
- [62] Cardinal, M., et al. (1994) Performances d'un groupe d'évaluation sensorielle : exemples de traitements statistiques des données. *Science des aliments*, 14 : 251-263
- [63] Lesschaeve, I., Issanchou, S. (1993) Monitoring a descriptive panel : consistency and agreement evaluation by both univariate and multivariate techniques. *Food Qual. & Pref.*
- [64] Microsoft Office Excel (2013) Xlstat : www.xlstat.com
- [65] Rosch, E., et al. (1978) *Cognition and categorization* 27-48. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- [66] Hunter, R. S. (1937) Methods of determining gloss. *Journal of Research, NBS*, 17 :77, 281. NBS Research Paper, RP 958.
- [67] Instrument Systems Optische Messtechnik GmbH, Neumarkter Str. 83, D-81673 München, Germany. www.instrumentsystems.com
- [68] STIL, 595 rue Pierre Berthier, Domaine de Saint Hilaire, F-13855 Aix en Provence Cedex 3, France. www.stilsa.com
- [69] R Core Team (2014) R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- [70] Serra, J. (1982) *Image analysis and mathematical morphology*
- [71] Haralick, R. M. , Shanmugam, K., Dinstein. I. (1973) Textural Features for Image Classification, *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol.SMC-3, no.6 : 610-621
- [72] ISO 4287 Spécification géométrique des produits (GPS) - État de surface : méthode du profil - Termes, définitions et paramètres d'état de surface - Amendement 1 : nombre de pics

- [73] Renault (2010) Méthode d'essai. Matériaux plastique profondeur de grain et amplitudes de finition. ME D45 1856
- [74] Katsube, K. (1999) Altitudinal Changes in Slope Angle and Profile Curvature in the Japan Alps : A Hypothesis regarding Characteristic Slope Form. CSIS Discussion Paper n. 16.
- [75] Akaike, H. (1970) Statistical Predictor Identification. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 22, 203-217
- [76] Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19 (6) : 716-723
- [77] Miller, A. J. (2002). Subensemble Selection in Regression. Chapman & Hall CRC, Boca Raton, 2nd edition.
- [78] Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research, 106 : 7183-7192
- [79] Lemon, J. (2006). Plotrix : a package in the red light district of R. R-News, 6(4) : 8-12
- [80] CS-3 CHROMA SENSOR ® Konica Minolta www.konicaminolta.com
- [81] CIE Commission Internationale de L'Eclairage (1971 et 1978) Recommendations on Uniform Color Spaces. Color-Difference Equations. Psychometric Color Terms. Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15, Colorimetry.
- [82] CIE Commission Internationale de L'Eclairage (1986) Colorimetry. Second Edition, Publication CIE 15.2, Central Bureau of CIE, ISBN: 3-900-734-00-3, Viena, Austria.
- [83] Dupont, D., Steen, D. (2004) Colorimétrie : mesure des couleurs de surface. Editions Techniques de l'ingénieur, réf R6442.
- [84] CIE Commission international de l'éclairage. www.cie.co.at
- [85] ISO 11475 (2004) Paper and board. Determination of CIE whiteness, D65/10 degrees (outdoor daylight).
- [86] Guoxin, H., Mingxun, Z. (2007) Whiteness formula in CIELAB uniform color space. Chin. Opt. Lett. 5, 432-434.
- [87] ISO 11664-4 (2008) Colorimétrie. Partie 4: Espace chromatique L*a*b* CIE 1976.
- [88] ASTM E313 - 10 Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates
- [89] Haslup, J. (2011) Perception of Blackness and the Foundations of a Blackness Index. Thesis. North Carolina State University 166.
- [90] Clonts, R., et al. (2006) Inter-Instrument Agreement in the Colorimetric Measurement of Textile Materials. AATCC Review ; 8:45-48
- [91] Westland, S., Cheung, T. L. V., Lozman, O. R. (2006). A metric for predicting perceptual blackness. 14th Color Imaging Conference Final Program and Proceedings, 14-17.
- [92] Schumacher, W., (1976) In Photometrische Schwarzmessung. pp 582-587.
- [93] Renault (2006) Méthode d'essai. Matériaux colorés. Comparaison visuelle en cabine à lumière. D15 1343.
- [94] LyondellBasell : www.lyondellbasell.com
- [95] Sabic : www.sabic.com
- [96] Lui et al.(2004) A computational model for periodic pattern perception based on frieze and wallpaper groups. IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, VOL 26, NO. 3.

RÉFÉRENCES

- [97] Quanta 200 Feg www.fei.com
- [98] NF ISO 4120 (2004) Analyse sensorielle. Méthodologie. Essai triangulaire
- [99] ISO 4121 (2003) Analyse sensorielle. Lignes directrices pour l'utilisation d'échelles de réponses quantitatives
- [100] Lea, P., Næs, T., Rødbotten, M. (1997) Analysis of variance for sensory data. Wiley, New York
- [101] Escoufier, Y. (1987) The duality diagram : a means of better practical applications In Development in numerical ecology. Legendre, P. & Legendre, L. (Eds.) NATO advanced Institute, Serie G. Springer Verlag, Berlin, 139–156
- [102] Benzécri, J-P., Benzécri, F. (1980-1984). Pratique de l'analyse des données, Vol. 1. Analyse des correspondances: Exposé élémentaire. Paris: Dunod.
- [103] Dray S., Dufour A. B. (2007) The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists

ANNEXES

4.1 : ANOVA DU PANEL VISUEL

DIMENSION

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	316863	1115,715	27,368	< 0,0001
Erreur	195	7950	40,767		
Total corrigé	479	324813			

DENSITÉ

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	200999	707,744	20,153	< 0,0001
Erreur	195	6848	35,119		
Total corrigé	479	207847			

RELIEF

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	236398	832,389	24,219	< 0,0001
Erreur	195	6702	34,369		

ORGANISATION

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	781745	2752,622	119,536	< 0,0001
Erreur	195	4490	23,027		

ALLONGEMENT

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	213020	750,072	27,435	< 0,0001
Erreur	195	5331	27,340		
Total corrigé	479	218352			

BRILLANT

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	320691	1129,195	29,848	< 0,0001
Erreur	195	7377	37,831		
Total corrigé	479	328069			

ANGULOSITÉ

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	451624	1590,224	40,145	< 0,0001
Erreur	195	7724	39,612		
Total corrigé	479	459348			

CONTRASTE DE BRILLANT

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	384019	1352,178	39,934	< 0,0001
Erreur	195	6603	33,861		
Total corrigé	479	390621			

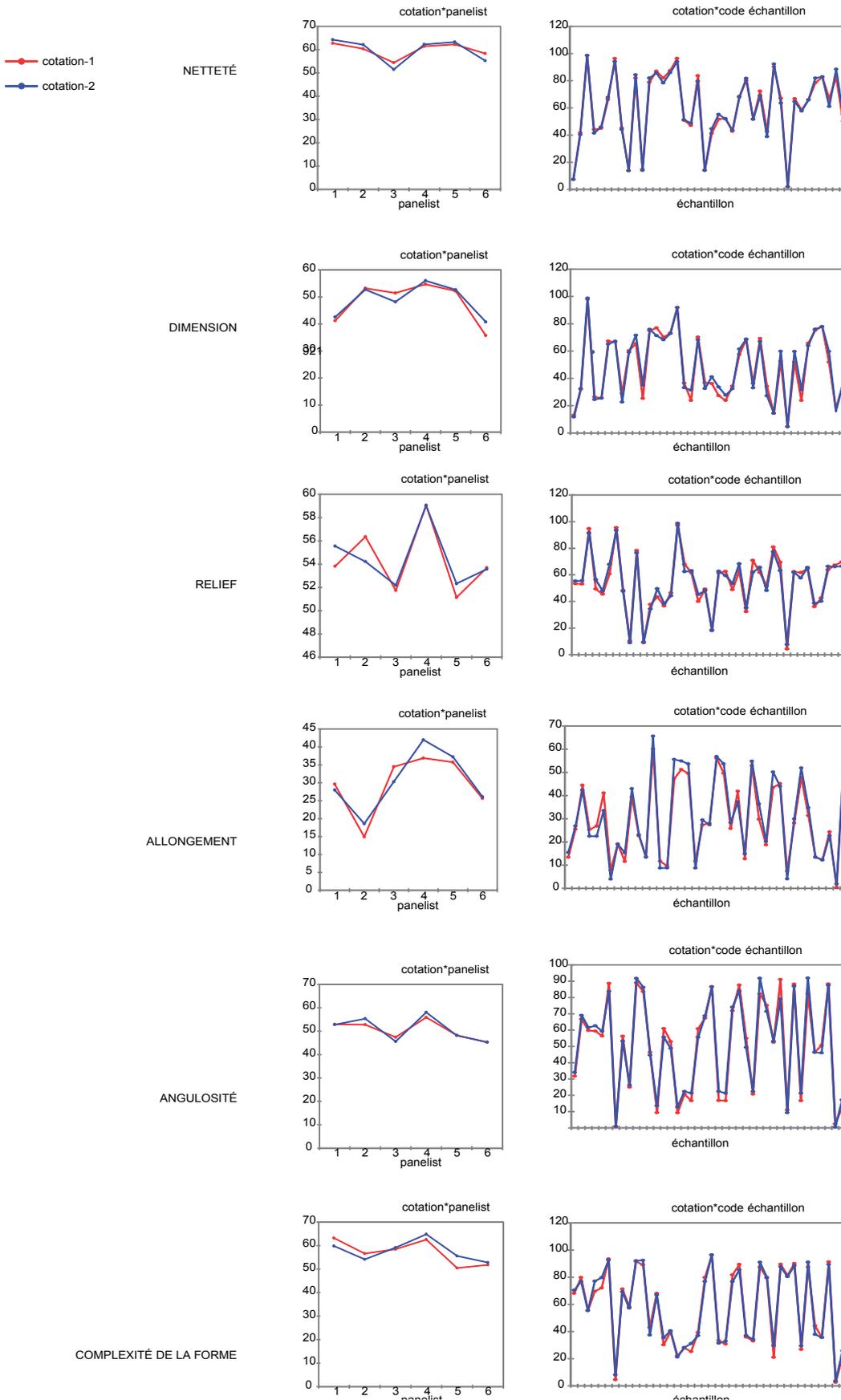
COMPLEXITÉ

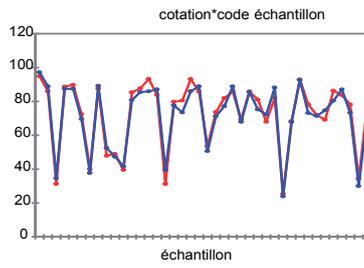
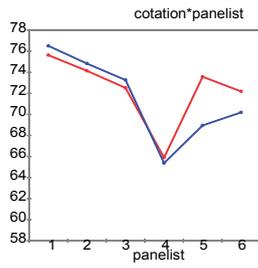
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	418621	1474,019	40,827	< 0,0001
Erreur	195	7040	36,104		
Total corrigé	479	425662			

LISIBILITÉ

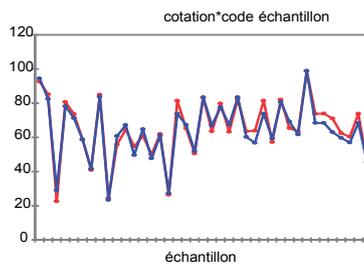
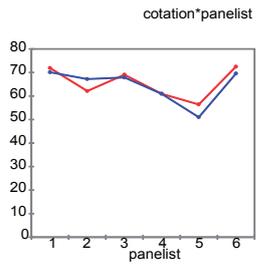
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	284	333392	1173,915	35,314	< 0,0001
Erreur	195	6482	33,242		
Total corrigé	479	339874			

4.2 : RÉPÉTABILITÉ DU PANEL VISUEL

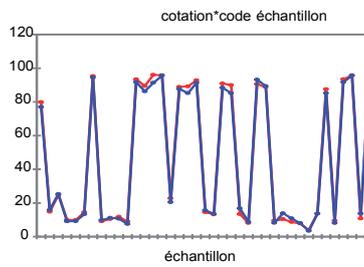
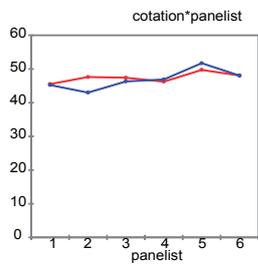




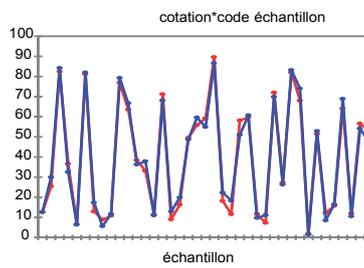
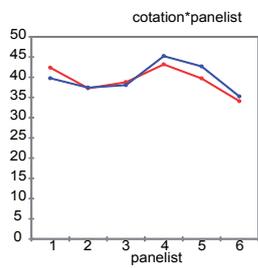
OCCUPATION



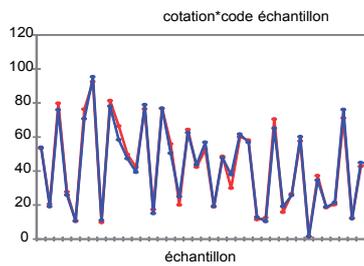
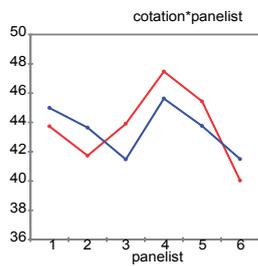
DENSITÉ



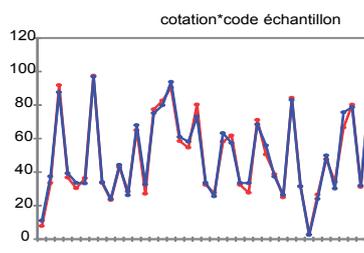
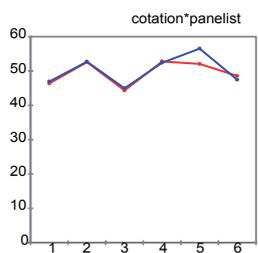
ORGANISATION



CONTRASTE DE BRILLANCE



BRILLANCE



LISIBILITÉ

**ANNEXE 4.3 : TABLEAU DES MOYENNES DES ÉVALUATION SENSORIELLE DE LA COLLÉC-
TION 2 PAR LE PANEL VISUEL**

	NETT	DIM	RELIEF	ALL	ANG	OCC	DENS	ORG	BRIL	CONTR.	COMPL	LISIB
8	12	28	23	23	81	77	87	13	23	27	88	15
17	23	32	42	27	89	81	83	12	17	48	95	37
21	86	12	55	38	52	35	70	19	16	58	41	60
23	4	5	13	10	11	95	96	5	1	3	72	6
112	77	76	28	59	56	76	64	90	60	97	30	93
120	14	9	28	9	10	87	94	64	27	10	64	11
123	49	69	48	35	96	67	80	13	55	47	91	46
127	77	50	38	53	8	84	79	85	59	19	63	71
128	39	95	84	89	16	71	55	51	77	29	60	49
129	60	74	67	50	51	67	64	57	69	47	70	49
130	5	44	7	13	47	40	15	15	70	7	51	12
132	94	91	95	47	14	33	44	36	49	40	39	84
133	96	93	89	55	70	29	38	26	58	86	49	81
134	94	67	82	7	6	41	59	96	94	11	9	96
135	91	19	63	8	8	50	60	96	65	12	7	93

ANNEXE 4.4 : NOTES PANEL, MESURES ET NOTES PRÉDITES DE LA COLLECTION 2

NETTETÉ

	PANEL	LARG	OUT	PREDICT
8	12	1	130	12
17	23	3	90	37
21	86	11	120	73
23	4	1	130	12
120	14	1	190	11
123	49	8	170	64
127	77	14	192	77
130	5	1	135	0
132	94	36	166	100
133	96	25	120	95
134	94	23	150	91
135	91	12	148	75

DIMENSION

	PANEL	mesure	PREDICT
8	28	33853	41
17	32	19978	27
21	12	18146	25
23	5	11649	16
120	9	13925	19
123	69	61656	62
127	50	86295	76
130	44	94644	81
132	91	111254	89
133	93	119714	93
134	67	34550	41
135	19	8963	12

ALLONGEMENT

	PANEL	meandim	eccentr	majoraxis	radmax	PREDICT
8	23	40	0,78	52	28	24
17	27	50	0,76	54	30	25
21	38	99	0,82	161	91	22
23	10	40	0,85	82	43	22
120	9	62	0,74	102	56	20
123	35	122	0,63	155	85	26
127	53	211	0,62	396	187	43
130	13	74	0,70	52	27	31
132	47	168	0,82	143	72	53
133	55	50	0,86	33	17	32
134	7	185	0,15	210	109	7
135	8	92	0,30	107	56	9

ANGULOSITÉ

	PANEL	mesANGUL	Per2Circle	s.area	s.perimeter	h.idm.s1	h.den.s2	PREDICT
8	81	3,139	1,438	4013	282	0,399	0,951	82
17	89	3,016	1,488	4896	320	0,576	0,762	75
21	52	2,750	1,294	10401	464	0,558	0,871	72
23	11	3,342	2,052	2798	371	0,411	0,947	20
120	10	4,450	2,032	6062	552	0,455	0,990	37
123	96	3,417	1,495	32824	919	0,598	0,804	80
127	8	3,000	1,840	80579	1850	0,636	0,748	49
130	47	0,000	1,278	16361	401	0,443	0,826	42
132	14	2,800	1,098	81491	1104	0,494	1,008	0
133	70	2,444	1,197	11171	218	0,470	0,890	65
134	6	0,000	0,958	33992	626	0,449	1,017	8
135	8	0,000	0,931	8709	308	0,388	1,095	23

OCCUPATION

	PANEL	NBR	val	DIM	PREDICT
8	77	524	52	41	81
17	81	383	47	27	71
21	35	159	58	25	70
23	95	543	51	16	92
120	87	294	55	19	78
123	67	85	61	62	52
127	84	18	82	76	66
130	40	149	53	81	39
132	33	33	62	89	37
133	29	247	53	93	41
134	41	16	60	41	55
135	50	56	33	12	38

DENSITÉ

	PANEL	DIM	dens	medDist	PREDICT
8	87	41	0,557	476	77
17	83	27	0,484	470	76
21	70	25	0,627	455	87
23	96	16	0,582	471	98
120	94	19	0,598	467	95
123	80	62	0,640	493	81
127	79	76	0,842	458	72
130	15	81	0,542	443	21
132	44	89	0,620	474	43
133	38	93	0,503	501	42
134	59	41	0,616	428	55
135	60	12	0,336	448	57

ORGANISATION

	PANEL	NBR	OrientElems	PREDICT
8	13	21	5,41	33
17	12	22	9,84	29
21	19	20	36,10	7
23	5	37	0,86	33
120	64	37	-5,29	39
123	13	24	11,22	27
127	85	30	-18,41	51
130	15	37	6,89	28
132	36	14	7,60	36
133	26	26	15,77	22
134	96	3	-3,30	98
135	96	3	-3,48	98

RELIEF

	PANEL	RELIEFiso	NET	max.slope	PREDICT
8	23	68	12	41	16
17	42	99	37	44	75
21	55	153	73	45	46
23	13	147	12	35	27
120	28	85	11	24	21
123	48	83	64	28	56
127	38	92	77	42	50
130	7	7	0	24	4
132	95	195	100	45	87
133	89	177	95	40	82
134	82	165	91	40	78
135	63	78	75	45	54

BRILLANT

	DIFF	FWMH	GLOSS	MAX	SAT	TOTAL	PANEL	DIM	RELIEF	PREDICT
8	0,228	33	0,011	7287	0,761	367900	23	41	23	45
17	0,555	40	0,006	2754	0,439	272278	17	27	42	17
21	0,272	45	0,021	1926	0,707	124143	16	25	55	10
23	0,708	91	0,000	816	0,292	216525	1	16	13	-2
120	0,561	48	0,005	3277	0,434	355511	27	19	28	27
123	0,392	33	0,017	6916	0,592	411031	55	62	48	54
127	0,352	36	0,016	6414	0,632	389338	59	76	38	49
130	0,136	31	0,019	14794	0,845	603537	70	81	7	68
132	0,475	52	0,000	3481	0,525	344982	49	89	95	62
133	0,498	38	0,012	4970	0,490	409338	58	93	89	63
134	0,323	31	0,015	9775	0,662	506028	94	41	82	82
135	0,120	35	0,002	7542	0,878	329322	65	12	63	65

CONSTRASTE DE BRILLANT

	PANEL	THETA 25	THETA 0	THETA -4	THETA -10	THETA -20	PREDICT
8	27	0,021	0,081	0,075	0,055	0,028	37
17	48	0,029	0,057	0,051	0,039	0,029	52
21	58	0,024	0,142	0,117	0,068	0,031	43
23	3	0,019	0,081	0,072	0,053	0,027	23
120	10	0,022	0,285	0,234	0,106	0,031	14
123	47	0,012	0,136	0,108	0,061	0,022	53
127	19	0,035	0,073	0,067	0,051	0,037	20
130	7	0,010	0,120	0,105	0,058	0,018	5
132	40	0,012	0,170	0,133	0,065	0,018	66
133	86	0,028	0,252	0,197	0,099	0,037	81
134	11	0,030	0,088	0,084	0,067	0,039	23
135	12	0,024	0,044	0,042	0,035	0,027	2

COMPLEXITÉ

	PANEL	PREDICT
8	88	86
17	95	84
21	41	83
23	72	64
120	64	68
123	91	80
127	63	54
130	51	75
132	39	40
133	49	71
134	9	18
135	7	25

LISIBILITÉ

	PANEL	PREDICT
8	27	16
17	27	28
21	84	28
23	3	20
120	9	27
123	44	46
127	30	47
130	24	50
132	92	88
133	90	67
134	97	82
135	86	86

ANNEXE 5.1 : NOTES PANEL, MESURES ET NOTES PRÉDITES DE LA COLLECTION 3

NETTETÉ

	PANEL	LARG	OUT	PREDICT
MIK TKG	80	9	171	67
15/40 TKG	42	7	180	60
MON TKG	68	10	170	70
ROM TKG	53	10	180	69
ROM TRC	47	10	180	69
15/40 TRC	14	8	180	64
MIK TRC	80	10	170	70
MON TRC	70	10	175	70
MON PPC	66	13	150	77
MIK PPC	86	10	160	70
15/40 PPC	43	9	170	67
ROM PPC	52	11	175	72

DIMENSION

	PANEL	mesure	PREDICT
MIK TKG	75	26785	34
15/40 TKG	25	11957	17
MON TKG	60	69295	66
ROM TKG	31	20456	28
ROM TRC	28	26695	34
15/40 TRC	35	37450	44
MIK TRC	76	27160	35
MON TRC	68	41261	47
MON PPC	66	77809	71
MIK PPC	73	27977	35
15/40 PPC	33	45053	50
ROM PPC	35	27489	35

ALLONGEMENT

	PANEL	meandim	eccentr	majoraxis	radmax	PREDICT
MIK TKG	13	210	0,58	298	183	9
15/40 TKG	24	114	0,81	160	86	31
MON TKG	40	115	0,70	145	78	29
ROM TKG	57	236	0,99	891	389	55
ROM TRC	52	236	0,99	892	388	56
15/40 TRC	28	135	0,82	208	107	35
MIK TRC	13	253	0,66	362	211	22
MON TRC	33	151	0,77	206	112	33
MON PPC	37	123	0,76	145	78	33
MIK PPC	9	209	0,60	298	183	10
15/40 PPC	27	107	0,76	143	76	30
ROM PPC	53	237	0,99	883	388	52

ANGULOSITÉ

	PANEL	mesANGUL	Per2Circle	s.area	s.perimeter	h.idm.s1	h.den.s2	PREDICT
MIK TKG	46	4,00	1,74	73422	1630	0,37	1,07	60
15/40 TKG	61	3,60	1,81	26439	1014	0,32	1,16	55
MON TKG	86	3,15	1,35	30494	823	0,39	1,05	80
ROM TKG	20	2,00	2,22	56068	1866	0,40	1,06	20
ROM TRC	19	2,00	2,15	55836	1798	0,43	1,03	19
15/40 TRC	68	3,38	1,89	34548	1204	0,39	1,06	55
MIK TRC	46	4,00	1,75	68212	1612	0,38	1,09	58
MON TRC	87	3,63	1,85	50411	1408	0,43	0,99	64
MON PPC	86	3,20	1,78	56053	1411	0,55	0,86	49
MIK PPC	51	3,75	1,31	43635	967	0,40	1,07	77
15/40 PPC	73	3,43	1,84	28286	1059	0,41	1,08	44
ROM PPC	15	2,00	2,13	56351	1792	0,44	1,02	18

OCCUPATION

	PANEL	NBR	val	DIM	PREDICT
MIK TKG	83	24	82	75	67
15/40 TKG	88	111	68	25	78
MON TKG	69	86	71	60	65
ROM TKG	72	15	70	31	72
ROM TRC	77	13	71	28	74
15/40 TRC	87	93	70	35	76
MIK TRC	83	20	83	76	68
MON TRC	70	54	72	68	61
MON PPC	71	113	71	66	64
MIK PPC	85	28	84	73	71
15/40 PPC	87	104	68	33	74
ROM PPC	74	9	71	35	70

DENSITÉ

	PANEL	DIM	dens	medDist	PREDICT
MIK TKG	52	34,18	0,823	549	100
15/40 TKG	79	16,62	0,665	477	100
MON TKG	62	66,39	0,679	469	67
ROM TKG	79	27,51	0,701	379	47
ROM TRC	66	34,1	0,709	439	79
15/40 TRC	83	43,84	0,694	539	100
MIK TRC	61	34,55	0,824	542	100
MON TRC	58	46,95	0,710	507	100
MON PPC	59	71,46	1,229	648	100
MIK PPC	62	35,35	0,837	542	100
15/40 PPC	83	49,9	0,666	477	85
ROM PPC	74	34,88	0,711	459	92

ORGANISATION

	PANEL	NBR	OrientElems	PREDICT
MIK TKG	93	3	-30	100
15/40 TKG	10	15	14	29
MON TKG	8	13	38	11
ROM TKG	90	1	90	100
ROM TRC	87	1	90	100
15/40 TRC	15	13	8	37
MIK TRC	93	3	-31	100
MON TRC	9	13	39	10
MON PPC	14	13	45	4
MIK PPC	96	3	-30	100
15/40 PPC	15	15	19	26
ROM PPC	86	1	89	100

RELIEF

	PANEL	RELIEFiso	NET	max.slope	PREDICT
MIK TKG	36	99	80	35	46
15/40 TKG	53	73	43	26	71
MON TKG	66	75	68	37	57
ROM TKG	62	81	53	36	45
ROM TRC	62	82	48	37	41
15/40 TRC	49	69	14	21	22
MIK TRC	37	100	80	38	47
MON TRC	64	78	71	40	56
MON PPC	64	82	67	38	57
MIK PPC	45	96	87	39	43
15/40 PPC	51	75	43	22	41
ROM PPC	68	81	53	42	43

BRILLANT

	DIFF	FWMH	GLOSS	MAX	SAT	TOTAL	PANEL	DIM	RELIEF	PREDICT
MIK TKG	0,136	49	0,0000	3594	0,8640	209918	41	75	36	33
15/40 TKG	0,361	54	0,0000	2512	0,6388	211714	27	25	53	30
MON TKG	0,216	41	0,0040	4375	0,7803	244950	58	60	66	48
ROM TKG	0,005	39	0,0065	5582	0,9886	7786039	48	31	62	53
ROM TRC	0,002	31	0,0118	9594	0,9865	17550035	63	28	62	71
15/40 TRC	0,412	46	0,0000	4074	0,5881	321191	55	35	49	43
MIK TRC	0,127	39	0,0008	6496	0,8723	313760	74	76	37	51
MON TRC	0,146	35	0,0174	7226	0,8365	334037	68	68	64	64
MON PPC	0,171	32	0,0131	8255	0,8163	362917	73	66	64	67
MIK PPC	0,093	38	0,0000	6934	0,9067	311495	77	73	45	56
15/40 PPC	0,387	47	0,0000	4484	0,6127	344946	61	33	51	49
ROM PPC	0,004	31	0,0054	10207	0,9911	19256788	74	35	68	76

CONSTRASTE DE BRILLANT

	PANEL	THETA 25	THETA 0	THETA -4	THETA -10	THETA -20	PREDICT
MIK TKG	37	0,021	0,081	0,075	0,055	0,028	37
15/40 TKG	35	0,018	0,062	0,059	0,046	0,025	23
MON TKG	60	0,018	0,088	0,079	0,054	0,023	60
ROM TKG	72	0,014	0,107	0,094	0,056	0,019	63
ROM TRC	77	0,015	0,169	0,130	0,064	0,021	83
15/40 TRC	57	0,024	0,094	0,083	0,059	0,030	57
MIK TRC	66	0,017	0,126	0,102	0,063	0,025	62
MON TRC	71	0,018	0,126	0,105	0,061	0,023	76
MON PPC	82	0,021	0,142	0,116	0,067	0,026	78
MIK PPC	70	0,017	0,135	0,110	0,067	0,027	62
15/40 PPC	55	0,017	0,110	0,096	0,064	0,027	42
ROM PPC	74	0,011	0,177	0,138	0,066	0,019	59

COMPLEXITÉ

	PANEL	PREDICT
MIK TKG	40	39
15/40 TKG	73	71
MON TKG	87	85
ROM TKG	32	24
ROM TRC	28	23
15/40 TRC	78	63
MIK TRC	41	37
MON TRC	89	80
MON PPC	93	75
MIK PPC	40	44
15/40 PPC	79	65
ROM PPC	24	22

LISIBILITÉ

	PANEL	PREDICT
MIK TKG	66	60
15/40 TKG	38	26
MON TKG	31	34
ROM TKG	61	73
ROM TRC	56	76
15/40 TRC	33	40
MIK TRC	71	66
MON TRC	38	44
MON PPC	35	45
MIK PPC	81	59
15/40 PPC	33	38
ROM PPC	66	74

ANNEXE 6.1 : RÉSULTATS VISUELS DU TEST TRIANGULARE

VISUEL

Couple 1	mikado beige	TRC	15
		Softell	
Couple 2	mikado blanc	TRC	7
		Softell	
Couple 3	mikado noir	TRC	13
		Softell	
Couple 4	mikado noir	TRC	10
		PPC	
Couple 5	mikado noir	Softell	18
		PPC	
Couple 6	15-40 beige	TRC	15
		Softell	
Couple 7	15-40 blanc	TRC	12
		Softell	
Couple 8	15-40 noir	TRC	16
		Softell	
Couple 9	15-40 noir	TRC	5
		PPC	
Couple 10	15-40 noir	Softell	17
		PPC	
Couple 11	monde beige	TRC	15
		Softell	
Couple 12	monde blanc	TRC	11
		Softell	
Couple 13	monde noir	TRC	15
		Softell	
Couple 14	monde noir	TRC	9
		PPC	
Couple 15	monde noir	Softell	15
		PPC	

ANNEXE 6.2 : RÉSULTATS TACTILES DU TEST TRIANGULAIRE

TACTILE

Couple 16	mikado noir	TRC Softell	7
Couple 17	mikado noir	TRC PPC	6
Couple 18	mikado noir	Softell PPC	11
Couple 19	15-40 noir	TRC Softell	8
Couple 20	15-40 noir	TRC PPC	8
Couple 21	15-40 noir	Softell PPC	10
Couple 22	monde noir	TRC Softell	6
Couple 23	monde noir	TRC PPC	9
Couple 24	monde noir	Softell PPC	11
Couple 25	PPC	mikado 15-40	15
Couple 26	PPC	mikado monde	17
Couple 27	PPC	15-40 monde	10
Couple 28	TRC	mikado 15-40	16
Couple 29	TRC	mikado monde	15
Couple 30	TRC	15-40 monde	10
Couple 31	Softell	mikado 15-40	15
Couple 32	Softell	mikado monde	18
Couple 33	Softell	15-40 monde	10

Consignes générales

Mise en situation

Vous avez comme projet de **changer votre véhicule actuel contre un véhicule neuf du même niveau de gamme**. Vous vous rendez chez le concessionnaire qui vous propose de pouvoir **choisir la finition de votre future planche de bord** !

Les échantillons que vous allez voir durant cette enquête ont été **prélevés au niveau de la planche de bord de différents véhicules**. Nous souhaitons recueillir votre avis sur ces échantillons s'ils vous étaient proposés pour la planche de bord de votre nouvelle voiture.

Nous allons nous intéresser à votre **perception tactile, visuelle et visio-tactile de ces échantillons**.

Le test se déroule en 4 étapes pour une durée totale de 1h30. Après l'étape 3, vous aurez 5 min de pause pendant lesquelles nous préparerons la suite de l'évaluation. Des boissons et des gâteaux seront disponibles dans la salle adjacente.

Installation : Pour que tous les échantillons soient évalués par toutes les personnes dans les mêmes conditions, nous vous demandons de respecter les consignes suivantes pour votre installation.

Pour les étapes 2 à 4, l'installation nécessite des réglages de votre siège : vous devez vous installer de façon à ce que vos yeux soient à la même hauteur que la croix matérialisée par le scotch noir devant vous. Pendant la notation, nous vous demandons de rester adossé au dossier.

0 : je n'aime pas du tout
10 : j'aime beaucoup

- Vous pouvez mettre des *ex-æquo*, c'est-à-dire que vous pouvez mettre la même note à des échantillons différents
- Vos jugements peuvent évoluer au cours de l'évaluation. Vous pouvez donc ajuster vos notes au fur et à mesure et revoir un échantillon déjà évalué.

Commentaires :

Echantillon N°	Quels sont les caractéristiques de l'échantillon que vous prenez en considération dans votre note d'appréciation tactile

Etape 2 – Evaluation visuelle

Dans cette 2eme étape, nous vous demandons d'évaluer **visuellement** 18 échantillons qui ont été prélevés sur des planches de bord de véhicules.
Nous vous demandons donc de ne pas les toucher.

Plusieurs cas de configurations vont vous être proposés. Nous vous rappelons que vous êtes toujours chez le concessionnaire pour choisir votre futur véhicule et que l'on vous donne l'opportunité de choisir les finitions de votre planche de bord.

Vous allez voir plusieurs harmonies de teintes différentes et nous vous demandons d'évaluer l'aspect visuel de ces échantillons pour une même catégorie de teinte.

Nous vous demandons de donner une note d'appréciation de l'aspect visuel de l'échantillon par une note de 0 à 10 :

0 : je n'aime pas du tout
10 : j'aime beaucoup

- Vous pouvez mettre des *ex-æquo*, c'est-à-dire que vous pouvez mettre la même note à des échantillons différents

Etape 3 – Evaluation viso-tactile

Dans cette 3eme étape, nous vous demandons d'évaluer **18** échantillons qui ont été prélevés sur des planches de bord de véhicules en prenant cette fois ci en compte **l'aspect visuel et le toucher** des échantillons.

Nous vous demandons de noter leur niveau d'appréciation tactile et visuelle par une note de 0 à 10 :

0 : je n'aime pas du tout

10 : j'aime beaucoup

- *Vous pouvez mettre des nombres décimaux, c'est-à-dire des nombres avec une virgule.*
- *Vous pouvez mettre des ex-æquo, c'est-à-dire que vous pouvez mettre la même note à des échantillons différents*

Echantillon N°	Quels sont les caractéristiques de l'échantillon que vous prenez en considération dans votre note d' appréciation visuelle + toucher

Questions complémentaires

POUR MIEUX VOUS CONNAITRE, merci de répondre aux questions ci-dessous :

Quel est votre sexe ? (une seule réponse possible)

- Femme
- Homme

Quel âge avez-vous ? (une seule réponse possible)

- Moins de 25 ans
- Entre 26 et 35 ans
- Entre 36 et 45 ans
- Entre 46- et 55 ans
- Entre 56 et 65 ans
- Plus de 65 ans

Quelle est votre situation personnelle :

- Célibataire
- Marié(e), pacsé(e) ou en union libre

Quelle est votre composition familiale ? (plusieurs réponses possibles)

- Sans enfant
- Avec enfant(s) dont au moins un vit au foyer
- Avec enfant(s) ne vivant plus au foyer

CONCERNANT LE VEHICULE DONT VOUS ETES LE CONDUCTEUR PRINCIPAL

Quelle est la marque :

.....

Quel est le modèle :

.....

Avez-vous acheté votre véhicule (une seule réponse possible)

- Neuf
- D'occasion
- Autre, précisez :

Quel est son âge : (une seule réponse possible)

- Moins d'un an
- Entre 1 et 3 ans
- Entre 3 et 5 ans
- Entre 5 et 10 ans
- Plus de 10 ans

La planche de bord de votre véhicule est plutôt : (une seule réponse possible)

- Claire
- Foncée

Quel est le niveau de finition de votre véhicule : (une seule réponse possible)

- Entrée de gamme
- Intermédiaire
- Haut de gamme

Combien avez-vous achetés votre véhicule ? (une seule réponse possible)

- Moins de 10 000€
- Entre 10 et 14 999€
- Entre 15 et 19 999€
- Entre 20 et 24 999€
- Entre 25 et 29 999€
- Plus de 30 000€

Combien de kilomètres parcourez-vous par an ? (une seule réponse possible)

- Moins de 10 000 km
- Entre 10 000 et 20 000 km
- Entre 21 000 et 30 000 km
- Entre 31 000 et 40 000 km
- Plus de 41 000 km

A quelle fréquence utilisez-vous votre véhicule ? (une seule réponse possible)

- Tous les jours ou presque
- Quelques fois dans la semaine (1 à 3 fois par semaine)
- Quelques fois par mois (1 à 3 fois par mois)
- Rarement (moins d'une fois par mois)

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

NNT : Communiqué le jour de la soutenance

Caterina PASSARO

FROM MATERIAL/PROCESS TO PERCEIVED QUALITY :
DEVELOPMENT OF A PREDICTIVE TOOL OF THE VISUAL PERCEPTION OF POLY-
PROPYLENE INJECTION INTERIOR PARTS OF THE VEHICLE.

Speciality : The Speciality

The aim of the study is to analyze the impact of texture/material couple of polypropylene injection pieces on the characteristics of the surface and the Perceived Quality. In order to answer this question, we developed a system for the characterization and the prediction of the appearance of the texture. It includes a scale of characterization (composed of 12 descriptors) and two «instruments» of characterization: a visual panel and instrumental panel. The instrumental panel is composed of 12 predictive models of the 12 descriptors. The models are built on sensory ratings and the measures of 3 instruments: an optical roughness, a gonio-spectrophotometer and a camera coupled with a microscope.

The characterization system is used on a set of samples of injected polypropylene. The analysis of these textures defines the aesthetics descriptors of the grain, the “fantasy” descriptor and descriptors that differentiate the materials, that is to say, gloss descriptors. Changes perceived on gloss descriptor depend on the texture/material couple and color samples.

The investigation into the causes of variations in gloss is performed on black samples and is exploratory. The results indicate that the texture/material couple has an impact on the perception of gloss. This impact depends on the composition of material, the topography of the grain, the injection conditions and the presence of surface defects.

Finally, we confirmed that the characteristics of the samples are in accordance with their perception of quality and appreciation through a customer survey. The data says that the aesthetics of the texture is the first factor of influence. For the same texture, the choice of material gives differences of opinion. The perception of quality of the texture depends from the choice of the color and brightness of the material.

All of this exploratory work of the visual perception of textured parts presents the tools for their characterization. This is the first overview of a very broad topic that draws the boundaries of the subject.

Key words: visual characterization, instrumental characterization, perceived quality, automotive texture, polypropylene, injection.

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

NNT : Communiqué le jour de la soutenance

Caterina PASSARO

DU COUPLE MATÉRIAU-PROCÉDÉ À LA QUALITÉ PERÇUE :
ÉLABORATION D'UN OUTIL PRÉDICTIF DE LA PERCEPTION VISUELLE DES PIÈCES
EN INJECTION DE POLYPROPYLENE D'INTÉRIEUR DU VÉHICULE.

Spécialité : Sciences et génie des matériaux

Le but du travail est d'analyser l'impact du couple grain/matériau des pièces grainées issues de l'injection de polypropylène sur les caractéristiques de la surface et sur la Qualité Perçue. Afin de pouvoir répondre à cette question, nous avons développé un système de caractérisation et de prédiction des propriétés d'aspect des grains. Il comprend une échelle de caractérisation (composé de 12 descripteurs) et deux « instruments » de caractérisation : un panel visuel et un panel instrumental. Le panel instrumental est composé de 12 modèles prédictifs des 12 descripteurs. Les modèles sont construits sur les notes sensorielles et sur les mesures de 3 instruments: un rugosimètre optique, un gonio-spectrophotomètre et une caméra couplée à une loupe binoculaire.

Le système de caractérisation est utilisé sur un ensemble d'échantillons en polypropylène injecté. L'analyse de ces grains nous permet de définir les descripteurs relatifs à l'esthétique du grain, c'est-à-dire les descripteurs de « fantaisie », et les descripteurs de « brillant », en d'autres termes ceux qui permettent de différencier les matières. Les variations perçues de ces derniers dépendent du couple grain/matière et de la couleur des échantillons.

La recherche des causes des variations de brillant est effectuée sur des échantillons noirs et est exploratoire. Les résultats indiquent que le couple grain/matériau a un impact sur la perception de brillant. Cet impact dépend de la composition de la matière, de la topographie du grain, de la réponse de la matière à cette topographie en fonction des conditions d'injection et de la présence de défauts de surface.

Enfin, nous avons vérifié que les caractéristiques perçues des échantillons sont en accord avec leur perception de qualité et leur appréciation à travers une enquête client. Il en résulte que l'esthétique du grain est le premier facteur d'influence. Pour un même grain, le choix de la matière porte à des différences d'appréciation. La perception de qualité découle du choix du grain en fonction de la couleur, et de la brillance de la matière. L'ensemble de ce travail exploratoire de la perception visuelle des pièces grainées présente donc les outils développés nécessaires à leur caractérisation. C'est un premier survol d'un sujet très vaste qui a permis de délimiter les frontières du sujet.

Mot clés : caractérisation visuelle, caractérisation instrumentales, qualité perçue, grain automobile, polypropylène, injection

