Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles

Muriel Noël

▶ **To cite this version:**

Muriel Noël. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles. Psychologie. Université Rennes 2, 2023. Français. NNT : 2023REN20022 . tel-04200482

HAL Id: tel-04200482
https://theses.hal.science/tel-04200482

Submitted on 8 Sep 2023

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

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

COLLEGE DOCTORAL BRETAGNE

EDUCATION, LANGAGES
INTERACTIONS, COGNITION
CLINIQUE, EXPERTISE

UNIVERSITÉ RENNES 2

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE RENNES 2

ECOLE DOCTORALE N° 646
Éducation, Langages, Interactions, Cognition, Clinique, Expertise
Spécialité : *Psychologie*

Par
Muriel NOËL

« Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles »

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 26 juin 2023

Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication (LP3C)

Rapporteurs avant soutenance :

Hervé Abdi	Professeur des universités, University of Texas at Dallas
Edith Galy	Professeure des universités, Université Côte d'Azur

Composition du Jury :

Hervé Abdi	Professeur des universités, University of Texas at Dallas
Edith Galy	Professeure des universités, Université Côte d'Azur
Julien Delarue	Professeur des universités, University of California Davis
Dominique Valentin	Maitre de conférences HDR, Institut Agronomie Dijon

Dir. de thèse : Yvonnick Noel	Professeur des universités, Université Rennes 2
Co-dir. de thèse : Sébastien Lê	Maitre de conférences, Institut Agro Rennes-Angers

UNIVERSITÉ RENNES 2

Unité de recherche – Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication (LP3C)

École doctorale n°646 – Éducation, Langages, Interactions, Cognitions, Clinique, Expertise

Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles

Thèse de Doctorat de Psychologie

Présentée par Muriel NOËL

Sous la direction de :

Yvonnick Noël, Professeur des Universités, Université Rennes 2 (Directeur de thèse)

Sébastien Lê, Maitre de conférences, Institut Agro Rennes-Angers (Co-directeur de thèse)

Soutenue à Rennes, le 26 juin 2023

Composition du jury :

Hervé Abdi, Professeur des Universités, University of Texas Dallas (*Rapporteur*)

Edith Galy, Professeure des Universités, Université Côte d'Azur (*Rapportrice*)

Julien Delarue, Professeur des Universités, University of California Davis (*Examinateur*)

Dominique Valentin, Maitre de conférences HDR, Institut Agronomie Dijon (*Examinatrice)*

REMERCIEMENTS

Pour ces travaux de recherche, j'ai eu la chance d'être encadrée, soutenue et écoutée par de nombreuses personnes. Je souhaite les remercier par ces quelques lignes.

Je souhaite tout d'abord remercier chaleureusement Yvonnick Noël, Sébastien Lê et Noémie Lucet qui m'ont accordé leur confiance et m'ont permis de réaliser ce doctorat. Merci à vous trois d'avoir rendu cette expérience enrichissante et épanouissante. Votre encadrement, chacun à votre manière, a été précieux pour l'aboutissement de cette thèse. Je n'aurais pas pu rêver d'une meilleure équipe pour ces trois années de recherche. Yvonnick, merci de m'avoir transmis votre passion pour les statistiques, toujours avec bienveillance et pédagogie. Sébastien, merci de m'avoir proposé ce sujet de thèse et de l'avoir défendu à mes côtés. Enfin Noémie merci d'avoir été un soutien sans faille. C'est évidemment un honneur d'avoir été ta première doctorante.

Aussi, je suis très reconnaissante envers les membres du jury, Hervé Abdi, Edith Galy, Julien Delarue et Dominique Valentin qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail.

Je tiens également à remercier David Blumenthal, Ronan Symoneaux, Jean-Philippe Alexander et Thomas Ehrmann pour le suivi, les discussions et les nombreux conseils lors des comités de thèse.

Ma reconnaissance va également à l'entreprise Renault pour le cadre de travail et les ressources allouées pour cette thèse CIFRE. Je pense notamment à Xavier Chalendon et Denis Mozzo avec qui j'ai beaucoup apprécié collaborer sur ce projet. À mes chers collègues du service Perception $\&$ Analyse sensorielle, je vous souhaite que le meilleur. Merci d'avoir toujours été attentif à mon bien-être. Je vous enverrai des photos d'Amérique du Sud, c'est promis. Je remercie Guillaume de m'avoir aidé sur pleins d'aspects techniques pour mes différents terrains expérimentaux. Enfin, je souhaite particulièrement remercier Caterina pour le temps qu'elle m'a accordé durant ces derniers mois, notamment pour les relectures du manuscrit. Tes conseils, toujours judicieux et pertinents ont réellement su me guider dans cette étape de rédaction. Tu as toute ma reconnaissance.

À mes collègues du département de mathématiques appliquées de l'Institut Agro Rennes-Angers, cela fait maintenant cinq ans que je parcours les couloirs du bâtiment 24 en m'y

sentant comme chez moi. Je vous remercie de participer à ce sentiment. Je pense que les pauses-café, toujours très animées et remplies de bonne humeur y sont pour quelque chose. Je tiens à remercier particulièrement Helena, toujours disponible pour m'aider ou m'écouter. Ta gentillesse est précieuse. Je tiens également à remercier Alexiane pour ses conseils et sa bienveillance. Enfin, j'adresse une attention particulière à Ousmane, mon partenaire de galère, avec qui j'ai commencé et terminé cette aventure. Avec un peu de chance, nos routes se recroiseront quelque part. Merci pour tout (mon sauveur LateX).

J'étends ces remerciements à l'ensemble des membres et des doctorants du LP3C. Merci de m'avoir accueilli à bras ouverts. C'est toujours un plaisir de venir travailler au laboratoire, d'échanger avec vous et de voir toute cette entraide.

Un grand merci à mes relectrices Camille, Mathilde, Manon et Anaïs. Merci pour votre soutien lorsque j'en avais besoin et vos conseils avisés. Vous êtes des femmes inspirantes, alors continuez de briller.

Enfin à tous ceux qui me donnent tant d'amour au quotidien, à mes amis (des quatre coins de la France et de la Réunion), à ma famille (papa, maman, mamie, Julien j'espère vous avoir rendu fiers...Bientôt, nous serons réunis, je l'espère), et surtout à toi Carl (chef 5* et partenaire officiel de cette thèse...vie ?), je vous remercie pour vos nombreux encouragements.

AVANT-PROPOS

Ces travaux de recherches ont été menés dans le cadre d'une convention CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la REcherche) entre trois acteurs principaux : le service Perception & Analyse sensorielle du Groupe Renault, le laboratoire LP3C de l'université Rennes 2 et le laboratoire IRMAR de l'Institut Agro Rennes-Angers.

Le service Perception & Analyse sensorielle du Groupe Renault a pour objectif de prendre en compte la diversité des préférences sensorielles et des ressentis émotionnels des clients dans la conception des innovations. En faisant cela, le service est capable de proposer des innovations automobiles à fort impact sensoriel et émotionnel.

Le laboratoire LP3C de l'université Rennes 2 est un acteur majeur dans le développement psychométrique de modèles et d'outils de mesure innovants. L'un des objectifs du laboratoire est de développer la connaissance des variabilités inter- et intra- individuelles de processus psychologiques variés (émotions, apprentissage, etc.). Le LP3C est notamment à l'origine du développement des modèles beta de réponse à l'item pour réponses continues bornées (Noel, 2014) ainsi que de modèles dimensionnels de l'humeur, de l'émotion et de la personnalité (Y. Noël, 1999 ; Noel, 2015 ; Noel, Fevrier, & Deflandre, 2018).

Le laboratoire IRMAR de l'Institut Agro Rennes-Angers est un acteur majeur dans la recherche statistique relative à des problématiques sensorielles (Brard & Lê, 2017 ; Lê, Lê, & Cadoret, 2015). Le laboratoire est également à l'origine du développement de packages sur le logiciel R, tels que le package FactoMineR (Husson, Josse, Le, & Mazet, 2023) pour l'analyse exploratoire multidimensionnelle de données, et le package SensoMineR (Husson, Le, & Cadoret, 2020) pour l'analyse de données sensorielles sur R.

Les deux laboratoires (LP3C et IRMAR) ont une bonne expérience du développement de modèles pour l'analyse des perceptions hédoniques, des émotions et des opinions. C'est pourquoi le rapprochement entre le partenaire industriel et les laboratoires de recherche a été naturel pour se confronter à la problématique suivante : la nécessité de mesurer et de comprendre les attitudes à l'égard des technologies, dans le contexte particulier de l'automobile.

PRÉAMBULE

D'après une étude publiée par Strategy Analytics, menée sur des consommateurs âgés de 18 à 34 ans et propriétaires de véhicules premium, des caractéristiques historiquement classées secondaires deviennent importantes dans le processus de choix d'un véhicule. Parmi ces caractéristiques : l'info-divertissement (système de navigation, *hotspot Wi-Fi*, connexion aux applications du smartphone) et les interfaces Homme-Machine ou IHM.

L'IHM est un outil de communication entre l'humain et la machine. Cette communication peut s'avérer complexe, car elle fait appel à de nombreuses fonctions cognitives, notamment dans le contexte automobile où la sécurité est centrale.

Lors du développement d'une IHM, il est ainsi important de s'assurer de l'aspect ergonomique de celle-ci, afin qu'elle soit adaptée à : la découverte (qui porte notamment sur la compréhension de l'IHM), l'usage quotidien (qui vise à faciliter l'usage et le confort d'utilisation) et la compatibilité en conduite (qui tient compte de la distraction visuelle par exemple). Il est également important de veiller à l'aspect hédonique de l'IHM, afin que celle-ci soit source de plaisir à regarder, à toucher et à écouter.

Chez Renault, le développement d'une IHM automobile mobilise des équipes pluridisciplinaires regroupant :

- la Direction de la Stratégie Produit, qui représente la voix du client dans la définition des attentes en termes de fonctionnalités des IHM. Elle s'appuie sur la Direction de la Connaissance Client, qui analyse les tendances sociétales et réalise des enquêtes de satisfaction et d'usage sur les véhicules commercialisés ;
- la Direction du Design, qui répond à la demande Produit par des propositions formelles en s'appuyant sur les métiers experts de l'ergonomie et de la qualité perçue ;
- la Direction de l'Ingénierie, qui répond à la demande Produit et aux propositions Design par la conception et la mise en œuvre des IHM.

Des boucles de convergence entre tous ces acteurs ont lieu régulièrement au cours de la conception de l'IHM jusqu'à sa mise en œuvre finale dans le véhicule.

Les IHM de Renault sont conçues en France pour des véhicules qui sont désormais vendus dans le monde entier. Ainsi, il est important de s'assurer que les IHM soient un outil de communication qui s'adaptent à toutes les cultures. Au sein du Groupe Renault, la prise en compte des spécificités culturelles est formalisée par la rédaction de documents par région (à l'échelle d'un continent ou d'un pays) établissant des exigences directes ou indirectes sur les IHM. Ces exigences sont orientées sur la présence ou l'absence de fonctionnalités et leurs caractéristiques ergonomiques principalement.

Aujourd'hui, face à l'évolution des technologies, les cockpits automobiles changent d'un point de vue de l'ergonomie, mais aussi dans la capacité à provoquer des émotions. Parce que la marque Renault souhaite orienter ses cockpits vers un environnement plus technologique, il est primordial pour l'entreprise d'étudier l'impact de ces changements sur ses clients, notamment dans un contexte où la sécurité est centrale. Les objectifs de la thèse sont donc les suivants :

- D'un point de vue académique : identifier les spécificités culturelles à prendre en compte dans les choix de conception ergonomique et hédonique des IHM.
- D'un point de vue industriel : définir si, dans un contexte d'évolution technologique, le bénéfice client (et donc commercial) est suffisant pour investir dans l'adaptation des IHM automobiles aux spécificités culturelles.

Ce travail de thèse est ainsi d'emblée multidisciplinaire au travers de l'ergonomie, de la sensométrie, de la sociologie, de l'anthropologie, de la psychométrie et de l'industrie automobile.

SOMMAIRE

Avant-propos **3**

Préambule **5**

Sommaire **14**

I Introduction : concevoir des Interfaces Homme-Machine en fonction de la culture **15**

1 Les Interfaces Homme-Machine : de leur conception à leur perception **17**

1.1 La conception d'un système interactif 17

1.2 La perception : au cœur du processus d'interaction homme-machine 19

1.2.1 Fonctionnement du système perceptif 19

1.2.2 Processus d'interaction Homme-Machine 20

1.2.3 Rôle de la perception dans les processus d'interaction homme-machine 21

1.3 La perception de caractéristiques ergonomiques 23

1.3.1 Critères de qualité ergonomique 23

1.3.2 Caractéristiques ergonomiques associées 23

1.3.3 Critères de conception ergonomique 26

1.3.4 Critères de conception ergonomique Renault 28

1.3.5 Évaluer la perception ergonomique 29

1.4 La perception de caractéristiques hédoniques 32

1.4.1 Vers une conception centrée utilisateur 32

1.4.2 Composante hédonique : fondamentale à l'expérience utilisateur 33

1.4.3 Critères de conception hédonique Renault 36

1.4.4 Évaluer la perception hédonique 36

1.5 Les enjeux liés aux perceptions ergonomiques et hédoniques 39

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

1.5.1 Des besoins spécifiques selon l'utilisateur . . . 39
1.5.2 Importance de la réaction émotionnelle . . . 40
1.6 Conclusions du chapitre 1 . . . 45

2 La Culture : un facteur qui impacte la perception des Interfaces Homme-Machine 46

2.1 La culture : une notion marquée par sa composante géographique . . . 47
2.1.1 Définition . . . 47
2.1.2 Cadre théorique . . . 48
2.1.3 Nationalité : un facteur de différenciation . . . 49
2.2 La mesure de différences culturelles nationales . . . 50
2.2.1 Cadre théorique . . . 50
2.2.2 Outils de mesure . . . 53
2.3 L'influence de la culture nationale sur l'interaction homme-machine . . . 54
2.3.1 Manière de penser différente . . . 54
2.3.2 Conception transculturelle . . . 56
2.4 Vers l'intégration d'une composante techno-socio-générationnelle . . . 61
2.5 Conclusions du chapitre 2 . . . 63

3 Le rapport particulier des cultures techno-socio-générationnelles aux IHM automobiles : introduction de la notion de techno-affinité 64

3.1 Une relation à la technologie différente selon la culture techno-socio-générationnelle 64
3.1.1 Effet de l'âge . . . 64
3.1.2 De l'âge au facteur techno-générationnel . . . 65
3.1.3 De la techno-génération au concept de techno-affinité . . . 67
3.2 L'impact de l'évolution des technologies sur les interactions Homme-Machine . 67
3.2.1 Évolution des styles d'interactions . . . 68
3.2.2 Impact sur les interactions homme-machine . . . 69
3.3 Le cas particulier des interfaces Homme-Machine automobiles . . . 71
3.3.1 Leur évolution . . . 71
3.3.2 Leur complexité . . . 76
3.3.3 Les enjeux de conception . . . 78
3.4 Conclusions du chapitre 3 . . . 79

La problématique et les hypothèses générales **81**

Problématique 81

Hypothèses générales 83

Objectifs généraux et organisation du manuscrit 86

II La techno-affinité comme marqueur culturel techno-socio-générationnel : construction d'une nouvelle échelle de mesure et identification de profils de techno-affinité **87**

4 Introduction de la partie 2 **88**

4.1 La techno-affinité comme facteur culturel de différenciation 88

4.2 Intérêt d'une nouvelle échelle de mesure 89

4.3 Principes généraux autour de la construction d'une échelle de mesure psychométrique 91

4.3.1 Processus de validation d'une échelle psychométrique 91

4.3.2 Intérêt des modèles IRT pour valider une échelle psychométrique . . . 92

4.4 Objectifs, organisation et sous-hypothèses de la partie 2 95

5 La construction d'une échelle de mesure d'attitude générale à l'égard des technologies pour montrer la pertinence du concept de techno-affinité comme facteur culturel de différenciation **97**

5.1 Objectifs 97

5.2 Construction de l'échelle de mesure 98

5.3 Questions attitudinales supplémentaires en vue de la validation externe 101

5.4 Population enquêtée et collecte des données 103

5.5 Méthodologie d'analyse 105

5.5.1 Étape 1 : évaluer la pertinence du concept de techno-affinité 105

5.5.2 Étape 2 : valider un questionnaire allégé comme échelle de mesure générale de la techno-affinité 106

5.5.3 Étape 3 : validation externe de l'échelle de mesure 108

5.5.4 Les indicateurs statistiques 109

5.5.5 Les outils d'analyse 109

5.6 Résultats 110

5.6.1 Pertinence du concept de techno-affinité 110

5.6.2 Validation d'un questionnaire allégé . . . 116
5.6.3 Validation externe de l'échelle . . . 119
5.7 Discussion . . . 127
5.7.1 Dimensionnalité de l'échelle de techno-affinité . . . 127
5.7.2 Structuration de l'échelle de techno-affinité . . . 128
5.7.3 Dimension temporelle englobée par la techno-affinité . . . 129
5.7.4 Caractère prédictif de la techno-affinité . . . 130
5.7.5 Stabilité internationale de l'échelle de techno-affinité . . . 131
5.7.6 Limites et perspectives . . . 132
5.8 Conclusions du chapitre 5 . . . 133

6 Le développement d'un outil de mesure pratique et l'identification de profils de techno-affinité 134
6.1 Objectifs . . . 134
6.2 Précisions concernant le questionnaire initial et la collecte des données . . . 135
6.3 Méthodologie d'analyse . . . 136
6.3.1 Étape 1 : vérifier la nature ordinale des items . . . 136
6.3.2 Étape 2 : valider un outil de mesure court . . . 136
6.3.3 Étape 3 : identifier des classes de techno-affinité . . . 137
6.3.4 Étape 4 : caractériser les classes de techno-affinité . . . 137
6.3.5 Étape 5 : valider un outil de mesure pratique . . . 138
6.3.6 Indicateurs statistiques . . . 138
6.3.7 Outils d'analyse . . . 139
6.4 Résultats . . . 140
6.4.1 Vérification de la nature ordinale des items . . . 140
6.4.2 Validation d'un outil de mesure court . . . 142
6.4.3 Identification de classes de techno-affinité . . . 144
6.4.4 Caractérisation des classes de techno-affinité : profil technologique . . . 145
6.4.5 Caractérisation des classes de techno-affinité : profil socio-générationnel 150
6.4.6 Validation d'un outil de mesure pratique . . . 152
6.5 Discussion . . . 153
6.5.1 Apports pratiques . . . 153

6.5.2 Description des profils de techno-affinité . . . 153
6.5.3 Limites et perspectives . . . 156
6.6 Conclusions du chapitre 6 . . . 157

III L'impact de la techno-affinité sur la relation homme-machine automobile 159

Introduction, objectifs et organisation de la partie 3 160

7 Les différents profils de techno-affinité face aux interactions homme-machine en contexte général et automobile 162
7.1 Objectifs . . . 162
7.2 Mise en place de Focus Groups . . . 163
7.2.1 Constitution des groupes . . . 163
7.2.2 Questionnaire d'entretien semi-directif . . . 164
7.3 Collecte de données . . . 164
7.4 Méthodologie d'analyse . . . 166
7.5 Résultats . . . 168
7.5.1 Rapport à la technologie . . . 169
7.5.2 Choix et attentes en termes de technologies embarquées . . . 174
7.5.3 Rapport aux interactions homme-machine . . . 179
7.5.4 Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile . . . 184
7.5.5 Projection dans l'expérience de conduite de demain . . . 189
7.5.6 Projection dans un cockpit automobile idéal . . . 193
7.6 Discussion . . . 196
7.6.1 Impact du contexte automobile sur les usages . . . 196
7.6.2 Perception de l'utilité . . . 196
7.6.3 Maîtrise des interactions . . . 198
7.6.4 Gestion des informations en conduite . . . 200
7.6.5 Types de commandes attendues . . . 201
7.6.6 Limites et perspectives . . . 201
7.7 Conclusions du chapitre 7 . . . 202

8 Les différents profils de techno-affinité face à la numérisation et à la dématérialisation des interactions homme-machine en contexte automobile 203

8.1 Objectifs . . . 203

8.2 Mise en place d'un protocole expérimental . . . 204

8.2.1 Contraintes du terrain . . . 204

8.2.2 Choix des cockpits automobiles à évaluer . . . 205

8.2.3 Recrutement des sujets . . . 212

8.2.4 Création du questionnaire d'évaluation de l'UX . . . 213

8.3 Protocole et collecte des données . . . 218

8.4 Méthodologie d'analyse . . . 222

8.4.1 Étape 1 : analyse des composantes de l'UX . . . 222

8.4.2 Étape 2 : analyse du jugement global . . . 226

8.4.3 Étape 3 : analyse des préférences . . . 227

8.4.4 Outils d'analyse . . . 230

8.5 Résultats . . . 231

8.5.1 Composante perceptive . . . 231

8.5.2 Composante émotionnelle . . . 236

8.5.3 Appréciation globale . . . 241

8.5.4 Préférences . . . 245

8.6 Discussion . . . 255

8.6.1 Une interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle identique . 255

8.6.2 Des besoins hédoniques et ergonomiques différents . . . 258

8.6.3 Limites et perspectives . . . 260

8.7 Conclusions du chapitre 8 . . . 263

IV Discussion générale 264

9 Discussion générale 265

9.1 Rappel des objectifs, des problématiques et des hypothèses . . . 265

9.2 Approches générales pour répondre aux problématiques de la thèse . . . 267

9.3 Contributions, limites et perspectives autour de la mesure de techno-affinité . . 268

9.3.1 Contributions . . . 268

9.3.2 Limites et perspectives 271
9.4 Contributions, limites et perspectives autour de la modélisation de l'UX en contexte automobile 273
9.4.1 Contributions 273
9.4.2 Limites et perspectives 275
9.5 Retour sur les questions de recherche 277
9.5.1 Spécificités culturelles à prendre en compte dans le choix de conception des IHM 277
9.5.2 Direction industrielle 278

Bibliographie **282**

Table des figures **298**

Liste des tableaux **303**

Annexes **306**

A Critères de conception IHM, extrait de Grislin et Kolski (1996) **306**

B Dimensions culturelles, extrait de Khan, Pitts, et Williams (2016) **307**

C Conception transculturelle selon Diaz, Rusu, et Collazos (2016) **308**

D Conception transculturelle selon Marcus et Gould (2000), adapté par Khan et al. (2016) **309**

E Questionnaire initial (items) **310**

F Questionnaire initial (échelles) **313**

G Critères mal ajustés au 2PL **322**

H Rubriques de la Figure 5.4 **323**

I Echelle de mesure de la techno-affinité **325**

J Courbes caractéristiques GPCM **329**

K Questions complémentaires **330**

L Outil de mesure pratique **332**

Première partie

Introduction : concevoir des Interfaces Homme-Machine en fonction de la culture

---

Chapitre 1

Les Interfaces Homme-Machine : de leur conception à leur perception

1.1 La conception d'un système interactif

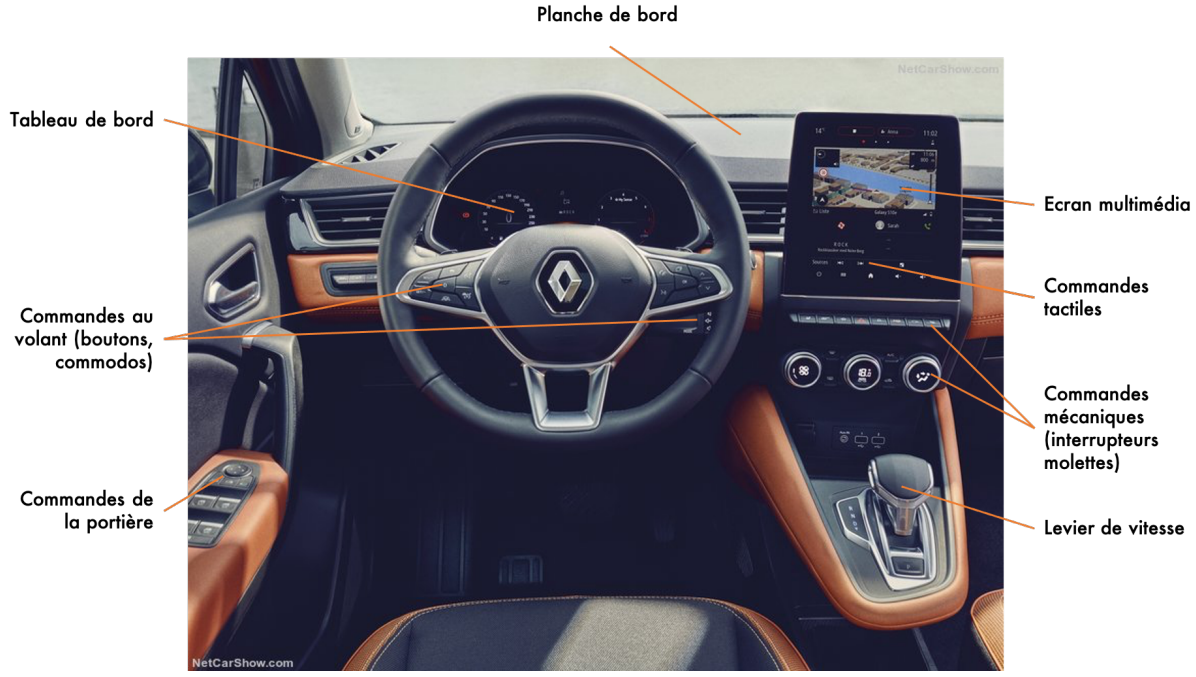
L'interface Homme-Machine (**IHM**) est un **système interactif** qui permet la communication entre les humains et les machines, autrement dit, entre deux types de langages sensiblement différents (Barnard, 1995 ; Card, Moran, & Newell, 1983). L'IHM permet donc à l'utilisateur d'interagir avec un objet technique lorsqu'il veut accomplir une tâche.

Dans le contexte automobile, l'IHM est définie par tout moyen ou outil à bord permettant le **contrôle** et la **communication** avec la voiture, et notamment les technologies embarquées (Figure 1.1). Ainsi, le volant, les pédales, mais aussi les écrans multimédias, le tableau de bord (écran derrière le volant) et toutes les commandes (boutons, interrupteurs, molettes) situées autour du volant, de la planche de bord, des sièges ou des portières, constituent les IHM automobiles (Meixner & Müller, 2017).

Les IHM sont constituées de dispositifs matériels et fonctionnels. Les dispositifs matériels s'apparentent aux pièces qui forment l'interface et qui vont pouvoir être manipulées (boutons, molettes, etc.), ou bien renvoyer de l'information aux utilisateurs (écrans, diodes lumineuses, etc.). Les dispositifs fonctionnels sont la technique qui se cache derrière l'interface et qui permettent à l'objet technique de recevoir, enregistrer et traiter l'information (Card et al., 1983).

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

FIGURE 1.1 – IHM dans un cockpit automobile.



Source de l'image : www.netcarshow.com, visité en 2023.

Pour concevoir les IHM, il convient de maîtriser les aspects techniques. C'est aux ingénieurs informatiques et aux designers industriels de proposer des systèmes toujours plus performants (temps de réponse amélioré, fiabilité, etc.). Cependant, les auteurs s'accordent à dire que les sciences humaines ont un rôle déterminant à jouer dans la conception des IHM (Barnard, 1995 ; Landauer, 1995 ; Myers et al., 1996 ; Scapin, 1986 ; Shackel, 1969). Dans un guide ergonomique pour la conception, Scapin (1986) présente l'ordinateur comme une extension du cerveau humain, mettant en œuvre comme lui de la gestion de mémoire et des processus de résolution de problème. Leurs architectures et leurs fonctionnements restent néanmoins assez différents, d'où l'importance de réfléchir aux modalités de la communication homme-machine. Pour améliorer la communication entre l'humain et l'interface d'un ordinateur par exemple, il conviendrait donc d'étudier la manière dont « *l'esprit de l'utilisateur fonctionne en interaction avec la dynamique de traitement et d'affichage de l'information de l'ordinateur* » (Landauer, 1995, p. 659, notre traduction). Des études en sciences comportementales et cognitives ont donc été menées dans le but d'**améliorer les interactions hommes-machine**.

1.2 La perception : au cœur du processus d'interaction homme-machine

Avec l'objectif d'améliorer les interactions homme-machine, certains auteurs ont cherché à décrire l'architecture globale des processus cognitifs impliqués. Deux modèles en particulier vont être présentés dans la suite : le Modèle Processeur Humain (MHP, Card et al., 1983) et le modèle en sept étapes issu de la Théorie de l'Action (D. A. Norman, 1986). Nous verrons que, dans ces modèles, la perception joue un rôle central. C'est pourquoi dans un premier temps le fonctionnement du système perceptif est présenté, et qu'ensuite son rôle est discuté au sein des processus d'interaction homme-machine.

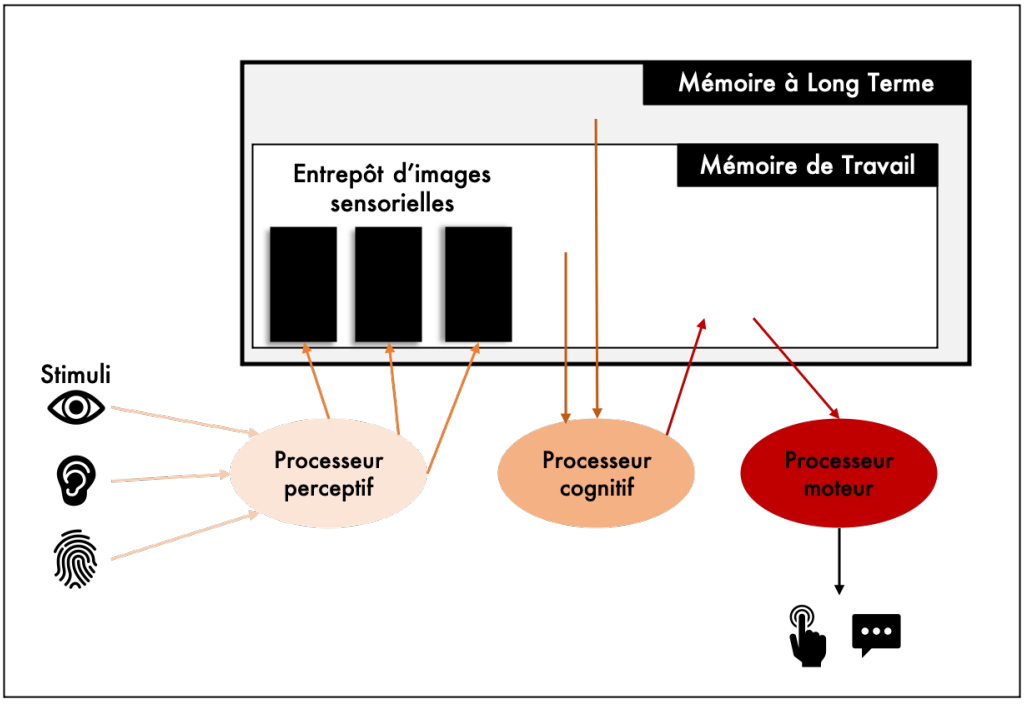
1.2.1 Fonctionnement du système perceptif

Étymologiquement, **perception** vient du latin *perceptio*, « *la récolte* », et de *percipere*, « *se saisir de*». Percevoir, c'est donc se saisir du monde extérieur (Luyat, 2014). Le corps humain est en effet capable de saisir les objets environnants, car ces derniers renvoient des informations physico-chimiques sous forme de stimuli. Ces stimuli se présentent sous la forme d'onde lumineuse, de fréquence sonore, de molécules chimiques, d'énergie mécanique ou encore d'énergie thermique. Le corps humain est doté d'un système perceptif composé de récepteurs sensoriels capable de capter ces stimuli. Ainsi, les yeux réagissent à la lumière par le biais de photorécepteurs. Les oreilles sont sensibles aux bruits par le biais des cellules ciliées de la cochlée. La peau est sensible à la température, à la pression et aux vibrations grâce aux récepteurs tactiles. Ensuite, les organes sensoriels transforment ces sensations en impulsions nerveuses (messages sensitifs) par un processus appelé la transduction. Le cerveau humain est alors capable d'analyser les informations multisensorielles reçues via les nerfs sensitifs et de construire un « *percept* », c'est-à-dire une **interprétation cohérente et unique des sensations** (Collins & Wyart, 2018 ; Inserm, 2016 ; Luyat, 2014). La perception peut donc désigner à la fois le traitement brut des sensations et le processus cognitif à l'origine de leur interprétation dans un tout cohérent appelé percept.

1.2.2 Processus d'interaction Homme-Machine

Le MHP - Le Modèle Processeur Humain (MHP, Card et al., 1983) décrit par quels processus les informations reçues de l'interface sont traitées dans le cerveau humain. Selon le modèle, trois systèmes différents interagissent, à savoir le système perceptif, le système cognitif et le système moteur. Chaque système est lui-même constitué de processeurs et de systèmes de mémoire (Figure 1.2). Ainsi, l'utilisateur capte les stimuli de l'interface grâce à ses sens (la vue, l'ouïe, le toucher, etc.). Une représentation de ces sensations, codées par le processeur perceptif (parties du cerveau qui traitent les stimuli), est enregistrée par la mémoire de travail. La mémoire de travail sert de médiateur entre le système perceptif et le système cognitif. Ce dernier utilise les informations enregistrées dans la mémoire à long terme pour consolider une décision sur la façon de répondre à ces stimuli. Une fois la décision codée en action, le système moteur intervient en activant les muscles nécessaires pour réaliser l'action, à savoir activer une commande ou tourner un bouton.

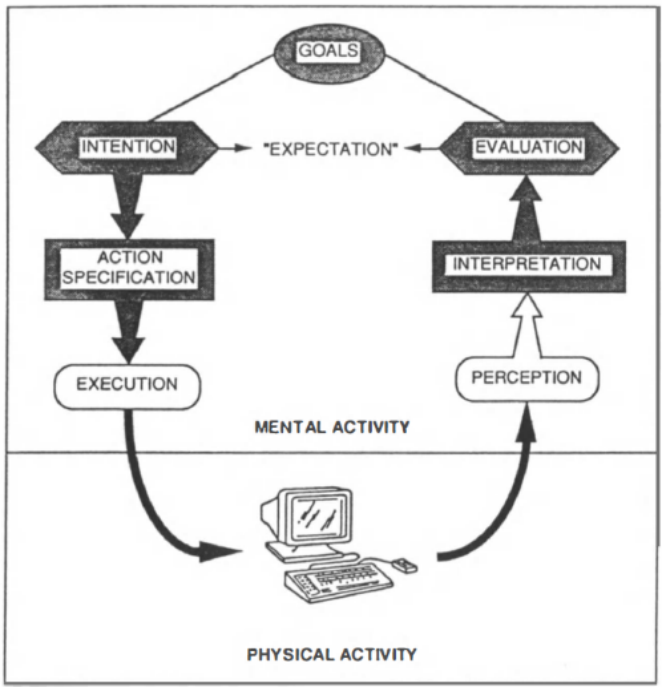
FIGURE 1.2 – Le MHP, adapté et traduit de Card et al. (1983).



La Théorie de l'Action - Dans la Théorie de l'Action, D. A. Norman (1986) décrit les étapes mentales par lesquelles les utilisateurs passent lorsqu'ils interagissent avec une IHM. Selon

l'auteur, toutes ces étapes s'organisent autour de l'objectif fixé par l'utilisateur. Cet objectif formulé constitue la première étape mentale. Lorsqu'un utilisateur souhaite réaliser une tâche avec un objet technologique, il fait face à deux gouffres. Il y a le «*gouffre de l'exécution*», où l'utilisateur réfléchit à l'action qu'il doit engager, et le «*gouffre de l'évaluation*» où l'utilisateur réfléchit à ce qu'il s'est passé. Ainsi, trois étapes se succèdent en amont de l'action : l'intention d'agir, la spécification de la séquence d'action et l'exécution de celle-ci. Puis, trois étapes se succèdent en aval de cette action : la perception de l'état du système, l'interprétation de cet état et l'évaluation de cette interprétation par rapport à l'objectif initial (Figure 1.3).

FIGURE 1.3 – Les sept étapes mentales impliquées dans l'exécution d'une tâche selon D. A. Norman (1986).



1.2.3 Rôle de la perception dans les processus d'interaction homme-machine

Les deux modèles présentés ci-dessus, bien que différents, se complètent. Card et al. (1983) proposent une approche physiologique en explicitant le cheminement de l'interaction : de la perception des stimuli à l'action. D. A. Norman (1986) propose une approche plus macroscopique en parlant d'étapes mentales qui s'organisent autour d'un objectif utilisateur. Par ces

modèles, on comprend que **la perception est au cœur du processus d'interaction**. C'est l'étape qui est en amont de l'évaluation du système et qui va conditionner toutes les actions qui vont suivre.

Après avoir communiqué des informations au système interactif, celui-ci produit une représentation perceptible de son état interne (image du système). Lorsque l'utilisateur perçoit l'état du système, il y a une communication qui se fait de l'interface vers l'humain. Or, l'état du système et l'objectif utilisateur ne se présentent pas sous la même forme. L'état du système se matérialise sous la forme de caractéristiques physiques alors que l'objectif utilisateur est exprimé en variables psychologiques. Cela signifie qu'il y a une étape d'interprétation qui relie les caractéristiques physiques du système aux variables psychologiques exprimées par l'utilisateur (D. A. Norman, 1986). Cela renvoie au concept du modèle conceptuel, popularisé par D. Norman (1988). Si l'image du système ne renvoie pas un modèle de conception clair et cohérent, l'utilisateur construira un modèle mental erroné. C'est par exemple le cas lorsque les conséquences d'une action ne sont pas directement visibles. Prenons le cas d'une multiprise qui dispose d'interrupteur ON/OFF sous la forme d'un bouton poussoir. Si l'interrupteur ne possède pas de système lumineux qui caractérise l'état ON/OFF par allumé/éteint, alors il sera moins évident pour l'utilisateur de savoir s'il a atteint son objectif (éteindre la multiprise).

Nous comprenons alors qu'il y a un enjeu à ce que les caractéristiques physiques renvoyées par l'interface soient comprises de la bonne manière, de sorte que (1) ils soient aisément reçus et interprétés par l'utilisateur, et que (2) l'utilisateur puisse trouver la bonne séquence d'action à mettre en œuvre pour réaliser son objectif.

Pour améliorer la communication homme-machine, les concepteurs ont d'abord étudié les caractéristiques ergonomiques qui, entre autres, facilitent l'interaction. Ces caractéristiques seront présentées dans la section suivante. Toutefois, bien que la performance soit souhaitable, l'objectif est également de concevoir des systèmes agréables (D. A. Norman, 1986). Ainsi, d'autres types de caractéristiques, de natures plus hédoniques, ont été prises en compte au fur et à mesure par les concepteurs. Ces caractéristiques seront également présentées dans les sections suivantes, avant que soit discutée la manière dont les caractéristiques ergonomiques et hédoniques s'articulent entre-elles et impactent l'interaction homme-machine.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

1.3 La perception de caractéristiques ergonomiques

1.3.1 Critères de qualité ergonomique

Dans les années 90, le but des concepteurs était de permettre aux utilisateurs d'atteindre leurs objectifs de manière performante et satisfaisante. D'après la norme ISO-9241-11 de 1998 (1re édition), sur les exigences ergonomiques des IHM, la performance est obtenue au travers de l'efficacité et de l'efficience. L'efficacité est définie comme le degré de précision et de complétion avec lequel l'utilisateur atteint des objectifs spécifiés alors que l'efficience est le rapport entre les ressources dépensées et le résultat obtenu. Toujours d'après cette norme, la satisfaction est obtenue au travers de l'absence d'inconfort, et des attitudes positives résultantes de l'utilisation d'un produit (ISO-9241-11, 1998). Efficacité, efficience et satisfaction, sont les trois caractéristiques ergonomiques qui définissent l'**utilisabilité** des IHM.

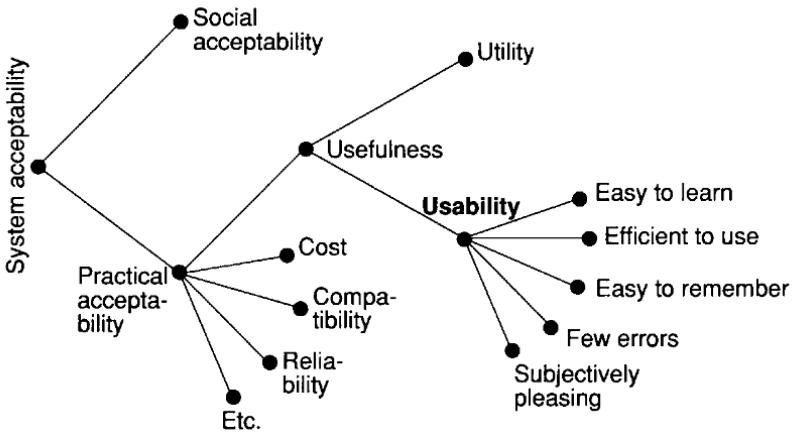
D'autres critères de qualité, autres que l'utilisabilité, vont être attendues par les concepteurs. Le premier est la capacité à provoquer de l'**acceptation**. Le second, étant donné le contexte de recherche, est la capacité à ne pas provoquer de la **distraction en conduite**. Dans les sections suivantes, les concepts théoriques qui introduisent les caractéristiques ergonomiques associées à l'utilisabilité, à l'acceptation et à la distraction seront présentés. Puis, leurs prises en compte dans la conception et l'évaluation des IHM seront discutées.

1.3.2 Caractéristiques ergonomiques associées

Utilisabilité - Dans le Modèle de l'Acceptabilité des Systèmes, Nielsen (1993) introduit la notion clé d'utilisabilité. Selon l'auteur, l'utilisabilité est un critère de qualité multi-caractéristiques qui participe à rendre les interfaces homme-machine acceptables (Figure 1.4). Un système est acceptable s'il est suffisamment bon pour répondre aux besoins et exigences des utilisateurs. L'utilisabilité se réfère à l'acceptabilité pratique, et se distingue donc de l'acceptabilité sociale. L'utilisabilité se distingue également de l'utilité. L'utilité questionne la finalité de la fonctionnalité alors que l'utilisabilité questionne sa prise en main. Ainsi, d'après l'auteur, cinq caractéristiques ergonomiques définissent l'utilisabilité d'un système. Les quatre premières font références à de la performance (efficacité et efficience). La dernière fait référence à une réaction affective. Concernant la performance, il y a : (1) la facilité d'apprentissage afin que la première utilisation soit rapide, (2) l'efficacité d'usage afin que l'usage soit productif, (3) la facilité de mémorisation afin que l'utilisateur n'ait pas à tout réapprendre entre deux utilisations et (4) la

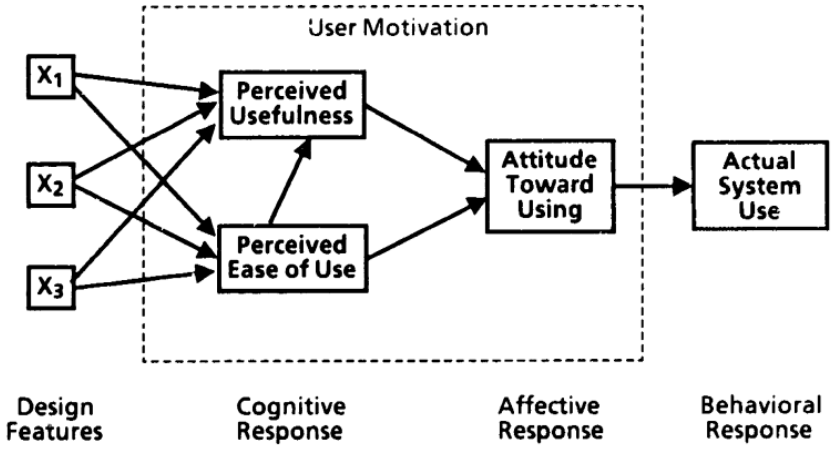
gestion des erreurs afin que l'utilisateur fasse peu d'erreurs pendant l'utilisation du système ou qu'il puisse facilement s'en remettre. Concernant la réaction affective, il y a (5) la satisfaction, autrement dit le système doit être agréable et apprécié (Nielsen, 1993).

FIGURE 1.4 – Modèle de l'Acceptabilité des Systèmes de Nielsen (1993).



Acceptation des technologies – Le Modèle de l'Acceptation des Technologies (*Technology Acceptance Model* - TAM, Davis, 1986) est un modèle à la fois explicatif et prédictif des usages technologiques. Très utilisé en recherche, ce modèle soutient l'idée que la composante ergonomique de la perception influence le comportement vis-à-vis d'une IHM, à savoir le rejet ou l'acceptation. Selon Davis (1986), deux principales caractéristiques ergonomiques vont venir impacter la perception et ainsi influencer les intentions d'usage : l'utilité et la facilité d'usage (Figure 1.5). La facilité d'usage renvoie au fait que le système demande peu ou pas effort à l'utilisateur. Le mot effort regroupe ici le concept d'effort mental, d'effort physique ou de facilité d'apprentissage. L'utilité d'usage renvoi au fait que le système peut améliorer la performance de l'utilisateur. Le système doit alors être perçu comme efficace, efficient et pertinent pour la tâche à réaliser (Davis, 1989).

FIGURE 1.5 – Le TAM de Davis (1986).



Distraction en conduite - La distraction en conduite peut se définir comme de l'inattention face à la tâche de conduite (François, Osiurak, Fort, Crave, & Navarro, 2017). Conduire, c'est contrôler des processus en traitant des informations dans un environnement dynamique et complexe, c'est-à-dire qui évolue de manière imprévisible. Cela exige de la part du conducteur une attention sélective, c'est-à-dire une focalisation sur les stimuli qui sont utiles à la réalisation de la tâche de conduite. L'attention en conduite est dite active lorsqu'il s'agit de chercher de l'information dans le but d'anticiper une action. Elle est dite passive lorsque les informations s'imposent aux conducteurs lors d'évènements imprévisibles. Avec de l'expérience, les processus contrôlés deviennent de plus en plus automatiques. La conduite demande ainsi moins d'attention et peut être exécutée en parallèle d'autres activités grâce au principe de distribution des ressources attentionnelles (Chapon, Gabaude, & Fort, 2006 ; François, Osiurak, Fort, Crave, & Navarro, 2017 ; K. Young, Regan, & Hammer, 2003). Néanmoins, l'interaction avec les technologies embarquées pourrait entraîner une distraction, car c'est une tâche qui exige (1) un contrôle attentionnel et (2) de libérer provisoirement une main du volant ou bien de quitter la route des yeux. Ainsi, la distraction peut agir en compromettant les facultés visuelles, auditives, physiques et cognitives du conducteur (K. Young et al., 2003). La tâche est considérée comme disjointe lorsqu'elle est indépendante de la tâche de conduite, par exemple lorsque le but est de changer le volume de la radio ou d'activer la climatisation. Au contraire, la tâche est considérée comme imbriquée lorsque l'interaction peut générer des éléments d'information utiles à la tâche de conduite, par exemple lorsque le but est de contrôler sa vitesse via le tableau de bord, d'activer ses essuie-glaces pour mieux voir la route en temps de pluie,

ou encore de suivre un itinéraire guidé sur son écran multimédia (Chapon et al., 2006). Que la tâche soit disjointe ou imbriquée, le but du constructeur automobile est de réduire au maximum la distraction engendrée par l'utilisation des IHM dans un souci de sécurité. Il faut ainsi réduire la charge cognitive et physique engendrée par l'interaction.

L'ensemble des qualités ergonomiques attendues pour les IHM automobiles et leurs caractéristiques associées sont résumées au Tableau 1.1.

TABLEAU 1.1 – Résumé des qualités ergonomiques attendues pour les IHM automobiles, adapté et traduit de François et al. (2017)

Qualité ergonomique attendue	Caractéristiques ergonomiques	Définitions
Utilisabilité	Facilité d'apprentissage	L'IHM facilite la première utilisation.
	Efficacité d'usage	L'IHM permet à l'utilisateur d'accomplir une tâche correctement sans dépenser des ressources inutiles.
	Facilité de mémorisation	L'IHM permet à l'utilisateur de réapprendre facilement à l'utiliser après une période de non-utilisation.
	Gestion des erreurs	L'utilisation de l'IHM n'implique pas d'erreurs et permet une correction facile après une erreur.
	Satisfaction	L'utilisation de l'IHM est agréable.
Acceptation	Facilité d'usage	L'IHM demande peu ou pas effort à l'utilisateur.
	Utilité	L'IHM permet d'améliorer la performance de l'utilisateur.
Distraction	Effort physique	L'IHM optimise les mouvements physiques requis par l'utilisation.
	Effort cognitif	L'IHM réduit la charge cognitive requise par l'utilisation.

1.3.3 Critères de conception ergonomique

Les critères de conception ergonomique sont assimilés aux caractéristiques physiques ou logiciels qui vont chercher à rendre l'interaction homme-machine efficace, efficiente, facile (Myers et al., 1996) et, dans le contexte automobile, sécurisante. La littérature propose un grand nombre de recommandations, sous forme de guides ou de standards, qui permettent de passer des caractéristiques ergonomiques attendues aux critères de conception. Par exemple, Bastien et Scapin (1993) proposent des critères qui sont répartis entre huit catégories : le guidage, la charge de travail, le contrôle explicite, l'adaptabilité, la gestion des erreurs, l'homogénéité et la cohérence, la signifiance des codes et des dénominations, et enfin, la compatibilité. Pour plus de détails, un résumé de ces critères est présenté en Annexe A.

Pour concevoir une IHM ergonomique, il ne s'agit pas uniquement d'optimiser chacun des

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

critères de conception pris séparément. En effet, les critères s'influencent les uns les autres (Grislin & Kolski, 1996). Par exemple, trop de messages d'erreurs ou d'aide à l'utilisation pourrait entraver la fluidité de l'interaction. Pour trouver l'équilibre, il faut penser l'IHM de manière holistique. Prenons l'exemple d'une interface multimédia où plusieurs dimensions de conception sont à prendre en compte. Chacune de ces dimensions joue un rôle déterminant dans l'interaction (Figure 1.6). D'après Yang, Linder, et Bolchini (2012), au-delà de la performance technologique, il y a cinq dimensions et chacune regroupe divers critères de conception :

- Le contenu, qui concerne l'ensemble des informations (sous forme textuelle ou non) qui vont contenir les messages, les valeurs et les données nécessaires à l'utilisation. Les informations présentées doivent être pertinentes, exactes, d'actualité, riches, utiles et compréhensibles ;
- L'architecture de l'information, qui doit être organisée de manière intuitive et compréhensible de sorte que l'utilisateur localise et accède aux contenus nécessaires avec efficacité ;
- La navigation, qui concerne les chemins et les mécanismes d'interaction qui sont proposés pour que l'utilisation soit efficace, c'est-à-dire que le déplacement dans l'architecture soit rapide ;
- La sémiotique, qui concerne tous les symboles qui vont être utilisés pour faire comprendre les mécanismes de navigation, le contenu et l'architecture de l'interface. La sémiotique fait donc référence à la manière dont l'interface communique avec l'utilisateur, autrement dit son langage ;
- La mise en page, qui concerne tous les éléments de conceptions graphiques qui sont essentiels à l'utilisabilité des sites web, notamment la lisibilité du texte, l'organisation des éléments et la cohérence de la mise en page.

Ces critères de conception sont généraux, mais, bien qu'applicables au milieu automobile, ils ne sont pas exhaustifs. D'autres critères sont à prendre en compte dans un cockpit pour assurer la sécurité d'utilisation notamment. Par exemple, pour réduire la distraction autant que possible, la position des IHM ou encore l'intensité du rétro-éclairage sont importants à prendre en compte, car cela impacte respectivement, la visibilité de la route et la lisibilité des IHM en conduite.

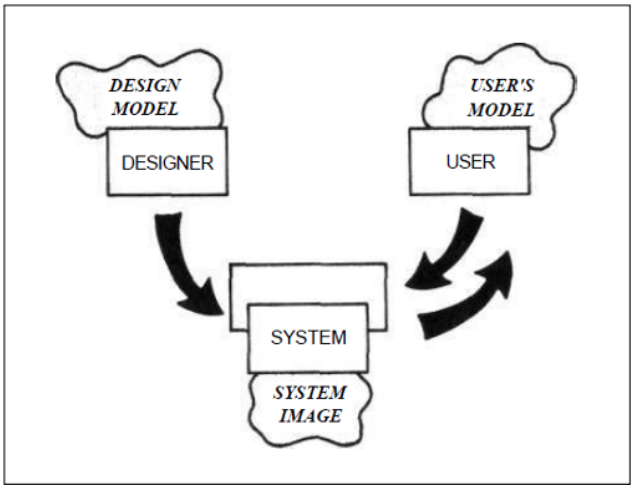
FIGURE 1.6 – Dimensions de conception d'une interface multimédia selon Yang et al. (2012).

1.3.4 Critères de conception ergonomique Renault

Chaque constructeur automobile possède ses propres critères pour concevoir des IHM. Chez Renault, ces critères sont référencés dans un document unique sous le nom de « *Référentiel Ergonomique des IHM* ». Dans ce référentiel, deux dimensions ergonomiques sont définies : la **facilité d'utilisation** et la **sécurité d'utilisation**. La facilité d'utilisation renvoie à de multiples critères relatifs à une prise en main et une compréhension facile des IHM. La sécurité d'utilisation renvoie à de multiples critères relatifs à l'attention et à la compatibilité des IHM avec la conduite.

À partir de ces critères de conception, Renault va proposer à ses clients un modèle d'interaction spécifique. Ce modèle va répondre aux exigences fixées par la stratégie de l'entreprise. En faisant le parallèle avec le concept de modèle conceptuel (Figure 1.7), proposé par D. Norman (1988), le modèle d'interaction que va proposer Renault se rapporte au Modèle Concepteur (*design model*). Le concepteur attend alors du système qu'il renvoie aux utilisateurs les bonnes caractéristiques ergonomiques (utilisable, acceptable, non distrayant). Mais, bien qu'en majorité pragmatiques, les caractéristiques renvoyées par le système (*system image*), ne sont pas forcément perçues par les utilisateurs de la manière imaginée par les concepteurs. Les utilisateurs construisent leur propre modèle conceptuel (*user's model*), à partir de leur expérience d'utilisation (D. Norman, 1988). Pour identifier l'écart entre le Modèle Concepteur et le Modèle Utilisateur, les auteurs ont cherché à développer des outils d'évaluation de la perception ergonomique.

FIGURE 1.7 – Modèle conceptuel de l'interaction de D. Norman (1988).



1.3.5 Évaluer la perception ergonomique

Pour étudier la perception ergonomique, d'un point de vue utilisateur, de nombreux auteurs ont développé des questionnaires psychométriques d'évaluation. Il s'agit de questionnaires auto-rapportés qui permettent de mesurer l'utilisabilité perçue, ou encore la charge mentale perçue, à l'aide d'échelles de réponses souvent bornées et labellisées. Une sélection de trois questionnaires particulièrement utilisés en recherche est présentée ci-après.

NASA-TLX - Le « *NASA Task Load Index* » ou NASA-TLX, développé par Hart (1986), fournit une note globale de la charge mentale liée à l'utilisation d'une interface. La note est basée sur une moyenne pondérée des évaluations de six sous-échelles : l'exigence mentale, l'exigence physique, l'exigence temporelle, la performance personnelle, l'effort et la frustration. Chaque item est présenté sous forme d'échelles allant de « *faible* » à « *élevé* », soit 21 graduations non labellisées, se traduisant en notes allant de 0 à 20.

SUS – Le « *System Usability Scale* » ou SUS, développé par Brooke (1996), a pour objectif de fournir rapidement une mesure des perceptions subjectives sur la facilité d'utilisation. Ce questionnaire a été développé en se basant sur les éléments de la norme ISO 9241-11 concernant l'utilisabilité. La notation des items se fait sur échelle de *Likert* en 5 points (désaccord/accord).

DEEP - Le « *Design-Oriented Evaluation of Perceived Usability* » ou DEEP, développé par Yang et al. (2012), s'appuie sur la combinaison de 19 items extraits et adaptés d'autres échelles de la littérature. Les items sont organisés en cinq dimensions qui font écho aux dimensions de conception de sites web ou d'interfaces multimédia (Figure 1.6) : contenu, architecture de l'information, navigation, mise en page et guidage visuel. La notation des items se fait sur échelle de *Likert* en 5 points (désaccord/accord).

Le Tableau 1.2 présente le lien entre conception et perception utilisateur. Dans ce tableau, le Référentiel Ergonomique des IHM Renault est mis en perspective avec les items des questionnaires NASA-TLX, SUS et DEEP qui questionnent spécifiquement la perception de la facilité d'utilisation et de la sécurité d'utilisation. Par exemple, en demandant aux individus s'ils ont besoin d'un support technique pour être capable d'utiliser le système (SUS-question 4) ou s'ils peuvent rapidement connaître la structure du site web en parcourant sa page d'accueil (DEEP-question 5), le concepteur obtient de l'information sur la facilité de compréhension perçue de son système. D'après le Tableau 1.2, les questionnaires d'évaluation présentés n'évaluent que très peu la sécurité d'utilisation perçue. En effet, tous ces questionnaires, bien qu'utilisé dans le contexte automobile pour juger de la performance des systèmes, ne sont pas spécifiques à ce contexte. Dans la suite des travaux de recherche, nous proposerons alors une mesure de l'évaluation de la perception ergonomique qui s'adapte aux spécificités d'un contexte automobile.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 1.2 – Exemple d'items pour évaluer la perception ergonomique.

REFERENIEL RENAULT	FACILITE D'UTILISATION		SECURITE D'UTILISATION	
	COMPREHENSION FACILE	PRISE EN MAIN FACILE	ATTENTION	COMPATIBILITE CONDUITE
NASA-TLX	**- Pression temporelle** : Quelle pression temporelle avez-vous ressentie en raison de la cadence ou du rythme auquel les tâches ou les éléments de tâches se sont déroulés ? Le rythme était-il lent et tranquille ou rapide et effréné ? **- Performance** : Dans quelle mesure pensez-vous avoir réussi à atteindre les objectifs de la tâche fixés par l'expérimentateur (ou vous-même) ? Dans quelle mesure avez-vous été satisfait de votre performance dans l'accomplissement de ces objectifs ?	/	**- Exigence mentale** : Quelle quantité d'activité mentale et perceptive était requise (par exemple, penser, décider, calculer, se souvenir, regarder, chercher, etc.) La tâche était-elle facile ou exigeante, simple ou complexe, exigeante ou indulgente ? **- Exigence physique :** Quelle quantité d'activité physique était nécessaire (par exemple, pousser, tirer, tourner, contrôler, activer, etc.) ? La tâche était-elle facile ou exigeante. Lente ou rapide, détendue ou exténuante. Reposante ou laborieuse ? **- Effort** : Dans quelle mesure avez-vous dû travailler (mentalement et physiquement) pour atteindre votre niveau de performance ?	/
SUS	**- Question 2**. J'ai trouvé ce système inutilement complexe **- Question 3**. J'ai trouvé ce système facile à utiliser **- Question 9**. Je me suis sentie très confiante en utilisant ce système	**- Question 4**. Je pense que j'aurais besoin d'un support technique pour être capable d'utiliser ce système **- Question 5**. J'ai trouvé que les différentes fonctions de ce système étaient bien intégrées **- Question 6**. J'ai trouvé qu'il y avait trop d'incohérence dans ce système **- Question 7**. Je suppose que la plupart des gens apprendraient très rapidement à utiliser ce système **- Question 10**. J'ai dû apprendre beaucoup de choses avant de me sentir familiarisée avec ce système	**- Question 8.** J'ai trouvé ce système très contraignant à utiliser	/
DEEP	**- Question 8**. Il était facile de trouver l'information dont j'avais besoin sur le site web **- Question 9**. Le site web m'a aidé à trouver ce que je cherchais **- Question 10**. J'ai obtenu ce à quoi je m'attendais quand je cliquais sur les éléments du site web **- Question 13**. J'ai appris à utiliser ce site web rapidement	**- Question 1**. Le libellé du texte était clair **- Question 2**. Le contenu (texte, images, sons, vidéos, etc.) était facile à comprendre **- Question 3**. Le texte était utile **- Question 4**. Le texte était pertinent **- Question 5.** Je pouvais rapidement connaître la structure du site web en parcourant sa page d'accueil **- Question 6.** Dans chaque section du site web, les pages étaient bien organisées **- Question 7**. L'organisation du site web était claire **- Question 14**. La mise en page à travers tout le site web était cohérente **- Question 15**. J'ai remarqué des changements soudains de mise en page à travers le site web **- Question 16**. La mise en page de chaque section du site web était cohérente **- Question 19**. J'ai appris à connaître le contrôle d'une page en parcourant les zones mises en évidence	**- Question 11**. Utiliser ce site web s'est fait sans efforts **- Question 12**. Utiliser ce site web m'a fatigué **- Question 17**. Les couleurs m'ont aidé à distinguer les différentes sections du site web **- Question 18**. Les zones mises en évidence d'une page m'ont aidé à repérer l'information dont j'avais besoin	/

1.4 La perception de caractéristiques hédoniques

1.4.1 Vers une conception centrée utilisateur

Historiquement, la conception est une démarche négative. Au travers des qualités ergonomiques, les concepteurs cherchent à prévenir le stress, la frustration ou encore l'échec. Ils font en sorte que certaines situations indésirables ne se produisent pas (prévention des erreurs par exemple). Dans cette démarche, la conception est centrée sur le produit (Hancock, Pepe, & Murphy, 2005). Ainsi, les critères de conceptions ergonomiques, présentés dans les sections précédentes, sont essentiellement interprétables comme critères de performance (précision, rapidité, efficience, etc.), c'est-à-dire pragmatiques et objectivables. En pratique, ces critères font très peu référence aux affects (émotions, humeurs, sentiments). Les critères de Bastien et Scapin (1993) par exemple, n'en font pas mention. En revanche, Nielsen (1993) introduit déjà la notion de satisfaction au travers du concept d'utilisabilité (Figure 1.4). La définition qu'il en donne fait explicitement référence au plaisir d'usage. Cependant, en tant que sous-caractéristique de l'utilisabilité, il n'en fait pas pour autant une qualité d'interaction principale.

C'est vers la fin du XX^{e} siècle que les auteurs ont vu les limites de cette approche et ont commencé à étudier l'impact des déterminants affectivo-symboliques sur l'interaction homme-machine. Certains auteurs ont ainsi étudié l'impact des émotions et des besoins psychologiques sur l'interaction homme-machine (Desmet, 2002 ; Hassenzahl, Diefenbach, & Göritz, 2010 ; Partala & Kallinen, 2012). La mise à jour de la norme ISO-9241-11 sur l'utilisabilité en 2018 marque l'évolution dans l'approche de conception. Selon cette nouvelle version, la satisfaction n'est plus seulement définie comme l'absence d'inconfort ou la présence d'attitudes positives. Elle serait atteinte lorsque « *les réponses physiques, cognitives et émotionnelles de l'utilisateur qui résultent de l'utilisation d'un système, [...] répondent aux besoins et aux attentes de l'utilisateur* » (ISO-9241-11, 2018). Dans cette nouvelle définition, les affects, par la notion de réponse émotionnelle, sont clairement pris en compte. C'est ainsi qu'une nouvelle approche voit le jour et se concentre sur la promotion du positif (Hancock et al., 2005).

Dans la dernière version de l'ISO-9241-11, il y a d'ailleurs l'ajout d'une note portant sur l'**expérience utilisateur** (**UX**) dans la section dédiée aux concepts et disciplines liés à l'utilisabilité. Il semblerait donc que le champ de l'ergonomie, qui concerne les interactions homme-machine, évolue et prend l'importance de la subjectivité (réponse émotionnelle, préférence, valeurs personnelles) pour une meilleure conception centrée utilisateur. D. Norman

(1988) définit la conception centrée utilisateur comme le processus consistant à s'assurer que le système résultant est ergonomique et que les besoins des utilisateurs sont satisfaits. Ainsi, l'utilisateur peut accomplir la tâche souhaitée tout en profitant d'une expérience d'utilisation positive et agréable (D. Norman, 1988).

1.4.2 Composante hédonique : fondamentale à l'expérience utilisateur

La conception d'IHM n'apparait plus ici comme un enjeu purement ergonomique, mais ferait appel aux affects et notamment à la **composante hédonique**, c'est-à-dire à « *la branche de la science et du design consacrée à la promotion d'une interaction agréable entre l'homme et la technologie* » (Hancock et al., 2005, p. 8, notre traduction). Étymologiquement, *Hédonisme* vient du grec *Hêdonê* qui signifie « *plaisir* ». Dans ce cadre, la conception d'IHM met l'accent sur la qualité et le plaisir de l'expérience (D. Norman, 2013). Les auteurs ont d'ailleurs intégré cette nouvelle composante au sein de modèles plus holistiques : les Modèles de l'UX (ou « *User eXperience Models* »).

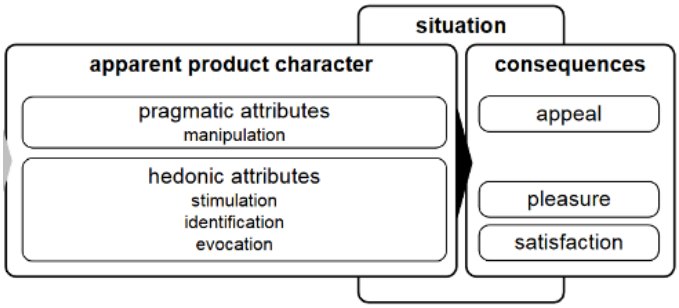
Modèle de l'UX – D'après le modèle de l'expérience utilisateur, proposé par Hassenzahl (2005), les systèmes renvoient des caractéristiques pragmatiques (ou ergonomiques) mais aussi hédoniques. Ces caractéristiques, qui sont perçues par les utilisateurs lors de l'utilisation du système, entraînent des conséquences (Figure 1.8). Les conséquences sont de l'ordre du jugement global (bon/mauvais) et du comportement (par exemple : augmentation de la fréquence d'utilisation). Les conséquences sont aussi d'ordre émotionnel. En effet, les caractéristiques ergonomiques (utilisabilité et utilité) permettent d'atteindre la satisfaction d'utilisation dans la mesure où le système est fonctionnel et qu'il permet d'accéder facilement à ces fonctionnalités. Tandis que, les caractéristiques hédoniques permettent d'atteindre le plaisir d'utilisation dans la mesure où le système permet de réaliser des objectifs fixés, mais non désirés. D'après Hassenzahl (2005), les **caractéristiques hédoniques** sont la stimulation, l'identification et l'évocation.

- La **stimulation** est provoquée par l'apport de nouveautés en termes de contenu, présentation ou même de style d'interaction. Ainsi, une fonctionnalité connue et fonctionnant correctement sera perçue comme ergonomique, alors qu'une fonctionnalité non connue, mais intéressante, sera perçue comme hédonique. Les nouveautés sont

considérées comme des opportunités futures de développement personnel.

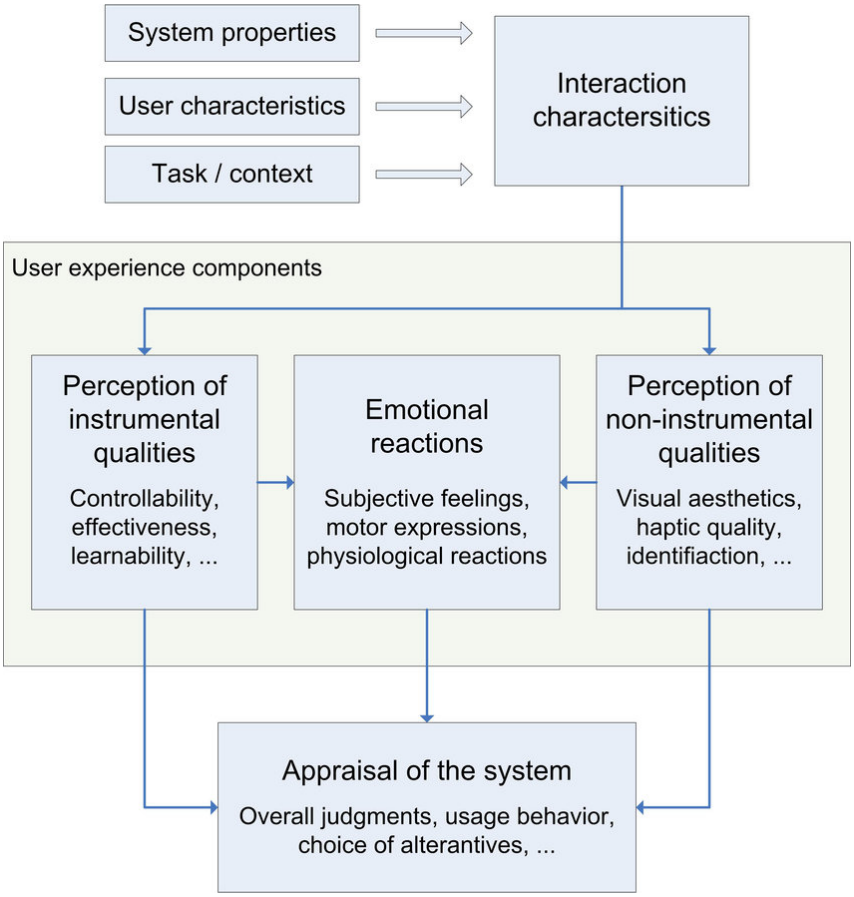
- L'**identification** est provoquée par l'expression de l'identité (ce que cela renvoie aux autres). L'expression de soi a une fonction sociale, celle d'être perçue de manière spécifique par les autres personnes concernées. Les systèmes ont la capacité de communiquer une identité aux autres, par exemple par le biais du contenu d'une page d'accueil (image humoristique, photos avec des amis).
- Enfin, l'**évocation** s'opère lorsque l'objet est capable de provoquer des souvenirs. Par exemple, jouer avec d'anciens jeux-vidéos peut déclencher les souvenirs de jeux passionnants et captivants. Les systèmes ont ainsi la capacité de transmettre une forte valeur symbolique.

FIGURE 1.8 – Modèle de l'UX de Hassenzahl (2005).



Composantes de l'UX – Le modèle des composantes de l'expérience utilisateur (CUE-Model, Thüring & Mahlke, 2007) soutient l'idée que l'appréciation d'une interface résulte de l'interaction entre trois composantes. Deux sont relatives à la perception et une est relative à la réaction émotionnelle (Figure 1.9). D'après les auteurs, lors d'une interaction homme-machine, l'utilisateur perçoit des qualités instrumentales (caractéristiques ergonomiques) et non instrumentales (caractéristiques hédoniques). Alors que les caractéristiques ergonomiques renvoient à la facilité d'utilisation et à l'utilité d'un système, les caractéristiques hédoniques renvoient au caractère attrayant. Selon les auteurs, les caractéristiques hédoniques sont essentiellement perçues au travers de l'**esthétique visuelle** et des **qualités sensorielles** du système. Par ailleurs, la perception des caractéristiques ergonomiques et hédoniques est susceptible d'influencer la troisième composante de l'expérience utilisateur, à savoir la réaction émotionnelle. Par exemple, un système lent peut affecter l'efficacité perçue et conduire à de l'impatience. À l'inverse, un design futuriste peut affecter l'esthétique visuelle perçue et susciter la surprise.

FIGURE 1.9 – Modèle CUE, extrait de Mahlke et Thüring (2007).



Finalement, l'expérience utilisateur peut se définir comme l'ensemble des réactions émotionnelles et comportementales résultant de la confrontation de l'utilisateur avec une IHM (perception, évaluation). Quel que soit le modèle utilisé, la perception des qualités ergonomiques n'est pas remise en cause, mais est complétée. La perception des qualités ergonomiques est à l'origine de la satisfaction d'utilisation, alors que la perception des qualités hédoniques est à l'origine du plaisir d'utilisation. La satisfaction d'utilisation se définit comme le degré selon lequel l'utilisation d'un système répond aux besoins et attentes de l'utilisateur. Le plaisir d'utilisation se définit comme le degré selon lequel l'utilisation d'un système est considérée comme agréable en dehors de la performance du système.

1.4.3 Critères de conception hédonique Renault

Chez Renault, les critères de conception hédonique sont référencés dans un document unique sous le nom de « *Référentiel Hédonique des IHM* ». Dans ce référentiel, deux dimensions hédoniques sont définies : le **plaisir sensoriel** et le **plaisir symbolique**. Le plaisir sensoriel renvoie à de multiples critères relatifs à l'esthétique visuelle et au plaisir tactile et sonore. Le plaisir symbolique renvoie à de multiples critères relatifs à la stimulation et l'aspiration.

À partir de ces critères de conception, Renault va proposer à ses clients des IHM aux caractéristiques hédoniques spécifiques. Mais le modèle conceptuel d'interaction, construit par l'utilisateur d'un point de vue hédonique, est encore plus difficile à prévoir, car cela fait appel à plus de subjectivité que l'ergonomie. En effet, chaque utilisateur fait une construction mentale et personnelle de l'objet avec lequel il interagit via une comparaison entre ce qu'il perçoit des caractéristiques ergonomiques et hédoniques et ses connaissances ou attentes (Hassenzahl, 2005 ; D. Norman, 1988). Il n'y a donc aucune garantie que l'utilisateur perçoive et apprécie le produit de la manière dont les concepteurs ont voulu qu'il soit perçu et apprécié, d'où l'importance d'étudier la perception utilisateur.

1.4.4 Évaluer la perception hédonique

Pour étudier le fossé entre ce qui est conçu et ce qui est réellement perçu, les auteurs ont développé des questionnaires d'évaluation de l'UX. Il s'agit de questionnaires auto-rapportés qui proposent des échelles de réponses souvent bornées et labellisées. Une sélection de trois questionnaires particulièrement utilisés en recherche est présentée ci-après.

AttrakDiff 2 - L'AttrakDiff 2, développé par Hassenzahl, Burmester, et Koller (2003), est un outil d'évaluation de l'UX qui repose sur le modèle théorique de l'expérience utilisateur (Hassenzahl, 2005). Il est constitué de 28 items répartis en quatre dimensions : la qualité pragmatique (QP), la qualité hédonique-stimulation (QHS), la qualité hédonique-identité (QHI) et l'attractivité globale (ATT). La notation des items se fait sur une échelle en 7 points qui se présente sous la forme de différenciateurs sémantiques (paires de mots contrastés).

UEQ – Le « *User experience questionnaire* » ou UEQ, développé par Laugwitz, Held, et Schrepp (2008), est un outil d'évaluation de l'UX. Dans cet outil, les aspects classiques de

l'utilisabilité et les aspects hédoniques de l'expérience utilisateur sont mesurés. Le questionnaire est composé de 26 items répartis en six dimensions dont trois concernent les aspects ergonomiques (clarté, efficacité et fiabilité), deux concernent les aspects hédoniques (originalité, stimulation) et une concerne l'attractivité globale. La notation des items se fait sur une échelle en 7 points qui se présente sous la forme de différenciateurs sémantiques (paires de mots contrastés).

meCUE – Le « *modular evaluation of Components of User Expérience* » ou meCUE, développé par Minge, Thüring, Wagner, et Kuhr (2017), est un outil d'évaluation de l'UX qui se base sur le modèle CUE (Thüring & Mahlke, 2007). Dans ce questionnaire, 34 items se répartissent entre cinq modules : perception des qualités instrumentales, perception des qualités non instrumentales, émotions, conséquences d'utilisation et évaluation globale. La notation des items se fait sur une échelle de *Likert* en 7 points (désaccord/accord). L'évaluation globale finale se fait sur une échelle allant de -5 à 5.

Le Tableau 1.3 présente le lien entre conception et perception utilisateur. Dans ce tableau, le Référentiel Hédonique des IHM de Renault est mis en perspective avec les items des questionnaires AttrakDiff 2, UEQ et meCUE qui questionnent spécifiquement la perception hédonique des utilisateurs. Par exemple, en demandant aux individus si le système est plutôt ennuyeux ou plutôt captivant (UEQ-question 6), ou s'il est plutôt novateur ou plutôt conservateur (AttrakDiff 2-question 4), le concepteur obtient de l'information sur la simulation perçue de son système. D'après le Tableau 1.3, les questionnaires d'évaluation présentés n'évaluent que très peu le plaisir sensoriel perçu. En effet, tous ces questionnaires, bien qu'utilisés dans le contexte automobile, ne sont pas spécifiques à ce contexte. Dans la suite des travaux de recherche, nous proposerons alors une mesure de l'évaluation de la perception hédonique qui s'adapte aux spécificités d'un contexte automobile.

TABLEAU 1.3 – Exemple d'items pour évaluer la perception hedonique.

REFERENIEL RENAULT	PLAISIR SENSORIEL		PLAISIR SYMBOLIQUE	
	PLAISIR VISUEL	PLAISIR TACTILE	STIMULATION	ASPIRATION
AttrakDiff 2	/	/	**- QHS_1**. Original - Conventionnel **- QHS_2**. Sans imagination - Créatif **- QHS_3**. Audacieux - Prudent **- QHS_4**. Novateur -Conservateur **- QHS_5**. Ennuyeux -Captivant **- QHS_6**. Peu exigeant - Challengeant **- QHS_7**. Nouveau - Commun	**- QHI_1**. M'isole-Me sociabilise **- QHI_2**. Professionnel - Amateur **- QH_3**. De bon goût - De mauvais goût **- QHI_4**. Bas de gamme - Haut de gamme **- QHI_5**. M'exclut - M'intègre **- QHI_6**. Me rapproche des autres - Me sépare des autres **- QHI_7**. Non présentable – Présentable
UEQ	/	/	**- Question 3**. Moderne - Sans fantaisie **- Question 5**. Apporte de la valeur - Peu de valeur ajoutée **- Question 6**. Ennuyeux - Captivant **- Question 7**. Intéressant - Inintéressant **- Question 8**. Original -Conventionnel **- Question 15**. Habituel - Avant-gardiste **- Question 16**. Stimulant - Soporifique **- Question 26**. Conservateur - Innovant	/
meCUE	**- Question 10**. The design looks attractive **- Question 13**. The product is stylish	/	**- Question 7**. The product is creatively	**- Question 8**. The product would enhance my standing among peers **- Question 11**. By using the product, I would be perceived differently **- Question 12**. The product is like a friend to me. - **Question 15**. I would not mind if my friends envied me for this product.

1.5 Les enjeux liés aux perceptions ergonomiques et hédoniques

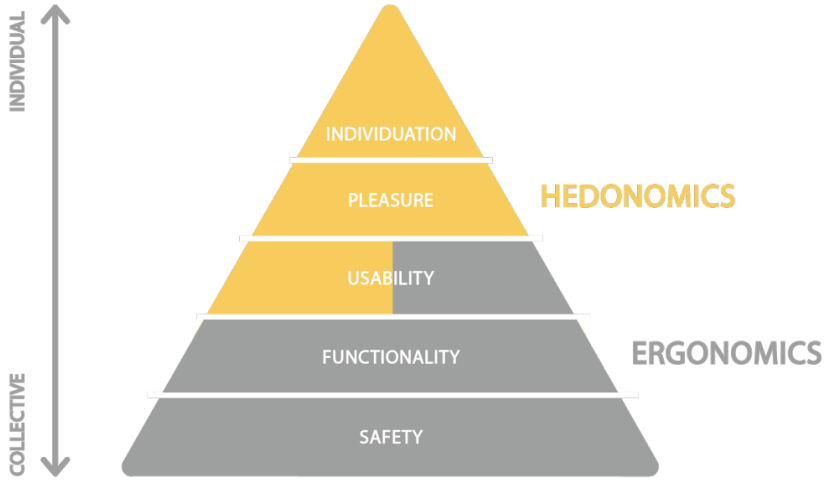
1.5.1 Des besoins spécifiques selon l'utilisateur

Les qualités ergonomiques et hédoniques d'un système sont essentielles pour une expérience homme-machine réussie. La perception des qualités hédoniques renvoie au plaisir sensoriel et symbolique procurée par le système. En ce sens, l'interprétation des caractéristiques hédoniques est propre à chacun, car elle fait appel à de la subjectivité. Pour l'ergonomie, il existe des guides de conception. En toute logique, en suivant ces guides, l'interface est censée être performante (efficace et efficiente). Cela présuppose que la perception des caractéristiques ergonomiques est plus objectivable que la perception des caractéristiques hédoniques. Pourtant, des différences de perception ergonomiques peuvent aussi être observées.

Les aspects ergonomiques et hédoniques de la conception et leurs besoins associés, peuvent être hiérarchisés. Selon Hancock et al. (2005), les besoins hédoniques sont satisfaits uniquement lorsque que ceux ergonomiques l'ont été. Si les aspects liés à la sécurité et à la fonctionnalité constituent les besoins objectifs et basiques, l'utilisabilité est un critère déjà plus subjectif Figure 1.10. En effet, l'utilisabilité inclut un critère de satisfaction, autrement dit une réaction émotionnelle et cette réaction est propre à chacun (Desmet & Hekkert, 2007 ; ISO-9241-11, 2018 ; Nielsen, 1993).

Les caractéristiques internes aux utilisateurs peuvent aussi jouer un rôle sur la perception (Thüring & Mahlke, 2007, Figure 1.9). Dans la suite de cette thèse, nous verrons que le facteur culturel influence la perception des systèmes. Il existe par exemple des guides de conception par type de culture (cf. chapitre 2). Concernant l'ergonomie, n'oublions pas que les objets technologiques sont complexes. Pendant longtemps, les ordinateurs n'étaient réservés qu'à une minorité de scientifiques. Utiliser les technologies requiert des aptitudes qui ne sont pas innées. Il est donc raisonnable de penser que le niveau d'expérience (connaissances et compétences) peut influer sur la perception ergonomique (D. A. Norman, 1986). Par exemple, des utilisateurs expérimentés pourraient ne pas avoir les mêmes besoins informationnels (*feedbacks*, gestion des erreurs, etc.) que des novices.

FIGURE 1.10 – Hiérarchie des besoins de l'UX, extrait de Söderbäck et Andersson (2020).



1.5.2 Importance de la réaction émotionnelle

D'après les modèles présentés dans la section précédente, lors d'une interaction homme-machine, la perception des qualités hédoniques et ergonomiques est à l'origine d'une réaction émotionnelle. Ainsi, si les besoins de l'utilisateur, désirés ou non, sont accomplis (Figure 1.10), l'expérience pourra être qualifiée de réussie. Une expérience réussie, ou appréciée, est une expérience capable de produire des émotions positives, comme de la satisfaction (accomplissement des objectifs) ou du plaisir (bien-être psychologique). Il en résulte une réaction comportementale qui peut se traduire par de l'attractivité ou du rejet (Davis, 1986 ; Hassenzahl, 2005 ; Thüring & Mahlke, 2007). La réaction émotionnelle est en réalité un processus complexe. Les sections suivantes sont alors destinées à définir le concept de réaction émotionnelle et son rôle en interaction homme-machine, puis à discuter de la manière dont cette réaction émotionnelle peut être évaluée.

1.5.2.1 Définition et rôle de la réaction émotionnelle

L'émotion est un état affectif qui naît de l'évaluation d'un stimulus et qui provoque des changements dans le comportement (ex. évitement), dans l'expression (ex. formation d'un sourire), la physiologie (ex. augmentation du rythme cardiaque) et dans les sentiments (ex. la sensation d'être inspiré) (Desmet, 2002).

FIGURE 1.11 – Valence-Activation-Dominance Model, extrait de Gannouni et al. (2020).

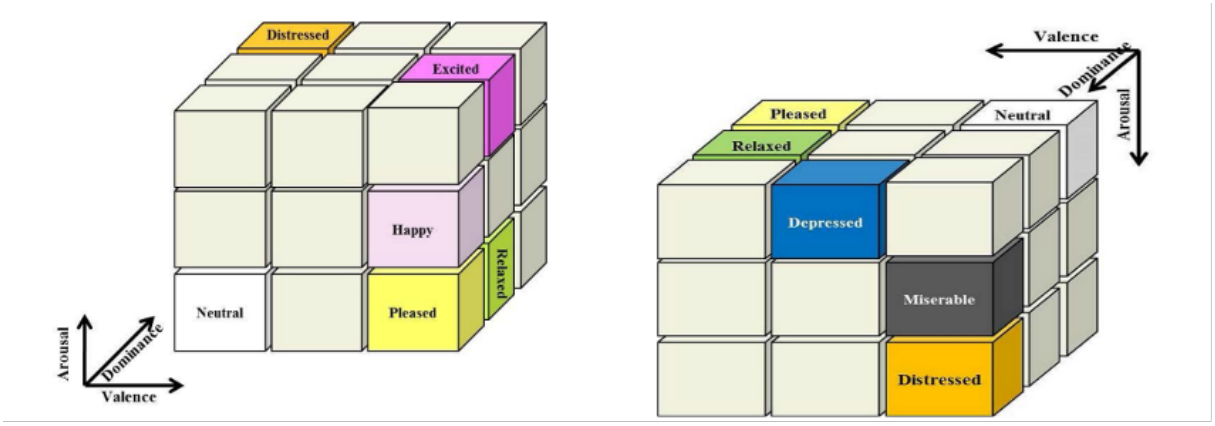
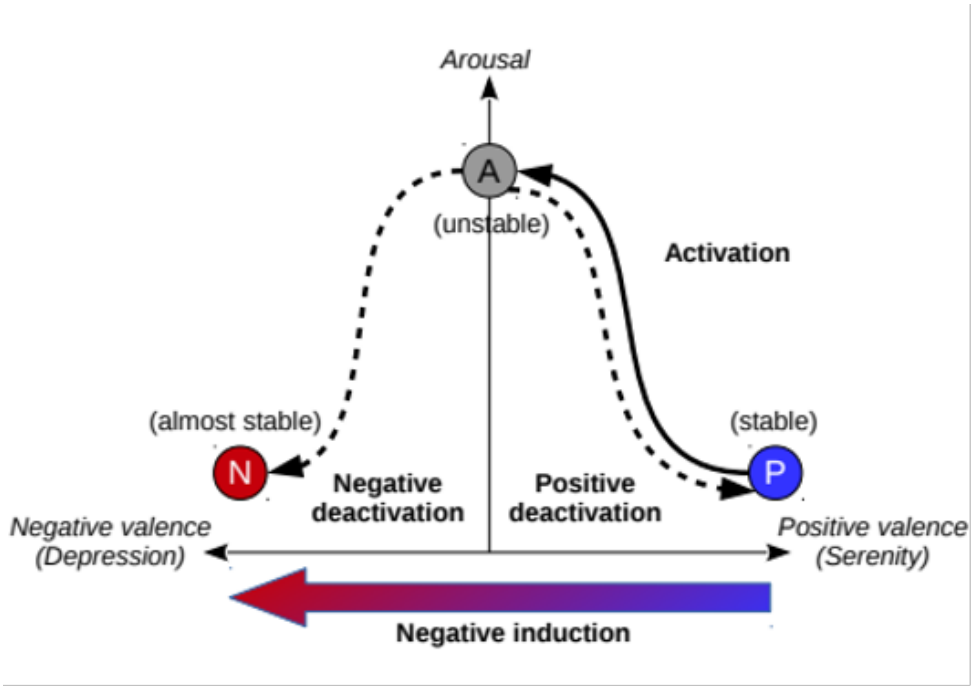


FIGURE 1.12 – Modèle de HUME de Noel et al. (2018).



Les émotions ont une multitude de fonctions dans le contexte de l'interaction, allant de l'élaboration de l'interaction elle-même à son évaluation (Hassenzahl et al., 2010). En effet, face à un produit, la naissance de l'émotion nécessite trois éléments : le stimulus, l'intérêt et l'évaluation (Desmet, 2002). Ainsi, en interaction, l'utilisateur fait une évaluation de l'importance des stimuli reçus pour sa propre utilisation. L'émotion émerge de cette évaluation. Si l'interprétation d'un stimulus répond aux intérêts de la personne, cela générera une émotion positive et donc un attrait pour le système. Dans le cas contraire, cela génèrera une émotion négative et donc un rejet du système. Dans cette logique, des individus différents, qui évaluent le même produit, peuvent ressentir des émotions différentes. Une personne stressée peut réagir avec irritation à la sonnerie de son téléphone portable, car elle la considère comme indésirable à ce moment précis, alors qu'une autre personne peut considérer le même événement comme désirable (Desmet & Hekkert, 2007).

D'après la littérature, trois dimensions sont à la fois nécessaires et suffisantes pour décrire une grande variété d'états émotionnels (Figure 1.11) : la valence, l'activation et la dominance. La valence fait référence au caractère agréable d'un stimulus, l'activation au niveau d'éveil induit par un stimulus, et la dominance au sentiment de contrôler la situation ou l'environnement extérieur durant l'expérience émotionnelle (Russell & Mehrabian, 1977).

La structure des émotions fait débat dans la littérature (dimensions orthogonales, bipolaires ou dimension unipolaire ?). D'après le modèle de HUME (Heterogeneous Unfolding Model of Emotion - HUME, Noel et al., 2018), ces trois dimensions classiques de l'émotion peuvent, à un niveau fonctionnel, être représentées sur une seule dimension. Le long de cette dimension, les réponses sont supposées varier selon un modèle en U inversé. Ainsi, un utilisateur peut très bien se sentir à la fois anxieux et excité (activation élevée), mais l'instabilité de ces émotions conduisent à se déplacer le long de la dimension vers la gauche ou la droite du continuum, pour retrouver un niveau émotionnel stable (Figure 1-13). Un aspect positif ou négatif de l'émotion finira donc par dominer. Ce modèle sous-tend un mécanisme hypothétique d'activation-désactivation. En cas de contrainte négative de l'environnement, l'organisme augmente son niveau d'éveil (vigilance). Un contrôle efficace du stress environnemental entraîne alors une désactivation vers les émotions positives et une reprise de contrôle, alors qu'un contrôle inefficace entraîne une désactivation vers les émotions négatives. Ce modèle partage avec celui de Russell l'hypothèse d'une valence bipolaire. Nous donnerons plus loin des arguments en faveur de cette hypothèse, sur la base d'une analyse en Modèle de Réponse à l'Item, dans le prolongement des analyses de Noel et Dauvier (2007).

1.5.2.2 Évaluer la réaction émotionnelle

Les questionnaires pour interroger les émotions sont multiples. Parmi eux, il y a des échelles non verbales. C'est le cas du SAM (*Self-Assessment Mainikin*), développé par Lang (1985), et du PREMO (*Product Emotion Measurement Tool*), développé par Desmet (2002). Dans le SAM par exemple, les trois items, Valence, Arousal et Dominance, se présentent sur une échelle non verbale en 9 points (Figure 1.13). Une autre échelle, très utilisée dans la littérature, le PANAS (*Positive ans Negative Affect Scale*), a été développée Watson et al. (1988). Cette échelle comporte 20 items répartis en deux groupes (négatif, positif) et qui se présentent sous la forme d'une échelle de *Likert* en 5 point (jamais/toujours). Enfin, les questionnaires de l'UX précédemment présentés contiennent, eux aussi, des items relatifs à la réaction émotionnelle, en plus de ceux relatifs à la réaction comportementale. Ces items sont présentés au Tableau 1.4). Contrairement aux SAM, PERMO et PANAS, les questionnaires de l'UX sont, par nature, plus adaptés à l'interaction homme-machine.

Au-delà des échelles et leurs items, le choix d'un modèle structural (unidimensionnel ou multidimensionnel, unipolaire ou bipolaire) a des conséquences sur le pouvoir mesurant. Dans la suite des travaux de recherche, nous essaierons de le montrer en interrogeant cette structure de l'émotion, en même temps qu'on cherchera à la mesurer.

FIGURE 1.13 – Échelle du SAM, extrait de Safwat et al. (2020).

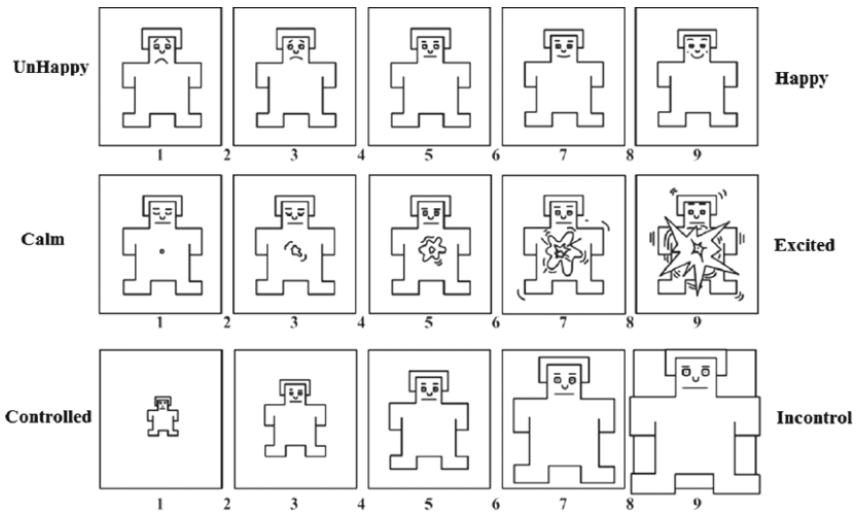


TABLEAU 1.4 – Exemple d'items pour évaluer la réaction émotionnelle.

	REACTION EMOTIONNELLE	REACTION COMPORTEMENTALE
AttrakDiff 2		**- Att_1**. Plaisant - Déplaisant **- Att_2**. Lait - Beau **- Att_3**. Agréable - Désagréable **- Att_4**. Rebutant - Attirant **- Att_5**. Bon - Mauvais **- Att_6.** Repoussant - Attrayant **- Att_7**. Motivant -Décourageant
UEQ		**- Question 1**. Agaçant - Agréable **- Question 12**. Bien - Médiocre **- Question 14**. Repoussant - Attractif **- Question 16**. Désagréable - Agréable **- Question 24**. Attrayant - Rébarbatif **- Question 25**. Sympathique - Inamical
meCUE	- Le produit m'enthousiasme. - Le produit me fatigue. - Le produit m'énerve. - Le produit me détend. - Le produit me frustre. - Le produit me m'ennuie. - Le produit m'apaise.	- Quand j'utilise ce produit je me sens joyeux. - Si je le pouvais, j'utiliserais le produit chaque jour. - Je n'échangerais le produit contre aucun autre. - Je suis impatient d'utiliser le produit à nouveau. - Par rapport à ce produit, les autres produits ont l'air moins perfectionnés. - Je n'hésiterais pas à choisir ce produit (à nouveau). - Quand j'utilise ce produit, il m'arrive de perdre la notion du temps.

1.6 Conclusions du chapitre 1

Les IHM sont des systèmes interactifs qui permettent à l'utilisateur d'interagir avec un objet technique lorsqu'il veut accomplir une tâche. Très tôt, les concepteurs ont compris l'intérêt des sciences humaines pour améliorer l'interaction homme-machine. Dans les processus homme-machine, la perception joue un rôle central. La perception désigne à la fois l'interprétation cohérente des stimuli et les processus cognitifs à l'origine de cette interprétation. La perception permet alors à l'utilisateur de construire l'image du système interactif, via les caractéristiques physiques qu'il reçoit, avant de spécifier l'action à mener. Les concepteurs travaillent ainsi à rendre le modèle de conception clair et agréable par le biais de caractéristiques ergonomiques et hédoniques.

D'après les modèles de l'UX, la perception de caractéristiques ergonomiques, couplée à la perception de caractéristiques hédoniques, est à l'origine d'une réponse émotionnelle et comportementale. La perception des qualités ergonomiques (utilité perçue, utilisabilité perçue, charge mentale et physique perçue) est à l'origine d'une satisfaction d'utilisation alors que la perception des qualités hédoniques (sensorielle et symbolique) est à l'origine du plaisir d'utilisation.

La perception d'un système interactif peut différer d'un utilisateur à l'autre selon ses connaissances et ses besoins, rendant ainsi l'évaluation de l'importance des stimuli reçus pour sa propre utilisation différente (D. A. Norman, 1986). Dans la suite des travaux, pour étudier ces différences inter-individuelles, nous proposerons une modélisation qui permet justement un positionnement individuel. Outre les caractéristiques utilisateurs, le contexte d'utilisation peut aussi influencer la réponse cognitive (Hassenzahl et al., 2010 ; Thüring & Mahlke, 2007). Dans la suite des travaux, nous essaierons alors de comprendre comment la culture et le contexte automobile peuvent impacter les perceptions ergonomiques et hédoniques des IHM, ainsi que les réactions émotionnelle et comportementale que cela provoque.

Chapitre 2

La Culture : un facteur qui impacte la perception des Interfaces Homme-Machine

Les théories autour de la perception sont multiples. D'après Lemaire (1999), deux grandes approches sont connues : l'approche directe, ou écologique, introduite par Gibsons (1950) et l'approche indirecte, ou constructiviste, introduite par Bruner (1957) ou Gregory (1972). L'approche directe met l'accent sur les processus ascendants impliqués dans la perception. Trois postulats sont issus de cette théorie : (1) Les stimuli comprennent suffisamment d'information pour être perçus et reconnus, (2) le sens des objets provient de leur affordance, c'est-à-dire que l'objet, par sa nature, indique au sujet ce qu'il permet de faire, et enfin (3) les stimuli sont saisis comme s'il s'établissait une sorte de résonance automatique entre le système cognitif et l'objet (Lemaire, 1999). À l'inverse, l'approche constructiviste postule que la perception des objets dépend fortement de processus mentaux descendants. Les processus par lesquels nous interprétons les stimuli feraient ainsi appel à des connaissances antérieures, enregistrées dans la mémoire à long terme, pour interpréter les données issues de nos systèmes sensoriels. La perception est alors conçue comme le résultat d'un traitement du système perceptif, mais enrichi par les connaissances antérieures (Lemaire, 1999).

L'expérience de Bruner et Goodman (1947) est un bon exemple de ce phénomène. Ils ont demandé à deux groupes d'enfants d'estimer la taille de pièces de monnaie. Les résultats ont montré que le groupe comprenant des enfants issus de familles pauvres avaient tendance à percevoir les pièces de monnaie plus grosses que le groupe d'enfants issus de familles riches (Bruner & Goodman, 1947). Deux interprétations à ce résultat : les enfants issus de familles pauvres accordent plus de valeurs à l'argent, ou bien les enfants issus de familles riches ont l'habitude de manipuler les pièces de monnaie et ont donc plus de capacité à estimer leur

taille avec précision. Dans cet exemple, la variable riche/pauvre, à laquelle est liée des niveaux de valeurs et de compétences différentes, pourrait avoir un effet sur la perception. Dans ce chapitre, sera alors discutée la manière dont la culture, en structurant les connaissances, est capable d'impacter l'interaction homme-machine, et notamment le processus de perception, sans doute à travers une forme de familiarité plus grande.

2.1 La culture : une notion marquée par sa composante géographique

2.1.1 Définition

Dans une conférence mondiale sur les politiques culturelles, l'UNESCO donne au terme culture une définition assez complète en la décrivant comme « *ensemble des traits distinctifs, spirituels et matériels, intellectuels et affectifs, qui caractérisent une société ou un groupe social. Elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les droits fondamentaux de l'être humain, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances* » (UNESCO, 1982, p. 13). La culture englobe donc de nombreux aspects de la vie en société.

Étymologiquement, culture vient du latin « *cultura* », qui signifie « *Le soin apporté aux champs ou au bétail* » (Cuche, 2020). Sa définition va évoluer au fil des siècles. Au XIII^{e} siècle, la culture désigne une parcelle de terre cultivée, autrement dit un état. Au XVI^{e} siècle la culture désigne le fait de cultiver la terre, autrement une action. Ce n'est qu'au XVIII^{e} siècle que le terme culture prend un sens figuré pour designer l'esprit, la formation et l'éducation (Cuche, 2020). C'est l'anthropologue Tylor (1876) qui donne une première définition ethnologique du terme culture. Il associe les termes culture et civilisation pour passer d'une définition individualiste à une définition collectiviste.

> « *Culture ou civilisation, pris dans son sens ethnologique le plus étendu, est ce tout complexe qui comprend la connaissance, les croyances, l'art, la morale, le droit, les coutumes et les autres capacités ou habitudes acquises par l'homme en tant que membre de la société* » (Tylor, 1876, p. 1)

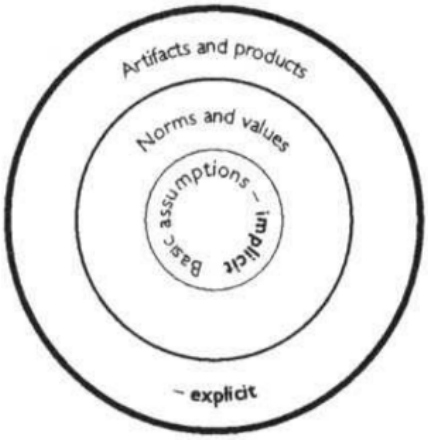
2.1.2 Cadre théorique

Berry (1975) propose un cadre conceptuel pour donner une compréhension globale des mécanismes psychologiques liés de la culture. Selon l'auteur, la culture naît de l'adaptation à des facteurs contextuels (écologiques et socio-politiques). Ces facteurs ont une incidence sur les processus de transmission ou d'influence culturelle, dont l'enculturation, la socialisation et l'acculturation. Ces trois processus correspondent respectivement à l'apprentissage non volontaire, à l'apprentissage volontaire et à l'influence mutuelle entre groupes culturels en contact. De ces processus proviennent des caractéristiques psychologiques inférées et des comportements observables à un niveau individuel, qui sont étudiés par les anthropologues et psychologues pour caractériser les cultures.

La culture est souvent comparée à un iceberg où seule une petite partie des caractéristiques culturelles sont directement observables (Hoft, 1996). Trompenaars et Hampden-Turner (1997) reprennent cette idée et comparent la culture à un oignon dans lequel trois couches culturelles se superposent : l'explicite, les normes et valeurs, et enfin les croyances partagées implicitement (Figure 2.1). La première couche de cet oignon forme la culture explicite, c'est-à-dire les comportements observables. Les deux dernières couches forment la culture implicite et vont entraîner des caractéristiques inférées.

- La couche extérieure, ou l'explicite, c'est tous les éléments et comportements qui vont être directement observables au sein d'une population, à savoir le langage, la nourriture, la mode, les constructions ou encore les traditions.
- La couche interne est constituée des normes et des valeurs. Les normes sont l'ensemble de règles de conduite en société, alors que les valeurs sont l'ensemble des préceptes généraux valorisés au sein d'une société.
- Enfin, le noyau est constitué des croyances partagées implicitement. Selon l'auteur, les cultures se sont organisées dans le but de résoudre des problèmes. Historiquement, les problèmes sont de nature principalement écologique : il faut gérer l'environnement et le climat avec les ressources disponibles pour s'adapter et survivre. L'organisation culturelle mise en place permet ainsi de résoudre les problèmes quotidiens de manière si évidente que cela disparaît des consciences (Trompenaars & Hampden-Turner, 1997).

FIGURE 2.1 – Les couches de la culture selon Trompenaars et Hampden-Turner (1997).



Du fait de normes, de valeurs et d'organisations différentes, la culture implicite va entrainer des caractéristiques inférées, par exemple des schémas de pensée spécifiques. Si les comportements observables sont facilement étudiables, les caractéristiques inférées sont des variables latentes qui sont modélisées lors d'études transculturelles. Cela pose alors la question de la délimitation des contours d'une société pour étudier des différences culturelles.

2.1.3 Nationalité : un facteur de différenciation

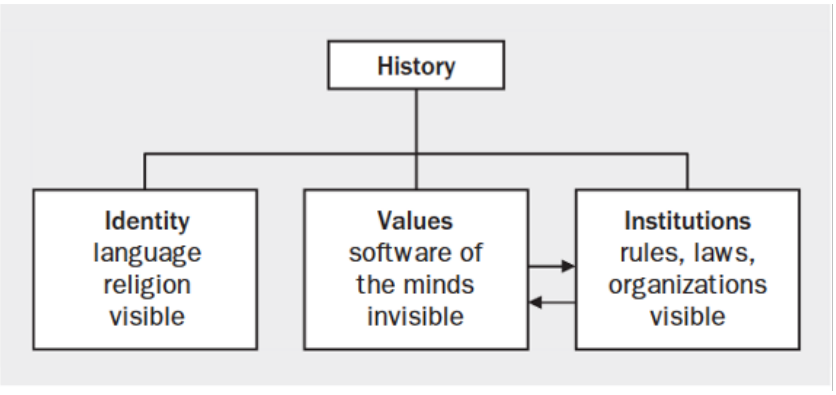
D'après la définition de culture, les membres d'un groupe qui partagent la même culture forment une société. Cependant, les recherches menées sur les différences culturelles ont tendance à utiliser la nationalité (le pays) comme facteur de différentiation.

Bien que société et nation ne renvoient pas à la même définition, la nationalité est un critère de classification pratique. En effet, les contours d'une nationalité sont faciles à définir grâce aux frontières établies. Malgré un manque d'homogénéité, les citoyens d'un même pays partagent des propriétés collectives liées à leur histoire : une identité, des valeurs et des institutions (Figure 2.2). D'après G. H. Hofstede et Minkov (2010), les valeurs d'un pays sont fortement liées à la structure et au fonctionnement de ses institutions et beaucoup moins aux différences d'identités.

D'ailleurs, plusieurs auteurs ont montré que les nations sont des unités culturelles pertinentes. Dans certaines études, les corrélations sont fortes entre réponses données par des

échantillons différents d'un même pays, en termes d'âges, de genres, ou encore de catégories socio-professionnelles (Inglehart, 2001 d'après Schwartz, 1992, 2009).

FIGURE 2.2 – Sources de différences entre deux pays selon Hofstede (2010).



2.2 La mesure de différences culturelles nationales

2.2.1 Cadre théorique

Les différences culturelles nationales implicites se manifestent notamment au travers de la relation avec : les autres, le temps et l'environnement (Trompenaars & Hampden-Turner, 1997). Plusieurs auteurs ont cherché à modéliser ces différences culturelles, parmi lesquels Hofstede (à partir des années 60) et Schwartz (à partir des années 90).

Théorie des dimensions culturelles – G. Hofstede (1984) considère la culture nationale comme un programme mental où les interactions se structurent et deviennent ainsi comparables. Par ses travaux, il propose de déterminer les schémas de pensées, d'émotions et d'actions qui vont constituer le programme mental des nationalités. Selon l'anthropologue, six dimensions permettent d'effectuer des comparaisons en termes de niveaux de valeurs culturelles nationales. Ces dimensions sont décrites ci-après.

- L'indice de Distance Hiérarchique (PDI ou « *Power Distance Index* ») qui concerne la perception des inégalités sociales et notamment la relation avec l'autorité ;
- La dimension Individualisme/Collectivisme (IDV ou « *Individualism vs. Collectivism* ») qui concerne la relation entre l'individu et le groupe ;

- La dimension Masculinité/Feminité (MAS ou « *Masculinity vs. Feminity* ») qui concerne les implications sociales et émotionnelles du fait d'être né homme ou femme ;
- L'indice du Contrôle de l'Incertitude (UAI ou « *Uncertainty Avoidance* ») qui concerne les réactions face à l'incertitude et à l'ambiguïté ;
- L'indice d'Orientation à Long-Terme (LTO ou « *Long-Term Orientation* ») qui concerne le rapport aux défis du présent et du futur ;
- La dimension Plaisir/Retenue (IVR ou « *Restraint vs. Indulgence* ») qui concerne le rapport au plaisir et à la modération.

Pour plus de détails, des définitions et des exemples sont disponibles en Annexe B. Un focus sur la dimension IDV (Individualisme/Collectivisme) est quand même nécessaire, parce qu'elle servira d'exemple à plusieurs reprises par la suite. Cette dimension est liée aux rapports sociaux, et à la façon dont ils s'organisent autour de l'individu (G. Hofstede, 1984 ; G. H. Hofstede & Minkov, 2010). Selon la définition, les pays plus collectivistes favorisent davantage la cohésion de groupe que les pays individualistes, de l'échelle familiale à nationale. Les différences entre sociétés individualistes et collectivistes se manifestent alors au travers : des relations familiales, des réactions émotionnelles, des récompenses matérielles ou encore dans la relation patron-employé. Par exemple, chez les collectivistes, les liens familiaux peuvent être plus complexes, car plus nombreux, les émotions peuvent être moins exprimées dans le but de préserver l'harmonie des relations sociales, les intérêts socio-économiques du groupe peuvent être favorisés au détriment des intérêts individuels, et la relation patron-employé peut s'avérer être plus paternaliste que contractuelle. D'après G. H. Hofstede et Minkov (2010), les pays individualistes sont plus occidentaux (États-Unis, Australie, Italie, France, etc.) que les pays collectivistes (Guatemala, Pérou, Indonésie, Pakistan, Taïwan, etc.).

Théorie des sept orientations de valeurs culturelles – Schwartz (2009) étudie les différences culturelles avec une approche légèrement différente de celle utilisée dans la théorie des dimensions culturelles de Hofstede ((G. Hofstede, 1984)). Il identifie sept orientations qui structurent les niveaux de valeurs culturelles (Figure **??**). Les orientations qu'il propose ne sont pas strictement orthogonales entre elles et sont le résultat de trois dimensions bipolaires.

Selon Schwartz (2009), les valeurs culturelles sont liées à la manière dont les groupes culturels apportent des réponses aux problèmes de base que rencontrent les sociétés, à savoir :

- La gestion de la relation aux autres : les solutions mises en place sont d'un côté l'autonomie (intellectuelle ou affective) et de l'autre l'incorporation sociale. L'autonomie

intellectuelle favorise l'expression et la réalisation des idées. L'autonomie affective favorise l'expression des émotions et la recherche du plaisir. À l'inverse, l'incorporation sociale, maintient l'idée que l'expression de soi n'a pas de sens sans la prise en compte des autres. Dans cette orientation, la collectivité prend le dessus sur l'individuel, et cela favorise le respect des traditions et de l'ordre social.

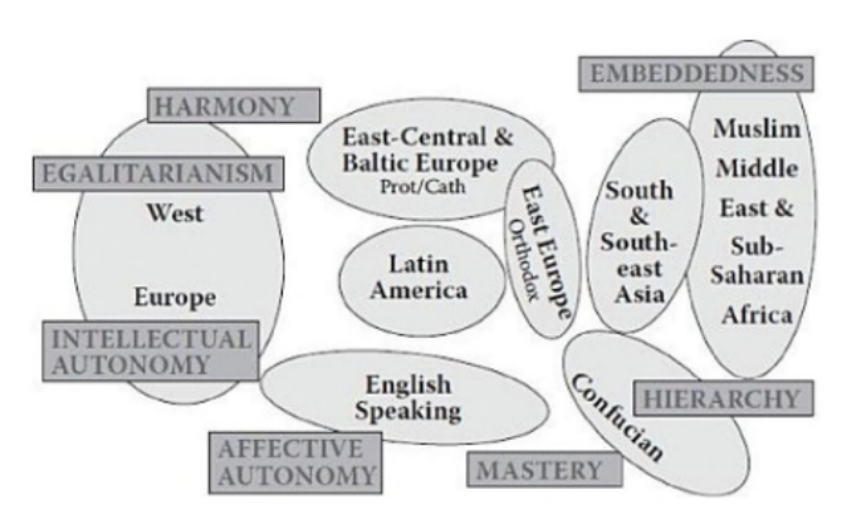
- Le contrôle du comportement des membres d'une collectivité : les solutions mises en place sont d'un côté l'égalitarisme (égalité entre les personnes) et de l'autre côté la hiérarchie (division inégale du pouvoir, des rôles sociaux et des ressources).
- La régulation des ressources humaines et naturelles : les solutions mises en place sont d'un côté l'harmonie (s'adapter à l'environnement), et de l'autre la maîtrise (maîtriser l'environnement).

FIGURE 2.3 – Modèle des relations entre les sept orientations culturelles de Schwartz (2009).

Ces orientations montrent en partie une similitude avec les concepts élaborés par G. Hofstede (1984). La dimension bipolaire Incorporation sociale – Autonomie se trouve fortement corrélée à la dimension IDV (Individualisme/Collectivisme) et la dimension Hiérarchie – Égalitarisme se trouve modérément corrélée à la dimension PDI (Indice de Distance Hiérarchique) (Lemaire, 1999). Cependant, Scwhartz 2009, défend l'idée que son modèle permet une vision

plus complexe des différences culturelles. Par exemple, ces orientations permettent de mieux différencier les valeurs culturelles des pays occidentaux : États-Unis et Europe occidentale ont une approche différente de l'individualisme. Aux États-Unis, l'autonomie affective et intellectuelle est favorisée au détriment de l'harmonie et dans une moindre mesure de l'égalitarisme. À l'inverse, les Européens occidentaux ont de hauts scores pour l'égalitarisme et l'harmonie. L'étude de Schwartz (2009) propose donc de différencier des groupes culturels par rapport à ces sept orientions, ce qui lui permet d'identifier huit aires culturelles transnationales (Figure 2.4).

FIGURE 2.4 – Cartographie culturelle selon Schwartz (2009).



2.2.2 Outils de mesure

Quel que soit le modèle utilisé, les auteurs ont mis à disposition des outils pour mesurer des niveaux de valeurs culturelles :

- le VSM (*Value Survey Model* G. Hofstede & Minkov, 2013) est composé de 24 items dont les réponses permettent de calculer des scores sur les six dimensions de la culture nationale.
- le SVS (*Schwartz Value Survey* Schwartz, 1992) est composé de 57 items qui permettent d'identifier les valeurs qui sont prioritaires au sein de chaque groupe culturel étudié.

Dans la littérature, et notamment dans le cadre de la conception d'IHM, c'est le modèle en dimensions culturelles développé par G. Hofstede (1984) qui est le plus souvent utilisé pour établir des différences culturelles nationales, et étudier leur impact sur l'interaction homme-machine. Les outils proposant une interprétation similaire (certaines dimensions sont corrélées) et le VSM étant plus court que le SVS, nous privilégierons alors le VSM dans la suite de ces travaux de recherche. Dans la suite, l'influence de la culture sur l'interaction homme-machine sera discutée, d'un point de vue cognitif d'abord, puis d'un point de vue des différences de valeurs culturelles. Nous le verrons, ce sont souvent les sociétés occidentales et les sociétés d'Asie de l'Est qui sont comparées dans les études.

2.3 L'influence de la culture nationale sur l'interaction homme-machine

2.3.1 Manière de penser différente

Comme expliqué au chapitre 1, les processus perceptifs sont influencés par les connaissances antérieures. Il est donc raisonnable de penser que les différences culturelles, sources d'expériences particulières, influencent les perceptions. En évoluant dans des environnements différents, chaque groupe culturel a appris de manière inconsciente à interpréter des stimuli de manière spécifique (Segall, Campbell, & Herskovits, 1966 ; Segall, Dasen, Berry, & Poortinga, 1990 ; Shiraev & Levy, 2020). En réalité, la culture, en structurant la pensée, vient impacter la cognition de manière générale.

Théorie du raisonnement analytique et holistique – Nisbett (2003) est à l'origine de la théorie du raisonnement holistique et analytique. D'après cette théorie, les processus cognitifs tels que le raisonnement, la perception, l'attention ou encore la mémoire peuvent différer d'une culture à l'autre en raison des traditions philosophiques qui forment les cultures (Nisbett & Masuda, 2003). Ainsi, la pensée occidentale, qui émerge de la philosophie grecque antique, et la pensée est-asiatique, qui émerge de la philosophie chinoise ancienne, influence les processus cognitifs. Les auteurs décrivent la pensée grecque comme analytique, alors que la pensée chinoise est décrite comme holistique. Par exemple, la manière de définir la matière est différente entre ces deux pensées. Dans la pensée grecque, la matière est composée d'atomes, alors que dans la pensée chinoise, la matière est composée de substances continues et interpénétrées.

Cette théorie a été confirmée grâce à des expériences comparatives. Les auteurs montrent que des différences de fonctionnement de l'attention et de la mémoire, viennent expliquer des différences de perception de l'environnement. Les occidentaux font usage d'un processus cognitif plus analytique avec focalisation sur l'objet, le séparant donc du contexte ; alors que les asiatiques de l'est perçoivent les scènes de façon holistique, en considérant le contexte (Boduroglu, Shah, & Nisbett, 2009 ; Nisbett & Masuda, 2003). Par exemple, l'étude de (Boduroglu et al., 2009) a montré que les Américains sont plus performants pour détecter un changement de couleur lorsque cela exige une attention centralisée sur un objet ; alors que les Japonais sont plus performants pour détecter un changement de couleur lorsqu'il s'opère en périphérie d'un écran.

Par ailleurs, l'environnement qui entoure ces sociétés est différent. Par exemple, les scènes japonaises sont qualifiées de complexes : beaucoup de stimuli, peu de frontières claires, un accent mis sur le fond. À l'inverse, les scènes occidentales mettent l'accent sur les objets individuels (Boduroglu et al., 2009). Cette description s'applique, par exemple, aux visuels des dessins animés occidentaux et japonais (Figure 2.5). Parmi les différences observables, nous pouvons citer le fait que les dessins animés occidentaux présentent souvent des couleurs vives et un graphisme focalisé sur les personnages. À l'écran, les personnages bougent vite (rendu dynamique) et expriment des émotions (rendu vivant). À l'inverse, les dessins-animés japonais n'hésitent pas à utiliser l'immobilité pour accentuer des moments clefs de l'histoire (dramatisation, suspense). Pour contrer cette animation lente, voire immobile, les Japonais font souvent usage d'illustrations d'arrière-plan qui sont en réalité des métaphores visuelles à forte symbolique. Le travail d'ombre, de lumière et de couleur permet ainsi de transmettre des intentions. Par exemple, l'arrière-plan peut être couvert de fleurs pour représenter le bonheur ou d'éclairs pour représenter l'animosité (Perrier, 2018 ; zeib graphisme, 2023). Les caractéristiques de ces environnements perceptifs (emphase du contexte ou emphase de l'objet) vont, à la fois, nourrir les différences de perception et être le reflet de différences culturelles (Nisbett & Masuda, 2003).

FIGURE 2.5 – Visuels de dessins animés.

Note. Visuel japonais à gauche et américain à droite.

Nisbett et Masuda (2003) expliquent que du fait de pratiques sociales différentes, les pensées sont soit analytiques, soit holistiques. Par exemple, par leur individualisme, les cultures occidentales sont plus indépendantes et moins contraintes par leur environnement social, leur permettant de se percevoir en dissociation des autres. À l'inverse, par leur collectivisme, les cultures d'Asie de l'Est ont une perception d'eux-mêmes qui est indissociable des autres (famille, communauté, hiérarchie). Les niveaux d'individualisme et de collectivisme des cultures ont donc un rôle à jouer sur la perception du soi, et par extension sur la perception de l'environnement. Les autres valeurs culturelles, telles que définies par G. H. Hofstede et Minkov (2010), ont également un rôle à jouer sur la perception de l'environnement. La manière dont cela fut pris en compte, dans la conception d'interface homme-machine, est expliquée dans la section suivante.

2.3.2 Conception transculturelle

Comme expliqué dans le chapitre 1, l'utilisation des technologies implique une interaction entre un utilisateur et une machine. L'interaction consiste donc à transmettre et à recevoir de l'information, ce qui constitue une forme de communication. Par ailleurs, la culture impacte fortement la manière dont les gens communiquent entre eux (communication implicite et explicite). Tout comme la culture impacte fortement la manière dont les gens communiquent entre eux, on peut faire l'hypothèse que l'interaction avec les machines est perçue et opérée différemment selon les cultures nationales. C'est ce que montrent plusieurs études : du fait de niveaux différents de valeurs culturelles nationales, les attentes en termes d'interaction homme-machine diffèrent d'un pays à l'autre (Ford & Kotzé, 2005 ; K. L. Young, Rudin-Brown, Lenné, & Williamson, 2012 ; Zhu, 2015). Ainsi, l'utilisabilité, qui se traduit par l'efficacité et la satisfaction d'utilisation d'une IHM (ISO-9241-11, 2018), a été étudiée de façon transculturelle

par les scientifiques et industriels dans le but d'adapter les interfaces aux cultures. À l'origine, il s'agissait d'adapter les interfaces de sites internet (contexte général). Aujourd'hui, cette approche se développe dans le contexte automobile.

En contexte général - Pour adapter les IHM aux cultures, des critères de conception transculturels ont été définis. Ces critères sont qualifiés d'éléments objectifs lorsqu'ils forment une barrière évidente à la compréhension de l'interface (langue utilisée par exemple). Ils sont qualifiés d'éléments subjectifs lorsque, mal utilisés, ils forment un frein à l'utilisabilité (par exemple l'architecture de l'information) (Ford & Kotzé, 2005). L'étude de ces éléments de conception subjectifs a permis : 1) la construction d'outils comme le « *HCI Style Scores* » qui donne le degré moyen de densité et de fréquence d'informations ou d'interactions à proposer selon la culture (Heimgärtner, 2015) ; 2) la rédaction de préconisations pour la conception transculturelle (Marcus & Gould, 2000) ou encore l'élaboration d'une liste de critères pour l'évaluation d'interfaces de sites internet adaptées à la culture (Diaz et al., 2016). Ces outils et préconisations tiennent compte de la théorie des dimensions culturelles de Hofstede présentée précédemment. Pour plus de précision, se rapporter aux Annexes C et D.

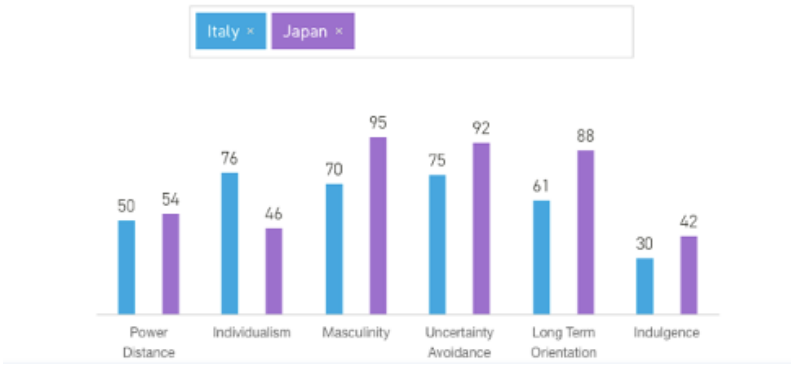
Prenons l'exemple de l'Italie et du Japon, afin d'illustrer quelques recommandations en termes d'éléments de conception, notamment esthétiques et structurels. D'après la théorie des dimensions culturelles, ces deux pays ont des niveaux de valeurs différents sur plusieurs dimensions, dont celle d'IDV (Individualisme/Collectivisme), avec respectivement 46/100 pour l'Italie et 76/100 pour le Japon (Figure 2.6). D'après les scores obtenus, l'Italie est un pays plus individualiste que le Japon.

Diaz et al. (2016) proposent le critère « esthétique et conception minimaliste » pour la dimension IDV (Annexe C). D'après l'auteur, les cultures avec un index haut d'individualisme, préfèrent un site internet avec un design minimaliste, c'est-à-dire sans bruit visuel ou élément de distraction. Esthétiquement, cela implique l'utilisation de couleurs neutres et une structuration claire de l'espace pour présenter l'information. À l'inverse, les cultures plus collectivistes préfèrent une combinaison frappante de couleurs et d'éléments pour présenter l'information, au détriment de la clarté de l'interface. Ces éléments mettent davantage l'accent sur la relation avec la culture que sur la tâche d'interaction en elle-même.

Pour illustrer ces propos, en Figure 2.7 sont présentés les sites internet d'une même entreprise, mais développés pour deux pays différents (Italie et Japon) :

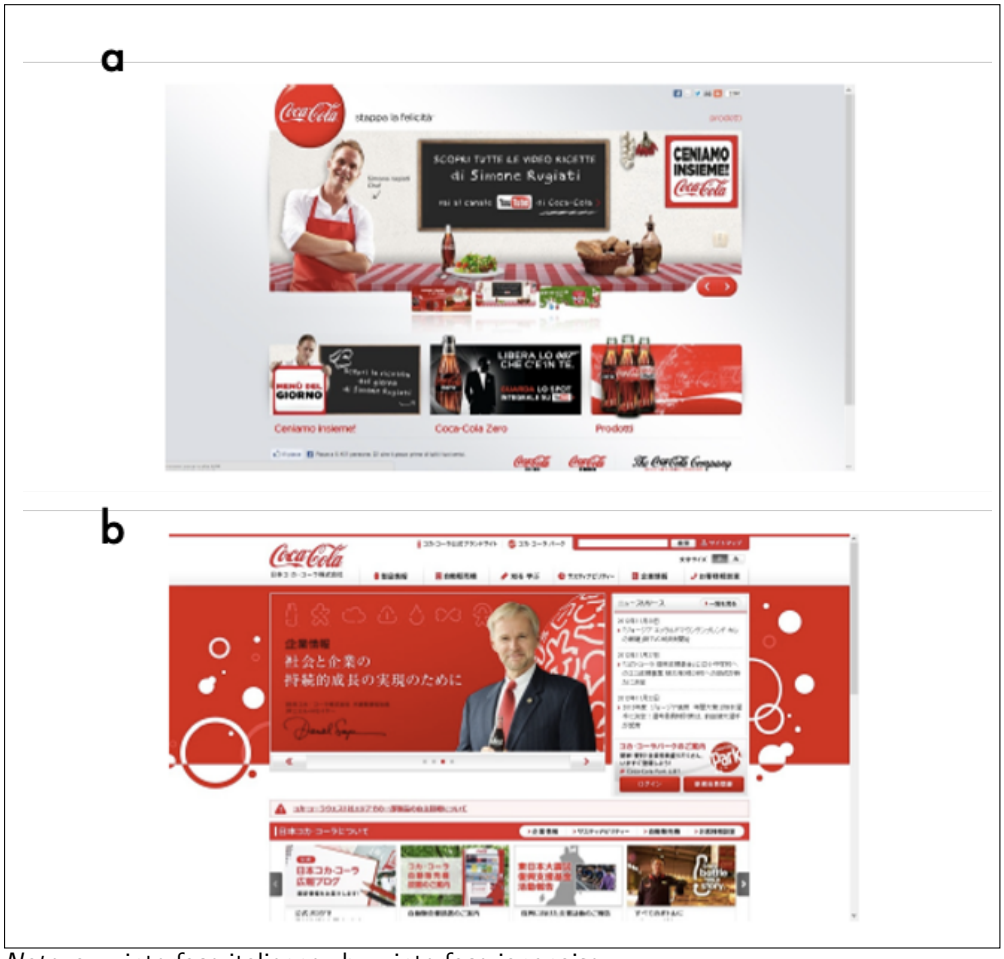
- Du point de vue de la structure, l'interface italienne (Figure 2.7.a) présente l'information de façon claire et ordonnée. De fait, les informations importantes sont mises en avant au travers d'encadrés spécifiques, hiérarchisés et séparés physiquement les uns des autres, ce qui invite l'utilisateur à sélectionner l'information qui lui semble pertinente. D'un point de vue symbolique, la couleur rouge, représentative de la marque, est utilisée avec parcimonie. À l'inverse, les couleurs neutres (gris, noir, blanc) sont surreprésentées. Le produit est mis en avant car plusieurs bouteilles de coca sont apparentes. Le site utilise l'image d'un cuisinier lambda, pour rappeler que cette boisson fait partie intégrante des repas.
- Du point de vue de la structure, l'interface japonaise (Figure 2.7.b) présente les informations de façon condensée. Dans l'encadré blanc, plusieurs informations sont présentées les unes en dessous des autres, sans distinction claire. Les encadrés du dessous sont très rapprochés physiquement les uns des autres pour ne former qu'une seule bande horizontale d'informations. D'un point de vue symbolique, l'utilisation massive du rouge et du blanc rappellent le drapeau japonais. L'attention n'est pas portée sur le produit, car une seule bouteille de coca est visible. Au contraire, l'attention est portée sur celle de James Quincey, directeur général de Coca-Cola (symbole de hiérarchie). Le produit est plutôt mis en avant au travers d'illustrations en arrière-plan. Les formes circulaires blanches rappellent par exemple les bulles de la boisson.

FIGURE 2.6 – Comparaison des niveaux culturels de l'Italie et du Japon.



Note. Comparaison extraite de www.hofstede-insights.com (consulté le 09 juin 2020).

FIGURE 2.7 – Interfaces du site internet Coca-Cola™ datant des années 2010, extrait de Diaz et al. (2017).



Note. a = interface italienne ; b = interface japonaise.

Ces différents éléments concordent avec ceux proposés par Marcus et Gould (2000) pour la dimension IDV et le critère « *content style* » (Annexe D). L'interface italienne permet une personnalisation (possibilité de choisir l'information principale) alors que l'interface japonaise fait référence à un symbole national (la couleur rouge).

En contexte automobile En contexte automobile, les études se basent aussi sur les travaux des dimensions culturelles de G. Hofstede (1984). Dans ces travaux, les directives de conception d'interfaces de Marcus et Gould (2000) sont souvent utilisés. La raison invoquée pour mener ces recherches est qu'il est important d'adapter les IHM automobiles au marché pour lequel elles sont destinées. Selon les auteurs, trop souvent les IHM automobiles ont été développées

pour un marché occidental et sont donc inadaptées au besoin du marché oriental (Khan, Pitts, & Williams, 2016 ; K. L. Young, Rudin-Brown, Lenné, & Williamson, 2012).

Dans les deux études présentées ci-dessous, les auteurs proposent, dans un premier temps, d'apprécier les différences culturelles nationales qui existent entre les répondants occidentaux et orientaux. Puis dans un second temps, ils montrent qu'il existe des différences dans les préférences de design d'IHM automobiles et tentent d'en faire le lien avec les différences culturelles précédemment soulignées.

K. L. Young et al. (2012), lors d'une étude comparative entre la Chine et l'Australie, montrent que les répondants chinois ($n = 300$) et australiens ($n = 320$) se positionnent significativement différemment sur plusieurs dimensions culturelles de Hofstede (distanciation au pouvoir, individualisme, évitement de l'incertitude et orientation à long terme). Ensuite, via des analyses qualitatives (*Focus Groups*), ils montrent que les Australiens sont plus sensibles au caractère sécuritaire et à la minimisation des éléments de distraction sur les interfaces automobiles, alors que les Chinois accordent plus d'importance à l'apparence et l'esthétique des IHM. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Marcus et Gould (2000) : les hauts niveaux de collectivisme attendent davantage d'éléments de contexte.

Khan et al. (2016), lors d'une étude comparative entre Inde et Royaume-Uni, montrent également que les répondants indiens ($n = 30$) et anglais ($n = 30$) se positionnent significativement différemment sur quasiment les mêmes dimensions culturelles que celles identifiées dans l'étude de K. L. Young et al. (2012). Ensuite, grâce au support matériel de deux interfaces, choisies en suivant les directives de Marcus et Gould (2000), ils montrent que les Indiens sont significativement plus satisfaits que les Anglais lorsqu'une diversité d'options dans les menus leur est présenté, ce qui est en accord avec leur attrait pour les situations inconnues (position faible sur la dimension d'évitement de l'incertitude). Ils sont aussi plus satisfaits lorsque des éléments esthétiques marquants sont présents, tels que des couleurs ou des symboles nationaux, du fait de leurs valeurs collectivistes.

Les résultats énoncés dans ces deux études font ainsi échos aux observations précédemment faites pour les sites internet et confirment l'intérêt des différentes préconisations pour la conception d'IHM automobiles.

2.4 Vers l'intégration d'une composante techno-socio-générationnelle

Comme expliqué au paragraphe 2.1.3, les comparaisons culturelles effectuées sont en réalité internationales. Bien que pertinente, la nationalité n'est pas forcément gage d'une homogénéité culturelle (Green, 2004 ; G. H. Hofstede & Minkov, 2010). Certaines études mettent ainsi en lumière des niveaux culturels controversés (Ford & Kotzé, 2005 ; Khan, Pitts, & Williams, 2016), voire contradictoires avec ceux trouvés lors des travaux sur les dimensions culturelles (K. L. Young et al., 2012). D'après Green (2004), la prise en compte de variables socio-professionnelles (classe sociale, genre, âge) est nécessaire pour éviter de faire une généralisation de valeurs personnelles. L'auteur cite l'étude de Marshal (1997) comme exemple pour montrer qu'il existe des variations du niveau d'individualisme et de collectivisme (IDV) au sein d'un même pays. En effet, l'étude montre que l'effet de la classe sociale est plus important que l'effet de la différence de nationalité sur les valeurs culturelles. Les Néo-zélandais éboueurs s'avèrent être plus collectivistes que les professeurs indonésiens. D'autres niveaux culturels pourraient ainsi être plus faciles à définir et plus intéressants à prendre en compte, notamment dans un contexte de mondialisation.

La mondialisation est un processus général caractérisé par « *la multiplication, l'accélération et l'intensification des interactions économiques, sociales, culturelles et politiques, entre les acteurs des différentes parties du monde* » (Tardif, 2008, p. 202). Ce processus, de plus en plus visible, est à l'origine du développement des moyens de transport transocéanique, de la diffusion de la télévision ou encore de l'arrivée de l'Internet. Le processus de mondialisation n'est pas attaché à un groupe social localisé. Il s'inscrit dans un espace virtuel qui est commun à toutes les sociétés ou nations (Parenteau, 2007 ; Tardif, 2008). C'est pour cette raison que la mondialisation peut être perçue et comme un processus d'uniformisation culturelle à l'échelle planétaire (Berger & Huntington, 2002 ; Parenteau, 2007).

La mondialisation touche ainsi le secteur des technologies. La voiture, par exemple, est un objet de plus en plus technologique. L'évolution des cockpits et notamment des IHM peuvent en témoigner. C'est ce que nous verrons dans le chapitre 3. S'il y a encore des inégalités en termes d'accès, les technologies semblent plus ou moins acceptées sur tous les continents. De fait, selon l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), l'utilisation d'internet et du téléphone portable n'a fait qu'augmenter avec le temps. Le nombre de personnes utilisant internet représente 66 % de la population mondiale en 2022. Le nombre de personnes, âgées

de 10 ans ou plus, possédant un téléphone mobile représente 73 % de la population mondiale en 2022 (International Telecommunication Union, 2022).

Prenons l'exemple des iPhones, qui ont révolutionné le monde du smartphone (navigation ergonomique sur écran tactile, accès facilité à internet, etc.) et qui se sont parfaitement inscrits dans la mondialisation : c'est un produit américain diffusé mondialement. Il se vend aussi bien en Europe qu'en Asie alors même que les niveaux culturels diffèrent entre ceux deux continents. Le fait de naviguer sur l'interface tactile de son téléphone mobile a ainsi été massivement adopté à travers le monde. Pourtant, ce téléphone ne propose pas d'adaptation d'un pays à l'autre, si ce n'est la langue ou les applications proposées (par exemple, l'utilisation des applications google est très restreint en Chine). La structuration de l'interface ou l'esthétique reste la même. En revanche, la qualité, le nombre de fonctionnalités et le prix différencient les modèles de téléphone. Par exemple, l'iPhone SE (2022), qui propose moins de fonctionnalités et qui est moins cher comparé à l'iPhone 13 sorti la même année (Apple, 2023), pourrait être destiné à ceux ayant le moins d'attentes en termes de technologies ou qui ont un budget inférieur. Par ailleurs, nous observons une différence importante dans l'utilisation et la possession de nouvelles technologies selon le facteur âge. Par exemple, 60 % des 18-24 ans indiquent déjà posséder au moins un objet connecté (montre, électro-ménager, thermostat, système de sécurité) contre 26 % des personnes âgées entre 60 et 69 ans (Arcep, 2021).

Dans ces exemples, l'acceptation des technologies semble davantage être liée à une composante culturelle, de nature plus techno-socio-générationnelle que nationale.

2.5 Conclusions du chapitre 2

La culture désigne un ensemble de personne vivant dans un même espace et partageant des caractéristiques communes, notamment des valeurs. La culture est donc définie par une identité homogène et géographiquement localisée. De fait, les auteurs ont pour habitude d'utiliser la nationalité comme facteur discriminant.

L'étude de l'interaction Homme-Machine, sous le prisme de la culture géographique, est un travail qui a été mené par de nombreux auteurs. Certains auteurs font l'hypothèse que les différences en termes d'interaction s'expliquent par des différences au niveau du processus de perception (perception holistique vs perception analytique). Les auteurs font par ailleurs un lien direct entre les processus cognitifs et les valeurs culturelles. Des critères de conceptions transculturels ont ainsi été établis, et se basent sur la théorie des dimensions culturelles développée par l'anthropologue Gert Hofstede 1984. Les études montrent que, d'une nationalité à l'autre, la perception de l'utilisabilité et les attentes en termes d'interaction sont différentes. Ce principe s'applique aussi au contexte automobile.

Néanmoins, plusieurs études laissent à penser que d'autres niveaux culturels pourraient venir impacter la stabilité des valeurs culturelles d'une même unité géographique (âge, genre, catégories socio-professionnelles). Dans un contexte de mondialisation et face à l'évolution des technologies, le niveau culturel techno-socio-générationnel aurait ainsi du sens pour expliquer des différences de perception, de réaction émotionnelle et de réaction comportementale. En effet, les technologies pourraient être acceptées de la même manière d'un pays à l'autre, mais des différences d'appréciation pourraient apparaître en fonction de la relation homme-technologie. Dans la partie suivante, la culture à un niveau techno-socio-générationnel sera introduite, en lien avec l'évolution des IHM automobiles.

Chapitre 3

Le rapport particulier des cultures techno-socio-générationnelles aux IHM automobiles : introduction de la notion de techno-affinité

3.1 Une relation à la technologie différente selon la culture techno-socio-générationnelle

3.1.1 Effet de l'âge

Que ce soit dans le contexte automobile ou non, les technologies ne sont pas figées dans le temps. Dans la section 3.2, nous verrons comment les technologies ont évolué et les conséquences de cette évolution sur l'interaction homme-machine. Quoi qu'il en soit, les utilisateurs doivent sans cesse s'adapter aux nouveautés. Cela soulève la question du vieillissement des utilisateurs face aux nouvelles technologies. D'après les auteurs, les capacités cognitives telles que la mémoire de travail, l'attention ou encore le raisonnement sont nécessaires pour apprendre à utiliser de nouveaux systèmes (Craik & Bosman, 1992 ; Docampo Rama, Ridder, & Bouma, 2001 ; Fisk et al., 2004 ; Freudenthal, 1998). D'après les mêmes auteurs, ces capacités cognitives diminuent avec l'âge. La baisse des capacités cognitives avec l'âge permet d'expliquer les difficultés rencontrées à réaliser certaines tâches interactives. Freudenthal (1998), cite les études de Czaja et Sharit (1993) et de Kelley et Chamess (1995) pour montrer les conséquences de l'âge sur l'utilisation : plus les utilisateurs sont âgés, plus ils ont besoin de temps

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

pour s'entrainer ou d'aide pour réaliser les tâches. De fait, dans ses propres travaux, Freudenthal (1998), montre que les performances d'utilisateurs âgés sont moins bonnes que celles d'utilisateurs plus jeunes, notamment face à des systèmes complexes. Par ailleurs, de nombreux auteurs soutiennent l'idée qu'il est nécessaire de développer des technologies qui s'adaptent aux personnes âgées (Craik & Bosman, 1992 ; Fisk et al., 2004 ; Kang & Yoon, 2008). Craik et Bosman (1992) recommandent entre autres d'éviter les opérations mentales complexes, pour de réduire la demande de la mémoire de travail ; de rendre les informations pertinentes à l'utilisateur, à savoir significatives et organisables ; de rendre les nouvelles informations facilement intégrables (les encoder correctement, les lier aux connaissances existantes) ; et enfin d'apporter de l'aide si nécessaire.

3.1.2 De l'âge au facteur techno-générationnel

D'après la littérature, d'autres facteurs expliquent cette baisse de performance, parmi lesquelles l'expérience avec les technologies. Ainsi, les personnes âgées peuvent manquer de connaissances pour interagir efficacement avec de nouveaux systèmes. En effet, les connaissances des utilisateurs se développent au travers des technologies auxquelles ils ont été exposés plus jeunes (Fisk et al., 2004 ; Freudenthal, 1998), autrement dit avec des systèmes aujourd'hui obsolètes. Au-delà de la performance, les attentes quant au fonctionnement des systèmes sont fondées sur la façon dont les versions antérieures étaient structurées (Fisk et al., 2004). Par exemple, l'utilisation d'un appareil photo à pellicule ou d'un réveil analogique a pu donner lieu à la construction de modèles mentaux qui impactent les attentes sur la façon dont les systèmes doivent fonctionner. En conséquence, le fonctionnement de nouveaux systèmes (interaction dématérialisée) pourrait ne pas correspondre à leurs attentes (interaction mécanique). Au chapitre 1 nous avons vu que les connaissances antérieures viennent impacter les perceptions. Nous en déduisons alors que l'expérience avec les technologies va venir impacter la perception des systèmes. De fait, les auteurs ont pu constater que les personnes âgées, par rapport aux jeunes, ont plus de difficultés à abolir des procédures qui ont fonctionné dans le passé, mais qui ne sont plus adaptées (Freudenthal, 1998).

L'utilisation de nouveaux systèmes, lorsque le niveau de connaissance est faible, demande de la motivation (Fogg, 2009). Sperandio, la Garza, et Michel (1999) parlent d'un effet de génération pour expliquer le manque d'attrait des personnes âgées pour les technologies modernes. Une génération peut se définir comme « *Une série de cohortes de naissance qui affichent un comportement similaire et qui partagent des normes ou des valeurs fondées sur des environnements sociologiques communs pendant leurs années formatives* » (Docampo Rama, 2001, p. 4, notre traduction). Les générations partagent ainsi une culture commune et, de fait, se caractérisent aussi par leur rapport à la technologie. Nous pouvons dans ce cas parler d'une culture technologique.

L'utilisation des technologies durant la période formative (avant 25 ans) marque ainsi les habitudes technologiques futures (Docampo Rama et al., 2001 ; Sackmann & Winkler, 2013). Docampo Rama (2001) cite les études sociologiques de Cutler et Kaufman (1975) et de Glenn (1977) pour expliquer qu'après le début de l'âge adulte, les individus sont moins susceptibles d'être sensibles aux changements d'attitudes, de normes ou de valeurs. La culture technologique englobe donc par nature un aspect générationnel. Au vu des éléments discutés à la section 2.4, il est légitime de penser que l'avènement de l'Internet a pu accélérer la construction de codes culturels communs au-delà des frontières et des cultures nationales. Cette fusion culturelle se réalise certainement plus vite chez les jeunes qui ont été confrontés tôt à l'Internet et ne sont pas habitués aux technologies plus anciennes, creusant encore l'écart technologique générationnel. Mais vu le nombre de personnes âgées qui se sont finalement mises à l'Internet, pour des raisons professionnelles ou personnelles, il est possible que le creusement de cet écart ne soit que linéaire, quand il aurait pu être exponentiel.

Le concept de générations technologiques est explicitement employé par certains auteurs (Docampo Rama et al., 2001 ; Sackmann & Winkler, 2013). Selon ces auteurs, les générations se distinguent par leurs habitudes technologiques, autrement dit la manière de posséder et d'utiliser les technologies. Par exemple, la génération dite informatique (née entre 1960-1980) et la génération dite internet (née après 1980) utilisent chacune l'Internet, mais pas nécessairement de la même manière ou dans le même but (e-mail vs. réseaux sociaux). La génération dite mécanique (née avant 1960) peut rencontrer plus de difficultés à utiliser des interfaces multicouches que la génération dite logicielle (née après 1960) car elle a stocké davantage de connaissances procédurales dans sa mémoire à long terme (Sackmann & Winkler, 2013).

3.1.3 De la techno-génération au concept de techno-affinité

Le concept de générations technologiques montre qu'il existe un lien évident entre les facteurs temporels (âge ou génération) et le rapport à la technologie. Une étude, menée par Hogan (2009), montre que la technophobie touche effectivement beaucoup moins les jeunes étudiants que les adultes plus âgés. Malgré cette différence observée, les résultats montrent également que 30 % des étudiants interrogés sont encore affectés par un niveau modéré à élevé de technophobie, et 18 % par un faible niveau de technophobie (Hogan, 2009). L'âge pourrait donc ne pas être suffisant pour prédire le rapport aux technologies. D'autres facteurs pourraient avoir un impact sur cette relation. Par exemple, Hogan (2009) souligne le fait que, lorsque seuls les utilisateurs d'ordinateurs sont pris en compte, le pourcentage d'adultes plus âgés, affectés par des niveaux modérés ou élevés de technophobie, est plus faible. Ainsi, l'environnement social ou professionnel peut conduire à l'utilisation de nouvelles technologies (Ben Youssef, 2004 ; Pasquier, 2022 ; Sperandio et al., 1999). Le niveau d'expérience, de connaissance et de compétence pouvant influer sur l'interaction homme-machine (D. Norman, 1986), on se proposera dans la thèse de différencier les individus selon leur rapport réel à la technologie, sans référence directe et explicite à l'âge (ce qui n'empêche pas de trouver une corrélation potentielle a posteriori). Une analyse techno-socio-générationnelle devient ainsi possible, tout en capturant des positions individuelles différenciées. Cette analyse sera menée au travers du concept de « techno-affinité » dans la suite de ces travaux de recherche.

3.2 L'impact de l'évolution des technologies sur les interactions Homme-Machine

L'évolution des technologies a soulevé de nombreuses questions psychologiques et sociologiques sur la relation Homme-Technologie. L'exploration des mécanismes cognitifs sous-jacents à cette relation a par exemple permis d'améliorer l'ergonomie des systèmes interactifs (voir chapitre 1). Cela a également permis de mieux comprendre l'impact des technologies sur la société, voire d'identifier leurs effets pathologiques comme les troubles de dépendance à l'Internet ou encore l'anxiété (Brosnan, 1998 ; Heinssen, Glass, & Knight, 1987).

En ce qui concerne les attitudes et les comportements humains, qui résultent de l'interaction avec la technologie, plusieurs modèles, comme nous l'avons vu, ont été proposés dans la littérature pour rendre compte de comment la perception de la facilité d'utilisation et de l'utilité influence le comportement de l'utilisateur vis-à-vis de la technologie (par exemple le modèle TAM de Davis, 1986). Le modèle symbiotique de Brangier (2002) va au-delà de la notion d'acceptation et soutient l'idée que la relation homme-technologie est mutuellement bénéfique en ce qui concerne leur coévolution. Selon cette approche, les technologies agissent sur les humains en améliorant leurs capacités, tandis que les humains façonnent les technologies en améliorant leurs conceptions (Brangier, 2002).

L'évolution des technologies apparaît alors comme un phénomène rapide. Les ruptures technologiques sont en effet visibles à l'échelle humaine, que ce soit au niveau du design, des fonctionnalités ou encore du style d'interaction proposé. En matière de design, les objets sont de plus en plus petits par exemple, ce qui est rendu possible par les progrès techniques tels que l'augmentation de la capacité de stockage. En ce qui concerne les fonctionnalités, les appareils se complexifient pour devenir multifonctions. Par exemple, les téléphones mobiles ne servent plus seulement à téléphoner aujourd'hui, mais aussi à écouter de la musique, à naviguer sur internet, et à prendre des photos. Enfin, en ce qui concerne les styles d'interaction, plusieurs changements sont à noter, mais d'abord voici une définition de ce concept.

3.2.1 Évolution des styles d'interactions

Le style d'interaction se décompose en séries d'actions, menées sur des objets ou des fonctionnalités de l'interface, qui définissent l'objectif utilisateur (opérations conceptuelles). Ces objets ou fonctionnalités sont organisées de manière intuitive et compréhensible sur l'interface (architecture d'interaction) et sont accessibles et modifiés (mécanisme d'interaction) par l'intermédiaire de dispositifs d'entrée et de sortie spécifiques comme des commandes ou des écrans. Par exemple, une souris informatique (dispositif d'entrée), peut servir à sélectionner un fichier informatique (opération conceptuelle) en cliquant sur l'icône dudit fichier (mécanisme d'interaction) qui se trouve dans un menu de l'interface (architecture d'interaction) (de Vet & de Ruyter, 1996 ; Docampo Rama, 2001).

Les styles d'interactions ont évolué au cours du temps et peuvent ainsi différer d'une interface à l'autre. Certaines interactions peuvent par exemple conduire à une action instantanée de l'utilisateur : sélectionner un objet par pointage ou abaisser un interrupteur ON/OFF.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

D'autres, vont nécessiter plusieurs actions élémentaires : déplacer une icône d'un dossier vers un autre (mécanisme du *drag and drop*) ou taper une commande textuelle dans une boite de dialogue avant d'appuyer sur la touche « *entrer* ». En réalité, Docampo Rama (2001) évoque trois styles d'interactions qui se succèdent au XX^{e} siècle, en lien direct avec la notion de techno-génération : un style mécanique jusqu'aux années 40, un style électro-mécanique jusqu'au début des années 80 et un style logiciel ensuite. Dans leurs travaux, Sackmann et Winkler (2013) évoquent un dernier style d'interaction : le style internet qui va marquer les individus nés dans les années 90. Une description de ces styles d'interaction est donnée au Tableau 3.1.

TABLEAU 3.1 – Styles d'interactions.

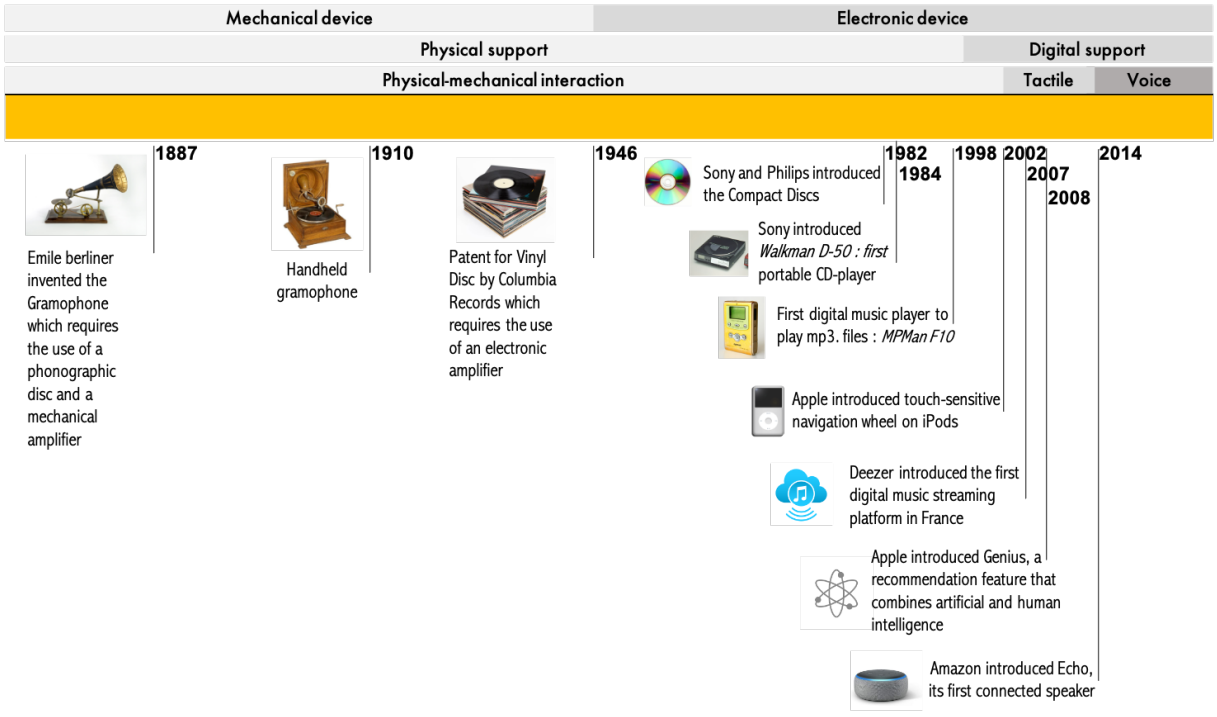
Style d'interaction	Commandes et mécanismes d'interactions	Operations conceptuelles	Architectures d'interactions
Mécanique ou Electro-mécanique	Boutons poussoirs, interrupteurs et molettes	Fonctionnalité de base (exemple : activer/éteindre, augmenter/baisser le niveau, etc.)	Arborescence horizontale : une seule couche dans laquelle les fonctionnalités de bases sont directement visible par l'utilisateur.
Logiciel	Écrans, boutons tactiles et télécommandes sans fil	Fonctionnalités spécialisées (exemple : mise en œuvre de calculs)	Arborescence verticale (profondeur) : multiples couches dans lesquelles il y a diverses fonctionnalités spécialisées. Seule une partie des fonctions est visible par l'utilisateur à un moment t.
Internet	Interactivité, hypertextualité, virtualité (par exemple : les avatars qui permettent de se présenter comme une autre personne), intelligence artificielle	Fonctionnalités connectées à internet	Arborescence en réseau : les informations sont partout (on peut passer d'un site internet à un autre en un clic), nombreuses (par exemple : le nombre important de résultats à la suite d'une recherche internet) et se diffusent rapidement (par le biais des réseaux sociaux par exemple).

3.2.2 Impact sur les interactions homme-machine

Face à l'évolution des styles d'interaction, il est possible d'observer plusieurs changements. Premièrement, le nombre de commandes physiques sur les interfaces a considérablement diminué au fil du temps. Les interactions, autrefois physiques, se font principalement au travers

du virtuel aujourd'hui. Ceci marque la **dématérialisation** des interactions. Cela est possible grâce au développement de nouvelles technologies telles que les interfaces vocales, qui rendent possible l'interaction humaine orale en utilisant la reconnaissance vocale ; les suggestions personnalisées qui recommandent automatiquement du contenu aux utilisateurs en se basant sur des algorithmes d'intelligence artificielle ; ou encore le sans-contact qui permet l'interaction entre deux objets simplement en les approchant l'un de l'autre grâce à la technologie du NFC (*Near Field Communication*). Deuxièmement, nous observons des changements dans la manière de posséder et d'utiliser les technologies. Désormais, l'utilisation des appareils apparaît comme nomade et connectée. Ceci marque la **numérisation** ou la digitalisation des usages. Cela est rendu possible par le déploiement de l'Internet. Par exemple, de nos jours, la domotique, c'est-à-dire tous les objets automatisés de la maison qui améliorent le confort, la sécurité ou la communication, peut être pilotée, voire mise à jour, à partir du smartphone.

FIGURE 3.1 – Frise chronologique sur l'évolution des supports et des lecteurs de musique.



L'évolution des appareils musicaux (du disque au numérique) est un bon exemple de tous ces changements. À la Figure 3.1, une frise chronologique sur l'évolution des supports et des lecteurs de musique est présentée. La frise chronologique montre bien que les styles d'interactions ont évolué, passant de mécanismes d'interaction mécaniques à interactifs. On remarque

aussi que cette évolution est de plus en plus rapide : plus d'un siècle a été nécessaire pour passer du lecteur de disques (78 tours, vinyle, disque compact, etc.) au lecteur CD alors que moins de vingt ans ont été nécessaires pour passer du lecteur numérique aux enceintes connectées à commande vocale.

3.3 Le cas particulier des interfaces Homme-Machine automobiles

3.3.1 Leur évolution

Évolution des fonctionnalités - Le domaine automobile n'échappe pas à l'essor technologique. Les IHM se sont vues évoluer et se sont multipliées au sein des voitures au fil du temps et cela impacte inévitablement le contexte de conduite. Premièrement, il y a une évolution au niveau des fonctionnalités. Les premières IHM avaient pour but d'informer le conducteur sur les éléments de conduite (vitesse de roulage, niveau de carburant, etc.) grâce à des affichages analogiques. C'est le besoin pour les conducteurs de se divertir, et de se connecter au monde extérieur, qui a par exemple influencé l'introduction dans les habitacles de la radio en 1922, puis du téléphone en 1952 et enfin du système de navigation embarqué en 1990. C'est avec l'objectif ergonomique de regrouper les multitudes de fonctionnalités, et grâce à l'avancée de l'informatique, que s'est fait le développement des premières IHM regroupant les systèmes d'info-divertissements, à l'image de l'IHM COMAND 2.5 développée par Mercedes-Benz en 1998 (voir Figure 3.2). Dans la même logique, le besoin de confort a influencé la mise en place du système de climatisation (Meixner & Müller, 2017). Enfin, les exigences réglementaires ont influencé la mise en place des ADAS [1]. Les ADAS sont des fonctionnalités qui sont mises à disposition pour la sécurité des conducteurs. Par exemple, depuis 2022, les voitures soumises à homologation pour l'Union Européenne sont obligatoirement équipées d'un système d'adaptation intelligente de la vitesse (AIV) (Argus, 2021). En conséquence, qu'il le veuille ou non, le conducteur a accès à une multitude de fonctionnalités, qui sont de plus en plus techniques.

Toutes les technologies développées pour la maison finissent ainsi par se retrouver à l'intérieur des cockpits, avec un délai plus ou moins important. Pour reprendre l'exemple musical, le premier autoradio FM est lancé sur le marché en 1952. C'est en 1973, dix ans après le

1. Les ADAS, de l'anglais *advanced driver-assistance systems*, sont des systèmes d'aide à la conduite

développement de la première cassette compact par Philips (We are rewind, 2023), que sort le premier lecteur « *K7* », un autoradio stéréo avec un lecteur cassette intégré (Ecoeur, 2020). Le premier lecteur CD automobile sort dès 1984 (Ecoeur, 2020), autrement dit deux ans après l'introduction du CD par Sony et Philips (Hasson-Fauré, 2022). En 2010, la plupart des véhicules ne possèdent déjà plus de lecteur cassette grâce à l'avènement de nouvelles technologies (Bluetooth, MP3 et 4G) (Ecoeur, 2020). En 2014, moins de 10 ans après la sortie du premier site de streaming, Apple sortait la première version d'Apple CarPlay permettant entre autres d'écouter de la musique en voiture, à partir des applications de streaming possédées sur son smartphone (Trindade, 2022).

FIGURE 3.2 – Première IHM d'info-divertissement développée en 1998.

Note. Photo extraite de Meixner et al. (2017).

Évolution des cockpits automobiles - Au-delà des fonctionnalités, en contexte automobile, les cockpits ont également beaucoup évolué. De la même manière qu'en contexte général, aujourd'hui les cockpits se dématérialisent et se numérisent. Il est en effet possible d'observer une augmentation du nombre et de la taille des écrans, ainsi qu'une réduction importante du nombre de commandes physiques sur la planche de bord au fil du temps (exemple en Figure 3.3). L'écran multimédia central semble venir remplacer les éléments physiques, si bien que la marque Tesla présente en 2017 un cockpit disruptif constitué d'un unique écran central qui concentre toutes les fonctionnalités, dont celles généralement attribuées à l'écran de bord et au volant (Figure 3.4).

FIGURE 3.3 – Évolution d'un cockpit automobile.

Note. Photos extraites de www.netcarshow.com (consulté en 2020).

FIGURE 3.4 – Cockpit de la Tesla Model 3.

Note. Photo extraite de www.netcarshow.com (consulté en 2020).

La numérisation des fonctionnalités et la dématérialisation des interactions est possible, car de nouvelles fonctionnalités se retrouvent dans les véhicules et promettent de faciliter la vie du conducteur. Certains véhicules proposent l'automatisation complète de certaines fonctionnalités (activation des essuie-glaces lorsque de la pluie est détectée, activation de phares latéraux lors d'un virage). D'autres proposent des cockpits plus interactifs par la mise en place d'assistants vocaux. Par exemple, la marque Nio, propose « *NOMI* » (voir Figure 3.5), un compagnon digital qui est à l'image des assistants domestiques comme Siri ou Alexa (développés respectivement par Apple et Amazon) mais adapté au contexte automobile. Par exemple, il est capable d'ajuster la position des sièges et des rétroviseurs en fonction des

préférences de chaque utilisateur, et d'activer la climatisation par simple demande vocale (Nio, 2021). Par ailleurs, la nouvelle commande de l'assistant intérieur « *MBUX* » (Mercedes-Benz User Expérience), qui détecte et interprète le mouvement des mains, sans besoin qu'il y ait un contact physique, est l'exemple même que les modalités d'interactions n'ont pas fini d'évoluer (Mercedez-Benz, 2023).

FIGURE 3.5 – Assistant digital Nomi de la marque Nio.

Note. Photo extraite de www.nio.com (consulté en 2023).

En l'état, toutes ces nouvelles fonctionnalités ont pour but améliorer la vie de l'utilisateur. Elles ont pour objectif d'éviter la distraction en conduite par le biais de l'automatisation, de la proactivité et d'une interaction plus intuitive (Lahoual & Fréjus, 2018). Cependant, bien qu'apportant des bénéfices, l'ajout de fonctionnalités pourrait accroître la difficulté à l'utilisation et la frustration, ce que D. Norman (2013) qualifie de paradoxe.

Évolution des styles d'interaction - En contexte automobile, les mécanismes d'interaction sont aujourd'hui de nature très variée. Le style d'interaction va impacter à la fois la manière de recevoir et de donner l'information. Par exemple, l'architecture de l'interaction, autrement dit la spatialité de l'information, peut impacter la manière de recherche l'information. Il s'agit d'une activité complexe, qui fait appel à la mémoire, à la compréhension (élaborer une représentation cognitive de la situation) et à la résolution de problème (Rouet & Tricot, 1998). De même, la nature des commandes peut impacter l'effort physique ou mental à mettre en œuvre pour contrôler les IHM.

Lorsque l'interface est **mécanique**, l'information est totalement visible (arborescence horizontale) et le contrôle est direct et physique (un bouton, une action). La recherche d'information paraît simple, car l'utilisateur a une représentation d'ensemble (Tullis, 1985). De fait, la construction mentale de l'interaction peut être facilitée. Néanmoins, le nombre d'éléments physiques croît avec le nombre de fonctionnalités proposées. Trop d'information peut ainsi affecter la facilité à localiser des informations (Rouet & Tricot, 1998). Par ailleurs, l'interaction étant mécanique, elle nécessite un effort physique et une mémorisation des procédures mécaniques associées à chaque fonctionnalité (tourner la molette vers la gauche pour baisser le niveau sonore par exemple) (Sackmann & Winkler, 2013). Enfin, les boutons physiques, par leurs retours haptiques, ont un potentiel sensoriel tactile.

Lorsque l'interface est **numérique**, plusieurs fonctionnalités peuvent être regroupées au sein d'un seul écran, ce qui diminue considérablement le nombre de commandes physiques. En conséquence, l'information est partiellement visible (arborescence verticale, en profondeur) et le contrôle est indirect, car les fonctionnalités ne sont plus directement accessibles : il faut les sélectionner au sein de menus/sous-menu. Les menus sont des listes d'items organisés en catégorie d'information. La construction mentale de l'interaction pourrait alors demander beaucoup de ressources cognitives en termes de mémoire et raisonnement (comment accéder à la fonctionnalité recherchée ?) (Rouet & Tricot, 1998). Bien que bénéfique en termes de compréhension, la profondeur, à savoir le nombre de menus successifs à franchir pour atteindre la fonctionnalité souhaitée, peut aussi ralentir l'interaction (Tullis, 1985). Et d'après Rouet et Tricot (1998), le regroupement d'information sur l'écran a tendance à désorienter les utilisateurs inexpérimentés, car ils oublient des informations précédemment lues. Par ailleurs, l'interaction avec un écran tactile nécessite un effort physique. Toutefois, la logique d'interaction est quand même différente. Pour monter le niveau sonore par exemple, il est possible de faire glisser un curseur sur un écran au lieu de faire tourner une molette. Cela demande donc de maîtriser ces nouvelles logiques d'interactions (Sackmann & Winkler, 2013). Enfin, les écrans tactiles ont aussi un potentiel sensoriel : tactile avec la qualité des écrans (fluidité, douceur, etc.) et visuel avec l'esthétique potentiel de la mise en page.

Lorsque l'interface est **interactive**, l'information n'est pas visible de l'utilisateur et le contrôle n'est plus physique. La machine réalise l'action à la suite d'une demande vocale, voire initie l'action par elle-même (automatisation, proaction). Lorsque l'interaction est vocale, l'utilisateur est dans un environnement exclusivement sonore. Le vocal constitue une façon naturelle, fluide, intuitive et aisée d'interagir avec son environnement. Elle agit ainsi en tant qu'accélérateur opératoire en simplifiant ou en supprimant certaines procédures (Lahoual &

Fréjus, 2018). Cependant, le manque de visibilité, peut contribuer à créer une impression de manque de contrôle. La perte de contrôle (ou perte d'initiative) peut entrainer une forme d'inconfort, voire être un frein à l'acceptabilité du vocal (Lahoual & Fréjus, 2018). Par ailleurs, malgré l'absence d'effort physique, l'utilisateur doit traiter et mémoriser les informations au fur et à mesures qu'elles arrivent. Cela exige ainsi d'importantes ressources cognitives (Rouet & Tricot, 1998). Enfin, les interfaces vocales présentent également un potentiel sensoriel, qui est sonore (voix humaine ou voix robotique).

Dans un cockpit automobile, ces trois interfaces peuvent co-exister. Il est en effet souvent possible d'activer son autoradio par le biais d'un bouton physique situé sur le volant, d'un écran tactile situé sur la planche de bord ou d'une commande vocale. L'utilisateur doit donc gérer plusieurs styles d'interaction, dont il n'a pas forcément la maîtrise selon sa culture technologique.

3.3.2 Leur complexité

La conception d'IHM automobile implique différentes sciences et mesures. Dans la pratique, de nombreuses équipes s'attellent à la tâche : ergonomes, designers automobiles, informaticiens, sensométriciens, etc. C'est précisément cette multiplicité qui rend l'utilisation des IHM particulièrement complexe (Blumenthal, 2001 ; M. Noël, Noël, Lucet, & Lê, 2022).

En contexte automobile, l'utilisateur doit jongler entre de multiples fonctionnalités et de types d'interaction. Concernant les fonctionnalités, dans ce chapitre, nous avons pu voir que les IHM se caractérisent par une multiplicité de positions et de fonctions (conduite, confort, divertissement). L'utilisateur n'a pas à interagir avec une seule IHM, mais avec plusieurs en même temps. Ce qui est perçu est le résultat de systèmes différents. C'est comme se trouver devant un buffet composé de plusieurs produits alimentaires et percevoir différentes saveurs et textures. L'objectif du constructeur est alors de s'assurer que l'assemblage de tous ces composants, dans un cockpit particulier, est bien fait : chaque IHM doit être visible, accessible et la perception globale qui en résulte doit être cohérente (M. Noël et al., 2022).

Concernant les types d'interaction, dans ce chapitre, nous avons pu voir que les cockpits automobiles proposent une diversité de mécanismes d'interaction (physique, tactile, vocal, etc.). De plus, l'interaction avec une IHM entraîne le plus souvent la réponse d'une autre IHM. Par exemple, la commande du clignotant n'est pas dissociable de l'écran qui affiche l'activation du clignotant. Pour faire l'analogie avec la nourriture, c'est comme si manger un produit sur

un buffet avait automatiquement un impact sur l'apparence d'un autre produit. L'objectif du constructeur est alors de proposer une IHM avec une interaction efficace et logique (M. Noël et al., 2022).

En plus de jongler entre plusieurs fonctionnalités et types d'interactions, l'utilisateur reçoit de ces IHM des stimuli nombreux et variés, de natures ergonomiques et hédoniques, qui vont impacter la perception. Concernant les stimuli de nature ergonomique, nous avons vu dans le chapitre 1 que les systèmes proposent au mieux des fonctionnalités utiles et utilisables. Le contexte automobile impose également la sécurité d'utilisation comme une exigence. Alors qu'un produit alimentaire offre presque le même sentiment de sécurité alimentaire lorsqu'il est consommé en statique (assis) ou en dynamique (en marchant), dans le contexte automobile, à partir du moment où il y a un paramètre dynamique (le véhicule est en mouvement), le risque de faire ou de subir un accident peut être important. Cela ajoute donc une couche de complexité à la conception, car la sécurité est prioritaire. La conduite étant la tâche principale du conducteur, en général, les IHM ne doivent pas altérer l'attention du conducteur (distraction). Elles doivent ainsi être accessibles, lisibles et facilement compréhensibles pour éviter toute charge mentale ou physique inutile (M. Noël et al., 2022).

Concernant les caractéristiques hédoniques, nous avons vu dans le chapitre 1 qu'un système interactif renvoie une esthétique visuelle et des qualités sensorielles perceptibles. Ainsi, chaque interface (bouton, écran) est composée de divers matériaux présentant différents niveaux sensoriels (couleur, forme, texture, etc.). En tant que système interactif, chaque commande ou écran est défini par un retour visuel ou haptique spécifique (intensité lumineuse, force, vibration, son). L'objectif du concepteur est de fournir des stimuli aussi bien agréables qu'ergonomiques. Par ailleurs, les concepteurs cherchent également à mettre l'accent sur le bien-être psychologique des individus. Les caractéristiques hédoniques, telles que la stimulation, l'identification ou l'évocation, sont essentielles pour garantir des expériences agréables, en dehors de la performance. Par exemple, dans le contexte automobile, la quantité de chrome peut avoir un impact sur l'image projeté aux autres, car la voiture possède un fort potentiel symbolique. L'objectif du concepteur est de fournir des stimuli symboliques en accord avec le public visé (M. Noël et al., 2022).

3.3.3 Les enjeux de conception

L'IHM automobile participe pleinement à la construction de l'habitacle et de l'expérience de conduite de l'utilisateur. C'est donc une composante de la voiture particulièrement importante pour le constructeur (Lallemand & Gronier, 2018). Le but des concepteurs est de gérer tous les éléments évoqués dans la section précédente (fonctionnalités, types d'interaction, stimuli, ergonomiques et hédoniques) afin de proposer une expérience à bord réussie, c'est-à-dire une interaction cohérente, efficace, sécurisée et plaisante. Pour cela, il faut prendre en compte deux choses : le fait que chaque élément peut se décliner et interagir avec les autres.

Dans une étude sur la perception visuelle de cockpits automobiles, M. Noël et al. (2022) montrent que l'utilisation de commandes physiques participe à rendre l'interaction facile. En effet, d'après l'étude, ce qui caractérise un cockpit dans la projection d'une utilisation simple, c'est l'accès aux fonctionnalités principales par des boutons physiques ou alors par des boutons tactiles immédiatement accessibles et dont la représentation évoque le physique (« bouton comme s'il n'était pas numérique »). Cependant, les auteurs montrent également que trop d'éléments physiques viennent perturber la charge visuelle ainsi que la perception de facilité d'utilisation. C'est comme s'il fallait trouver un équilibre entre la quantité de commandes physiques et de commandes numériques. De la même manière, le design de la planche de bord vient impacter la perception de la charge visuelle. Lorsque les lignes de la planche de bord sont droites et aériennes, cela participe à renvoyer la sensation d'un cockpit épuré, alors même que celui-ci présente un écran imposant au centre de l'habitacle, avec beaucoup de stimuli numériques. C'est comme si les caractéristiques hédoniques de la planche de bord venaient contrebalancer la complexité visuelle de l'interface numérique.

Pour proposer une expérience à bord réussie, il faut aussi prendre en compte le fait que l'interprétation des stimuli n'est pas la même d'un individu à l'autre. Par exemple, l'étude de M. Noël et al. (2022) montre que face à des cockpits originaux, c'est-à-dire ceux qui présentent une certaine modernité en comparaison avec de cockpits classiques (peu de numérisation par exemple), il n'y a pas de consensus sur la perception de la facilité d'utilisation. Pour certains, l'utilisation est complexe, pour d'autres, elle est simple. Les auteurs émettent ainsi l'hypothèse que la perception est davantage liée à la sensibilité du participant, c'est-à-dire à ses habitudes d'utilisation technologiques. Dans la suite des travaux de recherche, nous défendrons cette hypothèse.

3.4 Conclusions du chapitre 3

Au-delà de la culture, nous avons vu que d'autres facteurs peuvent impacter l'interaction homme-machine : l'expérience avec les technologies, les facteurs socio-culturels et l'appartenance à une génération. La techno-socio-génération se définit comme une série de cohortes de naissance ou bien d'expérience qui partage une culture technologique commune. Dans ces groupes culturels, l'utilisation des technologies, durant la période formative (avant 25 ans) et les facteurs sociologiques après cette période formative, marquent les habitudes technologiques. Ces groupes se comportent donc différemment vis-à-vis des nouvelles technologies, car ils ont des attentes et des besoins spécifiques, en raison d'habitudes acquises. Dans ces travaux de recherche, afin de ne pas se limiter au facteur âge, nous souhaitons étudier ces groupes au travers du concept de techno-affinité. L'affinité aux technologies sera étudiée au travers d'un niveau réel d'expérience, de connaissance et de compétences avec les technologies.

Les humains et les technologies évoluant de manière symbiotique, aujourd'hui, les technologies semblent évoluer plus vite que certaines générations. Les ruptures technologiques sont en effet visibles à l'échelle de l'individu, que ce soit au niveau du design, du contenu ou encore des styles d'interaction proposés. La manière d'interagir avec les IHM a ainsi complètement changé en quelques années : d'un style d'interaction mécanique, où un bouton équivaut à une action, les systèmes proposent aujourd'hui des styles d'interaction plus connectés et interactifs. Selon le style d'interaction, l'architecture de l'information (arborescence horizontale vs. verticale), les commandes (boutons vs. écran vs vocal), ou encore la manière de contrôler les interfaces homme-machine (actions humaines vs. pro-action de la machine) vont différer. Le milieu automobile n'est pas épargné par cette évolution : les cockpits se numérisent et se dématérialisent de plus en plus.

Pour les concepteurs automobiles, l'enjeu est de proposer une expérience à bord réussie, c'est-à-dire une interaction cohérente, efficace, plaisante et surtout sécurisée. En contexte automobile, c'est une tâche complexe, car le conducteur doit faire face à de multiples IHM (fonctionnalités et types d'interaction) en même temps et donc à de multiples stimuli (ergonomiques et hédoniques) qui interagissent. Nous faisons l'hypothèse que les stimuli ergonomiques et hédoniques, dans ces cockpits numérisés et dématérialisés, ne sont pas interprétés de la même manière par tous les utilisateurs. L'affinité avec les technologies, en structurant les connaissances, pourrait être un facteur explicatif de différences de perception, de réaction émotionnelle et de réaction comportementale. C'est une hypothèse que nous défendrons.

La problématique et les hypothèses générales

Problématique

Le rôle des concepteurs d'IHM est de proposer des systèmes ergonomiques et hédoniques, pour une utilisation satisfaisante (facile, compréhensible, utile, etc.) et plaisante (sensoriellement, symboliquement). Le contexte automobile complexifie les enjeux du concepteur, pour deux raisons principales : l'utilisateur doit faire face à de multiples IHM en même temps et la sécurité d'utilisation apparaît comme un critère prioritaire.

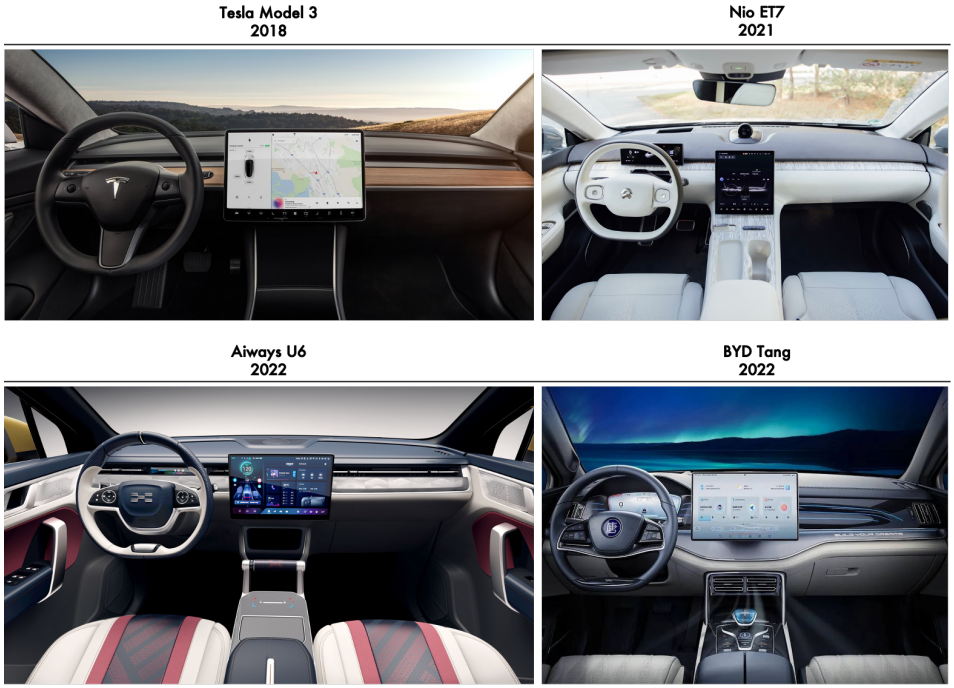
À partir des stimuli ergonomiques et hédoniques renvoyés par l'interface, l'utilisateur construit son propre modèle conceptuel d'interaction. L'interprétation que l'utilisateur fera du système peut donc différer de celle du concepteur, en fonction de son expérience personnelle. Nous supposons alors que la culture, en structurant les connaissances, peut impacter la perception des IHM.

Aux chapitres 2 et 3, nous avons vu que l'étude de la culture à un niveau techno-socio-générationnel semble plus adéquate qu'un niveau géographique dans un contexte de mondialisation et d'évolution des technologies. Les techno-socio-générations ont en effet des attentes spécifiques en matière de technologie, en raison d'habitudes d'interactions bien ancrées. Face au phénomène global d'évolution des technologies, qui se traduit notamment par l'évolution de styles d'interactions, il est raisonnable de penser que le niveau d'affinité avec les technologies va impacter les perceptions, la réponse émotionnelle, ainsi que l'appréciation globale des IHM.

Les cockpits automobiles ne sont pas épargnés par l'évolution des technologies. Il est possible d'observer deux phénomènes marquants. Le premier phénomène concerne l'épuration parfois extrême des habitacles de voiture (exemples en Figure 3.6). Cela est rendu possible par l'évolution des écrans multifonctions. On peut qualifier ce phénomène de dématérialisation, car il y a une convergence des moyens de contrôles, auparavant mécaniques, vers des interfaces numériques, voire interactives. Il y a ainsi une modification de l'architecture de l'information (arborescence horizontale vs arborescence verticale) et des commandes (boutons vs système tactile). Nous pensons que cela influence la manière de contrôler les interfaces.

Le second phénomène concerne l'augmentation importante du flux informationnel visuel ou sonore du fait de la numérisation des habitacles (exemples en Figure 3.7). Cela se traduit par la présence d'une plus grande surface d'écran, mais aussi par l'apparition d'avatars, de bandes lumineuses et d'animations en tout genre dans les habitacles. Il y a ainsi une modification de la qualité et de la quantité de stimuli numérique reçu. Nous pensons que cela influence la manière de traiter l'information.

FIGURE 3.6 – Exemples de cockpits dématérialisés sur le marché.



Note. Photos extraites de www.netcarshow.com (consulté en 2022).

FIGURE 3.7 – Exemples de cockpits numérisés sur le marché.

Note. Photos extraites de www.netcarshow.com (consulté en 2023).

Dans le milieu automobile, la composante sécuritaire est centrale. En conséquence, les processus cognitifs mis en place lors d'une interaction avec des IHM automobiles sont complexes : l'utilisateur doit opérer un effort de concentration supplémentaire pour utiliser les différentes interfaces, son attention étant en priorité portée sur la conduite. L'adaptation à de nouveaux styles d'interactions peut donc demander d'importantes ressources cognitives. Par nature, il y a donc une contradiction entre la dématérialisation du contrôle et l'immédiateté du contrôle (cela inclut la précision du contrôle). Par ailleurs, les interfaces numériques informationnelles, renvoient de nombreux stimuli à l'utilisateur qu'il faut pouvoir recevoir et traiter en contexte automobile. Il y a donc également une contradiction entre la numérisation des habitacles et l'absence de distraction.

Hypothèses générales

On fait l'hypothèse que selon le niveau d'affinité aux technologies, ces phénomènes de dématérialisation et de numérisation, ne sont pas perçus de la même manière. D'un point de vue ergonomique d'abord, on s'attend à ce que la techno-affinité explique des différences de satisfaction face à un contrôle mécanique vs un contrôle dématérialisé, car les attentes en termes d'interaction sont supposées différentes. Par exemple, face à un cockpit dématérialisé, un individu avec un faible niveau de techno-affinité pourrait ne pas avoir la capacité de maîtriser les logiques d'interactions proposées. Avec l'habitude d'un contrôle direct, où une action mécanique renvoie à une réaction mécanique, il pourrait avoir de la difficulté à trouver l'information recherchée dans une architecture où l'arborescence est verticale (informations et fonctions partiellement visibles à l'instant t). Face à des interfaces mécaniques, l'individu a une connaissance finie des fonctionnalités et des possibilités d'interactions. Face à des interfaces numériques (tactiles ou vocales), le potentiel d'interaction s'étend. Pour cet individu, la dématérialisation n'optimise donc pas le contrôle : il ne le rend ni plus facile, ni plus compréhensible. Ses besoins ergonomiques n'étant pas satisfaits, l'expérience d'interaction pourrait être vécue comme négative, voire insatisfaisante si la perception de la sécurité est atteinte par exemple. À l'inverse, avec l'habitude d'un contrôle dématérialisé, l'individu avec un haut niveau de techno-affinité n'a pas besoin de mémoriser les chemins d'interactions, ni de les visualiser. Il comprend alors les logiques proposées et n'a pas peur d'explorer plusieurs chemins d'interactions pour arriver à ses fins. Ses besoins ergonomiques étant satisfaits, l'expérience d'interaction pourrait être vécue comme positive, voire satisfaisante si toutes fonctionnalités

rencontrées sont perçues comme performantes et compatibles avec la conduite.

Hypothèse générale 1

En contexte automobile, la perception ergonomique du phénomène de dématérialisation, diffère en fonction de la techno-affinité. En conséquence, selon leur niveau de techno-affinité, les individus ne vont pas être satisfaits de la même façon, entre un contrôle mécanique et un contrôle dématérialisé.

Le plaisir d'utilisation est important dans l'interaction homme-machine, bien que non prioritaire. D'après la hiérarchie des besoins (voir Figure 1.10), les besoins hédoniques peuvent être satisfaits uniquement lorsque que ceux ergonomiques l'ont été. D'un point de vue hédonique, on s'attend à ce que la techno-affinité explique des différences de plaisir d'utilisation face à la numérisation plus ou moins importante des cockpits, car les besoins en termes d'interaction sont supposés différents. Par exemple, un cockpit très numérisé pourrait demander beaucoup de ressources cognitives aux utilisateurs ayant une faible affinité avec les technologies. Ses besoins en ergonomie n'étant pas satisfaits, l'expérience d'interaction pourrait être vécue comme négative, voire pas du tout plaisante si ces stimuli impactent la perception de sécurité. À l'inverse, un individu avec un haut niveau de techno-affinité pourrait ne pas être distrait par les nombreux stimuli numériques qui lui sont renvoyés, car il a besoin de moins de ressources cognitives pour interagir avec la technologie dont il est familier. Ses besoins en ergonomie étant plus facilement satisfaits, l'expérience d'interaction pourrait être vécue comme positive, voire stimulante et valorisante si la perception de ces stimuli est faite dans ce sens.

Hypothèse générale 2

En contexte automobile, la perception hédonique du phénomène de numérisation, diffère en fonction de la techno-affinité. Selon leur niveau de techno-affinité, les individus ne vont pas avoir le même plaisir à interagir, entre un environnement peu numérisé et un environnement très numérisé.

Nous pouvons définir la contrôlabilité d'un système comme étant le fait de pouvoir l'amener d'un état initial arbitraire vers un état final prescrit en un temps fini. La problématique de contrôle optimal, c'est le fait de vouloir passer de cet état initial à final en minimisant un critère d'optimisation (Trélat, 2005). Cette problématique de contrôle optimal peut être transposée à la problématique industrielle. D'après les référentiels IHM de Renault, leur objectif est de proposer une interaction optimale, c'est-à dire une interaction qui est performante (facile à prendre en main et facile à comprendre), qui engage peu des ressources cognitives (pour une interaction compatible avec contexte automobile). L'objectif est également de proposer une interaction agréable sensoriellement (visuellement, tactilement), voire source de stimulation et d'aspiration. Or, comme discuté dans la problématique générale, la numérisation et la dématérialisation sont susceptibles d'être en contradiction avec un contrôle immédiat et non distrayant. Pourtant, la numérisation et la dématérialisation sont plus enclines à satisfaire des besoins de nature hédonique, par leur potentiel innovant, personnalisable et interactif. Par ailleurs, les hypothèses précédentes soutiennent l'idée que des niveaux différents de techno-affinité ont des besoins différents en termes d'interaction. Ces hypothèses amènent naturellement à l'hypothèse générale 3, décrite ci-dessous.

Hypothèse générale 3

Le positionnement des individus, dans leur préférence concernant la dématérialisation et la numérisation des cockpits, est une recherche d'optimum entre une expérience ergonomique (interaction performante et non distrayante) et une expérience hédonique (interaction agréable et stimulante). Selon leur niveau de techno-affinité, les individus n'auront pas le même optimum entre ces caractéristiques.

Organisation du manuscrit

Pour tester ces hypothèses, dans une première partie de ces travaux de recherche, nous étudierons le concept de techno-affinité au travers de deux études. Nous justifierons alors sa pertinence en tant que marqueur culturel techno-socio-générationnel en proposant un outil de mesure permettant un positionnement individuel et l'identification de profils de techno-affinité.

Dans une seconde partie de ces travaux de recherche, nous essaierons de comprendre le rapport de différents niveaux de techno-affinité face aux interactions homme-machine automobiles, dans un contexte d'évolution technologique. Pour cela, nous proposerons deux études. La première étude présentera est une enquête qualitative. La seconde étude présentera la conception d'un terrain expérimental permettant d'évaluer l'interaction entre la techno-affinité des utilisateurs et les caractéristiques ergonomiques et hédoniques de cockpits automobiles dont les degrés de dématérialisation et de numérisation varient. Pour analyser cette interaction, nous choisirons des modèles de mesure du comportement qui savent rechercher un optimum entre deux attitudes contradictoires : la recherche d'une expérience à la fois ergonomique et hédonique. Nous proposerons alors une modélisation qui permet un positionnement individuel afin de mesurer comment ces optima sont trouvés différents selon la culture.

Deuxième partie

La techno-affinité comme marqueur culturel techno-socio-générationnel : construction d'une nouvelle échelle de mesure et identification de profils de techno-affinité

Chapitre 4

Introduction de la partie 2

4.1 La techno-affinité comme facteur culturel de différenciation

Comme expliqué dans la partie introductive (partie 1), le concept de culture que nous allons explorer dans le reste du manuscrit est à un niveau techno-socio-générationnel. Nous avons pris le parti de considérer que la culture à un niveau géographique est moins pertinente dans un contexte de mondialisation et d'évolution technologique. Cette idée, nous allons la défendre dans la suite de ces travaux de recherche.

Les théories autour des générations technologiques postulent que l'appartenance à une génération conditionne la culture technologique. D'après les auteurs, d'une tranche d'âge à l'autre, les habitudes et les usages technologiques diffèrent (Docampo Rama, Ridder, & Bouma, 2001 ; Sackmann & Winkler, 2013). Ces différences nous intéressent, car elles sont susceptibles d'impacter les attentes et les besoins en termes d'interaction homme-machine.

Pour étudier la culture à un niveau techno-générationnel, nous proposons de mesurer de l'affinité technologique. Pour cela, nous souhaitons prendre en compte divers aspects, plutôt factuels, de la relation homme-technologie : les usages, la fréquence d'usage, les possessions, les connaissances et les compétences réelles des utilisateurs avec toutes sortes de technologies. En faisant cela, la techno-affinité est assimilée à une attitude générale qui concerne tout type de technologie. Dans ces conditions, toute mesure de la techno-affinité, devrait être transférable au contexte automobile.

Au vu des éléments de la littérature, la techno-affinité, mesurée au travers de ces aspects, englobe éventuellement un facteur temporel, d'ordre générationnel. Toutefois, nous pensons, comme certains auteurs le suggèrent, que la techno-affinité est un concept qui va au-delà du facteur âge et qui s'explique aussi par des facteurs socio-professionnels (Pasquier, 2022 ;

Sperandio, la Garza, & Michel, 1999). C'est donc quelque chose que nous étudierons spécifiquement dans les chapitres qui vont suivre.

Enfin, nous pouvons légitimement nous demander si les usages technologiques sont les mêmes d'un pays à un autre. Par exemple, les Brésiliens sont connus pour utiliser l'application de messagerie WhatsApp et les messages vocaux pour toutes sortes de tâches quotidiennes (professionnelles ou encore médicales comme pour prendre un rendez-vous chez le médecin) quelle que soit la génération. Ce n'est pas le cas en France où, au contraire, il y a une différence marquée d'usage concernant les outils de communication. Par exemple, en 2020, les jeunes adultes (25-39 ans) sont 95 % à disposer d'un smartphone alors que seulement 59 % des plus âgés (70 ans et plus) en ont un (Arcep, 2021). Il est donc probable qu'il y ait des différences d'affinité technologique d'une culture nationale à l'autre. Toutefois, dans un contexte de mondialisation, nous défendons l'idée qu'à travers ces différences culturelles nationales, une dimension commune de techno-affinité apparaît. Cette hypothèse sera examinée dans la suite de ces travaux de recherche.

Pour mesurer la techno-affinité, nous décidons de créer une nouvelle échelle de mesure. Les raisons qui nous poussent à faire cela sont expliquées dans la section suivante.

4.2 Intérêt d'une nouvelle échelle de mesure

Les échelles de mesure existantes se présentent soit sous la forme d'une mesure transversale, via des composantes affectives, cognitives et comportementales, comme pour le *Computer Attitude Measure* (CAM, Kay, 1989), soit sous la forme d'une mesure spécifique au travers de l'anxiété, comme pour le *Computer Anxiety Rating Scale* (CARS, Heinssen et al., 1987). Ces échelles ont en commun d'être focalisées sur la mesure de l'attitude à l'égard des ordinateurs.

Or, dans ces travaux de recherche, nous souhaitons mesurer une attitude plus générale à l'égard de toute sorte de technologies. En effet, les technologies ont évolué depuis ces travaux. Au XXI^{e} siècle, les ordinateurs ne peuvent plus être considérés comme de nouvelles technologies, car ils sont adoptés à l'échelle mondiale. Il est même possible d'observer une inversion des courbes d'adoption technologique, de l'ordinateur au smartphone. Une étude menée en France montre que les personnes de 60 ans se disent plus compétentes avec un ordinateur qu'avec un smartphone et que les 25-39 ans possèdent un peu moins d'ordinateurs que les 60-69 ans : 73 % contre 76 % (Arcep, 2021). Cela montre que l'usage des ordinateurs tend à diminuer avec l'apparition de nouvelles générations et de nouvelles technologies. L'étude

de la relation aux technologies ne peut donc plus aujourd'hui se concentrer uniquement sur l'utilisation des ordinateurs (Garland & Noyes, 2008).

Plus récemment, des échelles plus générales de mesure d'attitude à l'égard des technologies ont été développées (Anderberg, Eivazzadeh, & Berglund, 2019 ; Martínez-Córcoles, Teichmann, & Murdvee, 2017 ; Soldatova, Nestik, Rasskazova, & Dorokhov, 2021). Néanmoins, ces échelles se concentrent sur des populations souvent spécifiques (personnes âgées, parents et adolescents). Dans le cadre de la thèse, nous souhaitons créer une échelle de mesure plus transversale. Pour cela, la techno-affinité sera mesurée sur une population plus générale.

Ces échelles plus récentes sont aussi souvent construites sur la base de modèles multidimensionnels monopolaires. Par exemple, Anderberg et al. (2019), proposent deux facteurs monopolaires et orthogonaux : *techEnthusiasm* et *techAnxiety*. Au vu du contenu de ces facteurs, on est en droit de se demander si les deux concepts avancés, l'enthousiasme et l'anxiété technologique, ne font pas partie d'une dimension commune ambivalente. D'ailleurs, d'autres auteurs ont proposé de décrire la relation aux technologies comme une dimension unique et bipolaire, opposant la technophilie et la technophobie. Selon les définitions, la technophilie renvoi à l'enthousiasme pour les nouvelles technologiques et à l'adaptabilité pour celles-ci, et la technophobie se traduit par une peur ou un malaise, et dans certains cas, un rejet des nouvelles technologies (Osiceanu, 2015). Dans le travail qui suit, nous intégrerons donc l'examen des hypothèses d'unidimensionnalité et de bipolarité à la démarche de modélisation.

L'avantage de trouver une structure bipolaire à l'affinité technologique est de mieux rendre compte, de manière plus sobre en tout cas, l'attitude conflictuelle sous-jacente à la relation homme-technologie. Le développement rapide des technologies peut en effet contribuer, à la fois à des avancées sociétales, et à la fois à une forme de fracture numérique. Les fractures numériques désignent les inégalités d'accès et d'usages, qui se soldent parfois par des positions résolument anti-technologiques, par choix (par exemple écologiques) ou par contraintes (par exemple à cause des inégalités de connexion) (Ben Youssef, 2004 ; Pasquier, 2022). Le positionnement des individus sur cette dimension bipolaire pourrait faciliter la compréhension de leur rapport aux interactions homme-machine, supposé se traduire aussi par une attitude conflictuelle dans la recherche d'une expérience à la fois ergonomique et hédonique.

Pour construire cette échelle de mesure, nous adoptons une méthodologie psychométrique. Dans la section suivante, les principes généraux autour du processus de validation des échelles psychométriques sont présentés. Puis, l'intérêt des modèles IRT pour valider une échelle psychométrique est discuté.

4.3 Principes généraux autour de la construction d'une échelle de mesure psychométrique

4.3.1 Processus de validation d'une échelle psychométrique

La psychométrie est la branche de la psychologie concernée par la mesure des aptitudes (perception, intelligence, réponses motrices) et des attitudes (valeurs, opinions, jugements), à l'aide d'échelles psychométriques (tests, questionnaires). Les échelles psychométriques sont donc des instruments de mesure pour les phénomènes (ou traits latents) non observables et non mesurables directement. Un exemple bien connu d'échelle psychométrique est le test du QI (Binet et Simon, 1905), qui a pour objectif de mesurer l'intelligence.

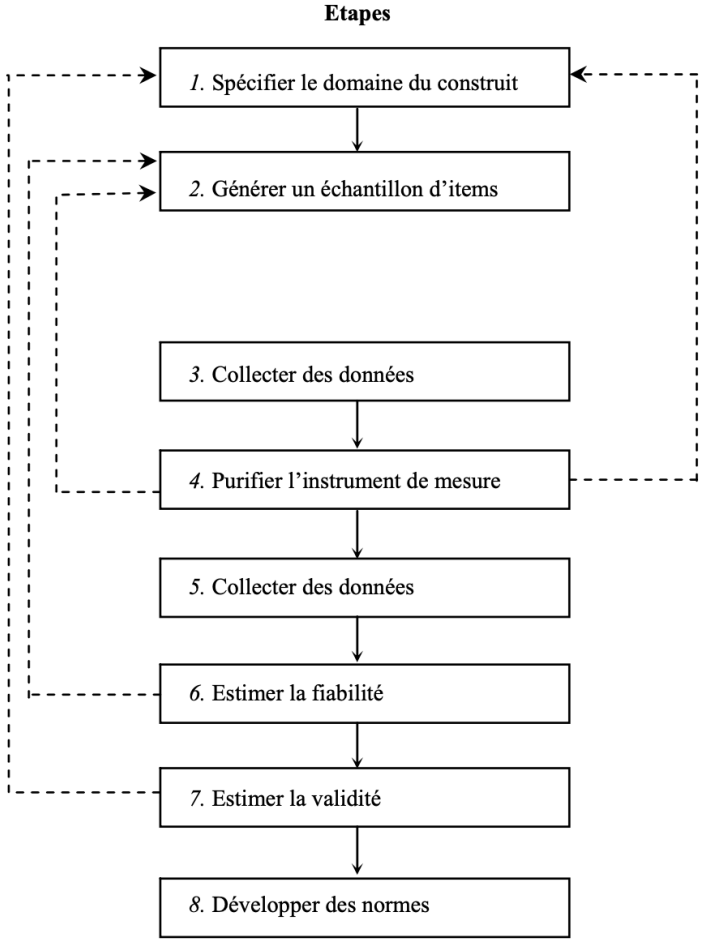
Les échelles psychométriques peuvent prendre la forme de questionnaires. Les questionnaires se composent généralement de plusieurs questions, aussi appelés items. Les items sont accompagnés d'échelles de réponses, souvent catégorielles, permettant de calculer des scores pour chaque répondant. Les échelles de réponse utilisées sont donc souvent bornées et labellisées, à l'image des échelles *Likert* qui se présentent sous la forme d'une graduation, correspondant à un degré d'accord, et des échelles d'*Osgood* qui se présentent sous la forme de différenciateurs sémantiques (paires de mots contrastés).

Dans la démarche classique de construction d'échelle psychométrique, plusieurs étapes sont nécessaires afin de proposer une échelle fiable dont le contenu est valide (Churchill, 1979 ; Touzani, 2000) (Figure 4.1). La fiabilité est la quantité information vraie portée par la mesure. Le contenu de l'échelle est valide lorsqu'il mesure réellement le trait latent étudié. La première étape consiste à générer un échantillon d'items de façon à ce que le contenu de l'échelle puisse effectivement mesurer le trait latent étudié (étape 1 et 2). Une fois les données récoltées (étape 3), il est recommandé de faire une réduction du nombre d'items, en écartant les items qui ne mesurent pas correctement le trait latent (items mal ajustés, non discriminants) (étape 4), puis de recourir à une batterie de tests statistiques pour juger de la fiabilité et de la validité de l'échelle (étapes 3 à 7).

Concernant la validité, il est possible d'opérer plusieurs types de validation, parmi lesquelles la validation interne et la validation externe. La validité interne va se traduire statistiquement par une grande cohérence (ou homogénéité) des différents items. Par la validation externe, il est possible de montrer que la mesure est un bon prédicteur du comportement objectif du sujet, en situation réelle. Enfin, il est d'usage de donner des indications sur la distribution des

scores (étape 8). Cela permet de rendre l'échelle de mesure facilement utilisable par d'autres chercheurs.

FIGURE 4.1 – Processus de validation d'une échelle psychométrique, extrait de Touzani (2000).



4.3.2 Intérêt des modèles IRT pour valider une échelle psychométrique

Deux types de modèles sont majoritairement utilisés pour modéliser des attitudes, à travers les réponses données à un questionnaire, et ainsi valider une échelle psychométrique : les modèles factoriels linéaires et les modèles issus de la **Théorie des Réponses aux Items**

(IRT).

Pour nos objectifs, les modèles IRT sont préférés. Premièrement, nous cherchons à mesurer des **différences inter-individuelles d'affinité**. Or, les modèles IRT intègrent justement des paramètres de position individuelle par sujet qui rendent réalisable cet objectif. Deuxièmement, nous cherchons à **mesurer une affinité entre des sujets et des technologies**. Or, les modèles IRT sont des modèles explicites de la **relation entre un sujet et un item**. Il faut alors que les items questionnent le comportement vis-à-vis des technologies pour répondre à l'objectif. Par ailleurs, ces modèles rendent explicite des fonctions de réponse. Or, lorsque cette fonction de réponse est non-linéaire, certains auteurs ont montré que l'analyse factorielle tend à extraire trop de facteurs (van Schuur & Kiers, 1994). Enfin, ce sont des modèles qui prennent en compte correctement, sur le plan statistique, la nature des données (catégorielles, continues, etc.), c'est pourquoi ils sont utilisés de manière standard en psychométrie.

Les modèles IRT ont pour propriété de projeter simultanément les sujets et les items, dans un même espace latent, en donnant du sens à la distance entre eux (van der Linden, 2019). Le principal objectif de cette approche est alors d'**estimer conjointement les paramètres inconnus des sujets et des items**. Soit n le nombre total de sujets, et p le nombre total d'items : à partir des estimations du modèle, chaque sujet i est caractérisé par un niveau $\theta_i(i = 1,\ ...,\ n)$ d'affinité sur le trait latent, et chaque item j est caractérisé par une position $\delta_j(j = 1,\ ...,\ p)$ sur le même trait latent.

Les paramètres d'items et de sujets peuvent être liés au sein de fonctions cumulatives. Ces fonctions représentent la probabilité de, par exemple, présenter un comportement cible. Cette probabilité tient compte de la distance sujet-item sur le trait latent mesuré (van der Linden, 2019). Cette relation est décrite par une courbe (la courbe caractéristique de l'item) qui peut être représentée dans un graphique avec en abscisse, le trait latent mesuré (θ), et en ordonnée, la probabilité (comprise entre 0 et 1) de présenter le comportement cible.

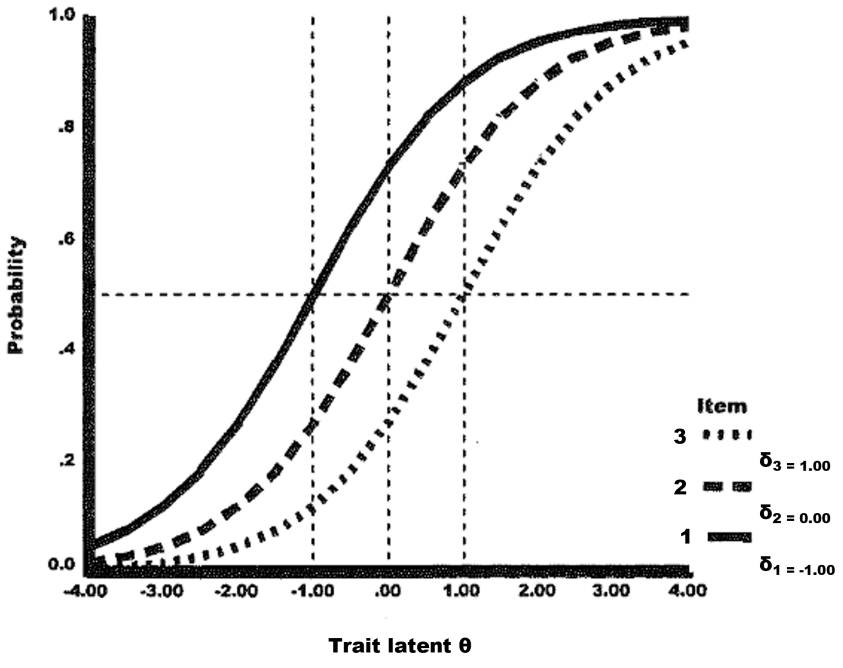
Pour illustrer ces propos, la Figure 4.2, donne comme exemple les courbes caractéristiques de trois items. Dans ce graphique, les courbes croissent, d'une probabilité 0 à une probabilité quasi égale à 1 de présenter un comportement. Des droites en pointillé sont tracées sur le graphique pour illustrer le paramètre δ. Sa position correspond à la valeur de θ pour laquelle la probabilité de présenter un comportement est égale à 0.5.

Dans cet exemple, à probabilité égale, il faut un niveau θ plus haut pour présenter le comportement associé à l'item 3 car $\delta_3 > \delta_2\ et\ \delta_1$. Le modèle étant cumulatif, le sujet qui présente le comportement associé à l'item 3, a de fortes probabilités de présenter également

les comportements associés aux item 1 et 2. On considère que plus θ_i est grand devant δ_j, plus le sujet a de fortes probabilités de présenter le comportement cible (et inversement).

Toujours dans cet exemple, les trois fonctions de réponse, qui modélisent une réponse binaire, présentent des pentes identiques (seul le paramètre δ varie entre les items). Selon les données à analyser (binaires, nominales, ordinales, continues), le modèle utilisé va différer. En conséquence, les paramètres à estimer et la forme des courbes caractéristiques associées aux items peuvent également différer. Par exemple, dans certains modèles, la pente peut être autorisée à varier entre les items. La pente, aussi appelée paramètre de discrimination a, fournit de l'information sur le pouvoir discriminatif de l'item, c'est-à-dire son aptitude à différencier les sujets sur le trait latent. Le paramètre de discrimination exprime donc l'inclinaison plus ou moins marquée de la courbe caractéristique : plus la pente est abrupte, plus l'item est discriminatif et inversement.

FIGURE 4.2 – Courbes caractéristiques IRT, adapté de Ollivier (2021)



Une approche IRT a donc été adoptée dans ces travaux de recherche pour de modéliser l'affinité sujet-item. Différents modèles IRT et indicateurs statistiques seront utilisés dans ces travaux de recherche. Ils seront détaillés au fur et à mesure de leur utilisation. La capacité des modèles IRT à représenter naturellement les distances sujet-item dans un même espace latent facilitera l'interprétation des modèles développés. Par exemple, la position des items apportera des indications sur la difficulté qu'ils représentent lorsqu'il s'agit d'évaluer des compétences ou des connaissances, ou sur la fréquence et la force de leur survenue s'il s'agit de comportements.

Dans l'application qui est la nôtre, et pour peu que le modèle soit acceptable, la position des sujets donnera leur niveau de techno-affinité. La position relative d'un sujet par rapport à un item permettra d'inférer sur la probabilité qu'il possède une compétence technique ou qu'il présente un comportement spécifique.

4.4 Objectifs, organisation et sous-hypothèses de la partie 2

Le premier objectif de cette partie est **d'apporter des éléments de compréhension théoriques au concept de techno-affinité afin d'en valider sa pertinence comme facteur culturel de différenciation et comme mesure d'attitude générale à l'égard des technologies**. Nous attendons de ces apports théoriques qu'ils puissent répondre aux sous-hypothèses de la thèse, soulevées dans ce chapitre introductif. Ces sous-hypothèses sont résumées ci-après :

1. La techno-affinité se modélise sous la forme d'une seule dimension bipolaire où la technophobie est opposée à la technophilie.
2. La techno-affinité englobe naturellement un facteur temporel d'ordre générationnel.
3. Si la techno-affinité reflète effectivement une attitude générale vis-à-vis de toutes sortes de technologies, alors sa mesure est un bon prédicteur du comportement des sujets en contexte automobile.
4. Si la techno-affinité est pertinente dans un contexte de mondialisation, alors il existe une dimension commune et consistante entre deux cultures nationales aux valeurs culturelles différentes.

Pour répondre à cet objectif, le **chapitre 5** porte sur la construction et la validation d'une échelle de mesure générale de la techno-affinité, au travers d'une approche IRT. L'échelle est dite générale, car elle n'est pas spécifique du domaine automobile, ni d'un domaine technologique en particulier. Dans cette étude, au-delà de l'aspect méthodologique IRT présenté pour valider l'échelle, les sous-hypothèses résumées ci-dessus sont discutées. Pour cela, la dimensionnalité de l'échelle, ainsi que sa structuration, son caractère temporel, prédictif et sa stabilité interculturelle sont examinés.

Le second objectif de cette partie est de **construire un outil de mesure pratique, déployable industriellement, puis de montrer que des groupes d'individus, qui partagent le même profil de techno-affinité, peuvent être identifiés**. Cet outil doit alors permettre une mesure rapide de niveaux différents de techno-affinité en 15 questions, pour un usage facilité en terrain par simple addition de points. Cet outil doit aussi permettre une identification facilitée de profils culturels techno-socio-générationnels (ou profil de techno-affinité). En effet, d'après nos hypothèses, la techno-affinité englobe naturellement un facteur temporel d'ordre générationnel, mais du fait de facteurs socio-professionnels, nous pensons qu'elle ne se confond pas exclusivement avec ce facteur temporel. Ceci constitue notre sous-hypothèse 5.

Pour répondre à cet objectif, le **chapitre 6** présente une étude sur le développement d'une échelle de mesure de la techno-affinité, en version courte et utilisable sans routine statistique. Dans cette étude, au-delà de l'aspect méthodologique IRT présenté pour valider cet outil simplifié, des niveaux similaires de techno-affinité sont identifiés et caractérisés par le biais d'un profil technologique et sociologique.

Pour faciliter la lecture, les chapitre 5 et 6 ne sont pas présentés de manière chronologique aux évènements. Le cadre de la thèse CIFRE a imposé un calendrier spécifique lié aux contraintes budgétaires du partenaire industriel et au rythme imposé par l'institut d'étude réalisant le recrutement des participants et le recueil de l'ensemble des données de la thèse. Le premier objectif a donc été de construire un outil de mesure pratique en 15 questions (Chapitre 6). Puis, nous nous sommes laissés la liberté d'apporter une vision plus théorique au concept de techno-affinité (Chapitre 5). Cela nous a amené à valider une échelle de mesure plus longue, mais aussi plus complète, en vue de la rédaction d'un article. Les analyses n'ayant pas été menées au même moment, ni pour les mêmes objectifs, les méthodologies d'analyses employées ne sont donc pas les mêmes d'un chapitre à l'autre. **Les chapitres 5 et 6 doivent alors être considérés de manière indépendante.**

Chapitre 5

La construction d'une échelle de mesure d'attitude générale à l'égard des technologies pour montrer la pertinence du concept de techno-affinité comme facteur culturel de différenciation

5.1 Objectifs

Dans ce chapitre, l'objectif principal est d'apporter des éléments de compréhension théoriques au concept de techno-affinité.

Dans cette perspective, l'étude présentée s'attache à construire une échelle de mesure générale de la techno-affinité. Pour ce faire, nous cherchons à développer un questionnaire psychométrique, dont les questions couvrent autant d'aspects que possible, relatifs aux usages, à la fréquence d'usage, aux possessions, aux connaissances et aux compétences réelles des sujets, en relation avec des technologies de champs aussi divers que possible (téléphonie, ordinateurs, pratiques bancaires, etc.).

À partir des réponses recueillies, la première étape consiste à adopter une approche IRT afin de vérifier la pertinence psychologique du concept de techno-affinité. L'objectif est d'examiner si tous les aspects évoqués précédemment (usages, fréquences d'usage, etc.) appartiennent à un construit homogène et cohérent, qui peut se résumer en une seule dimension cumulative

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

et bipolaire (sous-hypothèse 1).

La seconde étape consiste à valider un questionnaire dans une forme allégée, toujours par le biais d'une approche IRT.

Enfin, cette échelle allégée, dont le contenu est validé, est soumise à une dernière étape de validation externe. Cette validation externe permet de répondre à trois objectifs. Le premier objectif consiste à étudier le lien entre la techno-affinité et l'âge. En faisant cela, nous voulons vérifier que la techno-affinité englobe naturellement un aspect temporel d'ordre générationnel (sous-hypothèse 2). Le second objectif consiste à tester le caractère prédictif de l'échelle de techno-affinité, sur des aspects non directement interrogés dans le questionnaire. En faisant cela, nous voulons vérifier que l'échelle de mesure est généralisable, notamment au contexte automobile (sous-hypothèse 3). Le dernier objectif consiste étudier la stabilité des propriétés de l'échelle dans une comparaison internationale. En faisant cela, nous voulons vérifier qu'une dimension commune de techno-affinité traverse des cultures nationales différentes (sous-hypothèse 4).

5.2 Construction de l'échelle de mesure

La construction de l'échelle de mesure passe d'abord par la constitution d'une banque initiale de critères. Elle compte une compilation de **167 critères binaires**, ou questions auxquelles il est possible de répondre par « oui » ou « non », ou bien par « présent » ou « absent ». L'objectif est de couvrir un large éventail de ce que l'on appelle la culture technologique. Ainsi, les critères se réfèrent à des domaines technologiques variés (informatique, divertissement, pratiques bancaires, réseaux sociaux, etc.) et questionnent, lorsque cela s'y prête, divers aspects factuels relatifs aux usages, à la fréquence d'usage, aux possessions, aux connaissances ou compétences réelles des sujets. Le Tableau 5.1 illustre la construction de la banque initiale de critères en ce sens.

Nous avons privilégié des questions factuelles, plutôt que des questions de jugement autorapportées afin de limiter l'effort cognitif du répondant. Demander au sujet s'il utilise fréquemment une application et tester ses connaissances sur le propos, plutôt qu'une question subjective du type « Comment gérez-vous cette application : bien ou mal ? », permet d'éviter un biais de jugement cognitif, c'est-à-dire une sur- ou sous-évaluation de ses propres compétences.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 5.1 – Banque initiale de critères (extrait).

		Téléphonie		Pratiques bancaires
		Téléphone Fixe	**Téléphone mobile à écran tactile**	**Application pour payer dans les magasins en sans contact**
Aspects	**Possession**	Le sujet possède-t-il un téléphone fixe ?	Le sujet possède-t-il un téléphone mobile à écran tactile ?	Le sujet possède-t-il ce type d'application ?
	Fréquence d'utilisation	Le sujet utilise-t-il un téléphone fixe à une fréquence d'au moins une fois par jour ?		
	Usage		Le sujet utilise-t-il son pouce pour manipuler l'écran tactile de son smartphone ?	Le sujet utilise-t-il ce type d'application ?
	Connaissances Compétences			Le sujet connait-il ce type d'application ?

La construction de l'échelle de mesure passe ensuite par la création d'un questionnaire facile à appréhender par une population d'enquêté. Pour cela, nous avons réfléchi à une formulation de questions, qui soit la moins ambiguë possible et qui partitionne les individus. Les 167 critères sont ainsi combinés en 88 **questions ou items multi-catégories**. Pour ce faire, chaque échelle de réponse propose une partition non ambiguë de réponses couvrant toutes les possibilités. Par exemple, à la question « utilisez-vous cette application », on peut proposer l'échelle de réponse suivante : « Oui, j'utilise l'application » ; « J'ai l'application, mais je ne l'utilise pas » ; « Non, je n'utilise pas l'application » ; « Je ne sais pas ce qu'est l'application ». En faisant cela, nous rassemblons, lorsque cela s'y prête, plusieurs aspects au sein des items multi-catégories.

Nous supposons par ailleurs une structure ordinale des catégories de réponses. Dans l'exemple précédent, l'échelle de réponse mélange des aspects d'usage, de possession et de connaissance, et nous l'ordonnons de la réponse supposée la plus représentative d'une affinité technologique (« Oui, j'utilise l'application ») à la réponse supposée la moins représentative (« Je ne sais pas ce qu'est l'application »).

Dans le questionnaire initial, les items sont donc présentés dans un format multi-catégories, ces catégories pouvant varier d'un item à l'autre, en nombre et en structure (Tableau 5.2). La liste complète des questions et des échelles de réponses est disponible aux Annexes E et F. Enfin, pour faciliter le remplissage du questionnaire, les questions associées à un même domaine technologique sont regroupées.

TABLEAU 5.2 – Questionnaire initial (extrait des questions et des échelles de réponses associées).

Format de l'échelle	Aspect questionné	Question	Échelle de réponses
Binaire	Possession	Avez-vous un ordinateur portable professionnel ?	□ Oui □ Non
	Usage	Avez-vous l'habitude de consulter la météo sur votre téléphone mobile ?	□ Oui □ Non
Ordinal	Fréquence d'usage et possession	A quelle fréquence regardez-vous des films ou des séries sur un poste de télévision en direct ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.	□ Une fois par jour □ Une fois par semaine □ Une fois par mois □ Une fois par an □ Je ne regarde jamais de films ou de séries sur un poste de télévision en direct □ Je n'ai pas de télévision
	Usage, possession et familiarité avec les technologies	Vous servez-vous d'une montre connectée ?	□ Oui □ J'en ai une mais je ne m'en sers pas □ Je n'ai pas de montre connectée □ Je ne sais pas ce qu'est une montre connectée
	Compétence	Avec quel doigt utilisez-vous l'écran tactile de votre téléphone mobile ?	□ J'utilise l'index majoritairement □ J'utilise le pouce majoritairement □ J'utilise les deux doigts □ Je n'ai pas de téléphone à écran tactile
QCM	Connaissance technique	Le Bitcoin c'est :	□ Une monnaie virtuelle qui ne dépend d'aucune banque □ Un type de jeux vidéo ayant pour objectif de rassembler un maximum de pièces □ Un système de numération utilisant la base 2 □ Je ne sais pas

5.3 Questions attitudinales supplémentaires en vue de la validation externe

En vue de la validation externe, le questionnaire initial de techno-affinité présente un ensemble supplémentaire de questions attitudinales qui interrogent les individus sur leur relation aux technologies et sur leurs valeurs culturelles nationales.

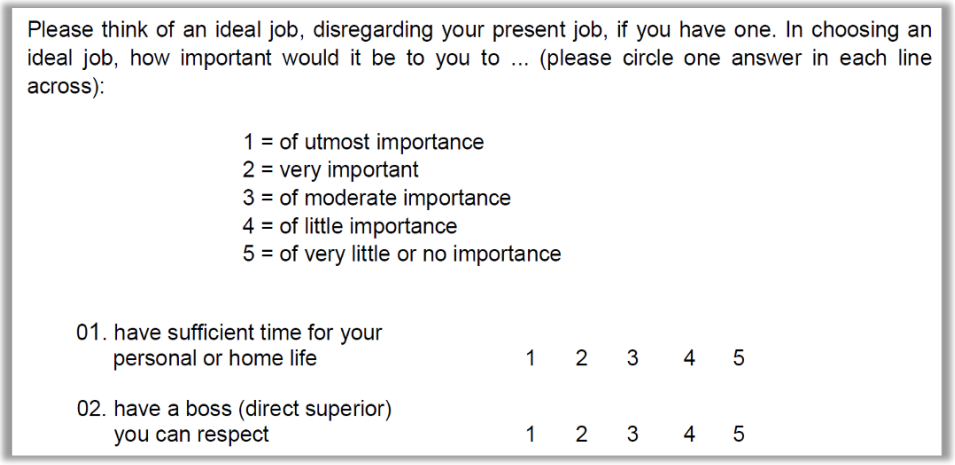
Concernant la relation à la technologie, le questionnaire initial de techno-affinité présente un ensemble de neuf questions attitudinales supplémentaires, dont certaines sont usuelles pour le partenaire industriel. Ces questions attitudinales, ou items externes, sont présentés au Tableau 5.3. Ils n'ont pas contribué à la construction du modèle psychométrique. En revanche, ils servent à la validation externe. En effet, ils permettent de tester le caractère prédictif de l'échelle psychométrique construite, sur cette série d'indicateurs d'intérêt pour le constructeur. Ils questionnent ainsi les comportements et les opinions vis-à-vis de la technologie en contexte général (EQ.1 à EQ.5) et en contexte automobile (EQ.6 à EQ.7).

Concernant les valeurs culturelles nationales, le questionnaire initial de techno-affinité présente un ensemble de 24 questions attitudinales supplémentaires, issues du VSM (Value Survey Moldel, G. Hofstede & Minkov, 2013). Le VSM est sélectionné, car comme expliqué au chapitre 2, dans le cadre de la conception d'IHM, il s'agit du questionnaire le plus souvent utilisé pour identifier des différences culturelles. Par ailleurs, il propose une longueur de questionnaire acceptable compte tenu du nombre de questions déjà prévues : plus d'une centaine en comptant le questionnaire initial de techno-affinité, les questions attitudinales supplémentaires et les questions relatives au profil socio-professionnel des questionnés (genre, âge, CSP, etc.). Les échelles de réponses associées aux questions du VSM se présentent sous la forme d'échelles de *Likert*. Un extrait de ce questionnaire est disponible à la Figure 5.1. Les questions du VSM vont donc servir à vérifier qu'il existe des différences de niveaux de valeurs culturelles nationales entre deux pays, dans le cadre d'une comparaison internationale de la techno-affinité. Pour rappel, l'objet de cette comparaison internationale est, à terme, de vérifier la stabilité des propriétés de l'échelle de techno-affinité entre deux cultures nationales.

TABLEAU 5.3 – Questions attitudinales supplémentaires.

Items externes	Questions	Échelles de réponses
EQ.1	Dans quelle mesure. êtes-vous d'accord avec cette proposition : « l'univers des nouvelles technologies m'intéresse » ?	□ Tout à fait d'accord □ D'accord □ Pas d'accord □ Pas du tout d'accord
EQ.2	Quelle est votre attitude vis-à-vis des équipements technologiques ?	□ Je veux un appareil qui corresponde à mes besoins. à un prix abordable □ Je veux un appareil connu et qui a fait ses preuves □ Je veux un appareil avec un juste équilibre. moderne mais pas cher □ Je veux un objet tendance à un prix raisonnable □ Je veux la dernière génération. mais pas à n'importe quel prix □ Je veux la technologie la plus perfectionnée. quel que soit le prix
EQ.3	Quel est l'aspect le plus important d'un équipement technologique pour vous ?	□ Le prix □ La fiabilité □ Qu'il soit multifonctions □ Un design pointu □ Les applications les plus à la mode/les plus tendances □ Les dernières fonctionnalités
EQ.4	Indiquez si vous êtes favorable ou non à la colonisation d'une autre planète.	□ Oui. favorable □ Non. pas favorable □ Je n'ai pas d'avis sur la question
EQ.5	Indiquez si vous êtes favorable ou non à l'implantation de puces dans le cerveau permettant de nous transformer en super-humain.	□ Oui. favorable □ Non. pas favorable □ Je n'ai pas d'avis sur la question
EQ.6	Selon vous. les voitures sont des objets / systèmes…	□ Très technologiques □ Assez technologiques □ Peu technologiques □ Pas du tout technologiques
EQ.7	Qu'attendez-vous de la technologie dans une voiture ?	□ Cela doit être beau □ Cela doit être très performant sur certaines fonctions indispensables telles que la navigation □ Cela doit fonctionner n'importe où. n'importe quand □ Cela doit m'aider à rester connecté(e) avec mes amis □ Cela doit permettre un accès facile aux fonctions principales □ Cela doit se connecter avec d'autres appareils
EQ.8	Parmi les équipements technologiques suivants. lesquels sont pour vous les plus utiles (même si vous ne les possédez pas actuellement) ?	□ La navigation GPS □ La caméra ou le radar de recul □ Le régulateur ou limiteur de vitesse □ Les phares automatiques □ L'affichage en grand écran (radio. GPS…) □ Le tableau de bord digital □ La connexion automatique au smartphone □ La conduite autonome

FIGURE 5.1 – Extrait du VSM de G. Hofstede et Minkov (2013).



Please think of an ideal job, disregarding your present job, if you have one. In choosing an ideal job, how important would it be to you to ... (please circle one answer in each line across):

1 = of utmost importance
2 = very important
3 = of moderate importance
4 = of little importance
5 = of very little or no importance

01. have sufficient time for your personal or home life	1	2	3	4	5
02. have a boss (direct superior) you can respect	1	2	3	4	5

5.4 Population enquêtée et collecte des données

Le questionnaire initial, dont l'ordre des questions était stable d'un sujet à l'autre, a été soumis en ligne à un échantillon de 1000 personnes. Cet échantillon est représentatif de la population française. Des quotas de sexe, d'âge, de catégorie socio-professionnelle (CSP) et d'agglomération ont donc été fixés. Les informations recueillies sur la population enquêtée sont données au Tableau 5.4.

Dans le cadre de la validation externe de l'échelle, le questionnaire initial a, dans un second temps, été soumis à un échantillon de personnes représentatif de l'Allemagne, ce pays ayant un fort intérêt pour le partenaire industriel. Ainsi, 1007 personnes représentatives de la population allemande ont été interrogées de la même manière qu'en France. Le questionnaire initial a donc préalablement été traduit en allemand en suivant une méthodologie de traduction renversée (Vallerand, 1989). Toutefois, le VSM existait déjà en version allemande, mais pas en version française. Les questions du VSM ont donc été intégrées telles quelles dans le questionnaire initial pour l'enquête en Allemagne, et ont été traduites en français pour l'enquête en France.

TABLEAU 5.4 – Descriptif de la population enquêtée en France.

Variable	Catégories	Proportion (%)
Genre	Femme	55.9
	Homme	43.9
	Non binaire	0.20
Tranche d'âge	18-24 ans	11.0
	25-34 ans	17.0
	35-49 ans	27.1
	50-64 ans	24.3
	65 ans et plus	20.6
Catégorie socio-professionnelle	Retraité ou inactif	42.5
	SPC +	28.8
	SPC -	28.7
Type d'agglomération	Région Parisienne	14.0
	Plus de 100 000 habitants	30.5
	Entre 20 000 et 100 000 habitants	14.5
	Entre 2000 et 20 000 habitants	18.6
	Moins de 2000 habitants ou zone rurale	22.4

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

5.5 Méthodologie d'analyse

5.5.1 Étape 1 : évaluer la pertinence du concept de techno-affinité

Pour vérifier la pertinence du concept de techno-affinité, dans un premier temps un **modèle nominal** unidimensionnel (Darrell Bock, 1972) est appliqué sur l'ensemble des données, prises dans leur format multi-catégories. Le modèle nominal est un modèle général et flexible qui permet de calculer la probabilité que les sujets, selon leur niveau de techno-affinité θ, choisissent la catégorie de réponse k de l'item j. Cette fonction de probabilité est définie comme suit :

$$P\left(X_j = k|\theta\right) = \frac{\exp\left[a_{jk}\left(\theta - \delta_{jk}\right)\right]}{\sum \exp\left[a_{jk}\left(\theta - \delta_{jk}\right)\right]} \tag{5.1}$$

où a_{jk} correspond au paramètre de discrimination de la $k^{ième}$ catégorie de réponse de l'item j et δ_{jk} correspond au paramètre de position de la $k^{ième}$ catégorie de réponse de l'item j.

En l'appliquant, nous vérifions que la techno-affinité est un concept psychologique valide, qui peut se résumer en une dimension, sans aucune hypothèse ordinale. Une fois établie la structure unidimensionnelle de l'échelle, et pour faciliter le travail d'analyse de contenu et son interprétation, les données sont rebinarisées dans leur format initial.

En effet, dans leur format initial, les questions sont de natures binaires. Comme expliqué à la section 5.2, des échelles de réponse multi-catégories ont été construites pour faciliter la tâche du répondant. Elles combinent ainsi des aspects potentiellement différents. Par exemple, l'échelle de réponses suivante, concernant l'utilisation d'un appareil, « Oui, je l'utilise » ; « J'en ai un, mais je ne l'utilise pas » ; « Je n'en ai pas » et « Je ne sais pas de quoi il s'agit », donne trois niveaux d'information sur l'utilisation, la possession et la familiarité du sujet avec l'appareil technologique. Il est plus aisé d'analyser ces aspects de manière indépendante que de manière imbriquée. Ainsi, afin de donner à l'analyse un maximum de flexibilité, les données sous forme multi-catégories (88 items multi-catégories) sont retransformées dans leur format original non combiné (167 critères binaires). Cela revient à re-binariser chaque sous réponse implicite de chaque item multi-catégories. Chaque catégorie de réponse est alors reconsidérée comme un critère unique auquel on peut répondre par « oui » ou « non », ou bien par « présent » ou « absent ». Pour plus de précision, se référer au Tableau 5.1.

Ensuite, un **modèle binaire** IRT est ajusté aux données. Il s'agit du modèle logistique dichotomique à deux paramètres (2PL, Birnbaum, 1968). Avec ce modèle, il est possible de prédire la probabilité qu'ont les sujets, selon leur niveau de techno-affinité θ de répondre « oui » ou « présent » aux critères. Cette fonction de probabilité est définie comme suit :

$$P\left(X_j = 1|\theta\right) = \frac{\exp\left[a_j\left(\theta - \delta_j\right)\right]}{1 + \exp\left[a_j\left(\theta - \delta_j\right)\right]} \tag{5.2}$$

où a_j correspond au paramètre de discrimination du critère j et δ correspond au paramètre de position du critère j.

Notons que sur un plan technique, ce complément d'analyse peut être vu comme un sous-modèle, à grain plus fin, au sein du modèle précédent. De fait, les probabilités conditionnelles de choix entre deux réponses ciblées, au sein d'un modèle nominal, sont décrites exactement par le modèle 2PL (Thissen, Cai, & Bock, 2010).

Dans le modèle 2PL, le paramètre de position et le paramètre de discrimination sont autorisés à varier d'un critère à l'autre. Le paramètre de position caractérise la région spécifique du trait latent qui est mesurée par le critère. Cela permet à l'analyse de trouver des associations entre certains critères distribués à travers des questions différentes, et aussi de repérer certaines modalités de réponse qui ne seraient pas strictement nécessaires, car peu informatives. Parallèlement, le paramètre de discrimination module le pouvoir mesurant du critère : une fonction de réponse à pente faible révèle un critère qui discrimine mal les hauts et bas niveaux de techno-affinité. Techniquement, ce paramètre est lié à la fonction d'information de Fisher pour le critère considéré : un critère à forte discrimination est un critère qui apporte beaucoup d'information sur la techno-affinité d'un sujet qui se trouve au voisinage de la position du critère. Ces paramètres vont donc être analysés afin de fournir des éléments de discussion autour de la dimensionnalité et de la structure de l'échelle.

5.5.2 Étape 2 : valider un questionnaire allégé comme échelle de mesure générale de la techno-affinité

Dans l'étape précédente, un modèle nominal, qui impose très peu de contraintes sur les paramètres d'items multi-catégories, a été ajusté aux données. Cet ajustement, s'il est correct, valide le questionnaire initial comme échelle de mesure générale de la techno-affinité, sans aucune hypothèse ordinale. L'objectif de cette seconde étape est alors de valider un question-

naire allégé et recodé. En effet, nous souhaitons alléger le questionnaire pour ne garder que des items et des catégories de réponses informatives et avec un bon pouvoir mesurant et discriminant. Cette étape est essentielle au processus de validation d'une échelle psychométrique (voir Figure 4.1). Nous souhaitons également recoder les échelles de réponses, car nous pensons qu'il est possible d'inférer sur l'ordre des catégories de réponses. Pour faire cela, les résultats de l'analyse binaire sont directement utilisés.

Dans un premier temps, les critères d'usage, de fréquence d'usage, de possession et de connaissance, non informatifs, avec un faible pouvoir mesurant et discriminant, sont écartés du modèle binaire. Cette **sélection** est basée sur l'examen des fonctions d'information. L'information, notée $I(\theta)$, est un concept statistique qui fait référence à la capacité d'un item à estimer avec précision le niveau latent des sujets. Les fonctions d'information dans le 2PL sont unimodales : un pic d'information est obtenu spécifiquement à l'emplacement de l'item. Plus le pic d'information est élevé à cet endroit, plus l'item est informatif. L'information étant proportionnelle au carré de la discrimination dans ce modèle, cette procédure revient à sélectionner les items à fort pouvoir discriminant.

Les critères sélectionnés sont ensuite recombinés au format multi-catégories, lorsque cela s'avère pertinent. Cette étape est nécessaire pour aboutir à un questionnaire aussi proche que possible de la forme multi-catégorie initiale (voir Tableau 5.2). En fonction des suppressions effectuées à l'étape de sélection, certains items multi-catégories sont alors composés d'un plus petit nombre de catégories de réponses. L'ordre des catégories de réponses est facilement identifiable, car l'analyse 2PL a fourni des informations sur leur position le long du trait latent, au travers des paramètres δ des critères binaires. Cela permet la recombinaison a posteriori d'items véritablement ordinaux.

Afin de valider cette recombinaison, un **modèle ordinal** IRT est ajusté aux données résultantes. Le modèle de crédit partiel généralisé (GPCM, Muraki, 1992, 1997) est ainsi utilisé pour prendre en compte la nature supposée ordinale de chaque item. Avec ce modèle, il est possible d'estimer la probabilité que possède chaque catégorie de réponse de devenir dominante sur une gamme de valeurs θ. Dans ce modèle, probabilité de choisir la $k^{ième}$ réponse plutôt que la précédente ($k-1^{ième}$), selon le niveau de techno-affinité θ, est décrite par une fonction de probabilité analogue au 2PL. Cette fonction de probabilité est définie comme suit :

$$P_{k|k-1}(X_j|\theta) = \frac{\exp\left[a_j\left(\theta - \delta_{jk}\right)\right]}{1 + \exp\left[a_j\left(\theta - \delta_{jk}\right)\right]} \tag{5.3}$$

où a_j correspond au paramètre de discrimination du critère j et δ_{jk} correspond au paramètre de seuil relatif à la catégorie de réponse k de l'item j.

Techniquement, nous pouvons montrer que le modèle GPCM est un sous-modèle du modèle nominal, quand une contrainte sur l'ordre des modalités de réponse est imposée.

Au cours des deux premières étapes, plusieurs modèles sont construits (nominal, 2PL, GPCM). Tous mesurent de la techno-affinité, mais pas avec le même niveau de contrainte, ni sur le même format d'information (items multi-catégories, binaires, recodés). Pour terminer cette étape, nous vérifions que les **différentes estimations de techno-affinité** qui en résultent se recoupent. Pour cela, les corrélations entre les niveaux de techno-affinité estimés par le modèle nominal, le modèle binaire et le modèle ordinal sont analysées.

5.5.3 Étape 3 : validation externe de l'échelle de mesure

Dans une dernière étape, une validation externe, à trois niveaux, est réalisée.

Premièrement, pour étudier l'aspect temporel englobé par l'échelle, la significativité du lien entre les scores (θ) des sujets sur le trait latent et l'**âge des répondants**, est examinée au moyen d'une analyse de corrélation.

Deuxièmement, pour étudier le caractère prédictif de l'échelle, sur des aspects non directement interrogés dans le questionnaire, la significativité du lien entre les scores (θ) des sujets sur le trait latent, et les réponses données aux **questions attitudinales supplémentaires** (Tableau 5.3), est examinée au moyen de diagrammes de densité et d'analyses de la variance (ANOVA).

Troisièmement, pour vérifier la stabilité des propriétés de l'échelle, dans une **comparaison internationale**, deux analyses sont menées :

- À partir des réponses aux questions issues du VSM (voir section 5.3), des niveaux de valeurs culturelles nationales sont calculés pour chaque pays enquêté (France et Allemagne) et sont comparés, en suivant la méthodologie proposée par G. Hofstede et Minkov (2013).
- Les données française et allemande, relatives à la mesure de la techno-affinité, sont réunies. Sur les items sélectionnés pour le questionnaire allégé et recodé, nous effectuons une analyse différentielle d'items. Autrement dit, nous examinons l'effet de la nationalité sur les distributions latentes des sujets et sur les paramètres d'items (positions et

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

discriminations). Notre hypothèse est que la France et l'Allemagne possèdent différents niveaux de valeurs culturelles nationales, mais que la dimension de techno-affinité, qui les recoupe, possède une structure commune (items ordonnés et sujets répartis de la même manière sur le trait latent). Si cette hypothèse est vraie, alors un modèle dans lequel les paramètres d'items et les paramètres de sujets sont fixés à l'égalité entre les deux pays, devrait montrer un bon ajustement.

5.5.4 Les indicateurs statistiques

Les indicateurs statistiques utilisés pour valider les modèles IRT sont décrits ci-après. Premièrement, la statistique de l'erreur quadratique moyenne d'approximation (RMSEA, Steiger & Lind, 1980) est utilisée pour évaluer l'ajustement global des différents modèles IRT, en suivant les valeurs de critère proposées par Maydeu-Olivares et Joe (2014).

Ensuite, les indices OUTFIT et INFIT sont utilisés pour évaluer le mauvais ajustement au niveau des critères (Wright & Linacre, 1994). L'OUTFIT permet de calculer, pour chaque item, une distance χ^2 entre succès observés et probabilités théoriques, standardisée par la variance de réponse. L'INFIT est une variante, qui accorde plus d'importance aux distances qui sont dans la région la plus informative pour l'item.

5.5.5 Les outils d'analyse

Les différentes analyses sont réalisées à l'aide de R (4.0.5). Les analyses IRT, menées aux étapes 1, 2 et 3 sont réalisées via le package *mirt* (Chalmers et al., 2022). Les ANOVA menées à l'étape 3 sont réalisées via la fonction *lm()*, utilisée dans la fonction *AovSum()* du package *FactomineR* (Husson et al., 2023), qui impose comme contrainte la somme des coefficients égale à 0.

5.6 Résultats

5.6.1 Pertinence du concept de techno-affinité

5.6.1.1 Ajustement d'un modèle nominal sur les données au format multi-catégories

L'ajustement du modèle nominal unidimensionnel sur les données, dans leur format multi-catégories, renvoie un critère d'ajustement acceptable ($\mathrm{RMSEA}_{nominal,88} = 0.061 < 0.089$). Ce résultat montre que tous les items multi-catégories appartiennent à un construit homogène qui peut se résumer en une dimension, sans aucune hypothèse ordinale.

5.6.1.2 Ajustement d'un modèle binaire sur les données au format binaire

Ajustement du modèle 2PL sur les citères binaires - L'ajustement du modèle 2PL unidimensionnel sur les données, dans leur format binarisé, renvoie un critère d'ajustement RMSEA acceptable ($\mathrm{RMSEA}_{2PL,167} = 0.058 < 0.089$). Ce résultat montre que tous les critères appartiennent à un construit homogène, autrement dit tous les aspects d'usage, de fréquence d'usage, de possession et de connaissance peuvent se résumer en une seule dimension. D'après les statistiques INFIT et OUTFIT, calculés pour chaque critère, 147 critères binarisés sont bien ajustés au modèle 2PL ($0.5 < OUTFIT < 1.5$ et $0.7 < INFIT < 1.3$). Les 20 items mal ajustés font références à toutes sortes d'aspects (connaissance, possession, usage) et concernent à $60\ \%$ les objets connectés (Annexe G).

Il faut noter qu'en raison du format multi-catégorie simplifié présenté aux répondants, un certain nombre de valeurs manquantes structurelles ($< 1\ \%$) sont présentes dans les données binarisées : les sujets qui n'utilisent pas de smartphones n'ont pas pu répondre aux questions concernant le doigt qu'ils utilisent pour manipuler l'écran tactile. Un avantage des modèles IRT est leur capacité à gérer les données manquantes de manière adéquate. Les paramètres des items ont été estimés à l'aide de la maximisation de la vraisemblance marginale, qui, en supposant une loi a priori gaussienne sur les paramètres des sujets (Figure 5.2), permet de traiter les valeurs manquantes de manière raisonnée.

FIGURE 5.2 – Courbe de densité des paramètres de sujets θ

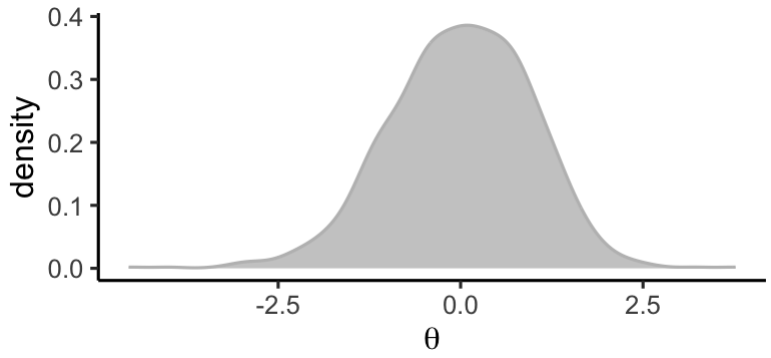
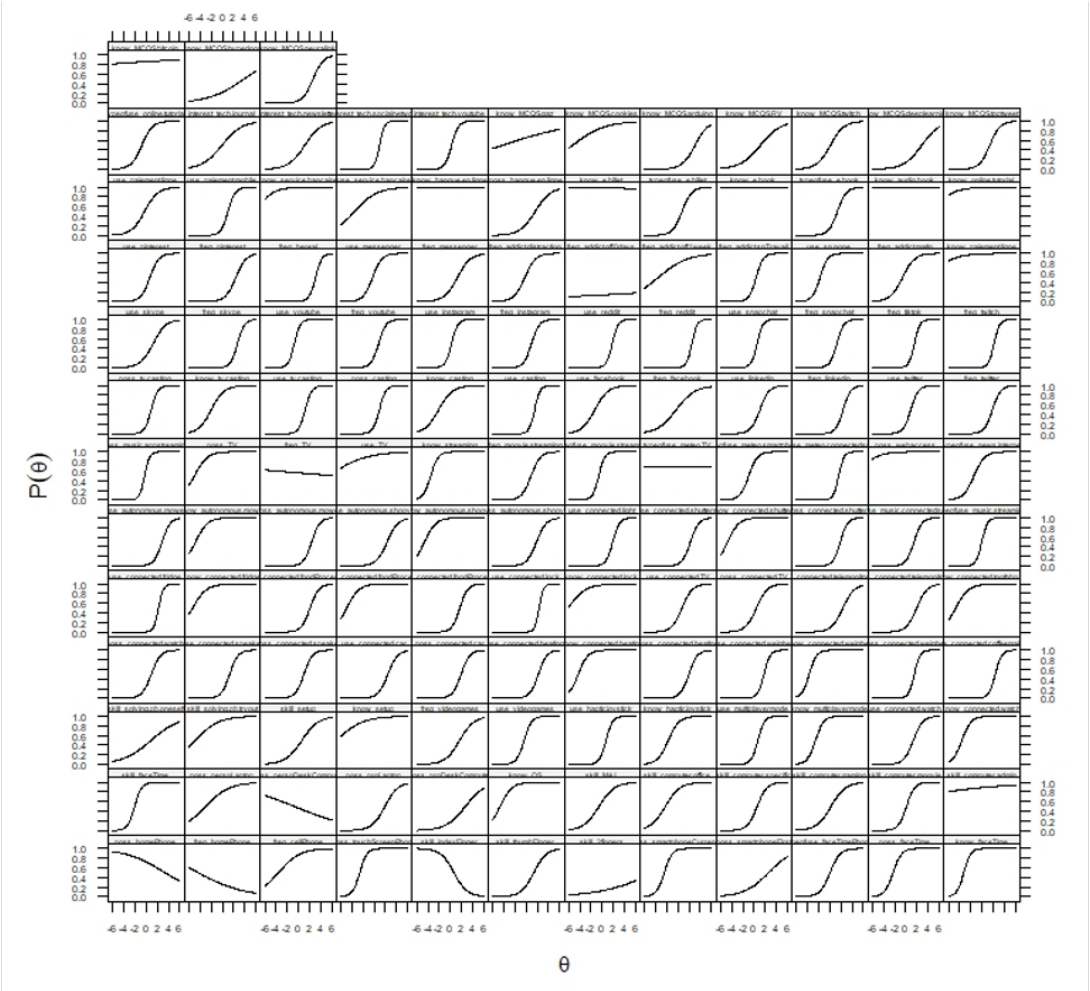


FIGURE 5.3 – Courbes caractéristiques des critères binaires.



Analyse des paramètres de position des critères binaires - Les courbes de réponse, ou courbes caractéristiques, pour les 147 critères retenus sont tracées à la Figure 5.3. Ces courbes semblent bien réparties le long du trait latent, certaines étant décroissantes, d'autres croissantes. 81 $\%$ des critères ont leurs paramètres de position δ contenus dans l'intervalle de référence $[-6\ ;\ 6]$, où se positionnent la plupart des sujets. Ces critères ont ainsi un fort pouvoir mesurant.

La probabilité que le sujet i approuve le critère j, varie de manière monotone (de façon croissante ou décroissante) à mesure qu'on se décale à droite ou à gauche du trait latent. Les paramètres de position fournissent ainsi des informations intéressantes sur le contenu et la structure de ce trait latent. Par exemple, dans la Figure 5.4 sont présentés quatre critères avec des δ différents, allant de valeurs négatives aux valeurs positives. Ces critères sont tous liés à la possession d'une technologie spécifique : télévision, smartphone, application de streaming pour écouter de la musique et enceinte connectée. En analysant leur position, on peut dire qu'il semble y avoir une relation directe entre l'emplacement de ces critères sur le trait latent et l'émergence historique des technologies concernés dans les foyers (Tableau 5.5).

FIGURE 5.4 – Critères avec différents paramètres de position.

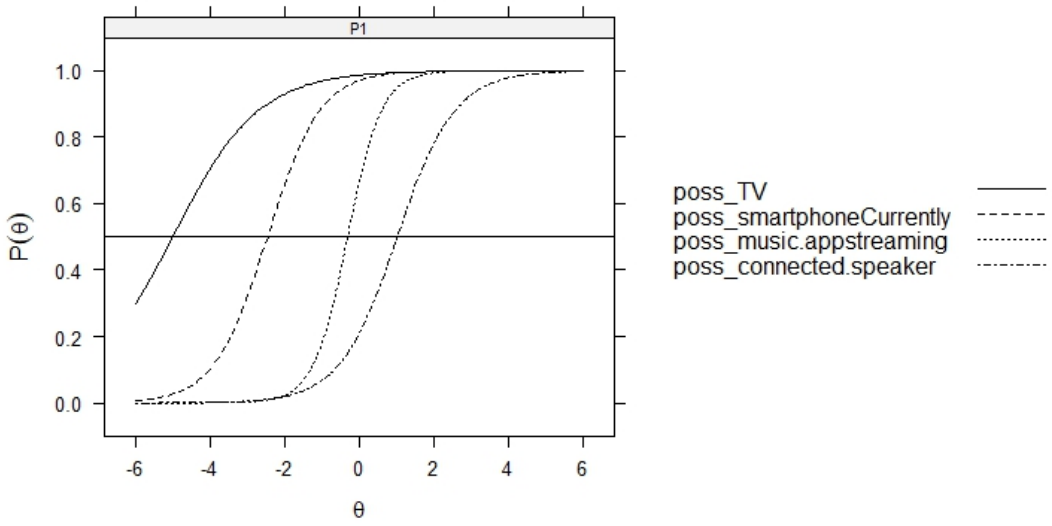


TABLEAU 5.5 – Position des critères et émergence des technologies associées dans les foyers.

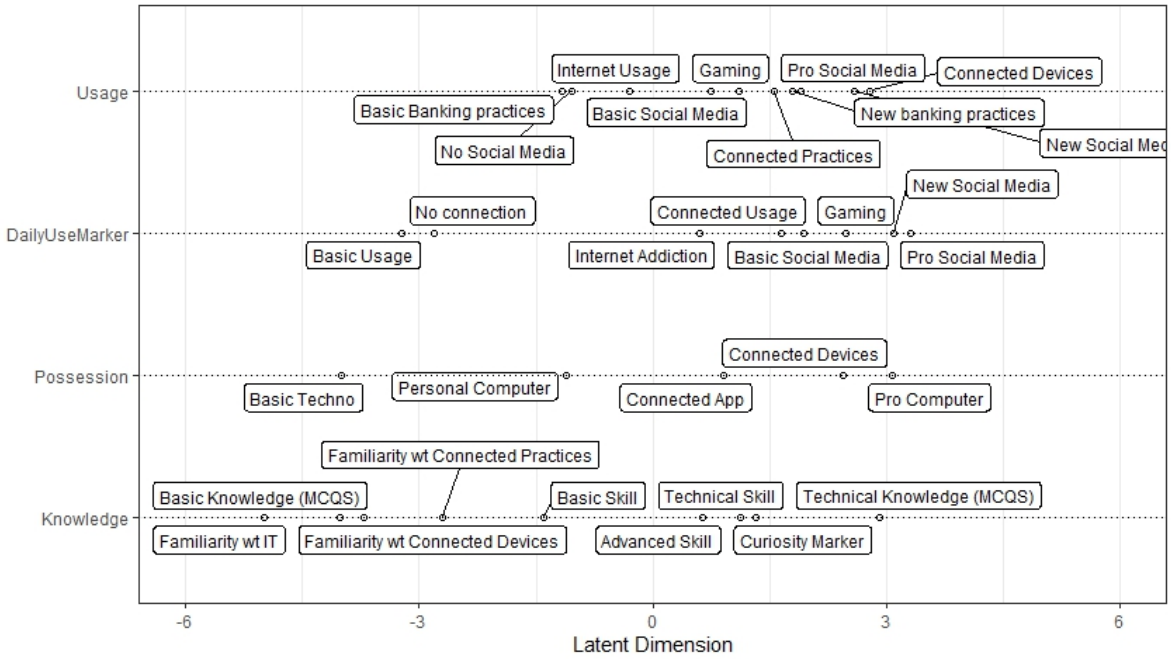
Critères	δ	Émergence dans les foyers
poss_TV	-4.91	Années 30
poss_smartphoneCurrently	-2.47	Années 90
poss_music.appstreaming	-0.32	Années 2000
poss_connected.speaker	1.02	Années 2010

Pour étudier comment les aspects d'usage, de fréquence d'usage, de possession, de connaissance s'ordonnent les uns par rapport aux autres sur le trait latent, les critères ont été regroupés par rubrique. Par exemple, tous les critères liés à l'utilisation d'appareils connectés (montre connectée, haut-parleur connecté, serrure connectée, etc.) ont été regroupés dans la rubrique « *Usage-Connected Devices* ».

L'emplacement moyen de chaque rubrique est présenté dans la Figure 5.5. Une liste détaillant la composition de chaque rubrique est donnée en annexe H. La rubrique « *Usage* » concerne toutes les utilisations d'équipements ou d'applications, même si l'utilisation n'est pas fréquente. La rubrique « *DailyUseMarker* » concerne l'utilisation fréquente (au moins une fois par jour) des technologies (appareils, applications, etc.). La rubrique « *Possession* » concerne toutes les technologies possédées, même si elles ne sont pas utilisées. La rubrique « *Knowledge* » concerne plusieurs niveaux de connaissance : familiarité avec les technologies, connaissances techniques ou compétences techniques.

La progression des rubriques de gauche à droite suggère fortement qu'il y a une progression des faibles niveaux d'usage, de possessions et de connaissances, vers des niveaux plus avancés et fréquents d'usage, de possessions et de compétences. Nous proposons alors d'utiliser le terme techno-affinité pour nommer ce concept.

FIGURE 5.5 – Position des critères binarisés, rangés par rubriques, sur le trait latent.



Analyse des paramètres de discrimination des critères binaires - Les estimations des paramètres de discrimination sont observées sur l'intervalle $[0.007\ ;\ 2.52]$, pour une distribution normale standard des paramètres sujets. Cela suggère que, bien que correctement ajustés, certains critères discriminent mieux les sujets que d'autres, dans leur région spécifique. Ceci est visible dans l'aspect plat de certaines courbes de réponse. D'après la distribution des réponses, ces critères sont peu discriminants, car une grande partie des sujets interrogés connaissent le concept mentionné ou ont le même usage d'un appareil. Par exemple, la courbe de réponse est plus plate pour le critère *bitcoin* que pour le critère *Twitch* (Figure 5.6). Ces critères questionnent respectivement la définition du bitcoin et de Twitch. En réalité, beaucoup plus de répondants connaissent la définition du bitcoin ($86\ \%$), même dans les niveaux les plus bas de techno-affinité, que celle de la plateforme de streaming Twitch ($49\ \%$).

FIGURE 5.6 – Courbe pentue VS plate.

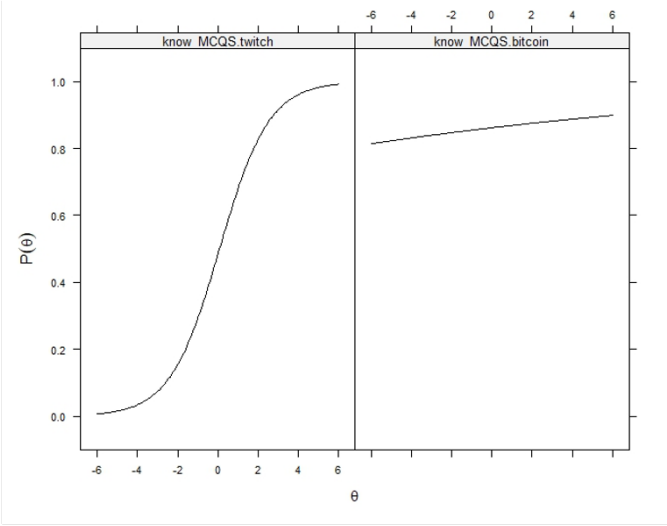
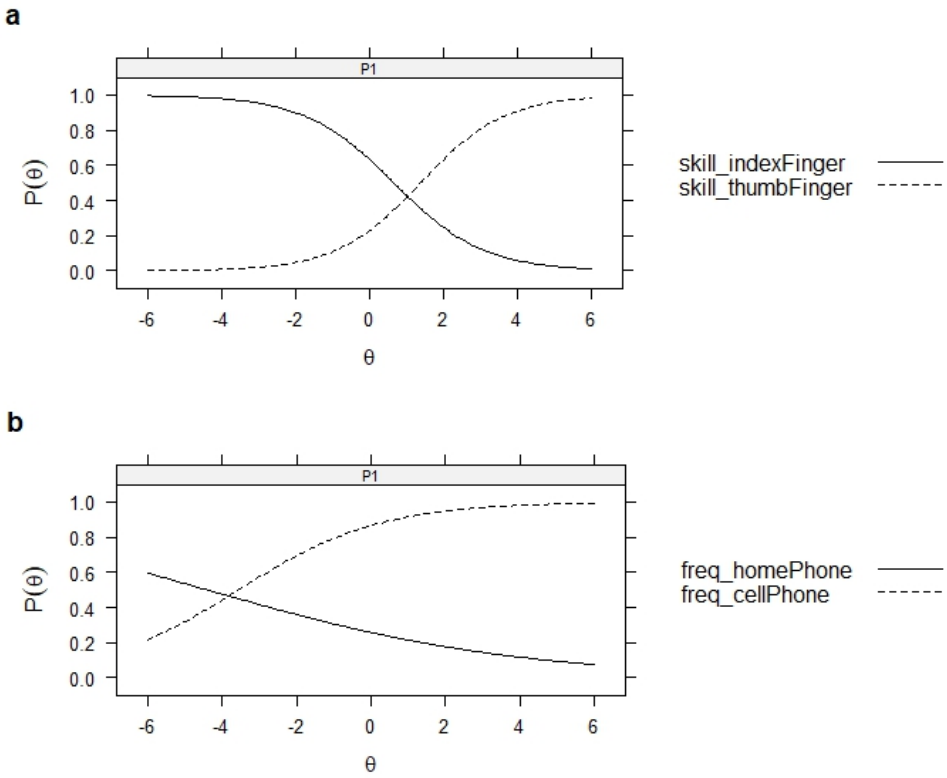


FIGURE 5.7 – Paramètre de pente négatif VS positif.



Par ailleurs, pour 17 critères, le paramètre de pente est négatif. La Figure 5.7 fournit deux cas où un paramètre de pente négatif a été estimé. Dans la Figure 5.7.a et la Figure 5.7.b sont projetées, dans le même espace latent, deux courbes de réponse qui s'opposent. La Figure a concerne le doigt avec lequel les sujets utilisent l'écran tactile de leur téléphone portable : l'index pour la ligne pleine et le pouce pour la ligne pointillée. La Figure b concerne le type de téléphone que les sujets utilisent tous les jours : un téléphone fixe pour la ligne pleine et un téléphone portable pour la ligne pointillée. Les paramètres de pente négatifs sont attribués aux critères relatifs à l'index et au téléphone fixe. Les pentes négatives semblent donc être liées à d'anciens appareils ou pratiques technologiques. La modélisation choisie permet donc de faire apparaître des critères caractéristiques d'usages avancés ou anciens, dans une structure bipolaire.

5.6.2 Validation d'un questionnaire allégé

5.6.2.1 Sélection d'items informatifs

Pour garantir un bon niveau d'information (pouvoir mesurant) tout le long du trait latent de techno-affinité, nous sélectionnons comme indicateurs pertinents : ceux des critères binaires qui n'ont pas une position trop extrême à gauche ou à droite (critères que tout le monde ou personne ne montrerait), et qui ont un pic d'information assez élevé, par rapport à la distribution des valeurs de pics. Les critères ayant un paramètre de position δ entre $[-6\ ;\ 6]$ et un pic d'information caractérisé par $max_{I(\theta)} > 0.15$ sont ainsi conservés. Finalement, 76 critères ayant un bon pouvoir mesurant et discriminant le long du trait latent ont été sélectionnés. Un haut niveau de corrélation ($r = 0.98$) est observé entre les niveaux θ estimés avec le modèle 2PL, sur l'ensemble initial de 147 critères binaires, et sa version réduite à 76 critères. Cela montre que très peu d'information a été perdue dans le processus de sélection.

Ces 76 critères représentent un total de 50 items multi-catégories, une fois réarrangés dans le format combiné initial. Les items ainsi sélectionnés sont présentés au Tableau 5.6.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 5.6 – Items informatifs sélectionnés pour le questionnaire

Category	Item	Binarized criteria	a	δ	Info	Recombined item	Type
Telephony	T1	poss_smartphoneCurrently	1.42	-2.47	0.50	possession.smartphone	binary
	T2	poss_touchScreenPhone	1.52	-2.61	0.58	touchscreen	ordinal
		skill_indexFinger	-0.83	0.66	0.17		
		skill_thumbFinger	0.88	1.38	0.19		
	T3	skill_faceTime	1.57	-2.14	0.62	videocalls	ordinal
		typeofuse_faceTimePhone	1.10	0.03	0.30		ordinal
IT	T4	skill_computer.office	0.76	-2.28	0.15	computer.office	binary
	T5	skill_computer.moovie	1.37	0.11	0.47	computer.moovie	binary
	T6	skill_computer.gaming	0.78	0.2	0.15	computer.gaming	binary
	T7	skill_computer.specific	1.15	0.56	0.33	computer.spe	binary
	T8	poss_proLaptop	0.85	1.92	0.18	possession.proLaptop	binary
	T9	know_OS	0.94	-4.69	0.22	updating	ordinal
		skill_MAJ	0.72	-0.55	0.13		
Entertainment	T10	poss_TV	0.86	-5.01	0.19	possession.tv	binary
	T11	know_streaming	1.46	-3.51	0.53	stream.moovie	ordinal
		typeofuse_moovie.streaming	1.87	-0.61	0.87		
	T12	freq_moovie.streaming	1.21	0.9	0.36	Dailyuse_stream.moovie	binary
	T13	poss_music.appstreaming	2.19	-0.32	1.20	possession.stream.music	binary
	T14	typeofuse_music.streaming	1.93	-0.01	0.93	stream.music	binary
	T15	typeofuse_music.connectedspeaker	1.39	1.45	0.48	music.connectedspeaker	binary
Digital practices	T16	typeofuse_meteo.smartphone	1.28	-0.94	0.41	weather.cellphone	binary
	T17	typeofuse_meteo.connectedspeaker	2.10	1.59	1.10	weather.connectedspeaker	binary
	T18	typeofuse_news.internet	1.03	-1.41	0.27	news.internet	binary
	T19	typeofuse_e.billet	1.16	0.72	0.34	e.ticket	binary
	T20	typeofuse_e.book	1.25	1.36	0.39	e.book	binary
	T21	typeofuse_online.tutorial	1.03	-0.82	0.27	turorial	binary
	T22	know_casting	0.81	-2.08	0.16	casting	ordinal
		poss_casting	1.75	0.93	0.76		
		use_casting	2.05	1.52	1.05		
	T23	know_tv.casting	0.86	-1.99	0.19	tv.casting	ordinal
		poss_tv.casting	1.73	0.87	0.75		
		use_tv.casting	1.68	1.25	0.71		
Video games	T24	use_videogames	1.47	-0.36	0.54	gaming	ordinal
		freq_videogames	0.77	1.73	0.15		
	T25	know_multiplayermode	1.36	-2.59	0.46	gaming.multiplayer	ordinal
		use_multiplayermode	1.69	0.71	0.71		
	T26	know_hapticjoystick	1.02	-1.74	0.26	gaming.hapticjoystick	ordinal
		use_hapticjoystick	1.69	0.71	0.71		
Connected devices	T27	know_connected.weigher	1.5	-3.72	0.56	connected.weigher	ordinal
		poss_connected.weigher	1.97	1.52	0.97		
		use_connected.weigher	1.76	1.81	0.78		
	T28	know_connected.foodProcessor	0.9	-4.96	0.2	connected.foodProcessor	ordinal
		poss_connected.foodProcessor	1.42	1.73	0.51		
		use_connected.foodProcessor	1.27	2.12	0.41		
	T29	know_autonomous.mower	0.93	-4.84	0.22	autonomous.mower	ordinal
		poss_autonomous.mower	1.38	2.42	0.48		
		use_autonomous.mower	1.34	2.82	0.45		
	T30	know_connected.shutters	0.99	-4.75	0.24	connected.shutters	ordinal
		poss_connected.shutters	1.53	1.86	0.59		
		use_connected.shutters	1.34	2.24	0.45		

Category	Item	Binarized criteria	a	δ	Info	Recombined item	Type
Banking practice	T31	payment.online	0.84	-0.32	0.17	payment.online	binary
	T32	payment.mobile	1.56	1.04	0.61	payment.mobile	binary
Internet usage	T33	use_sn.none	1.46	-1.79	0.54	internet.working	ordinal
		freq_addict.snTravail	1.58	0.38	0.62		
	T34	freq_addict.matin	0.92	-0.61	0.21	internet.morning	binary
	T35	freq_addict.distraction	1.04	-0.23	0.27	internet.entertainment	binary
New technologies	T36	interest_tech.youtube	1.63	0.27	0.67	tech.YouTube	binary
	T37	interest_tech.socialnetwork	2.29	0.95	1.31	tech.SocialMedia	binary
Social Networks	T38	use_youtube	1.89	-0.72	0.89	YouTube	ordinal
		freq_youtube	1.50	0.79	0.57		
	T39	use_instagram	1.80	0.25	0.80	Instagram	ordinal
		freq_instagram	1.46	0.97	0.53		
	T40	use_snapchat	1.94	0.56	0.94	Snapchat	ordinal
		freq_snapchat	1.60	1.25	0.64		
	T41	use_twitter	1.47	0.89	0.54	Twitter	ordinal
		freq_twitter	1.36	1.91	0.46		
	T42	use_reddit	1.93	1.83	0.93	Reddit	ordinal
		freq_reddit	2.10	2.48	1.10		
	T48	freq_tiktok	2.02	1.54	1.01	Dailyuse_TikTok	binary
	T49	freq_linkedin	1.49	2.38	0.56	Dailyuse_LinkedIn	binary
	T50	freq_skype	1.60	2.74	0.64	Dailyuse_Skype	binary
	T52	freq_bereal	1.76	3.11	0.77	Dailyuse_BeReal	binary
MCQs	T53	know_MCQS.twitch	0.82	0.09	0.17	MCQS.twitch	binary
	T54	know_MCQS.toptweet	1.07	1.43	0.29	MCQS.toptweet	binary
	T55	know_MCQS.neuralink	1.07	2.65	0.29	MCQS.neuralink	binary
	T56	know_MCQS.arduino	0.86	3.07	0.19	MCQS.arduino	binary

5.6.2.2 Ajustement d'un modèle ordinal

Parmi les items recombinés, certains possèdent plus de deux catégories de réponses (Tableau 5.6). D'après les estimations des paramètres de positions, les critères binarisés correspondant ont tendance à s'échelonner dans cet ordre : Connaissance, Possession, Usage, Usage fréquent. Ce résultat à lui seul suggère, comme nous l'attendions, une interprétation en structure cumulative de l'échelle de techno-affinité, où l'usage implique (en probabilité) la possession, et la possession implique (en probabilité) la connaissance. Par ailleurs, ce résultat facilite le processus de conversion des échelles de réponse en variables ordinales.

Pour valider la reconstruction ordinale de l'ensemble des items sélectionnés, un modèle GPCM est appliqué aux données correspondantes, correctement recodées comme une succession d'entiers. Par exemple, l'item *connected.shutters*, qui questionne l'usage de volets roulants connectés, est recodé comme suit : 1 = Je ne sais pas ce que c'est ; 2 = Je sais ce que c'est, mais je n'en ai pas ; 3 = J'en ai un, mais je ne l'utilise pas ; 4 = Oui, j'en utilise un. Les résultats montrent que le modèle est bien ajusté, car le RMSEA est acceptable ($\mathrm{RMSEA}_{gpcm,50} = 0.058 < 0.089$).

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

Le questionnaire, dans sa forme allégée et recodée de manière ordinale, constitue donc une échelle de mesure valide de la techno-affinité. Les items, ainsi que le codage associé à chaque catégorie de réponse, est disponible à l'annexe I. Les courbes caractéristiques des 50 items qui constituent le questionnaire sont disponibles à l'annexe J.

5.6.2.3 Vérification du recoupement des différentes estimations de techno-affinité

Les coefficients de corrélation calculés entre les niveaux de techno-affinité, estimés par le modèle nominal, le modèle binaire et le modèle ordinal sont présentées au Tableau 5.8. Ils montrent que les estimations se recoupent fortement. Ces résultats suggèrent, comme nous l'attendions, que tous ces modèles, bien que n'ayant pas le même niveau de contrainte sur les données, mesurent bien le même concept de techno-affinité.

FIGURE 5.8 – Coefficients de corrélation entre les différentes estimations de techno-affinité, selon le niveau de contrainte du modèle.

	Nominal. 88 items multi-catégories	**2PL. 167 critères binaires**	**GPCM. 50 items multi-catégories recodés**
Nominal. 88 items multi-catégories		0.97	0.98
2PL. 167 critères binaires			0.96
GPCM. 50 items multi-catégories recodés			

5.6.3 Validation externe de l'échelle

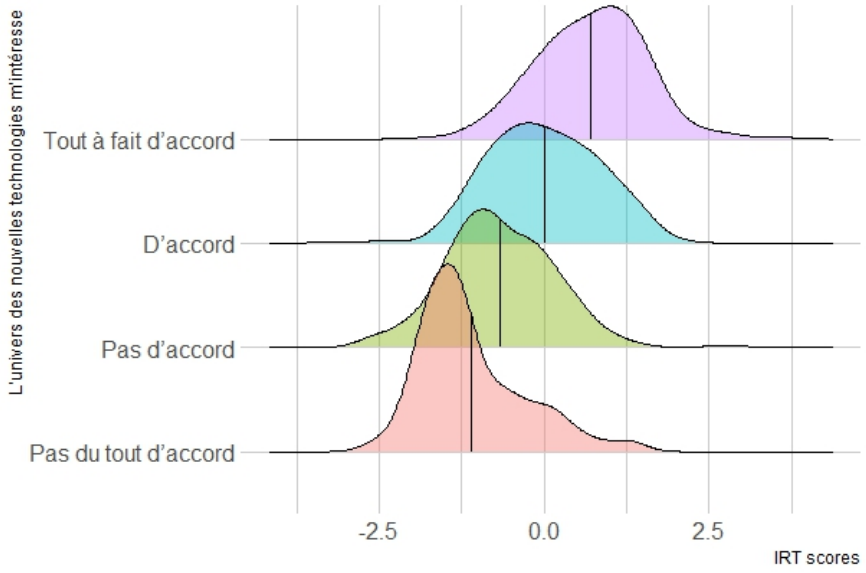
5.6.3.1 Lien entre techno-affinité et âge

Le coefficient de corrélation entre les scores sujets, estimés par le modèle GPCM précédemment ajusté, et l'âge des répondants, $r\,(998) = -0.59,\ p < 2.2e^{-16}$, montre une relation significative et négative entre l'âge et la techno-affinité. Ainsi, lorsque l'âge augmente, le niveau moyen de techno-affinité tend à diminuer.

5.6.3.2 Lien entre techno-affinité et réponses aux questions attitudinales supplémentaires

Pour étudier la relation entre la techno-affinité et les réponses aux questions externes attitudinales (Tableau 5.3), nous visualisons d'abord la distribution des scores IRT (θ) au sein de chaque catégorie de réponse. Par exemple, la Figure 5.9 montre les courbes de densité pour EQ.1 (« L'univers des technologies m'intéresse »). À l'intérieur des courbes de densité, une ligne verticale indique les valeurs moyennes θ pour chaque catégorie de réponse. En utilisant les pics de densité, il est possible d'identifier la position sur le trait latent où les valeurs sont concentrées. Ainsi, plus le score IRT est faible, plus les répondants semblent choisir la catégorie de réponse « fortement en désaccord » et, au contraire, plus le score IRT est élevé, plus les répondants semblent choisir la catégorie de réponse « fortement en accord ».

FIGURE 5.9 – Graphique de densité pour la question externe EQ.1



Pour étudier la relation entre la techno-affinité et les réponses aux questions externes attitudinales, nous étudions ensuite les résultats issus des ANOVA. Les résultats montrent qu'il existe une relation significative ($p < 0.05$) entre les scores IRT et les réponses données à chaque question de validation externe (Tableau 5.7). Ceci mène à la conclusion que, selon la catégorie de réponse choisie, le score moyen IRT entre les sujets n'est pas le même.

Le tableau d'analyse des coefficients (Tableau 5.7) permet d'identifier les catégories de réponses qui sont associées à une augmentation ou une diminution significative du niveau de techno-affinité, par rapport aux moyennes calculées pour chaque question, tous sujets confondus.

À la lecture du tableau, nous pouvons souligner que les moyennes par catégories sont bien ordonnées. Cela nous permet de conclure que les catégories de réponses qui sont associées à une diminution significative du score IRT, reflètent une opinion souvent négative (EQ.2) et une projection pessimiste dans le futur (EQ.4, EQ.5, EQ.9), ainsi qu'un intérêt limité pour la technologie moderne, tant en général (EQ.2, EQ.3) que dans le contexte automobile (EQ.6, EQ.7, EQ.8). Ces réponses sont mises en évidence en gris dans le Tableau 5.7. Respectivement, les catégories de réponses qui sont associées à une augmentation significative du score IRT reflètent une opinion positive, une projection positive dans l'avenir et un fort intérêt pour les technologies modernes, tant en général que dans le contexte automobile.

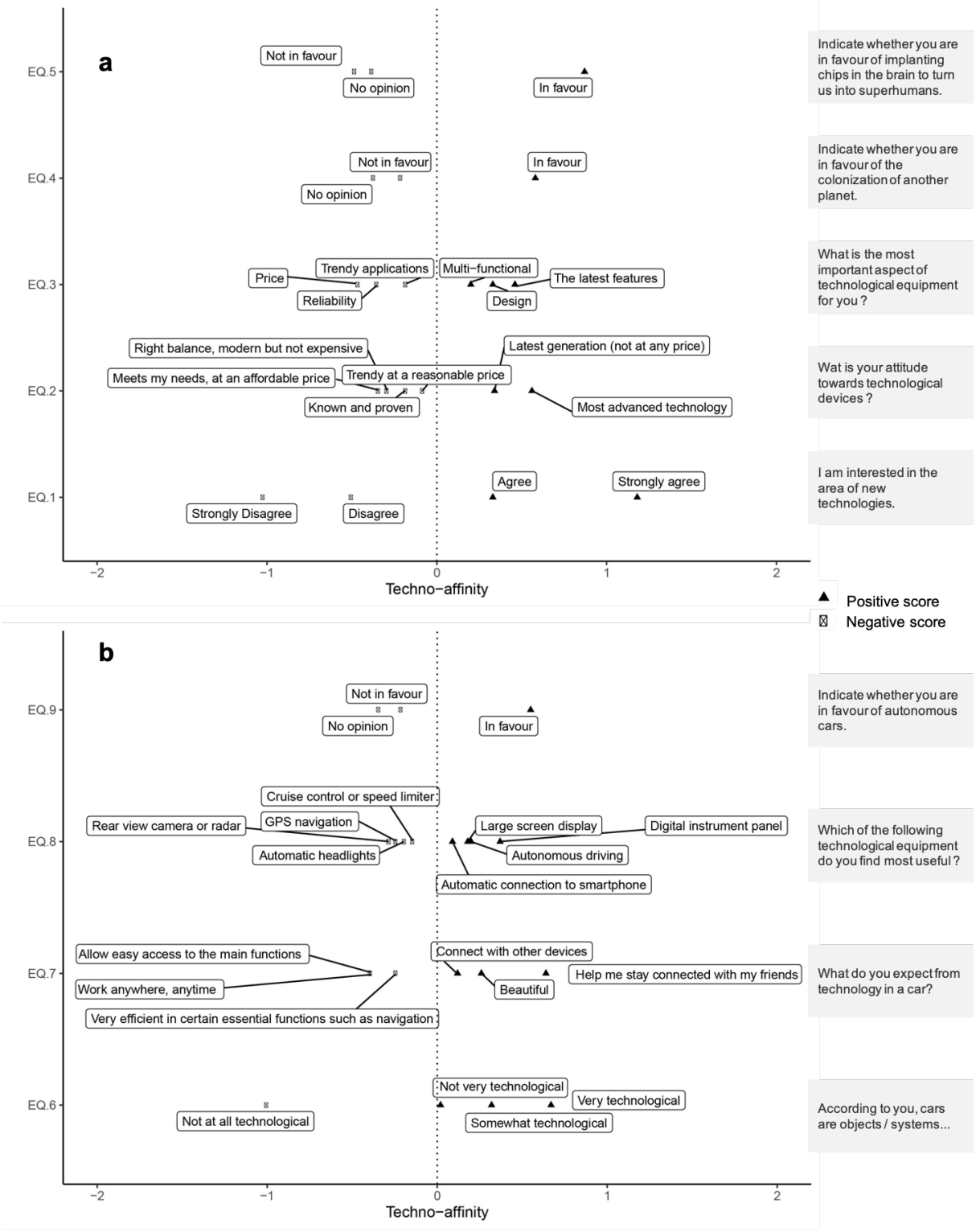
Pour une lecture facilitée des résultats, le Tableau 5.7 est traduit en un graphique (Figure 5.10) permettant de visualiser en un seul coup d'œil les réponses attitudinales concernant la relation homme-technologie en fonction du niveau de techno-affinité. La Figure 5.10.a concerne la relation homme-technologie en général alors que la Figure 5.10.b concerne la relation homme-technologie en contexte automobile.

TABLEAU 5.7 – Estimation des coefficients des catégories de réponses des questions attitudinales externes

EQ	Question	F	Catégorie de réponse	Moyenne estimée	Erreur Std.	Pr(>|t|)
EQ.1	L'univers des nouvelles technologies m'intéresse.	120.92	Pas du tout d'accord	-0.84	0.1	1.27E-16
			Pas d'accord	-0.41	0.06	1.27E-11
			D'accord	0.27	0.05	1.51E-08
			Tout à fait d'accord	0.98	0.05	3.93E-62
EQ.2	Quelle est votre attitude vis-à-vis des équipements technologiques ?	9.39	Je veux un appareil qui corresponde à mes besoins, à un prix abordable	-0.28	0.05	1.30E-07
			Je veux un appareil avec un juste équilibre, moderne mais pas cher	-0.23	0.07	1.57E-03
			Je veux un appareil connu et qui a fait ses preuves	-0.16	0.07	2.30E-02
			Je veux un objet tendance à un prix raisonnable	-0.05	0.08	5.58E-01
			Je veux la dernière génération, mais pas à n'importe quel prix	0.27	0.09	3.86E-03
			Je veux la technologie la plus perfectionnée, quel que soit le prix	0.45	0.12	9.98E-05
EQ.3	Quel est l'aspect le plus important d'un équipement technologique pour vous ?	9.79	Le prix	-0.37	0.07	4.01E-07
			La fiabilité	-0.3	0.07	6.15E-06
			Qu'il soit multifonctions	-0.13	0.09	1.15E-01
			Les applications les plus à la mode/les plus tendances	0.19	0.18	2.86E-01
			Un design pointu	0.23	0.18	1.92E-01
			Les dernières fonctionnalités	0.38	0.11	3.53E-04
EQ.4	Indiquez si vous êtes favorable ou non à la colonisation d'une autre planète.	54.88	Je n'ai pas d'avis sur la question	-0.312	0.051	1.10E-09
			Non, pas favorable	-0.18	0.039	5.46E-06
			Oui, favorable	0.492	0.047	3.94E-24
EQ.5	Indiquez si vous êtes favorable ou non à l'implantation de puces dans le cerveau permettant de nous transformer en super-humain.	59.50	Non, pas favorable	-0.4	0.05	9.44E-14
			Je n'ai pas d'avis sur la question	-0.31	0.08	1.45E-04
			Oui, favorable	0.71	0.07	2.01E-20
EQ.6	Selon vous, les voitures sont des objets / systèmes...	23.95	Pas du tout technologiques	-0.83	0.13	4.58E-10
			Peu technologiques	0.02	0.09	8.55E-01
			Assez technologiques	0.26	0.06	1.46E-05
			Très technologiques	0.55	0.07	3.11E-16
EQ.7	Qu'attendez-vous de la technologie dans une voiture ?	9.78	Cela doit permettre un accès facile aux fonctions principales	-0.33	0.06	2.87E-07
			Cela doit fonctionner n'importe où, n'importe quand	-0.33	0.06	1.10E-07
			Cela doit être très performant sur certaines fonctions indispensables telles que la navigation	-0.2	0.06	2.23E-03
			Cela doit se connecter avec d'autres appareils	0.08	0.1	4.02E-01

EQ	Question	F	Catégorie de réponse	Moyenne estimée	Erreur Std.	Pr(>|t|)
			Cela doit être beau	0.22	0.12	7.25E-02
			Cela doit m'aider à rester connecté(e) avec mes amis	0.55	0.14	5.69E-05
EQ.8	Parmi les équipements technologiques suivants. lesquels sont pour vous les plus utiles (même si vous ne les possédez pas actuellement) ?	4.20	La caméra ou le radar de recul	-0.24	0.07	2.61E-04
			La navigation GPS	-0.2	0.06	9.55E-04
			Les phares automatiques	-0.15	0.1	1.36E-01
			Le régulateur ou limiteur de vitesse	-0.14	0.08	7.64E-02
			La connexion automatique au smartphone	0.08	0.11	4.72E-01
			L'affichage en grand écran (radio, GPS…)	0.14	0.1	1.75E-01
			La conduite autonome	0.22	0.11	4.96E-02
			Le tableau de bord digital	0.28	0.13	3.04E-02
EQ.9	Indiquez si vous êtes favorable ou non aux voitures autonomes	74.26	Non, pas favorable	-0.28	0.04	2.12E-11
			Je n'ai pas d'avis sur la question	-0.17	0.06	2.61E-03
			Oui, favorable	0.45	0.04	5.71E-25

FIGURE 5.10 – Graphique de validité externe en contexte général (figure a) et en contexte automobile (figure b)



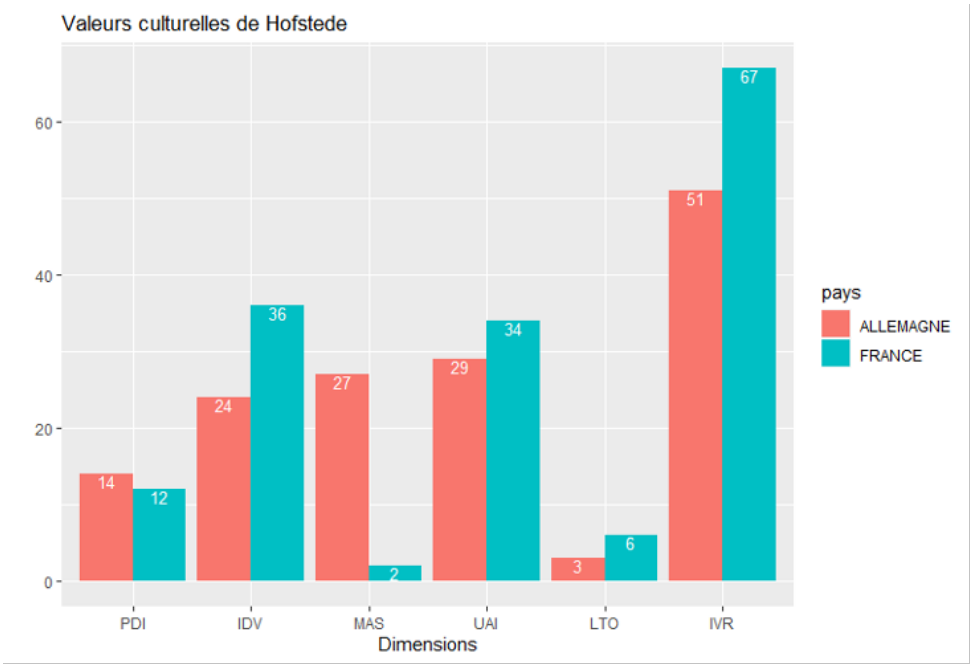
5.6.3.3 Comparaison internationale

Le calcul des niveaux de valeurs culturelles nationales, pour chaque pays enquêté, est représenté à la Figure 5.11. Sur cette figure, nous observons des différences de niveaux de valeurs culturelles entre la France et l'Allemagne, notamment sur les dimensions MAS (Masculinité/Feminité, 25pts), IVR (Plaisir/Retenue, 16pts) et IDV (Individualisme/Collectivisme, 12pts). D'après G. Hofstede et Minkov (2013) (voir section 2.2.1), ces niveaux de différences peuvent s'expliquer ainsi :

- L'Allemagne est une société avec un plus haut degré de masculinité (rôle social des sexes plus distinct) ;
- La France est une société avec un plus haut degré d'indulgence (un rapport au plaisir plus étroit) ;
- La France est une société avec un plus haut degré d'individualisme (les intérêts individuels priment davantage sur les intérêts du groupe à tous niveaux (familial, professionnel, sociétal).

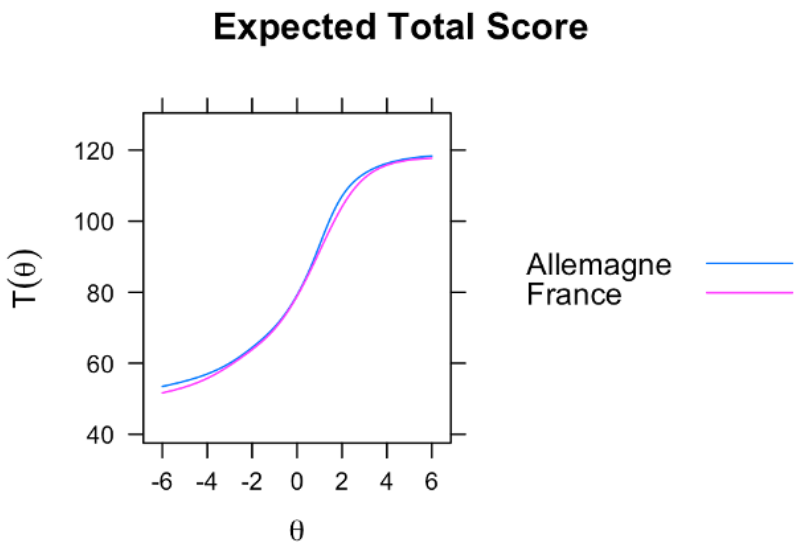
Lorsque nous ajustons un modèle nominal sur les données française et allemande réunies, où tous les paramètres d'items et de sujets sont libres de varier, les courbes de réponses espérées globales montrent des formes quasi similaires entre la France et l'Allemagne (Figure 5.12). Cela nous conforte dans l'idée qu'une structure commune de techno-affinité traverse les deux pays. Pour vérifier cette hypothèse, nous testons un modèle nominal sur les données, en fixant les paramètres de pente et de sujets à l'identique entre les pays. L'ajustement de ce modèle affiche un RMSEA acceptable ($\mathrm{RMSEA} = 0.052 \ < \ 0.089$). Ce résultat montre que nous pouvons considérer la structure de la dimension de techno-affinité comme commune entre les deux pays, alors même qu'ils affichent différents niveaux de valeurs culturelles nationales.

FIGURE 5.11 – Niveaux de valeurs culturelles nationales en France et en Allemagne.



Note. PDI=*Power Distance Index* ; IDV=*Individualism vs. Collectivism* ; MAS=*Masculinity vs. Feminity* ; UAI=*Uncertainty Avoidance* ; LTO=*Long-Term Orientation* ; IVR=*Restraint vs. Indulgence*.

FIGURE 5.12 – Analyse différentielle d'items de techno-affinité entre France et Allemagne.



5.7 Discussion

5.7.1 Dimensionnalité de l'échelle de techno-affinité

En examinant les courbes de réponses sur les critères retenus dans l'échelle de mesure, on constate qu'elles sont toutes croissantes pour les critères relatifs à une techno-affinité marquée (possession d'un ordinateur, connaissances techniques, usages fréquents de réseaux sociaux, etc.) et décroissantes pour les usages et possessions de technologies plus anciennes (utilisation de l'index pour manipuler les écrans tactiles, usage fréquent du téléphone fixe, etc.) (Figures 5.3 et 5.7). C'est ce qui permet finalement d'interpréter la dimension latente comme dimension de techno-affinité.

Il est assez remarquable que, tout en ayant essayé de couvrir des champs aussi variés de la technologie, des modèles unidimensionnels (nominal, binaire, ordinal) montrent un ajustement satisfaisant aux données ($\mathrm{RMSEA}_{nominal,88} = 0.061 < 0.089$, $\mathrm{RMSEA}_{2PL,167} = 0.058 < 0.089$, $\mathrm{RMSEA}_{gpcm,50} = 0.058 < 0.089$). C'est ce qui vient argumenter la validité interne de cette échelle de mesure générale de la techno-affinité.

Les courbes décroissantes pour les usages et possessions de technologies plus anciennes, observable à la Figure 5.7, montrent que les sujets ayant une très faible affinité technologique n'ont pas adopté les nouvelles formes d'interaction homme-machine, pourtant courantes. Cela pourrait être révélateur d'une forme de rejet des nouvelles technologies. Les résultats de la validation externe, concernant les questions qui font appel à une projection dans le futur (EQ.4, EQ.5, EQ.9), tendent à confirmer cette hypothèse (Tableau 5.7, Figure 5.10). En effet, les faibles niveaux de techno-affinité ont tendance à ne pas être en faveur du développement des technologies (implantation de puce dans le cerveau, colonisation de planètes, le développement de la conduite autonome) contrairement aux hauts niveaux de techno-affinité. Compte tenu de ces arguments, on peut affirmer que la sous-hypothèse 1 est valide, car la techno-affinité se modélise sous la forme d'une dimension bipolaire où ses extrémités vont dans le sens de la technophobie à gauche et de la technophilie à droite, comme suggéré par Osiceanu (2015). Les raisons qui expliquent la technophobie et la technophilie des sujets, feront l'objet d'une analyse plus spécifique au chapitre 7.

5.7.2 Structuration de l'échelle de techno-affinité

La structure cumulative de l'échelle est visible à la Figure 5.5. Sur cette figure tous les critères sont projetés dans le même espace latent de techno-affinité. Nous pouvons ainsi facilement comparer les usages, les possessions, ainsi que les connaissances des sujets en fonction de leur distance aux différents critères. La lecture des positions peut se faire à deux niveaux : à un niveau global et à un niveau détaillé.

La lecture des **positions des critères à un niveau global** montre que la techno-affinité implique en probabilité de l'utilisation fréquente et que l'utilisation implique en probabilité de la possession. De la même manière, celui qui possède une technologie a probablement des connaissances à son sujet. Et parce que l'échelle est cumulative, l'inverse ne fonctionne pas forcément.

Cette ordination des aspects (usage fréquent, usage, possession, connaissance) est un trait fort de l'échelle, que nous souhaitions valider initialement afin de proposer des formats de réponse multi-catégories valides. Le passage par une analyse binaire nous permet ainsi de proposer des items recodés, c'est-à-dire des échelles de réponse ordonnées avec des catégories informatives qui se suivent correctement. Le bon ajustement du modèle ordinal ($\mathrm{RMSEA}_{gpcm,50} = 0.058 \ < \ 0.089$) sur ces items recodés est un argument supplémentaire à l'intérêt de cette approche par critères binaires.

La lecture des **positions des critères à un niveau plus détaillé** permet de montrer que :

- à gauche de la dimension, lorsque le niveau de techno-affinité est négatif, nous identifions des sujets avec un usage limité de la technologie : basique et non addictif. Les sujets ont un usage basique, car des critères d'usage, de possession et de connaissance basiques apparaissent. Ces sujets ont une forte probabilité de posséder un smartphone, d'utiliser un ordinateur personnel, de consulter leur relevé bancaire en ligne, voire d'être familier des concepts liés aux technologies connectées, sans pour autant posséder ou savoir utiliser ces technologies. Les sujets ont un usage non addictif, car les critères d'usage quotidien montrent qu'ils peuvent se déconnecter d'internet pendant plusieurs jours et qu'ils ont un usage occasionnel d'internet et des réseaux sociaux ;
- à droite de la dimension, lorsque le niveau de techno-affinité est positif, nous identifions des sujets avec un usage avancé de la technologie : connecté et addictif. Les sujets ont un usage connecté, car des critères d'usages, de possessions et de connaissances, liés aux technologies connectées à internet (objet, application, réseaux sociaux, etc.) apparaissent. Ces usages sont associés à un niveau de connaissance et de compétence

plus élevé : les sujets ont une forte probabilité de savoir résoudre un problème informatique, voire de répondre à des questions techniques sur les nouvelles technologies. Les sujets ont un usage addictif, car les critères d'usage quotidien montrent qu'ils utilisent de manière fréquente Internet et toutes les technologies qui y sont associées (réseaux sociaux, application de streaming, etc.).

En utilisant cette échelle, il est donc possible de différencier ceux qui possèdent de ceux qui ne possèdent pas ; ceux qui ont une connaissance superficielle de ceux qui ont une connaissance technique ; ceux qui utilisent de manière occasionnelle de ceux qui utilisent de manière régulière. En d'autres termes, il est possible d'identifier des différences inter-individuelles en matière de techno-affinité. Les objectifs de départs sont donc remplis.

5.7.3 Dimension temporelle englobée par la techno-affinité

Les différences observées de techno-affinité peuvent être interprétées au travers de variables temporelles. Nous avons vu qu'il est possible d'observer une certaine cohérence entre la position des sujets sur le trait latent de techno-affinité et la manière dont les différentes rubriques technologiques s'organisent (Figure 5.5) : technologies basiques d'abord, puis connectées. Plus l'objet, ou la pratique, est récente, plus le critère semble difficile à passer et nécessite une affinité ou une compétence plus élevée avec les technologies (Figure 5.4, Tableau 5.5). En effet, les technologies évoluent dans la manière dont elles fonctionnent ou proposent une interaction. Dans ce contexte, il faut du temps et de la curiosité pour pouvoir s'adapter à toutes ces nouveautés. Cette curiosité, les plus hauts niveaux de techno-affinité le montrent via les marqueurs d'intérêts et des marqueurs d'usages professionnels.

Par ailleurs, nous avons vu, dans le chapitre introductif, que l'âge est un facteur explicatif des différences d'habitudes technologiques. Selon la littérature, l'utilisation de la technologie pendant la période de formation (avant l'âge de 25 ans) est à l'origine de générations technologiques, c'est-à-dire de cohortes de naissance qui partagent la même culture technologique (Docampo Rama, Ridder, & Bouma, 2001 ; Sackmann & Winkler, 2013). Les résultats montrent que les niveaux de techno-affinité sont effectivement liés à l'âge des répondants. La corrélation significative entre ces deux variables ($r = -0.59$) montre que, lorsque l'âge augmente, la techno-affinité tend à diminuer. Ces résultats confirment donc la sous-hypothèse 2 qui soutient l'idée que la techno-affinité englobe par nature un aspect générationnel.

Bien que non négligeable, cette corrélation ($r = -0.59$) aurait pu être plus élevée : cela milite en faveur de l'idée que la techno-affinité, en tant que facteur techno-culturel, n'est pas entièrement réductible à ce facteur âge. C'est un argument supplémentaire à l'hypothèse que des facteurs socio-professionnels viennent expliquer des différences d'affinité technologiques (sous-hypothèse 5). Cette hypothèse fera l'objet d'une analyse plus spécifique au chapitre suivant (chapitre 6).

5.7.4 Caractère prédictif de la techno-affinité

Les différences observées de techno-affinité peuvent aussi être interprétées au travers de variables attitudinales. Les résultats montrent que le niveau de techno-affinité, basé sur le niveau factuel d'expérience, de connaissances et de compétences, peut être utilisé pour prédire des opinions ou des préférences (Tableau 5.7, Figure 5.10,).

À partir des choix de réponses aux questions attitudinales supplémentaires, nous pouvons dire que les sujets ayant un faible niveau de techno-affinité :

- ne sont pas intéressés par les nouvelles technologies, voire opposés à leur développement (EQ.1, EQ.4/5/9). Par exemple, ils sont moins en faveur du développement des voitures autonomes ;
- privilégient les aspects économiques plutôt que technologiques dans le choix de leurs appareils (EQ.2, EQ.3). Par exemple, ils disent vouloir un appareil moderne, mais pas cher ;
- attendent des technologies automobiles qu'elles soient faciles à utiliser, efficaces et fonctionnelles (EQ-7). Les technologies doivent, en effet, permettre un accès facile aux fonctions principales et être très efficaces dans certaines fonctions essentielles comme la navigation GPS.

À l'opposé, les sujets ayant un haut niveau de techno-affinité :

- sont intéressés par les nouvelles technologies et attendent leur évolution (EQ.1, EQ.2, EQ.3). De manière générale, ils sont à la recherche des dernières fonctionnalités et sont, par exemple, en faveur du développement des voitures autonomes ;
- se concentrent sur les aspects plus stimulants et plus connectés de l'expérience automobile (EQ.7, EQ.8). Par exemple, ils attendent des cockpits automobiles qu'ils proposent un panneau de bord numérique ;
- dans une moindre mesure, ils semblent être plus intéressés par les aspects esthétiques des technologies. En effet, les catégories de réponses *EQ.3-Design* et *EQ.7- Cela doit*

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

être beau, sont associées à un coefficient estimé non significatif, néanmoins positif.

Ces résultats montrent que la sous-hypothèse 3, qui soutient l'idée que la techno-affinité est un bon prédicteur du comportement des sujets en contexte automobile, est validée. Par ailleurs, il semblerait que les besoins en technologies soient différents entre les niveaux faibles et élevés de techno-affinité, que ce soit en général ou en contexte automobile.

À travers la recherche de facilité d'utilisation, de fonctionnalité et d'efficacité, les faibles niveaux de techno-affinité semblent montrer des besoins de nature plus ergonomique (Davis, 1986 ; ISO-9241-11, 2018 ; Nielsen, 1993). En revanche, à travers la recherche de nouveautés et d'aspects esthétiques, les niveaux élevés de techno-affinité semblent montrer des besoins de nature plus hédonique (Hassenzahl, 2005 ; Thüring & Mahlke, 2007). Cela met en évidence des attitudes potentiellement différentes dans les interactions homme-machine. Ces premiers résultats vont dans le sens des hypothèses générales 1 et 2. Ces hypothèses feront l'objet d'une analyse plus spécifique aux chapitres 7 et 8.

5.7.5 Stabilité internationale de l'échelle de techno-affinité

Les résultats de la comparaison internationale nous montrent que, bien qu'ayant une culture Européenne commune, la France et l'Allemagne montrent des différences de valeurs culturelles nationales (section 5.6.3.3). Pourtant, nous montrons, via une analyse différentielle, que les propriétés de l'échelle de mesure de techno-affinité sont stables d'un pays à l'autre. Cela montre qu'un trait commun surpasse les différences de valeurs culturelles nationales et se résume au travers d'une dimension de techno-affinité. La nationalité n'est donc pas un facteur de différentiation assez important pour expliquer des différences dans l'attitude à l'égard des technologies.

En montrant qu'il existe une dimension commune et consistante entre deux cultures nationales, aux valeurs culturelles différentes, nous validons la sous-hypothèse 4. Cela appuie notre position générale selon laquelle la différenciation des individus a plus de sens d'un point de vue de la techno-affinité que de la nationalité dans un contexte de mondialisation et d'évolution technologique.

5.7.6 Limites et perspectives

Certaines limites et perspectives de l'étude peuvent être discutées. Premièrement, nous avons décidé d'interroger les individus par le biais d'un questionnaire en ligne, ce qui aurait pu introduire un biais sur les résultats. Pourtant, nous avons pris cette décision, car l'objectif principal, qui était de pouvoir identifier des différences d'affinité technologique, ne nous semblait pas en contradiction avec un questionnaire en ligne. Comme discuté dans le chapitre 4, nous supposions que l'utilisation de l'ordinateur n'était pas le signe d'un usage avancé de la technologie, ce que confirment les résultats : nous avons une échelle de mesure efficace, qui nous permet d'identifier des différences d'affinité très marquées entre les répondants. Par ailleurs, il y a de fortes chances qu'un tel questionnaire, vu son objet et ses applications potentielles (au-delà de l'automobile) soit à terme utilisé en ligne.

Deuxièmement, au vu de l'évolution rapide des technologies, cette échelle, comme d'autres, ne pourra probablement plus être utilisée sous cette forme dans quelques années. C'est une spécificité de la mesure de la relation aux technologies. Cependant, grâce aux modèles IRT, ce questionnaire pourra facilement évoluer. Les propriétés de ces modèles permettent en effet d'ajouter de nouveaux items au questionnaire, et de comparer leurs paramètres (position, discrimination) avec ceux des items actuels. En pratique, il sera possible d'identifier les items à écarter (car ils ne seront plus discriminants) et ceux à ajouter, prenant ainsi en compte l'évolution des usages.

Troisièmement, la comparaison internationale menée dans cette étude concerne deux pays Européens qui, de fait, partagent une culture commune, étant proches géographiquement. Bien que nous ayons montré des différences culturelles nationales sur trois des six dimensions proposées par G. Hofstede et Minkov (2013), les différences de niveaux de valeurs culturelles nationales pourraient quand même être plus importantes entre un pays occidental et un pays d'Asie de l'Est par exemple (voir chapitre 2). Il serait alors intéressant de mener cette comparaison internationale pour voir si nos hypothèses sont toujours valides dans le cadre de deux pays plus éloignés géographiquement.

Enfin, pour un usage en terrain, il est préférable d'avoir une échelle de mesure pratique à utiliser. Il est en réalité possible de réduire la longueur du questionnaire en choisissant un sous-ensemble d'items possédant les meilleurs indicateurs statistiques. Il est aussi possible de faciliter l'usage de l'échelle en ajustant des modèles qui simplifient l'étape de cotation. Cette réduction d'échelle, avec un usage simplifié, constitue l'objectif principal du chapitre suivant (chapitre 6).

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

5.8 Conclusions du chapitre 5

En conclusion, dans cette étude, des apports théoriques au concept de techno-affinité ont pu être faits. La techno-affinité se matérialise au travers d'une dimension cumulative et bipolaire qui englobe naturellement une dimension temporelle d'ordre générationnel, sans s'y réduire. Nous avons pu, par ailleurs, valider une échelle de mesure psychométrique au moyen de modèles IRT. Cette échelle de mesure se présente sous la forme d'un questionnaire en 50 items avec des échelles de réponse multi-catégories ordonnées (le questionnaire est disponible en Annexe I). Nous avons vu que l'échelle de mesure rend possible l'identification de différences inter-individuelles en termes d'affinité avec les technologies et que cette mesure est stable entre deux pays ayant des niveaux différents de valeurs culturelles nationales. Nous avons vu également que l'échelle mesure une attitude générale à l'égard des technologies et qu'elle a de l'intérêt pour prédire des attitudes et des comportements dans différents contextes, notamment en contexte automobile.

Chapitre 6

Le développement d'un outil de mesure pratique et l'identification de profils de techno-affinité

6.1 Objectifs

Dans ce chapitre le premier objectif est de construire un outil de mesure pratique de la techno-affinité, déployable industriellement. Dans cette perspective, l'étude présentée s'attache à construire un outil de mesure permettant une identification rapide de niveaux différents de techno-affinité. Pour ce faire nous cherchons à développer un questionnaire psychométrique court (en 15 items) dont l'usage est facilité par la simple somme des réponses. Le second objectif est d'identifier et de caractériser des profils de techno-affinité. Il est attendu qu'au sein de ces profils des niveaux similaires de techno-affinité et de catégories socio-professionnelles soient identifiés. En faisant cela, nous voulons vérifier que la techno-affinité englobe naturellement un facteur temporel d'ordre générationnel, mais que du fait de facteurs socio-professionnels, ne se confond pas exclusivement avec ce facteur temporel (sous-hypothèse 5).

Comme expliqué à la section 4.4, le chapitre 5 et ce chapitre doivent être considérés de manière indépendante. Nous partons du même échantillon de réponses, mais nous ne faisons pas les mêmes analyses, car les objectifs sont différents. L'étude présentée au chapitre 5 avait des objectifs théoriques alors que l'étude qui est présentée dans ce chapitre a été réalisée dans un contexte pratique, limité en temps par le calendrier du partenaire industriel. D'ailleurs, dans la chronologie de la thèse, cette étude a été menée en amont de celle présentée au chapitre 5. En conséquence, le questionnaire initial est légèrement différent de celui du chapitre 5. Les méthodologies utilisées pour analyser les données sont aussi différentes. Par exemple, l'étape de binarisation présentée au chapitre précédent, qui a un intérêt théorique, n'est pas employée

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

dans ce chapitre pour ordonner les échelles de réponses.

6.2 Précisions concernant le questionnaire initial et la collecte des données

Le questionnaire initial, qui va servir d'outil de mesure de la techno-affinité, et que nous allons chercher à valider et à réduire en 15 questions, a la même structure que celui du chapitre 5 (voir section 5.2). Pour rappel, la construction du questionnaire passe d'abord par la constitution d'une banque initiale de critères. Ces critères se réfèrent à des domaines technologiques variés et questionnent, lorsque cela s'y prête, divers aspects relatifs aux usages, à la fréquence d'usage, aux possessions, etc. (voir Tableau 5.1). La construction du questionnaire passe ensuite par la combinaison des critères en items multi-catégories, c'est-à-dire en items avec des échelles de réponses qui rassemblent plusieurs aspects, potentiellement ordonnables, et dont la partition est plus facile à appréhender par les enquêtés (voir Tableau 5.2).

À la différence du chapitre précédent, 110 questions composent le questionnaire initial. Cela représente 22 questions complémentaires pour mesurer la techno-affinité. Parmi ces questions, il y a les questions attitudinales utilisées en validation externe au chapitre précédent (voir Tableau 5.3). Il y a également des questions marquées temporellement, car liées à la période du confinement (crise sanitaire de la COVID-19), ou liées à des réseaux sociaux aujourd'hui disparus. La liste complète dees questions complémentaires est présentée en annexe K.

Pour rappel, nous partons du même échantillon de réponses qu'au chapitre 5. Pour plus de détails sur les informations socio-profesionnelles recueillies concernant la population interrogée et sur la manière dont les données ont été collectées, se rapporter à la section 5.4.

6.3 Méthodologie d'analyse

6.3.1 Étape 1 : vérifier la nature ordinale des items

Avec l'objectif de valider un outil de mesure facile à utiliser en terrain, la première étape consiste à vérifier la nature ordinale des items. En effet, une analyse ordinale est attendue, car elle mène plus facilement à des scores additionnés.

Certaines échelles de réponses sont naturellement ordinales. C'est le cas par exemple des échelles de fréquence. Ces échelles seront simplement recodées par des nombres entiers positifs et ordonnés de la catégorie la moins représentative d'une affinité technologique à la catégorie la plus représentative d'une affinité technologique. Cependant, les items ont été construits avec différents formats de réponse, qui ne sont pas tous ordinaux de manière évidente.

Pour vérifier que l'ordre entre les catégories de réponses peut facilement être interprété de manière ordinale, une analyse nominale est effectuée en amont de l'analyse ordinale. L'analyse des courbes caractéristiques sur la dimension latente permet de convertir correctement les échelles de réponse des différents items en variables ordinales. Pour faire cela, le modèle IRT nominal de Bock (Darrell Bock, 1972) est ajusté aux données, car il possède l'avantage de n'imposer aucune contrainte sur la relation entre les différentes catégories de réponses des items (voir équation 5.1).

Afin de valider l'ordonnancement issu de l'analyse nominale, un modèle ordinal IRT est ajusté aux données recodées. Pour mener cette analyse, le Modèle du Crédit Partiel Généralisé (GPCM, Muraki, 1992, 1997) est sélectionné pour prendre en compte la nature supposée ordinale de chaque item, tout en laissant de la flexibilité à l'estimation des différents paramètres de positions et de discriminations (voir équation 5.3).

6.3.2 Étape 2 : valider un outil de mesure court

Avec l'objectif de valider un outil de mesure court en 15 items, la seconde étape consiste à sélectionner un petit ensemble d'items. Nous attendons de ces items qu'ils soient correctement ajustés et qu'ils aient un très bon pouvoir mesurant.

Dans une bonne sélection, nous nous attendons à ce que les items soient correctement ajustés et qu'ils aient un très bon pouvoir mesurant, tout en conservant du contenu intéressant. Pour parvenir à ce compromis, nous opérons la sélection d'items en deux temps.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

Dans un premier temps, nous sélectionnons un sous-ensemble de 30 items. Avec ce nombre, nous nous assurons que le contenu des items est encore varié. Cela est nécessaire si nous voulons facilement interpréter la structure de la dimension latente. Cela nous permet également, dans un second temps, de sélectionner 15 items au contenu intéressant.

Pour sélectionner les 30 items les mieux ajustés au modèle, un indice de qualité est calculé. Cet indice se compose des valeurs de RMSEA (statistique de l'erreur quadratique moyenne d'approximation) calculées pour chaque item j et ajustées par leur nombre $k-1$ de catégories :

$$Qualité_j = \frac{RMSEA_j}{Nombre\ de\ catégories_j - 1} = \frac{RMSEA_j}{k_j - 1} \tag{6.1}$$

Ces indices de qualité sont ensuite comparés au seuil de RMSEA 0.05 qui indique un excellent ajustement (Maydeu-Olivares & Joe, 2014). Au-dessous de ce seuil ($Qualité_j < 0.05$) le critère de qualité indique que l'item a un très bon pouvoir mesurant.

À l'issue de cette étape, une réserve réduite, mais informative de 30 items est constituée. L'outil est ensuite rationalisé de façon à ce que des groupes de questions homogènes puissent être identifiés : les items qui présentent le même format de réponses sont regroupés. Puis, 15 items sont sélectionnés sur la base de leur contenu. L'objectif est que l'enchaînement des questions puisse être fluide et logique au sein de l'outil pratique. Par exemple, nous verrons que pour la fréquence d'usage, nous avons sélectionné plusieurs questions relatives aux réseaux sociaux qui peuvent s'agencer du plus ancien au plus récent.

6.3.3 Étape 3 : identifier des classes de techno-affinité

Avec l'objectif d'identifier des classes homogènes de niveaux de techno-affinité, une méthode de classification par mélange de gaussienne a été utilisée pour segmenter la dimension latente de techno-affinité.

6.3.4 Étape 4 : caractériser les classes de techno-affinité

Avec l'objectif de caractériser les différentes classes de techno-affinité précédemment identifiées à l'étape 3, la quatrième étape consiste à étudier leur affinité technologique et leurs caractéristiques socio-professionnelles.

Pour faire cela, les catégories de réponses significativement sur- et/ou sous-représentées sont identifiées dans chacune des classes. Dans un premier temps, un profil technologique est dressé à partir des réponses au questionnaire initial de techno-affinité, constitué de 110 questions. Puis, dans un second temps, un profil sociologique est dressé à partir des réponses aux questions relatives aux catégories socio-professionnelles des sujets interrogés (âge, type d'emploi, etc.).

6.3.5 Étape 5 : valider un outil de mesure pratique

Avec l'objectif de valider un outil de mesure facile à utiliser en terrain, la cinquième étape consiste à ajuster le Modèle du Crédit Partiel (PCM, Masters, 1982) aux 15 items sélectionnés à l'étape 2.

Le PCM bénéficie de la propriété plus adéquate qu'une correspondance simple entre les réponses des sujets et une addition de points par nombre entiers, constitue une statistique suffisante du paramètre θ. En effet, le PCM décrit la probabilité de choisir la $k^{ième}$ réponse plutôt que la précédente ($k-1^{ième}$), selon le niveau de trait latent θ, avec une fonction de probabilité plus contrainte que celle du GPCM. En effet, le pouvoir de discrimination est supposé commun pour tous les items ($a=1$). La fonction de probabilité du PCM est définie comme suit :

$$P_{k|k-1}\left(X_j|\theta\right) = \frac{exp\left(\theta - \delta_{jk}\right)}{1 + exp\left(\theta - \delta_{jk}\right)} \tag{6.2}$$

où δ_{jk} correspond au paramètre de seuil relatif à la catégorie de réponse k de l'item j.

En appliquant ce modèle, les scores sommés peuvent alors être segmentés librement. Nous proposerons une segmentation qui permet de retrouver les profils identifiés à l'étape 3. En faisant cela, l'outil devient pratique pour identifier des profils différents de techno-affinité.

6.3.6 Indicateurs statistiques

La statistique RMSEA (Steiger & Lind, 1980) est utilisée pour évaluer l'ajustement global des différents modèles IRT, en suivant les valeurs de critère proposées par Maydeu-Olivares et Joe (2014).

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

6.3.7 Outils d'analyse

Les différentes analyses sont réalisées à l'aide de R (4.0.5). Les analyses IRT, menées aux étapes 1, 2 et 3 sont réalisées via le package *mirt* (Chalmers et al., 2022). La classification des niveaux de techno-affinité par mélange de gaussienne, effectuée à l'étape 3, est réalisée via le package *Mclust* (Fraley, Raftery, Scrucca, Murphy, & Fop, 2022). L'identification des réponses sur- et/ou sous-représentées dans chacune des classes de techno-affinité, effectuée à l'étape 4, est réalisée via la fonction *catdes()* du package *FactoMineR* (Husson et al., 2023).

6.4 Résultats

6.4.1 Vérification de la nature ordinale des items

L'ajustement du modèle nominal unidimensionnel sur les données renvoi un très bon critère d'ajustement RMSEA ($RMSEA_{nominal,110} = 0.048 < 0.05$). Ce premier résultat montre que tous les items multi-catégories appartiennent à un construit homogène qui peut se résumer en une dimension, sans aucune hypothèse ordinale.

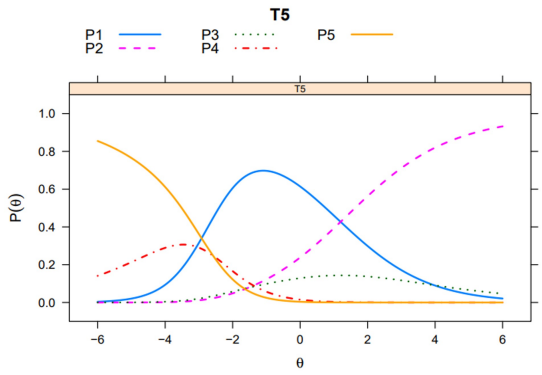
Grâce à l'affichage des courbes caractéristiques, il est possible de recoder correctement les items dont le doute sur l'ordre des catégories de réponses subsiste. Pour cela nous repérons l'ordre des catégories de réponses grâce aux pics de probabilité successifs qui apparaissent sur le trait latent.

Par exemple, la Figure 6.1 présente l'ordre des courbes de réponses pour l'item $T5$. D'après cette figure, plus les individus sont positionnés à gauche du trait latent, plus leur probabilité de ne pas posséder de téléphone à écran tactile est grande. À l'inverse, plus les individus sont positionnés à droite du trait latent, plus leur probabilité de posséder un téléphone à écran tactile est grande. Pour ces individus, positionnés plus à droite sur le trait latent, leur position respective permettra de déterminer leur probabilité d'utiliser majoritairement l'index, le pouce ou les deux doigts pour manipuler cet écran tactile, la probabilité d'utiliser le pouce étant la plus représentative d'un haut niveau de trait latent. L'item peut alors être recodé de la manière suivante :

1 = Je n'ai pas ou je n'utilise pas de téléphone mobile.
2 = Je n'ai pas de téléphone à écran tactile.
3 = J'utilise l'index majoritairement.
4 = J'utilise les deux doigts.
5 = J'utilise le pouce majoritairement.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

FIGURE 6.1 – Ordre des courbes de réponse de l'item T5 à l'issue du modèle nominal.



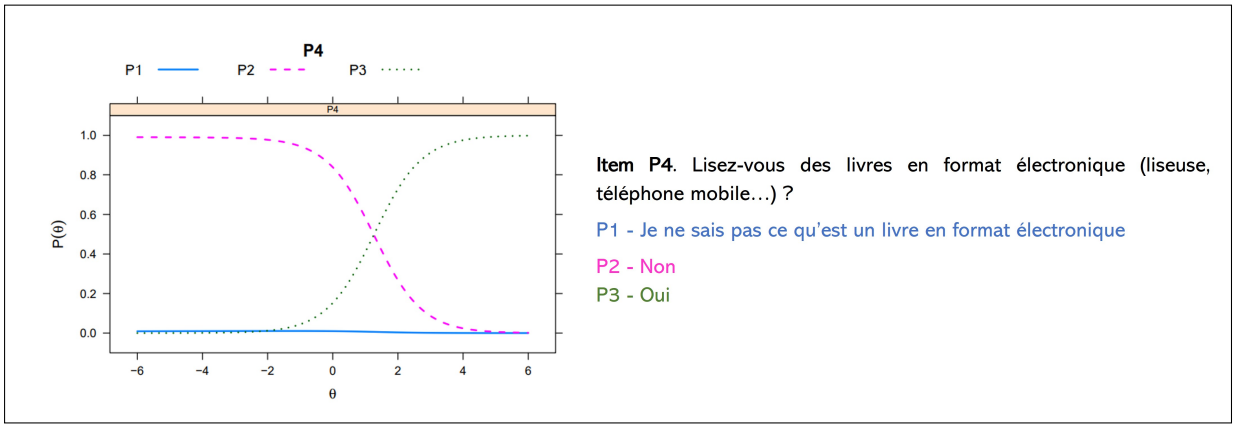
Item T5. Avec quel doigt utilisez-vous l'écran tactile de votre téléphone mobile ?

P5 - Je n'ai pas ou je n'utilise pas de téléphone mobile
P4 - Je n'ai pas de téléphone à écran tactile
P1 - J'utilise l'index majoritairement
P3 - J'utilise les deux doigts
P2 - J'utilise le pouce majoritairement.

L'affichage des courbes caractéristiques permet également de détecter les catégories de réponses ayant un faible pouvoir discriminant. Par exemple, à la Figure 6.2, les courbes caractéristiques de l'item $P4$, qui questionne l'usage des livres en format électronique, sont présentées. La courbe de réponse pour la catégorie de réponse « Je ne sais pas ce qu'est un livre en format électronique » est plate. Cela montre que cette catégorie de réponse n'a pas un grand pouvoir discriminant : pratiquement personne n'ignore ce qu'est un livre en format électronique. Ainsi lorsque certaines courbes sont particulièrement plates, la question se pose de fusionner les catégories de réponses correspondantes avec celles qui sont sémantiquement les plus proches. Dans notre exemple, l'hypothèse est que ceux qui ne savent pas ce qu'est un livre en format électronique, n'ont pas cette pratique, signe d'un niveau de trait latent plus bas. L'item sera alors recodé de la manière suivante :

1 = Je ne sais pas ce qu'est un livre en format électronique.
1 = Non.
2 = Oui.

FIGURE 6.2 – Ordre des courbes de réponse de l'item P4 à l'issue du modèle nominal.



L'examen de l'ensemble des courbes caractéristiques permet de recoder correctement l'ensemble des échelles de réponses comme une succession d'entiers positifs. Le critère d'ajustement du modèle ordinal GPCM ($RMSEA_{GPCM,110} = 0.062 < 0.089$), montre que cet ordonnancement est valide.

6.4.2 Validation d'un outil de mesure court

Le RMSEA du modèle GPCM, appliqué à un sous-ensemble de 30 items, sélectionnés à l'aide d'un indice de qualité (voir équation 6.1), est toujours bon ($RMSEA_{gpcm,30} = 0.059 < 0.089$).

Le positionnement de ces 30 items le long du trait latent est donné au Tableau 6.1. D'après la position moyenne des items de gauche à droite du trait latent (Tableau 6.1) et l'agencement des courbes de réponses observées précédemment aux Figures 6.1 et 6.2, il semble y avoir une progression des faibles niveaux de possession et d'utilisation, vers des niveaux plus avancés de fréquence d'utilisation et de connaissances.

Ces observations coïncident avec les résultats précédemment trouvés au chapitre 5. D'ailleurs, le coefficient de corrélation entre les scores IRT sujets du chapitre 5 (GPCM-50 items-chapitre 5) et les scores IRT sujets de ce chapitre (GPCM-30 items-chapitre 3), $r\,(998) = 0.89, p < 2.2e^{-16}$, montre une relation significative et positive. C'est pourquoi le terme techno-affinité est encore une fois utilisé pour nommer ce concept.

TABLEAU 6.1 – Position des 30 items les mieux ajustés au modèle ordinal.

Item	Aspect questionné	Contenu	Position moyenne sur le trait latent
R5	Possession	Accès internet	- 3.19
T7	Possession	Premier téléphone portable	- 2.88
T6	Possession	Téléphone actuel	- 2.85
P1_1	Usage	Paiement en ligne	- 2.61
Ordi_portableperso	Possession	Ordinateur portable perso	- 2.43
T28	Usage	Consulter la météo sur le téléphone	- 2.28
T13	Compétence	Achat ordinateur	- 1.95
Ordi_fixeperso	Possession	Ordinateur fixe professionnel	- 1.65
T11_4	Usage	Regarder des films/séries sur ordinateur	- 1.52
P3	Usage	E-billet	- 1.43
T21B_12	Usage	Aspirateur autonome	- 1.43
T11_2	Usage	Activité spécifique : montage, codage, etc.	- 1.39
P1_2	Usage	Paiement mobile sans contact	- 1.18
T21B_6	Usage	Robot culinaire connecté	- 0.92
I1	Curiosité	Intérêt pour les nouvelle technologies	- 0.92
R4	Fréquence d'usage	Réseaux sociaux au travail	- 0.78
XR1_9	Fréquence d'usage	YouTube	- 0.54
T15	Usage	Manette retour haptique (Wii, Dual Sense)	- 0.36
T21B_4	Usage	Cafetière connectée	- 0.09
T21B_10	Usage	Brosse à dent connectée	- 0.06
T21B_7	Usage	Serrure connectée	0.42
I3_2	Curiosité	Newsletters sur les nouvelles techno	1.10
XR1_15	Fréquence d'usage	Discord	1.33
XR1_14	Fréquence d'usage	Twitch	1.35
XR1_8	Fréquence d'usage	Skype	1.37
Ordi_portablepro	Possession	Ordinateur portable professionnel	1.89
XR1_2	Fréquence d'usage	Myspace	1.93
P5	Usage	Livre audio	1.99
C6	Connaissance (QCM)	Le Deep-learning c'est ?	2.63
T2	Attitude	L'aspect important des technologies : prix vs. dernières fonctionnalités	2.64

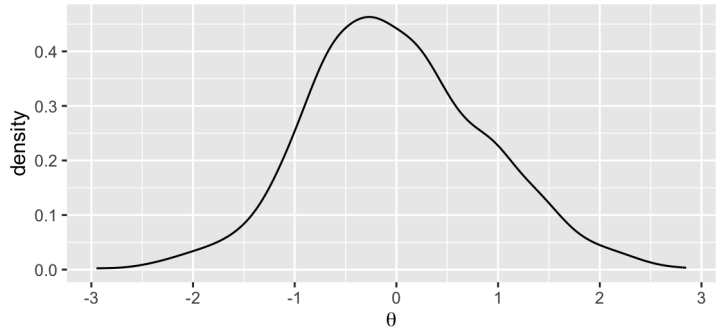
Note. Les items sélectionnés pour l'outil de mesure pratique sont surlignés en orange.

Parmi cet ensemble de 30 items, 15 items ont été sélectionnés sur leur contenu (surlignés en orange dans le tableau 6.1). Nous gardons ainsi 4 questions relatives à la possession d'équipements classiques (téléphone, ordinateur, Internet) ; 5 questions relatives à des usages variés et connectés ; 3 questions relatives à de la fréquence d'usage de réseaux sociaux (du plus ancien au plus récent) ; 1 question relative à la curiosité des sujets ; 1 question de connaissance ; 1 question attitudinale. L'ajustement du modèle ordinal GPCM sur ces 15 items est satisfaisant ($RMSEA_{gpcm,15} = 0.043 < 0.05$). Par ailleurs, un haut niveau de corrélation ($r = 0.95$) est observé entre les niveaux θ estimés avec le modèle ordinal en 30 items, et sa version réduite en 15 items. Cela montre que très peu d'information a été perdue dans ce processus de sélection basée sur le contenu. Ces 15 items formeront l'outil de mesure pratique final (voir annexe L et section 6.4.6).

6.4.3 Identification de classes de techno-affinité

La répartition des individus le long du trait latent est unimodale, avec une légère asymétrie à gauche (Figure 6.3).

FIGURE 6.3 – Répartition des scores de techno-affinité le long du trait latent.

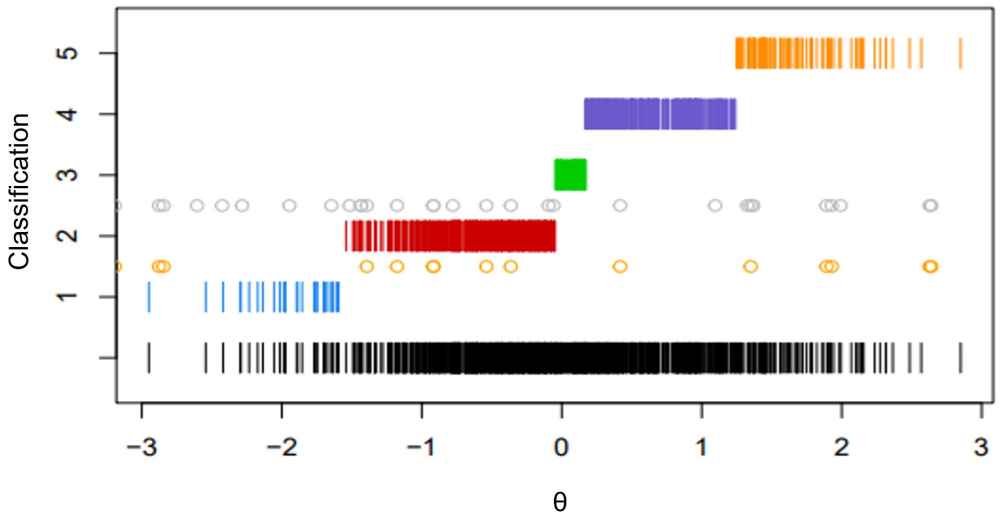


La distribution plutôt centrale des niveaux de techno-affinité nous pousse à découper ce continuum de manière à identifier un profil moyen de techno-affinité et des profils à plus bas et à plus hauts niveaux. Nous demandons à l'algorithme de classification de segmenter ce trait latent en cinq classes de niveaux homogènes. Au-delà de la classe centrale, cela nous permet de distinguer deux classes à gauche et deux classes à droite du trait latent (Figure 6.4). À l'issue de cette classification, il y a, de gauche à droite, 32 individus dans la classe 1 (3.1 %),

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

480 dans la classe 2 (48 %), 92 dans la classe 3 (9.2 %), 306 dans la classe 4 (30.6 %) et enfin 90 individus dans la classe 5 (9 %).

FIGURE 6.4 – Projection des classes de techno-affinité et des items sélectionnés sur le trait latent.



Note. Les cercles gris correspondent à la position des 30 items les mieux ajustés au modèle ordinal et les cercles orange correspondent à la position des 15 items sélectionnés pour l'outil de mesure pratique.

6.4.4 Caractérisation des classes de techno-affinité : profil technologique

Dans cette section, nous dressons le profil technologique des cinq classes précédemment identifiées à l'aide des réponses au questionnaire initial de techno-affinité en 110 items. Pour chaque aspect questionné (connaissance, compétence, type d'utilisation, adaptation aux nouvelles pratiques, addiction, fréquence d'utilisation, opinion et attente, affinité), les réponses caractéristiques (significativement surreprésentées) à quelques questions types sont identifiées (Tableau 6.2). Par exemple, la question qui porte sur la résolution d'un problème informatique, est associée à une surreprésentation de la catégorie de réponse « *Je demande directement de l'aide* » aux classes 1 et 2. Toutefois, la classe 2 se différencie de la classe 1 par la catégorie de réponse caractéristique « *J'essaie de voir si je peux résoudre le problème par moi-même* ». À l'inverse, la catégorie de réponse « *La plupart du temps, je résous le problème par moi-même* »

est surreprésentée aux classes 4 et 5. À partir de ces résultats, il est possible de dire qu'il y a une différence de compétences techniques entre les classes et que plus le niveau de techno-affinité augmente, plus la résolution de problèmes informatiques se fait de manière autonome. Le même travail est effectué sur les autres items présentés au Tableau 6.2.

Nous observons des différences dans les usages, les connaissances et même les attitudes des différentes classes de techno-affinité. La **classe 1** est surreprésentée par des réponses négatives. D'après les questions associées, cette classe est caractérisée par des individus qui n'ont pas de réseaux sociaux, qui n'utilisent pas de technologies connectées et qui n'ont ni connaissances ni compétences, même basiques. La **classe 2** est caractérisée par les mêmes types de réponses. Cependant, elle se différencie de la classe 1 sur les connaissances notamment. La classe 2 est surreprésentée par des réponses qui montrent une certaine familiarité avec les technologies. Au lieu de répondre « *je ne sais pas ce que c'est* », les individus répondent « *je n'ai pas* » ou « *je ne fais pas* ». Face à des problèmes informatiques, beaucoup répondent « *J'essaie de voir si je peux résoudre le problème par moi-même avant de demander de l'aide* ». Les réponses caractéristiques, concernant les attentes en termes d'équipement technologique, montrent que, en plus du prix, la fiabilité est une caractéristique recherchée.

Dès la **classe 3**, nous observons des réponses caractéristiques plus positives. Cela est associé à un intérêt plus grand pour l'univers des nouvelles technologies et une utilisation basique de la technologie à des fins de divertissement notamment (utilisation de l'ordinateur pour regarder des films, utilisation fréquente du réseau social Facebook, etc.).

À partir de la **classe 4**, les réponses surreprésentées suggèrent des compétences techniques (bonnes réponses aux QCM, résolution autonome de problèmes informatiques) et une utilisation plus spécifique et fréquente de la technologie. Les nouvelles pratiques numériques, liés à des usages ludiques, bancaires ou professionnels, sont adoptées. Les réponses caractéristiques concernant les attentes et les opinions vis-à-vis de la technologie diffèrent également des classes précédentes : les individus se montrent plus favorables face aux questions concernant le développement des technologies et plus attentifs aux fonctionnalités des technologies qu'ils acquièrent (multifonctions, dernières fonctionnalités). La catégorie de réponse « *Tout à fait d'accord* » qui est surreprésentée à l'affirmation « *l'univers des technologies m'intéresse* » prend alors du sens.

La **classe 5** se différencie de la classe 4 par : la catégorie de réponse « *Non* » concernant l'activité de démarche administrative sur ordinateur ; l'utilisation de l'enceinte connectée pour consulter la météo ; la catégorie de réponse « *Une fois par jour* » concernant la fréquence

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

d'usage de tous les réseaux sociaux dont Twitch, Reddit et BeReal ; la catégorie de réponse « *Oui, favorable* » pour l'implantation de puces dans le cerveau et la catégorie de réponse « *Un design pointu* » concernant l'aspect recherchée dans les technologies. Les individus de la classe 5 semblent donc avoir une utilisation plus moderne et fréquente de la technologie.

TABLEAU 6.2 – Catégories de réponses du questionnaire initial de techno-affinité significativement surreprésentées.

Item	Question	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
C3 à C10	QCM (définitions de termes techniques)	Je ne sais pas	Je ne sais pas	/	Mauvaises et bonnes réponses	Mauvaises et bonnes réponses
T12	Lorsque je rencontre un problème avec mon ordinateur personnel ou professionnel (matériel ou logiciel), pour le résoudre :	- Je demande directement de l'aide	- Je demande directement de l'aide - J'essaie de voir si je peux résoudre le problème par moi-même	/	La plupart du temps je résous le problème par moi-même	La plupart du temps je résous le problème par moi-même
T11	Utilisez-vous votre ordinateur pour les activités suivantes : -pour effectuer des démarches administratives (impôt, Sécurité Sociale, etc.) ; -pour des activités de bureautique (mails, traitement de texte, agenda, comptabilité, etc.) ; -pour regarder des films / séries ; -pour jouer ; -pour des activités spécifiques comme le codage, les montages photos/vidéos/musicaux.	Non *Activité de bureautique, film, jouer, spécifique*	Non *Activité de bureautique, film, jouer, spécifique*	Oui *Film*	Oui	- Oui - Non *Démarche administrative*
P1	Utilisez-vous : - les applications de paiement en ligne (Lydia, PayPal, etc.) ; - les de paiement mobile sans contact en magasin (Paylib, GooglePay, etc.) ; - les services en ligne de votre banque pour consulter vos relevés bancaires.	- Je ne sais pas ce que c'est - Non *Service bancaire en ligne*	Non *App paiement en ligne, sans contact*	Non *App paiement en ligne*	Oui *App paiement en ligne, sans contact, service bancaire en ligne*	Oui *Sauf service bancaire en ligne*

T19 et T28b	Avez-vous l'habitude : - d'écouter de la musique - de consulter la météo via votre enceinte connectée (Alexa, Google Home, etc.) ?	Je ne sais pas ce qu'est une enceinte connectée	Je n'ai pas d'enceinte connectée	Je n'ai pas d'enceinte connectée	- Oui *Musique* - Non Météo	Oui *Musique Météo*
R2, R4 et R5	Diriez-vous qu'internet est votre principal moyen de distraction ? Lorsque vous travaillez, vous arrive-t-il de consulter vos réseaux sociaux à des fins personnelles ? Dès que vous vous levez le matin, vous connectez-vous à internet (réponse aux messages/mails, réseaux sociaux, consulter les informations, etc.) ?	- Non - Je ne suis inscrit(e) à aucun réseau social	- Non - Je ne suis inscrit(e) à aucun réseau social	Oui	Oui	Oui
XR1	A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.	/	/	Une fois par jour *FaceBook*	Une fois par jour *Facebook LinkedIn Twitter Instagram Snapchat TikTok Pinterest Messenger*	Une fois par jour *Tout dont Twitch Reddit Bereal*
I5_1, I5_2 et I5_3	Voici différents sujets liés à l'évolution du monde. Pour chacun, indiquez si vous y êtes favorable. - La colonisation d'une autre planète - L'implantation de puces dans le cerveau permettant de nous transformer en super-humain - Les voitures autonomes	Non, pas favorable *puce cerveau*	- Non, pas favorable - Je n'ai pas d'avis sur la question *voitures autonomes*	Non, pas favorable *colonisation planète*	Oui, favorable *colonisation planète, voiture autonome*	Oui, favorable *colonisation planète, voiture autonome,* puce cerveau
T2	Quel est l'aspect le plus important d'un équipement technologique pour vous ?	Le prix	- Le prix - La fiabilité	/	- Qu'il soit multifonctions - Les dernières fonctionnalités	- Qu'il soit multifonctions - Les dernières fonctionnalités - Un design pointu
I1	L'univers des nouvelles technologies m'intéresse	Pas d'accord	Pas d'accord D'accord	D'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord

6.4.5 Caractérisation des classes de techno-affinité : profil socio-générationnel

Dans cette section, nous dressons le profil sociologique des cinq classes précédemment identifiées à l'aide des informations socio-professionnelles recueillies sur la population enquêtée. Les proportions d'individus, par classe, en termes d'âge, d'activité, de niveau d'étude et de catégorie socio-professionnelle (CSP), sont présentées au Tableau 6.3. La première colonne sert de comparaison, car elle donne une indication sur la répartition de la population totale dans les différentes catégories de réponses. Dans le tableau, sont surlignées en vert les catégories significativement surreprésentées et en rouge les catégories significativement sous-représentées. Dans la classe considérée, cela signifie que la proportion observée d'individus sera supérieure, respectivement inférieure, à celle de la population totale.

La **classe 2** est surreprésentée par des individus âgés de plus de 50 ans et retraités. Pour les actifs, cette classe est surreprésentée par des individus possédant un niveau CAP/BEP. À l'inverse, elle est sous-représentée par des individus âgés entre 18 et 34 ans, en activité ou étudiants, ayant un niveau BAC+3 ou master, et de manière générale catégorisés comme CSP+.

La **classe 3** est surreprésentée par des individus catégorisés comme CSP-.

Les **classes 4 et 5** sont surreprésentées par des individus âgés de 18 à 35 ans, en activité ou étudiants et catégorisés comme CSP+. À l'inverse, ces classes sont sous-représentées par des individus âgés entre 50 ans et plus et retraités. Concernant le niveau d'étude, la classe 4 est sur-présentée par des individus possédant un niveau BAC+3 ou master, mais est sous-représentés par des individus possédant un niveau CAP/BEP.

Les résultats montrent aussi qu'il y a une surreprésentation d'employés et d'ouvriers aux classes 2 et 3. Alors qu'une sous-représentation de ces professions est observée aux classes 4 et 5. Les résultats montrent également qu'il y a une surreprésentation de revenus situés entre 20K et 30K€ à la classe 2. Alors qu'une surreprésentation de revenus situés entre 40K-50K€ et 75-100K€ est observée pour le profil Engagé. Ces résultats sont en accord avec le niveau d'étude global observé dans chacune des classes.

Enfin, une sous-représentation de revenus inférieurs à 10K€ est observée à la classe 2, alors qu'une surreprésentation de ces mêmes revenus est observée à la classe 4. Ces revenus sont susceptibles d'être associés aux étudiants (en stage ou avec un « job étudiant »). Ce résultat est donc accord avec le type d'activité observé dans chacune des classes.

TABLEAU 6.3 – Proportion d'individus par catégorie socio-professionnelle.

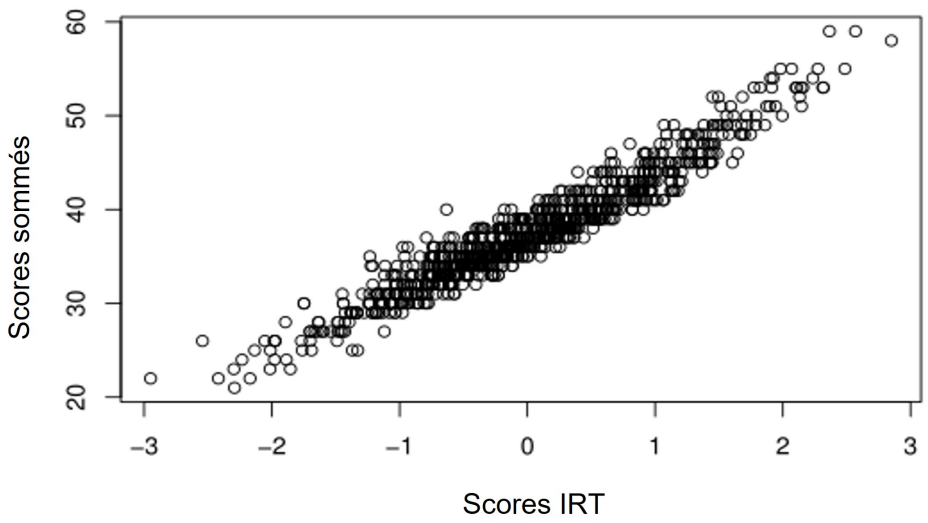
	Population totale	Classe 1 (32)	Classe 2 (480)	Classe 3 (92)	Classe 4 (306)	Classe 5 (90)
AGE						
18-24 ans	11%	3%	4%	10%	17%	32%
25-34 ans	17%	9%	9%	23%	24%	33%
35-49 ans	27%	22%	26%	28%	30%	23%
50-64 ans	24%	38%	30%	23%	19%	8%
65 ans ou plus	21%	28%	31%	16%	10%	3%
ACTIVITE						
En activité	52%	47%	45%	59%	58%	68%
Retraité(e) ou préretraité(e)	24%	38%	36%	20%	11%	1%
Elève, étudiant(e)	6%	3%	1%	3%	10%	26%
Autre	18%	12%	18%	18%	21%	5%
NIVEAU ETUDE						
Niveau brevet des collèges ou moins	10%	9%	11%	10%	9%	8%
Bac (général ou professionnel)	26%	38%	25%	33%	23%	27%
CAP / BEP	15%	16%	20%	15%	9%	11%
Bac + 2 ans	22%	16%	22%	22%	25%	16%
Bac + 3 ans	10%	6%	8%	9%	14%	16%
Master ou équivalent	13%	13%	11%	11%	17%	17%
Doctorat	2%	3%	3%	0%	1%	3%
Autre situation	1%	0%	1%	1%	1%	3%
CSP						
CSP-	29%	34%	29%	38%	26%	23%
CSP+	29%	16%	21%	27%	37%	48%
Retraité, inactif	43%	50%	50%	35%	37%	29%

Note. Les catégories significativement surreprésentées sont surlignées en vert et les catégories significativementen sous-représentées sont surlignées en orange.

6.4.6 Validation d'un outil de mesure pratique

Nous avons montré que les 15 items sélectionnés pour l'outil de mesure pratique (voir Tableau 6.1), permettent bien d'identifier des profils de techno-affinité où des différences techno-socio-générationnelles sont observées. Les items sont alors soumis au modèle PCM. Ce modèle ordinal, plus contraint que le GPCM, affiche un ajustement satisfaisant ($RMSEA_{pcm,15} = 0.048 < 0.05$). Cela indique qu'une simple addition de points continue à fonctionner comme une statistique suffisante du score sujet. Cette propriété est visible à la Figure 6.5, où la relation entre les scores sommés et les scores estimés avec un modèle sans contrainte sur les paramètres de pente (IRT-GPCM-15), montre une relation monotone croissante, quasiment linéaire.

FIGURE 6.5 – Lien entre score sommé et score IRT.



Les frontières numériques correspondantes aux différentes classes précédemment identifiées, et à utiliser avec l'annexe L, sont les suivantes :

- Classe 1 $<$ 28
- Classe 2 entre 29 et 36
- Classe 3 entre 37 et 38
- Classe 4 entre 39 et 45
- Classe 5 $>$ 46

6.5 Discussion

6.5.1 Apports pratiques

En examinant les courbes de réponses le long du trait latent (voir Figures 6.1 et 6.2), nous constatons que les pics de probabilité s'ordonnent des catégories de réponses les moins représentatives d'une affinité technologique (absence de connaissance, absence de possession, attitude négatives), vers les catégories les plus représentatives d'une forte affinité technologique (usage, usage fréquence, connaissances, compétences). Puis, en examinant le positionnement des items le long du trait latent (voir Tableau 6.1), nous constatons que ceux mettant en évidence un manque de connaissance ou d'adaptation aux nouvelles technologies ont tendance à se regrouper dans la région de faible affinité technologique, tandis que ceux relatifs à de l'auto-apprentissage et aux pratiques connectées ou professionnelles, ont tendance à se regrouper dans la région de haute affinité technologique. Ces deux résultats nous permettent finalement d'interpréter la dimension latente comme dimension de techno-affinité. Il est par ailleurs assez remarquable que les modèles montrent un ajustement aussi satisfaisant suite à la réduction importante du nombre d'items de 110 à 15 ($RMSEA_{nominal,110} = 0.048 < 0.05$, $RMSEA_{gpcm,30} = 0.059 < 0.089$, $RMSEA_{pcm,15} = 0.048 < 0.05$). C'est ce qui vient argumenter la validité interne de l'outil de mesure pratique.

Nous observons une grande cohérence entre les résultats du chapitre 5 et ceux présentés dans ce chapitre. Malgré des questionnaires initiaux distincts, et une méthodologie d'analyse différente, toutes les échelles modélisées dans la partie 2 mesurent de la techno-affinité, en témoignent les forts coefficients de corrélation trouvés entre les sorties des modèles ($r = 0.89$, voir section 6.4.2). Ce résultat était attendu, car les questionnaires initiaux ont la même base de construction. En ne mesurant que des indicateurs factuels au chapitre 5 (usage, connaissance, possession, etc.), nous obtenons des ajustements corrects. Il n'est donc pas étonnant que l'ajout d'indicateurs attitudinaux, et d'indicateurs relatifs à d'autres contextes d'usages, améliorent les modèles.

6.5.2 Description des profils de techno-affinité

Grâce à l'étape de caractérisation, un profil technologique est dressé par classe (voir section 6.4.4). Un résumé de ce profil technologique est disponible au Tableau 6.4. À partir de ces profils, nous pouvons attribuer un nom à chacune des classes : Distant, Basique, Engagé,

Ultra-connecté. Ces noms coïncident avec ceux trouvés dans la littérature. Par exemple, l'article de Pasquier (2022) présente quatre profils d'internautes dans la population française : « *hyperconnectés* », « *utilitaristes* », « *traditionnels* », « *distants* ». D'après l'auteur, ces profils se distinguent au travers de leurs usages, mais aussi au travers de leur âge, de leur niveau de diplôme et de leur catégorie socio-professionnelle : « *ce sont les jeunes générations diplômées des milieux urbains qui se sentent les plus à l'aise en ligne et qui ont les usages d'Internet les plus nombreux et les plus diversifiés* » (Pasquier, 2022, p. 17).

C'est éléments, nous les retrouvons dans nos résultats (voir section 6.4.5) :

- La caractérisation des classes par l'âge montre que plus le niveau de techno-affinité augmente, plus la proportion de 18-24 ans augmente. À l'inverse, plus le niveau de techno-affinité baisse, plus la proportion de 50 ans et plus augmente.
- La caractérisation des classes d'individus par leurs niveaux socio-professionnels et leurs niveaux d'études montre que plus le niveau de techno-affinité augmente plus la proportion de CSP+ et d'individus ayant fait des études supérieures augmente. À l'inverse, plus le niveau de techno-affinité baisse plus la proportion de CSP- et d'individus n'ayant pas fait d'études supérieures augmente.

Cela montre que même si le lien entre âge et techno-affinité est évident, car les habitudes d'usages se créent à un âge précoce, cela n'est pas suffisant pour expliquer un attrait ou un rejet des technologies. Il existe des obstacles sociaux à prendre en compte. D'après la littérature, les professions à faible niveau de diplôme ne favorisent pas l'usage de l'Internet et un faible niveau de revenu ne favorise pas l'équipement technologique (Ben Youssef, 2004 ; Docampo Rama et al., 2001 ; Pasquier, 2022 ; Sperandio et al., 1999). Ces éléments, nous les retrouvons dans nos résultats. En effet, une surreprésentation de catégories professionnelles inférieures, ainsi que des revenus plus bas, sont observés au sein des profils avec un faible niveau de techno-affinité (Distant, Basique). Tous ces éléments nous permettent de valider notre sous-hypothèse 5, qui soutient l'idée que la techno-affinité englobe naturellement un facteur temporel d'ordre générationnel, mais que du fait de facteurs socio-professionnels, ne se confond pas exclusivement avec ce facteur temporel (sous-hypothèse 5).

TABLEAU 6.4 – Description des profils de techno-affinité.

Classe	Profil	Description d'un sujet
1	**Réfractaire**	- Il n'est pas intéressé par les nouvelles technologies et a un avis négatif sur les avancées technologiques. - Il n'a pas de connaissances ou de compétences particulières, même lorsqu'il s'agit de technologies aujourd'hui répandues. - Il ne se sert pas des technologies dans son quotidien. - L'aspect des technologies qui l'intéresse principalement, c'est le prix.
2	**Distant**	- Il peut être intéressé par les nouvelles technologies, mais a un avis négatif sur les avancées technologiques. - Il a conscience des nouvelles technologies qui l'entoure, mais n'a pas de connaissances ou de compétences techniques. Toutefois, il peut quand même essayer de résoudre un problème informatique. - De manière générale il n'utilise pas les technologies à sa disposition. Il n'est donc pas adepte des nouvelles pratiques numériques. - De manière générale, il n'est pas dépendant à internet. - L'aspect des technologies qui l'intéresse principalement, c'est le prix, mais aussi la fiabilité.
3	**Basique**	- Il est intéressé par les nouvelles technologies, mais a un avis plutôt négatif sur les avancées technologiques. - Il a conscience des nouvelles technologies qui l'entoure, mais n'a pas forcément de connaissances ou de compétences techniques. - De manière générale il utilise les technologies à sa disposition, mais n'est pas adepte des nouvelles pratiques numériques. - Il commence à montrer des signes de dépendance à internet. Concernant les réseaux sociaux, il peut en utiliser des basiques (par exemple Facebook) de manière régulière.
4	**Engagé**	- Il est très intéressé par les nouvelles technologies et a un avis plutôt positif sur les avancées technologiques. - Il a conscience des nouvelles technologies qui l'entoure et montre des connaissances et des compétences techniques. - De manière générale il utilise les technologies à sa disposition et est adepte des nouvelles pratiques numériques. - Il est dépendant à internet. Concernant les réseaux sociaux, il va en utiliser des répandus de toutes sortes. - L'aspect des technologies qui l'intéresse principalement, sont la multifonctionnalité et les dernières fonctionnalités.
5	**Ultra-connecté**	- Il est très intéressé par les nouvelles technologies et a un avis positif sur toutes les avancées technologiques même les plus controversés (ex : l'implantation d'une puce dans le cerveau). - Il a conscience des nouvelles technologies qui l'entoure et montre des connaissances et des compétences techniques. - De manière générale il utilise les technologies à sa disposition et est adepte des nouvelles pratiques numériques. Il montre par ailleurs une adaptation aux pratiques plus récentes (ex : consulter météo via assistant vocal) et délaisse les pratiques plus anciennes (ex : démarche administrative sur ordinateur. Il se pourrait que ce genre de démarche se fasse directement sur téléphone). - Il est dépendant à internet. Concernant les réseaux sociaux, il va en utiliser de toutes sortes. Cela concerne même les plus actuels (Twitch, Reddit et Bereal).

6.5.3 Limites et perspectives

Certaines limites et perspectives de l'étude peuvent être discutées. Premièrement, l'outil de mesure, dans sa construction, présente quelques limites. Pour rappel, il s'agit de la première version réalisée dans le cadre de la thèse. Pour sa construction, nous avons utilisé un critère d'ajustement pour faire de la sélection d'items (équation 6.1). Dans un contexte pratique ce critère s'est avéré pertinent, car rapide et fonctionnel pour repérer les items les mieux ajustés aux modèles. Cependant, nous pensons que le calcul d'un critère d'information reste nécessaire pour plus de précision et de qualité dans la sélection des items, car un item peut être bien ajusté au modèle, mais lui apporter peu d'information. Par ailleurs, l'analyse ordinale, bien que correctement exécutée, ne permet pas de détecter les catégories de réponses peu discriminantes et peu informatives aussi bien que par l'analyse par binarisation présentée au chapitre 5. Ainsi, le travail des échelles de réponse reste limité à de l'ordination et à la fusion de quelques catégories de réponses dans cette étude. Enfin, dans cette version du questionnaire, des questions portent sur l'usage de réseaux sociaux qui ne sont plus actuels (par exemple, Myspace). Ces questions sont associées à des échelles de réponses qui peuvent porter à confusion, car les verbes sont conjugués au présent. On a pu voir que les sujets ont fait le travail d'adaptation nécessaire face à ces échelles de réponses, car plusieurs d'entre eux ont répondu utiliser ces réseaux sociaux à une fréquence « *d'une fois par jour* ». Néanmoins, pour plus de justesse ces items ne doivent pas participer à construction de l'échelle de mesure. Ces quelques défaillances ont été compensées dans la construction d'une autre échelle, celle présentée au chapitre 5.

Deuxièmement, les sorties de l'outil pratique peuvent porter à confusion. En effet, il est possible d'identifier rapidement l'appartenance à une classe de techno-affinité à partir d'une simple addition de points. Cependant, il est important de rappeler aux utilisateurs de cet outil que nous ne cherchons pas à catégoriser strictement les sujets par de la présence ou de l'absence d'affinité technologique, mais plutôt à identifier des différences inter-individuelles d'affinité entre les sujets, c'est-à-dire repérer ceux qui en ont moins de ceux qui en ont plus. Il faut donc considérer la dimension latente comme un continuum de techno-affinité où, par exemple, le sujet positionné le plus à droite de la classe Distant, a un profil similaire à celui positionné le plus à gauche de la classe Basique.

Troisièmement, une grande partie des sujets interrogés possède un niveau de techno-affinité moyen. Cela explique pourquoi les classes situées à l'extrême gauche ou à l'extrême droite du continuum sont représentées par un nombre plus petit de sujets représentatifs de la population française. Dans la suite des travaux, nous avons décidé d'exclure les sujets se situant à l'extrême

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

gauche de l'axe de techno-affinité (classe 1, profil Réfractaire, 3.2 %). Cette décision a été prise en accord avec le partenaire industriel. Ne connaissant pas, ne possédant pas et n'utilisant pas les technologies, mêmes basiques, ils n'intéressent pas le partenaire industriel sur cette problématique d'interaction homme-machine en contexte automobile. De plus, la technophobie est souvent caractérisée par de l'anxiété, nous ne voulions pas prendre le risque de brusquer les participants qui ont un très bas niveau de techno-affinité dans les expérimentations qui vont impliquer de la manipulation homme-machine (chapitre 8). Ainsi, dans la suite, seuls les profils Distant, Basique, Engagé et Ultra-connecté seront interrogés.

6.6 Conclusions du chapitre 6

En conclusion, l'analyse présentée dans ce chapitre a permis de construire un outil de mesure de la techno-affinité qui est pratique pour une utilisation en terrain. Cet outil est disponible en annexe L. Il se présente sous la forme d'un questionnaire en 15 items et permet d'identifier l'appartenance d'un individu à un profil de techno-affinité. Les frontières numériques correspondantes sont disponibles à la section 6.4.2. Les résultats issus de l'analyse de caractérisation technologique et sociologique de ces profils montrent bien que la dimension de techno-affinité représente un continuum sur lequel se différencient des niveaux d'affinité technologique, d'âge et de catégories socio-professionnelles. Dans la suite des travaux (partie 3), les profils Distant, Basique, Engagé et Ultra-connecté, seront étudiés au travers de leur relation aux interactions homme-machine.

Troisième partie

L'impact de la techno-affinité sur la relation homme-machine automobile

INTRODUCTION, OBJECTIFS ET ORGANISATION DE LA PARTIE 3

Les résultats de la première partie nous montrent que la techno-affinité représente un construit unidimensionnel, cumulatif et bipolaire. Plus le niveau de techno-affinité augmente, plus les usages de la technologie sont fréquents, les opinions sont positives, et les connaissances sont pointues. À l'inverse, plus le niveau de techno-affinité diminue, plus les usages sont basiques, les opinions sont négatives et les connaissances s'amenuisent. Par ailleurs, les réponses à certaines questions, concernant les attentes en termes d'équipements technologiques, ont pu mettre en évidence que les faibles niveaux de techno-affinité montrent des besoins de nature plus ergonomique (facilité, utilité), tandis que les hauts niveaux de techno-affinité montrent des besoins de nature plus hédonique (esthétique, stimulation). Ces premiers résultats vont dans le sens des hypothèses générales selon lesquelles la techno-affinité permet d'expliquer des besoins différents en termes d'interaction homme-machine (hypothèses générales 1 et 2).

Les résultats de la première partie nous permettent également d'identifier quatre profils de techno-affinité (voir chapitre 6) : Distant, Basique, Engagé, Ultra-connecté. Pour aller plus loin dans cette recherche, nous souhaitons à présent étudier le rapport de ces différents profils de techno-affinité face aux interactions homme machine automobile, dans un contexte d'évolution technologique.

Le premier objectif est d'étudier les raisons qui mènent à l'attractivité ou au rejet des nouvelles technologies, dans le prolongement des résultats observés au chapitre 5 (technophobie/technophilie), et d'identifier comment cela impacte l'acception des nouveaux types d'interactions en contexte général et automobile.

Pour répondre à ces objectifs, le **chapitre 7** présente une étude qualitative sur l'attitude et le comportement des différents profils de techno-affinité face aux interactions homme-machine, en contexte général et automobile. Dans cette étude, des entretiens de type *Focus groups* sont mis en place, permettant une discussion spécifique sur les attentes et les besoins en termes d'interaction homme-machine.

Le second objectif est de déterminer les types d'interactions qui conviennent le mieux à chaque profil de techno-affinité, dans un cockpit automobile.

Pour répondre à cet objectif, le **chapitre 8** présente une étude qui mixte un recueil de données quantitatives et qualitatives. Dans cette étude, différents profils de techno-affinité sont confrontés à des cockpits automobiles et ont pu évaluer l'expérience utilisateur vécue. Les cockpits automobiles sélectionnés pour l'étude présentent différentes modalités de dématérialisation et de numérisation. L'objectif est alors de quantifier l'impact de l'interaction entre la techno-affinité des utilisateurs et les caractéristiques ergonomiques et hédoniques de ces cockpits automobiles, sur les différentes composantes de l'expérience utilisateur (perception, réaction émotionnelle). En faisant cela, nous espérons comprendre comment la perception et la réaction émotionnelle agissent sur l'appréciation globale résultante et sur les préférences.

Chapitre 7

Les différents profils de techno-affinité face aux interactions homme-machine en contexte général et automobile

7.1 Objectifs

Ce chapitre a pour objectif principal l'étude du comportement de différents profils de techno-affinité face à l'évolution des interactions homme-machine. Dans ce but, des entretiens de type Focus Groups sont mis en place. Le Focus Group se définit comme « *une technique de recherche qui permet de recueillir des données par le biais d'une interaction de groupe sur un sujet déterminé par le chercheur* » (Morgan, 1996, p. 130, notre traduction). Les sujets interrogés partagent ainsi une même caractéristique, en l'occurrence ici un niveau similaire d'affinité avec les technologies. Au travers des Focus Groups, une discussion peut alors avoir lieu entre eux, laissant l'opportunité aux sujets d'exprimer leurs idées (les former et les modifier) à propos de thématiques spécifiquement définies. Nous attendons ainsi des Focus Groups qu'ils permettent une discussion sur les attentes et les besoins en termes d'interaction homme-machine.

Une étape préliminaire a consisté à créer un questionnaire d'entretien semi-directif, de manière à aborder plusieurs thématiques, à savoir le positionnement face aux technologies et aux interactions homme-machine, en contexte général, puis en contexte automobile, et enfin en projection dans un cockpit automobile idéal. À partir de ce questionnaire, des entretiens ont été menés par groupe, et des données qualitatives ont été récoltées puis retranscrites. L'objectif était de pouvoir mener une analyse qualitative, par thématique, afin d'identifier des

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

différences dans les discours de chaque groupe de techno-affinité.

7.2 Mise en place de Focus Groups

7.2.1 Constitution des groupes

Quatre groupes de sujets sont constitués pour cette étude. Ces quatre groupes correspondent aux profils de techno-affinité précédemment définis : Distant, Basique, Engagé et Ultra-connecté. La manière dont ces profils ont été définis, et leurs caractéristiques techno-socio-générationnelles sont décrites au chapitre 6.

Ainsi, quarante sujets âgés de 25 à 64 ans sont recrutés pour participer à l'étude. Pour faciliter le recrutement, seuls les niveaux de techno-affinité et l'âge des sujets conditionnent l'appartenance à un groupe. Concernant la techno-affinité, l'outil de mesure pratique en 15 items, développé au chapitre 6, est utilisé pour assigner les sujets recrutés dans les différents groupes (10 par groupe). Les questions utilisées et leurs cotations, sont décrites à l'annexe L et à la section 6.4.6. Concernant l'âge, les sujets ont été recrutés de manière à respecter la répartition des âges observée pour chacun des profils au Tableau 6.3. Le descriptif des sujets recrutés est disponible au Tableau 7.1.

TABLEAU 7.1 – Genre, âge et scores moyens de techno-affinité des sujets interrogés lors des Focus Groups.

Groupe	Effectif	Genre	Age moyen	Score moyen de de techno-affinité
Distant	10		45 (25–64)	35 (34-36)
Basique	10	H : 50%	42 (25–60)	37 (37-38)
Engagé	10	F : 50%	39 (25–61)	42 (39-45
Ultra-connecté	10		37 (22–60)	52 (47–58)

Des critères transversaux à toute l'étude ont par ailleurs été fixés pour cibler correctement la population étudiée. Tous sont possesseurs du permis B et conduisent. Tous sont également décisionnaires dans le choix et l'achat du véhicule automobile qu'ils possèdent. Cette règle reste flexible pour le groupe Ultra-connecté étant donné l'âge plus jeune des participants. De

plus, dans chaque groupe, 2 à 3 des sujets sont possesseurs de voitures des marques du Groupe Renault (Dacia ou Renault). Enfin, l'échantillonnage montre différentes situations familiales et zones d'habitation (urbaines, péri-urbaines et rurales) afin de garantir la représentativité de la population française.

7.2.2 Questionnaire d'entretien semi-directif

Le Tableau 7.2 présente le guide d'entretien semi-directif qui a servi de fil conducteur à la discussion. Le questionnaire est construit de manière à aborder plusieurs thématiques.

Pour amorcer la discussion, dans une première partie de l'entretien, le positionnement des sujets vis-à-vis de la technologie en contexte général, est discuté. Deux thématiques en particulier sont abordées : le rapport aux technologies et les avantages et inconvénients des types d'interactions proposés par la technologie.

Pour comprendre si le positionnement vis-à-vis de la technologie en contexte automobile, fait écho à celui observé en contexte général, dans une seconde partie de l'entretien, deux thématiques en particulier sont abordées : les choix et attentes en termes de technologies embarquées et les manières d'interagir avec les différentes IHM d'un cockpit automobile.

Dans une dernière partie de l'entretien, les groupes participent à un exercice de projection. Cet exercice consiste à élaborer le cahier des charges de l'expérience de conduite et du cockpit automobile de demain. L'objectif est de discuter des comportements d'interaction susceptibles d'évoluer et d'identifier les caractéristiques des cockpits automobiles susceptibles de satisfaire chaque groupe.

7.3 Collecte de données

Des entretiens de 1 h 30 sont menés en distanciel. Cela permet d'interroger des individus de différentes régions et zones d'habitation en France. Une retranscription des entretiens est faite ensuite, permettant de constituer un corpus de texte.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 7.2 – Guide d'entretien semi-directif des Focus Groups

Temps	Thématiques	Questions
I – En contexte général	Le rapport à la technologie	• Si vous deviez vous définir en tant qu'utilisateur d'objets technologiques, comment vous définiriez-vous ? • La technologie et les objets technologiques : quelle place ont-ils pris dans votre vie ? Qu'en pensez-vous ? Quels sont les avantages, les bénéfices et les inconvénients qu'on leur associe au quotidien ? • Selon vous, quels sont les domaines où la technologie présente aujourd'hui de nombreux bénéfices ? Et des domaines où vous la jugez moins utile ? • Si l'on parle des objets connectés plus particulièrement : vous les associez à quels usages ? Une vie sans ces objets technologiques, ni connexion, vous l'imaginez comment aujourd'hui ?
	Le rapport aux interactions homme-machine	• Comment interagissez-vous avec ces objets ? Les contrôlez-vous par la voix ? Par le toucher ? Les deux ? Expliquez-moi précisément. • Ce que vous faites par le toucher et ce que vous faites par la voix : pour quels usages, à quels moments et dans quelles circonstances ? • Ces pratiques ont-elles évolué au fil du temps ? Avez-vous changé vos usages en matière de contrôle par la voix / par le toucher ? • Comment arbitrez-vous ? Qu'est-ce qui fait que vous allez privilégier la voix ou le toucher ? • Commentez-moi tous les éléments de satisfaction et d'insatisfaction.
II – En contexte automobile	Le choix et les attentes en termes de technologies embarquées	• Comment avez-vous choisi votre voiture ? Sur la base de quels critères ? • La technologie, en termes d'équipements de conduite, de confort et de loisir, était-ce un critère important ? • Aujourd'hui, êtes-vous satisfait du niveau technologique que propose au global votre voiture ?
	Les types d'interactions engagés dans un cockpit automobile	• Quand vous êtes au volant, qu'est-ce que vous faites par la voix et qu'est-ce que vous faites par le toucher (écran tactile, molette) ? Quels sont les usages ? A quels moments et dans quelles circonstances ? • Quelles sont toutes les interactions qui sont simples, pratiques et qui se passent bien en voiture ? A l'inverse, quelles sont celles qui sont compliquées et non pratiques, voire qui détourne votre vigilance ? • Finalement, que pensez-vous de la pluralité des modes d'interactions en voiture (bénéfices, risques, manques) ?
III – Exercice projectif	Le cahier des charges de l'expérience de conduite de demain	• Imaginez-vous dans 2 ou 3 ans à bord de votre prochain véhicule où toutes les interactions sont facilitées et adaptées à vous. • Comment vous interagissez avec la voiture et comment elle interagit avec vous ? Qui en est à l'initiative ? elle ? vous ? Quel en est l'objectif ? Pour faire quoi ? Comment ça se passe ? Via quels modes (voix, toucher, geste, autre) ? Pourquoi ? A quels moments vous interagissez ? Quelles sont les interactions entre vos passagers et cette voiture ?
	Le cahier des charges du cockpit automobile de demain	• Le poste de conduite idéal, comment on s'y sent ? • Qu'est-ce qu'il promet en termes de conduite ? • Décrivez le plus précisément possible comment vous l'imaginez ? Comment s'organise le tableau de bord ? Comment les fonctions se commandent (voix ? toucher ?) ? La voiture gère-t-elle pour nous certaines commandes ? Si oui, lesquelles ? • Visuellement, à quoi il ressemble ce poste de conduite ? En termes de couleurs, matières, éclairages de l'habitacle ? A quoi ressemble le tableau de bord ? Quelles sont les commandes et les informations visibles ou invisibles ?

7.4 Méthodologie d'analyse

À partir des retranscriptions, il est possible de faire une analyse du corpus de texte par thématique. Les thématiques sont décrites au Tableau 7.2. À partir de leur discours, et pour chaque thème, l'objectif est de savoir si les positions vis-à-vis de la technologie diffèrent d'un groupe de techno-affinité à l'autre (opinions, habitudes, comportements, attentes, etc.).

La présentation des résultats va se faire par thématique, de la plus générale à la plus contextualisée. Ainsi, nous aborderons dans un premier temps les thématiques de la relation aux technologies, puis celles de la relation aux interactions homme-machine et enfin celles l'exercice projectif :

1. Le rapport à la technologie
2. Le choix et les attentes en termes de technologies embarquées
3. Le rapport aux interactions homme-machine
4. Les types d'interaction engagés dans un cockpit automobile
5. La projection dans l'expérience de conduite de demain
6. La projection dans un cockpit automobile idéal

Préalablement à cette analyse, une étape de lemmatisation est nécessaire. Cette étape consiste à réduire les différentes formes d'un mot donné, à leur forme canonique, appelé lemme. Les verbes sont ramenés à l'infinitif, les noms au singulier et les adjectifs au masculin singulier. À l'issue de cette étape, les lemmes sont codés de manière que les formes actives (adjectifs, noms, verbes, etc.) soient distinguées des formes illustratives (article défini, adjectifs possessifs, conjonction, etc.).

Ensuite, une analyse des spécificités, sur les formes actives, est menée par thématique (voir colonne 2 du Tableau 7.2). Avec cette analyse, il est possible de comparer les discours de chaque groupe de techno-affinité en identifiant les termes les plus souvent employés. Pour cela, un tableau lexical (ou tableau de contingence) est construit par thématique, croisant en ligne l'ensemble des formes actives identifiées dans le corpus de texte correspondant, et en colonne, les modalités du facteur, ici le groupe de techno-affinité.

Puis, la distribution de la fréquence des formes actives, pour chaque groupe de techno-affinité, est étudiée au moyen de la loi hypergéométrique. En pratique, la fréquence observée k de la forme active est comparée à sa fréquence théorique. La fréquence théorique est la fréquence observée pour l'hypothèse nulle, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de lien entre l'emploi

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

d'une forme active et le groupe de techno-affinité. Si la fréquence observée k de la forme active est supérieure à la fréquence théorique, la spécificité est dite positive. Inversement, si la fréquence observée k de la forme active est inférieure à la fréquence théorique, la spécificité est dite négative.

C'est le modèle de distribution hypergéométrique qui permet de calculer cet indice probabiliste de spécificité. Son signe et sa valeur sont interprétables de la façon suivante : un signe positif permet de conclure à un suremploi (spécificité positive) alors qu'un signe négatif permet de conclure à de la rareté (spécificité négative). La valeur de l'indice donne le dégrée de significativité. Une valeur de seuil supérieure à 2 (en valeur absolue) permet de conclure à un lien significatif à 1 % entre la forme active et le groupe de techno-affinité considéré (Lafon, 1980). Pour donner du sens au discours tenu par chacun des groupes de techno-affinité, les formes actives sur-employées (à spécificité positive) sont associés à leurs segments de texte caractéristiques.

La lemmatisation du corpus de texte et l'analyse des spécificités est menée à l'aide du logiciel IRaMuTeQ© (Ratinaud, 2014).

7.5 Résultats

Pour une meilleure lecture des résultats, le Tableau 7.3 propose un lexique des technologies (objets, applications, fonctionnalités) qui ont été mentionnées lors des entretiens.

TABLEAU 7.3 – Lexique des technologies abordées lors des entretiens semi-directifs

	LEXIQUE
Alexa	Alexa est le nom l'assistant personnel intelligent vocal développé par Amazon.
Caméra/Radar de recul	Système d'aide à la conduite pour simplifier les manœuvres de stationnement. Le radar de recul indique par des bips sonores des obstacles et la caméra donne un affichage de la position des obstacles directement sur l'écran multimédia de la voiture.
Carplay	Le CarPlay est un système développé par Apple qui permet d'utiliser la plupart des fonctions de son téléphone depuis la console centrale de la voiture grâce au Bluetooth. Cette technologie est présente sur la plupart des véhicules récents.
Mirroring	Fonctionnalité qui permet de visualiser le contenu d'un smartphone sur l'écran multi-média de la voiture.
Easy Park Assist	Système d'aide au stationnement qui après avoir détecté que la place de stationnement est suffisante, définit lui-même la trajectoire du véhicule, avant de prendre le contrôle de la direction du volant. Le conducteur, pendant ce temps, a le contrôle des pédales.
Régulateur de vitesse	Système d'aide à la conduite destiné à stabiliser automatiquement la vitesse des véhicules automobiles. Le conducteur fixe la vitesse à laquelle il veut rouler puis l'automatisme prend le relais et maintient la vitesse définie.
Régulateur de vitesse adaptatif	Le régulateur adaptatif de vitesse et de distance (ACC – Adaptive Cruise Control) est système d'aide à la conduite destiné à maintenir une vitesse constante et une distance de sécurité au véhicule qui précède. Il se compose d'un régulateur de vitesse et d'un dispositif de maintien de la distance.
Siri	Siri est le nom l'assistant personnel intelligent vocal développé Apple.

7.5.1 Rapport à la technologie

Les prochains paragraphes examinent le rapport spécifique qu'entretiennent les groupes de techno-affinité avec la technologie, en contexte général.

Groupe des Distants

Dans le groupe des Distants (Tableau 7.4), il n'y a que la forme active « essayer » qui est significativement sur-employée (indice de spécificité est > 2). Les autres formes actives, « passer », « informatique », « répondre », « gadget » et « soixantaine », bien que non significatives, caractérisent tout de même les sujets du groupe des Distants par leurs hauts indices de spécificité et leurs signes positifs. Les segments de texte caractéristiques permettent de mettre en contexte ces termes, facilitant leur interprétation. Par exemple, le terme « essayer » est employé dans la phrase « Je ne comprends pas tout, mais j'essaie ». Par le contexte autour de cette phrase, on comprend que les sujets du groupe des Distants sont caractérisés par le fait de ne pas maîtriser la technologie, et de demander de l'aide à ceux qui la maîtrisent autour d'eux. Il s'agit ici du mari de la concernée, qui possède lui des compétences informatiques.

Avec la même méthodologie d'analyse, il est possible de dire que les sujets du groupe des Distants ont conscience de ne pas maîtriser la technologie. Ils associent ce manque de maîtrise à leur âge (la soixantaine), ou à leur activité professionnelle (ils ne travaillent pas dans l'informatique). D'ailleurs le suremploi de la forme active « informatique » montre que la technologie est réduite à l'utilisation de l'ordinateur, du moins à ce niveau de la conversation. Pour autant, il n'y a pas de marqueur de rejet de la technologie : ils possèdent, ils essaient.

Il y a cependant dans le discours l'utilisation du terme « trop » qui montre que l'utilisation excessive des technologies par les autres est mal perçue (trop rapide, trop connecté, « on devient esclave »). Ils ont des usages plutôt sommaires de la technologie. Par exemple, ils utilisent l'application *Notes* de leur téléphone pour ne rien oublier. Par ailleurs, le suremploi de la forme active « gadget », et le discours associé, montre que la technologie est perçue comme utile, et apportant du confort et un gain de temps (robot de cuisine, application note, chauffage connecté), mais dont ils peuvent se passer dans le quotidien. À noter également que les mauvaises terminologies sont souvent employées par les sujets du groupe des Distants pour désigner certains équipements. Par exemple, ils peuvent employer le nom « Alexia » au lieu de « Alexa » pour désigner l'assistant vocal développé par Amazon. Cela démontre un manque de connaissances.

TABLEAU 7.4 – Spécificité lexicale - Profil Distant - Rapport aux technologies.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
ESSAYER	2,12*	-0,80	-0,33	-0,41	« Je compte beaucoup sur mon mari parce qu'il est dans l'informatique, donc je compte beaucoup sur lui pour qu'il m'explique. Je ne comprends pas tout mais j'essaie. »
PASSER	1,87	-1,13	0,18	-0,58	« Nos radiateurs sont connectés, c'est tout nouveau. C'était mon mari qui le souhaitait. Au final, je trouve que c'est un gadget, en plus ça coûte beaucoup plus cher mais, en même temps, j'y trouve son utilité : quand on part en vacances, on peut les régler 1 heure avant notre arrivée, c'est un confort mais c'est un luxe, on peut s'en passer. »
INFORMATI-QUE	1,69	-0,64	-0,26	-0,33	« Pas poussé comme quelqu'un qui en ferait son boulot, qui serait ingénieur en informatique. Moi, c'est vraiment ce que les particuliers ont. Tout ce qui est maisons connectées, ça m'intéresse mais je ne vais pas aller dans l'installation. »
REPONDRE	1,69	-0,64	-0,26	-0,33	« La montre connectée, j'en ai une aussi, je suis d'accord, on en devient esclave, parce que c'est tellement simple de regarder sa montre quand ça vibre, on n'a plus ce laps de temps où on peut se dire : « je répondrais plus tard », non. Ça sonne, on répond. »
GADGET	1,50	-0,40	-0,40	-0,49	« J'aime beaucoup les nouvelles technologies, même si c'est gadget, ça peut apporter un certain confort de vie, ça libère le cerveau de réfléchir mais ça peut permettre de gagner du temps ou d'éviter des oublis. Dans mon travail, avec mes collaborateurs, j'aime bien développer des petites technologies qui permettent, par exemple l'Application To-Do, ça permet d'avoir des petites listes et de ne rien oublier, quand on est nombreux. C'est très bien pour le confort de vie, j'aime bien. »
SOIXANT-AINE	1,27	-0,48	-0,20	-0,25	« La génération d'aujourd'hui, ils sont intégrés dans la technologie, toujours plus, toujours plus. Pour moi, ça devient difficile, quand on approche la soixantaine, on n'a pas la même façon d'assimiler que quand on a 20 ans. On assimile mais c'est plus long et on n'est pas au top de toutes les technologies parce qu'on a loupé des passages de technologie. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Basiques

Pour le groupe des Basiques (Tableau 7.5), il n'y a que la forme active « lumière » qui est significativement sur-employée. Ce terme est souvent employé dans le cadre d'exemples. En effet, l'exemple des lumières connectées est souvent utilisé par les sujets du groupe des

Basiques pour cadrer leur discours. D'autres exemples sont par ailleurs mentionnés : la connectivité, le réseau social Snapchat, l'intelligence artificielle, les techniques médicales, etc. Cela montre qu'ils sont conscients et familiers des technologies qui les entourent, même s'il n'y a pas forcément utilisation. Cela montre également qu'ils ne réduisent pas la technologie à l'informatique.

Le suremploi, même non significatif des formes actives « fascinants », « indispensable » (notamment pour le milieu médical) est caractéristique du fait que la technologie est perçue de manière positive. La technologie est qualifiée de « pratique » et de « gain de temps ». Néanmoins, ils pointent les côtés négatifs de la technologie avec des termes assez forts : « sombre », « inquiétant ». Le discours montre qu'ils sont parfois dépassés et qu'ils voudraient plus d'encadrement autour de certaines technologies : les réseaux sociaux et l'intelligence artificielle notamment.

TABLEAU 7.5 – Spécificité lexicale - Profil Basique - Rapport aux technologies.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
LUMIERE	-1,04	2,56*	-0,33	-0,41	- « La connectivité normalement, ça permet un gain de temps, ça nous aide dans la vie de tous les jours. - Non, moi ça ne m'amène rien du tout ! Je préfère appuyer sur mon interrupteur que de sortir mon smartphone pour allumer la lumière ! »
COTE	-1,24	1,91	0,22	-0,49	« Moi je suis pour mais il y a aussi des côtés sombres, notamment sur les réseaux sociaux, il faut s'en méfier. Je trouve que tout le monde a accès aux réseaux sociaux trop facilement et pour les jeunes générations, ça va aller de pire en pire dans le sens où les jeunes font tout et n'importe quoi sur les réseaux sociaux, il y a trop de libertés. »
EVOLUER	-0,62	1,54	-0,20	-0,25	« Ça a évolué un peu trop vite, parfois je suis dépassé par ce que mon fils m'apprend, en termes de technologies, j'ai l'impression d'avoir pris 30 ans en 10 ans. Il est expert en Snapchat et moi je n'y comprends rien, je suis à peine amateur en Facebook ! »
FASCINANT	-0,62	1,54	-0,20	-0,25	« C'est intéressant. C'est vrai qu'il y a un côté fascinant mais il y a aussi un côté très inquiétant de l'intelligence. Il faut rester maître des machines. Est-ce que les machines ne vont finir par prendre le devant. »
INDISPENSABLE	-0,29	1,05	-0,26	-0,33	« Il y a des technologies indispensables : je pense aux techniques médicales qui permettent maintenant des diagnostics qu'on ne savait pas faire avant. Ce sont des évolutions que nous ne maîtrisons pas et qui sont géniales. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Engagés

Pour le groupe des Engagés (Tableau 7.6), il y a trois formes actives caractéristiques « sécurité », « agréable », « dosage ». Les deux premières formes ont par ailleurs un indice de spécificité significatif. Au vu du discours associé, pour les sujets du groupe des Engagés la technologie est considérée comme agréable et fonctionnelle : elle apporte de la sécurité. Par les termes « dosage » et « juste milieu » les sujets du groupe des Engagés montrent qu'ils sont à la recherche d'un juste milieu, entre l'utile et le « superficiel », entre l'usage et la « dépendance ».

TABLEAU 7.6 – Spécificité lexicale - Profil Engage - Rapport aux technologies.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
SECURITE	-1,04	-0,80	4,28*	-0,41	« Je pense à la maison, les caméras de sécurité liées à internet et qui nous permettent de voir la maison de notre travail. Dans le milieu de l'automobile, on a des capteurs partout dans les automobiles, des caméras aussi. En termes de sécurité, dans l'automobile, quand t'as un véhicule doté de capteurs partout, la sécurité est partout et c'est vraiment génial. »
AGREABLE	-0,62	-0,48	2,56*	-0,25	« Il faudrait mettre la technologie dans plusieurs tiroirs, ça peut être la sécurité, etc. Parfois c'est des technologies superficielles. A chacun de trouver son juste milieu entre ce qui lui paraît utile et agréable ou superficiel, cher et qui ne sert à rien. »
DOSAGE	-0,41	-0,32	1,70	-0,16	« La technologie c'est bien mais il faut savoir trouver le bon dosage pour ne pas devenir dépendant. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Ultra-connectés

Pour le groupe des Ultra-connectés (Tableau 7.7), toutes les formes actives (excepté utilité), sont sur-employés de manière significative (main, batterie, travailler, curieux, habitude). Dans ce groupe, la technologie est vue comme un outil. Un outil qui implique une « prise en main » et une certaine « curiosité », souvent possible grâce au milieu professionnel des individus (« c'est mon quotidien de travailler sur des outils interconnectés »).

Le discours derrière la forme active « habitude » montre que les technologies sont facilement utilisables pour eux, car les usages deviennent rapidement des habitudes. Leur vision de la

technologie est par ailleurs positive : c'est « utile », « confortable » et ça « facilite la vie ». C'est pourquoi ils sont à la recherche du meilleur des technologies (en recherche constante d'améliorations, ils vont toujours vers les meilleures technologies).

Comme les sujets du groupe des Basiques, ils se disent aussi fascinés par l'univers des technologies, au travers, par exemple, de l'intelligence artificielle, mais à l'inverse ne font pas mention d'inquiétudes. Les points négatifs abordés concernent plutôt l'écologie. Par exemple, au travers de la forme active « batterie », ils montrent qu'ils ont conscience que l'utilisation de batterie au lithium est mauvaise pour l'environnement.

TABLEAU 7.7 – Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Rapport aux technologies.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
MAIN	-0,43	-0,80	-0,33	2,44*	« Au début, c'est impressionnant mais avec l'habitude, ça devient quelque chose de simpliste. Il y a un apprentissage, au début, pour la prise en main et après, ça devient une habitude. »
BATTERIE	-0,62	-0,48	-0,20	2,30*	« Oui, l'impact des batteries au lithium, ça pollue, c'est dur à recycler. »
CURIEUX	-0,62	-0,48	-0,20	2,30*	« Je suis un peu curieuse, presque par obligation, à cause de mon boulot parce que j'ai des clients qui sont très axés sur les nouvelles technologies et travaillant avec eux, on est amenés à les découvrir, il faut qu'on les connaisse. »
HABITUDE	-1,24	-0,96	0,69	2,02*	« Au départ, on est curieux et ensuite, les nouvelles technos rentrent dans nos habitudes et à force, on ne fait plus attention à toutes les technologies qui sont à portée de notre main, ça devient une habitude.
TRAVAILLER	-0,57	-0,40	-0,40	2,02*	Moi je suis fascinée par les nouvelles technologies : j'aime la robotique, m'intéresser à l'intelligence artificielle, voir comment ça fonctionne donc je m'y intéresse et c'est mon quotidien de travailler sur des outils interconnectés. »
UTILITE	-0,29	-0,64	-0,26	1,76	« Pendant le Covid ça m'a aidé à me divertir, à me sentir bien, à m'occuper et aussi à travailler. Ça me facilite la vie et c'est un confort. Je suis en constante recherche d'améliorations, d'aller toujours plus loin pour aller vers les meilleures technologies. C'est pas forcément le dernier objet à la mode parce qu'il faut qu'il y ait un sens et une utilité. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

7.5.2 Choix et attentes en termes de technologies embarquées

Les prochains paragraphes examinent les choix et les attentes en termes de technologies embarquées, en contexte automobile, pour chaque groupe de techno-affinité.

Groupe des Distants

Pour le groupe des Distants (Tableau 7.8), il n'y a que la forme active « option » qui a un indice de spécificité significatif. Le segment de texte caractéristique associé à ce terme, montre que l'automatisation des fonctions (essuie-glace, phare, fermeture automatique des portes, etc.) est perçue positivement. Toutefois, il s'agit de technologies dont ils peuvent se passer au quotidien, car ils ne voient pas d'inconvénients à le faire manuellement.

Par ailleurs, le suremploi de la forme active « confiance » montre qu'ils sont peu confiants envers les technologies qui prennent momentanément le contrôle du véhicule. Par exemple le régulateur de vitesse, qui prend le contrôle de la vitesse du véhicule, ou encore l'option *Easy Park Assist*, qui prend le contrôle de la direction du véhicule, sont rejetés par plusieurs d'entre eux. Ils n'ont pas confiance ou ont peur de ce type de technologie, car ils ne la maîtrisent pas.

Les technologies recherchées sont plutôt répandues : la climatisation automatique, la caméra de recul. Deux autres exemples de technologies ont été mentionnés lors du Focus Group mais ne font pas partie du tableau de résultats : « J'aimerais bien avoir une technologie qui limiterait le vol des véhicules », « Un appel d'urgence en cas d'accident. C'est une option qui permet en pleine campagne d'être localisé ».

Enfin, le discours montre que, souvent, un tiers individu, joue un rôle dans les choix effectués : « On voulait la climatisation pour les enfants », « Mon mari m'a encouragé (concernant la boite automatique) ».

TABLEAU 7.8 – Spécificité lexicale - Profil Distant - Choix et attentes en termes de technologies embarquées.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
OPTION	3,10*	-1,11	-0,76	-0,81	« Après, les essuie-glaces automatiques, c'est pas vraiment une option, on peut le faire manuellement, mais l'éclairage automatique, on n'y pense pas, on ne pense pas à allumer ses phares quand on passe dans un tunnel ou dans une zone sombre. »
PEUR	2,21*	-0,55	-0,81	-0,24	« J'ai le même principe sur le régulateur de vitesse : je l'ai sur la voiture mais j'ai peur de m'en servir. [...] Le régulateur, c'est bien si on est sur l'autoroute et qu'il n'y a personne devant mais on n'a plus le pied sur la pédale et on ne sait plus s'il faut accélérer ou freiner. […] Ça fait peur. Du coup je ne l'utilise pas, même sur l'autoroute. »
HABITUDE	1,59	-0,66	-0,40	-0,28	« Je pense qu'on peut se passer de beaucoup de choses. Ce sont des habitudes. L'éclairage, c'est très pratique de n'avoir pas à se soucier, ça s'éteint, ça s'allume, tout ça c'est du confort ! […] La voiture qui se ferme quand je pars, c'est pratique mais on peut s'en passer, mais ce sont des habitudes qu'on a prises. Et quand on ne les a plus, il faut un laps de temps pour revenir mais c'est faisable. […] La voiture a beaucoup d'options, c'est une chance mais, personnellement, j'aurais pu m'en passer. »
CLIMATISATION	1,59	-0,66	-0,40	-0,28	« On voulait la climatisation pour les enfants, j'aurais préféré une climatisation automatique mais ce n'est pas possible dans ce type de véhicule. »
CONFIANCE	1,32	-0,33	-0,48	-0,14	« EASY PARKING : le truc qui gare la voiture toute seule. On l'a mais jamais je ne l'utiliserais ! Ça me fait trop peur ! On ne maîtrise rien, si elle abîme la voiture de devant ou de derrière […]. Je n'ai jamais essayé, parce que je n'ai pas confiance. »
MARI	1,32	-0,33	-0,48	-0,14	« On voulait une automatique. C'était, comme je fais beaucoup de ville, c'était plus facile. Je ne connaissais pas, mon mari m'a encouragée et je m'y suis faite tout de suite. »
CAMERA	0,96	-0,52	-0,21	-0,47	« Oui, j'ai les radars de recul et j'ai la caméra arrière. J'avais l'habitude d'avoir ce genre d'équipement sur mes anciennes voitures et je les utilisais déjà beaucoup. Là, en changeant de gabarit, c'était indispensable »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Basiques

Pour le groupe des Basiques (Tableau 7.9), il y a un suremploi de la forme active « basique ». D'après le segment de texte caractéristique associé, ils ont peu d'exigence en matière d'équi-

pement technologique : « Je partais d'une voiture tellement basique que je n'avais pas de souhait particulier ».

Le suremploi des termes « gadget » et « confort », montrent que même si l'automatisation des fonctionnalités (allumage automatique des feux, la détection de pluie, etc.) est perçue comme non essentielle à la conduite, cela leur apporte du confort. L'usage n'est toutefois pas systématique dans le groupe (« gadgets dont je ne me sers pas »).

Le suremploi de la forme active « CD » montre que les anciennes technologies, même dépassées, comme le lecteur CD, ou le port USB sont encore utilisées, en l'occurrence ici pour écouter de la musique. Quoi qu'il en soit, il n'y a pas de signe évident de peur ou de rejet. La tablette tactile reste d'ailleurs un prérequis, même s'ils ne veulent pas d'une console trop chargée ou trop futuriste.

TABLEAU 7.9 – Spécificité lexicale - Profil Basique - Choix et attentes en termes de technologies embarquées.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
GADGET	-1,37	3,16*	-0,51	-0,33	« J'avais un véhicule sans beaucoup de gadgets, je n'ai jamais eu d'accidents sans Bip de recul ni essuie-glaces automatiques donc je n'avais pas d'exigences technologies. Là, il y a des choses amusantes et des choses qui sont gadgets dont je ne me sers pas comme, par exemple, la détection de la pluie. »
CONSOLE	-0,58	2,24*	-0,69	-0,07	« Je ne voulais pas que ce soit trop futuriste, parce que ça prend beaucoup de place. Quand j'ai vu les différentes maquettes où il y avait des consoles qui prenaient tout le devant, j'avais l'impression d'être dans un avion de chasse, je ne savais pas sur quel bouton appuyer. »
CD	-0,59	1,95	-0,48	-0,14	- « J'aurais voulu avoir le CD sur l'autoradio et ça n'existe plus ! » - « Clé USB, sur la CLIO 4, du coup plus besoin de CD »
BASIQUE	-0,78	1,43	-0,20	-0,19	« Moi je n'avais pas d'écran et j'en voulais un. C'était mon seul prérequis, d'avoir la tablette, le petit écran. Je partais d'une voiture tellement basique que je n'avais pas de souhait particulier, en termes de design, d'ergonomie. La mienne est assez simple, je n'avais pas d'autres souhaits. »
CONFORT	0,61	1,19	-1,19	-0,81	« Le confort, j'ai eu des voitures où je n'avais même pas les vitres automatiques. Là, l'allumage automatique des feux le soir, le limitateur de vitesse, le régulateur de vitesse, j'ai eu une vieille ESPACE avant, rien à voir. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Engagés

Pour le groupe des Engagés (Tableau 7.10), les formes actives « connecter », « appel », « volant », « reconnaissance », bien qu'ayant un indice de spécificité non significatif, montre l'étendue de leur capacité en conduisant (passer des appels, utiliser les commandes aux volants, suivre un GPS). Ils perçoivent certaines technologies embarquées comme utiles. Par exemple, le régulateur adaptatif est perçu comme utile pour la sécurité. La connectivité (appels en conduisant, le GPS en *mirroring* et l'intelligence des fonctionnalités (détection automatique des clés de voiture, boite de vitesse automatique, reconnaissance vocale) sont perçues comme utile pour le confort.

TABLEAU 7.10 – Spécificité lexicale - Profil Engagé - Choix et attentes en termes de technologies embarquées.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
CONNEC-TER	-0,82	-0,89	1,88	0,24	« Après, j'aimerais avoir un écran, pouvoir mettre mon GPS pour ne plus regarder mon téléphone. Mon compagnon a une voiture ultra connectée et ça me fait le contraste, à chaque fois. Après, je me dis que pour aller travailler, ça ne sert à rien qu'elle soit hyper connectée parce que le w-e, je ne m'en sers pas. »
SECURIS-ANT	-0,59	-0,33	1,53	-0,14	« Moi ce que j'aime particulièrement, c'est le régulateur adaptatif : tu mets ton régulateur, la lecture panneau, il se met directement à la bonne vitesse. Si t'es à 80 et que tu passes sur une zone à 70 il se met à 70 tout seul. Si t'arrives au cul d'un véhicule, il ralentit tout seul. [...] Oui, ça c'est super sécurisant. »
APPEL	-0,30	-0,78	1,48	-0,33	« Ce que j'apprécie, par rapport à mon précédant véhicule, c'est surtout le Bluetooth, pouvoir téléphoner ou recevoir des appels sans avoir à trifouiller le téléphone. C'est du confort et c'est de la sécurité. »
CLE	-0,98	-0,16	1,46	-0,24	« J'aime bien le côté : on n'a plus à chercher les clés. Les clés sont dans mon sac et je n'ai qu'à appuyer sur la portière pour ouvrir et fermer. Elle détecte les clés. »
BOITE	-0,32	-0,52	1,26	-0,47	« J'ai tout ce qu'il me faut dans ma voiture, sauf la boîte automatique. »
VOLANT	-1,57	0,59	1,18	-0,38	« Moi c'est les commandes sur le volant, ça fait comme des flèches, pour se diriger sur le tableau de bord : consommation, vitesse, etc. Et le limitateur de vitesse, c'est sur le volant, il n'y a qu'à bouger le pouce, c'est super. »
RECONN-AISSANCE	-0,39	-0,22	1,02	-0,09	« J'appuie sur le bouton pour activer la reconnaissance vocale et je lui dis « active les sièges chauffant », « j'ai froid, augmente la température », « mets telle radio, telle chanson avec telle Appli », c'est comme une enceinte connectée. […] c'est vraiment très bien. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Ultra-connectés

Pour le groupe des Ultra-connectés (Tableau 7.11), trois formes actives sont sur-employées : « intérieur », « téléphone », « pratique ». Le discours associé à ces termes montre qu'ils sont sensibles aux intérieurs des habitacles, la technologie pouvant jouer un rôle décisif dans l'achat d'un véhicule : « j'ai été attirée et j'ai voulu prendre celle-là ». En conduite, les technologies sont perçues comme des outils. Dans la discussion, ils ont essentiellement fait mention de l'importance de la connectivité, via l'exemple du *mirroring*.

TABLEAU 7.11 – Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Choix et attentes en termes de technologies embarquées.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
INTERIEUR	-1,37	0,72	-1,13	2,54*	« Ils ont sorti la nouvelle JT, le design extérieur et intérieur m'a plu et là j'ai vu un changement radical, en technologies. Le changement de design intérieur et extérieur et en technologie, ça va très vite. Du coup, j'ai été attirée et j'ai voulu prendre celle-là. »
TELEPHONE	-0,61	-1,45	0,42	2,16*	« Le téléphone avec la voiture intégrée. On a le téléphone qui est vraiment intégré à la voiture, le côté pratique d'avoir les Appli de base sur la voiture, les SMS qui peuvent être lus par la voiture, Waze, tout est à portée de main qui passe du téléphone à l'écran. C'est le côté vraiment pratique »
PRATIQUE	-0,21	-0,66	-0,40	1,78	« C'est pratique d'avoir des Application, le téléguidage, tout est connecté, on branche son téléphone et on a toutes les Appli qui apparaissent. C'est en Bluetooth, oui. Pas de câble. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

7.5.3 Rapport aux interactions homme-machine

Les prochains paragraphes examinent le rapport spécifique qu'entretiennent les groupes de techno-affinité avec les interactions homme-machine, en contexte général. Nous avons séparé l'analyse relative aux interactions mécaniques (que ce soit avec des boutons ou un écran tactile) de l'analyse relative aux interactions vocales.

Interactions mécaniques - Les verbatims autour de l'interaction mécanique ne sont pas très nombreux. L'analyse de spécificité lexicale n'a donc pas d'intérêt ici. Pour rendre compte de ce qui est apprécié dans l'interaction mécanique, le Tableau 7.12 référence les segments de textes associés à cette thématique, pour chaque groupe de techno-affinité.

Parmi les avantages cités, il y a la maîtrise des interactions. Pour les sujets du groupe des Distants, la maîtrise des interactions mécaniques est associée à la facilité de visualisation des informations et à la réduction des erreurs. Pour les sujets du groupe des Basiques, la maîtrise des interactions mécaniques est associée aux habitudes d'usages.

Parmi les avantages cités, il y a également la réduction d'erreur par les sujets du groupe des Engagés. Ils associent la réduction des erreurs au fait que la charge mentale est minimisée avec les interactions mécaniques (moins d'agacement et de fatigue). Enfin, la précision des interactions mécaniques, ainsi que le plaisir tactile et sonore associé, sont cités comme avantages par les sujets du groupe des Ultra-connectés.

TABLEAU 7.12 – Verbatims associés aux interactions mécaniques.

	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
DISTANT	- « La maîtrise. Une impression de maîtrise. » - « On visualise davantage ce qu'on fait. » - « On limite les erreurs. »
BASIQUE	- « C'est une habitude. » - « Quand on écrit, on a la maîtrise de son clavier et de son orthographe alors que quand on parle, on parle sans maîtriser son orthographe. »
ENGAGE	- « Il y a moins d'erreurs, au toucher. Quand j'utilise la voix, ça ne comprend pas tout ce que je dis et il faut répéter 5 fois avant d'obtenir ce que je veux. Du coup je vais aussi vite avec le toucher, ça m'agace ! » - « Je ne suis pas trop demandeur de commande par la voix, ça ne me fatigue pas d'appuyer sur un bouton. »
ULTRA-CONNECTES	- « Oui, je pense que je suis sensible au toucher. Avec les IPhones, ils ont retiré le bouton principal, c'est quelque chose que j'aime. Avoir un smartphone sans ce bouton, ça fait bizarre parce que c'est du full tactile, on n'a plus cette sensation d'appuyer et ça me manque. » - « C'est précis. » - « Quand je tape un SMS, j'adore le petit bruit de quand on clique : le bruit de la touche, je trouve ça rigolo, il y a un petit plaisir à entendre ce bruit. »

Interactions vocales - L'analyse du positionnement des sujets face aux interactions vocales est présentée ci-après.

Groupe des Distants

Pour le groupe des Distants (Tableau 7.13), les formes actives présentées dans les résultats n'ont pas un indice de spécificité significatif. Toutefois, ils permettent de caractériser les distants dans leur positionnement vis-à-vis des interactions vocales. Par exemple, la forme active « Dicter » donne des précisions sur le type d'utilisation qu'ils peuvent avoir de la commande vocale. Ils dictent principalement, mais l'usage de l'interaction vocale reste limité, car ils utilisent les commandes mécaniques pour envoyer le message dicté.

Excepté cet usage, les commandes vocales ne sont pas utilisées. Plusieurs raisons sont avancées via les formes actives « penser », « seul », « bête », « limité ». De manière générale, ils ne pensent pas à utiliser la commande vocale, ou n'osent pas le faire s'ils ne sont pas seuls, de peur de se sentir « bête ». De plus, les sujets du groupe des Distants pensent que ce type d'interaction est limité, alors que l'exemple donné, celui de « lancer la musique d'une Playlist, on ne peut pas », est en réalité possible.

TABLEAU 7.13 – Spécificité lexicale - Profil Distant - Rapport aux interactions vocales.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
PENSER	1,49	-0,99	-0,56	0,28	« Je n'ai pas les commandes vocales dans la voiture mais je n'utilise jamais les commandes vocales sur le téléphone. Je ne sais pas pourquoi, je n'y pense jamais. »
DICTER	1,45	-0,30	-0,43	-0,63	« J'avais tendance à écrire mes textos en voiture. Le fait de pouvoir les dicter et d'avoir juste à appuyer sur « répondre et envoyer », c'était sécurisant et donc j'ai pris cette habitude. »
SEUL	1,02	-0,27	-0,25	-0,36	- « Le regard des autres. » - « C'est vrai : dès qu'on parle tout seul à sa voiture ! » - « C'est exactement ça. Ou « Alexa, donne-moi cette musique, j'ai beaucoup de mal à le faire en société alors que c'est très simple de le faire soi-même en tactile. Quand je suis seule, je ne le fais pas non plus, non ! »
BETE	1,00	-0,40	-0,12	-0,18	« Je ne sais pas, je me sens bête à parler à ma voiture : « s'il te plaît, appelle... », je n'y arrive pas. Par contre, dicter quelque chose, ça passe. »
LIMITER	1,00	-0,40	-0,12	-0,18	« C'est un peu limité, on ne peut pas demander tout et n'importe quoi : lancer la musique d'une Playlist, on ne peut pas. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

TABLEAU 7.14 – Spécificité lexicale - Profil Basique - Rapport aux interactions vocales.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
SMS	-0,83	2,20*	-0,31	-0,45	« Il y a des Appli où on peut parler et ça rédige des mails. C'est bien, ça. La fonction Dictaphone pour les SMS, je le fais, ça. »
SIRI	-0,50	1,32	-0,18	-0,27	« En voiture, je préfère utiliser le vocal parce que je préfère être attentif sur la route mais à la maison sur mon canapé, autant que j'aille consulter la météo moi-même plutôt que de demander à Siri. »
MOMENT	-0,50	1,32	-0,18	-0,27	« Il y a des endroits qui sont plus aptes à utiliser le vocal. Dans une salle d'attente, je ne vais pas faire du vocal. Il y a des moments où il faut savoir choisir le vocal. Je me vois mal en réunion faire un SMS vocal, quand il y a du monde autour de moi. »
PREFERER	-0,31	1,21	-0,31	-0,45	« Au niveau des inconvénients, on est moins sur l'orthographe, on parle mais ça ne nous aide pas, au niveau orthographe. Par contre, c'est vraiment un gain de temps, quand on est occupé, qu'on fait plusieurs choses en même temps. Quand on a un message long, je préfère dicter un message plutôt que d'écrire. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Basiques

Pour le groupe des Basiques (Tableau 7.14), il n'y a que la forme active « SMS » qui a un indice de spécificité significatif. L'usage reste donc basique : ils utilisent les commandes vocales pour envoyer des SMS. Les formes actives « moment » et « préférer » apportent des précisions sur leur rapport aux interactions vocales. Les basiques utilisent les commandes vocales, mais de manière limitée : ni tout le temps, ni partout. Ils l'utilisent, quand le moment s'y prête (en voiture par exemple), pour gagner du temps, être attentif en conduite et pour pouvoir faire plusieurs choses en même temps.

Groupe des Engagés

Pour le groupe des Engagés (Tableau 7.15), il n'y a pas de consensus concernant l'utilisation des interactions vocales. Cela se répercute sur les résultats : il n'y a que deux formes actives caractéristiques intéressantes « changer » et « GPS ». Grâce au discours associé, deux conclusions peuvent être tirées pour ce groupe : l'interaction vocale doit être utile (elle sert souvent à modifier un paramètre en conduisant pour une interaction plus sécurisée) et l'utilisation va au-delà de la fonction SMS. L'interaction vocale peut servir à paramétrer le GPS notamment.

TABLEAU 7.15 – Spécificité lexicale - Profil Engagé - Rapport aux interactions vocales.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
CHANGER	-0,83	0,22	1,74	-0,45	« En conduisant, c'est beaucoup moins dangereux : on doit faire attention à la route, à ce qui se passe autour. Pouvoir passer un appel, demander de passer un appel, d'envoyer un message ou de changer de musique, en parlant on n'a pas besoin de regarder son téléphone ou son écran tactile, au niveau sécurité c'est beaucoup mieux. »
GPS	0,54	-1,19	1,48	-0,54	« Je m'en sers pour le GPS, pour mon répertoire, pour téléphoner. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Ultra-connectés

Pour le groupe des Ultra-connectés (Tableau 7.16), trois formes actives ont des indices de spécificités significatifs. Parmi elles, les termes « temps » et « tâche », montrent que l'interaction vocale est associée à un gain de productivité (être multitâche, gagner du temps). Le suremploi de la forme active « main » montre, par ailleurs, que la dématérialisation de l'interaction est perçue comme avantageuse. La dématérialisation est par exemple utile lorsqu'il n'est pas possible de toucher l'objet. Enfin, le suremploi de la forme active « développer » montre que les sujets du groupe des Ultra-connectés sont déjà à l'affût des évolutions en termes de style d'interaction. Ils font par exemple mention de la réalité virtuelle et de l'interaction gestuelle, qui sont d'autres formes d'interaction dématérialisées.

TABLEAU 7.16 – Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Rapport aux interactions vocales.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
TEMPS	-1,50	-0,24	-0,56	2,71*	« J'utilise énormément l'assistance vocale, tout le temps. Je ne me rends même plus compte que je le fais, parce que je fais plein de choses en même temps »
TACHE	-0,50	-0,59	-0,18	2,20*	Moi je veux utiliser mon temps, je suis plus multi-taches, moi tout ce qui est vocal, c'est un gain de temps, c'est pour l'efficacité
DEVELO-PPER	-0,50	-0,59	-0,18	2,20*	- « D'ici peu, dans un avenir proche, ça va se développer [interaction par la pensée]. » - « Ça existe déjà Je pense aux voitures, pour les BM, on peut activer la Clim' à distance, augmenter le son, sans toucher [avec des gestes]. »
MAIN	-0,66	-0,27	-0,25	1,66	« Moi j'ai trouvé que c'était un super allié, pendant le Covid où, même hors Covid, on n'a pas toujours les mains propres et du coup, l'assistant vocal permet aussi de ne pas toucher quoique ce soit et puis j'aime bien avoir une distance avec l'objet »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

7.5.4 Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile

Les prochains paragraphes examinent les types d'interactions qui sont engagés dans un cockpit automobile pour chaque groupe de techno-affinité.

Groupe des Distants

Pour le groupe des Distants (Tableau 7.17), les formes actives « volant » et « petit » ont un indice de spécificité significatif. Cela montre que les commandes au volant et l'écran derrière le volant (tableau de bord) sont utilisés pour interagir avec les IHM, que ce soit pour donner ou pour recevoir de l'information. Excepté pour passer ou recevoir des appels, ils engagent très peu d'interaction en contexte automobile.

L'emploi des formes actives « simple » et « éviter », montrent qu'ils évitent de manipuler les IHM en conduisant pour ne pas être déconcentré. Dans le cas où la manipulation de commandes est nécessaire, ils choisissent l'IHM en fonction de la simplicité perçue. La simplicité semble être liée à l'architecture de l'information (« je préfère appuyer sur mon écran où c'est bien indiqué, plutôt que d'avoir accès au menu déroulant avec le bouton sur le volant ») et à l'affordance des commandes (« parce que c'est simple : c'est rouge ou vert, pour le téléphone »).

À noter que la forme active « voix » a un indice de spécificité négatif et significatif. Cela montre que le terme est significativement sous-employé. Un des sujets a effectivement verbalisé la phrase suivante : « Je ne savais même pas que je pouvais le faire (changer la musique par la voix) ». Les distants semblent donc manquer de connaissances sur les possibilités de l'interaction vocale.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 7.17 – Spécificité lexicale - Profil Distant - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
VOLANT	4,29*	-0,54	-0,92	-1,75	« J'utilise les commandes, parce que c'est simple : c'est rouge ou vert, pour le téléphone. Donc j'utilise les commandes du volant, pour téléphoner mais pour changer la radio ou autre, j'utilise l'écran. »
PETIT	2,49*	-0,58	-0,27	-0,71	« Moi, les commandes au volant me permettent de gérer, si je veux passer des appels ou en recevoir. Là, je ne peux utiliser que les commandes du volant et j'ai le petit écran derrière le volant qui me permet de voir ce que je fais. »
SIMPLE	1,88	-0,72	-0,34	-0,34	« Au niveau gestuel, ce n'est pas plus simple, ça demande un effort mais au niveau précision, pour faire ce que je veux faire, c'est plus simple. Par exemple, changer une radio, je préfère appuyer sur mon écran où c'est bien indiqué, plutôt que d'avoir accès au menu déroulant avec le bouton sur le volant. »
EVITER	1,87	-0,43	-0,20	-0,53	« Je pense qu'il faut être concentré sur notre conduite et éviter de toucher à tous ces appareils qui nous déconcentrent de la route. Le Bluetooth c'est bien parce que quand on reçoit un appel, on n'a qu'à appuyer et on est en connexion sans avoir le téléphone dans la main mais la radio, j'évite d'y toucher »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Basiques

Pour le groupe des Basiques (Tableau 7.18), les formes actives « tablette » et « téléphone » ont un indice de spécificité positif et significatif. Cela montre que l'interaction tactile est privilégiée en conduite, que ce soit via l'écran tactile ou le téléphone.

Pour les basiques, les pratiques sont différentes d'un individu à l'autre. Ils s'adaptent à ce qu'ils ont et à ce qu'ils savent faire (« Moi je n'ai pas trop de nouvelles technologies dans la voiture [...] Si j'ai besoin de téléphoner, je vais utiliser l'écran »).

Les formes actives « regard » et « sécurité », caractéristiques de leur discours, montrent que l'interaction, quelle qu'elle soit, est perçue comme en contradiction avec la sécurité. Ils ont une préférence pour les IHM qui permettent de ne pas dévier le regard de la route. Ainsi, la position des IHM est importante : un écran trop bas n'est pas apprécié alors que des commandes au volant, qui permettent de changer rapidement de radio, sont les bienvenues.

TABLEAU 7.18 – Spécificité lexicale - Profil Basique - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
TABLETTE	-0,48	2,21*	-0,27	-0,71	« J'ai bien conscience que d'avoir un œil sur la tablette, je ne l'ai pas sur la route.
TELEPHONE	0,71	2,14*	-0,21	-4,08	- « Moi je n'ai pas trop de nouvelles technologies dans la voiture, du coup je fais tout avec mon téléphone : je m'en sers de GPS, pour répondre aux appels, aux messages, mettre la musique. - « Comme je n'utilise pas le vocal, ça nécessite d'être déconcentrée si je veux aller chercher la personne que je veux appeler. Si j'ai besoin de téléphoner, je vais utiliser l'écran. »
REGARD	-0,18	1,62	-0,34	-0,89	« L'écran est trop bas, par rapport au regard, trop loin de la route »
RADIO	0,36	1,44	0,51	-2,68*	« La Radio, là où c'est pratique et c'est en faveur de la sécurité, c'est la mollette : pouvoir switcher la radio sans dévier le regard. »
SECURITE	-0,95	1,35	-0,54	0,27	« Du moment que notre attention est sur du vocal ou de la tablette, au niveau sécurité, il y a un certain risque. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Engagés

Pour le groupe des Engagés (Tableau 7.19), les formes actives « voix » et « penser », « marcher », « détecteur » ont des indices de spécificité intéressants. Cela montre que l'interaction vocale est a minima envisagée, au mieux utilisée par les sujets de ce groupe. C'est souvent le mauvais fonctionnement de la commande vocale ou de la fonctionnalité proactive, qui les pousse à revenir à un style d'interaction mécanique : « Si ça marchait mieux, je pense que je m'en servirais plus ».

TABLEAU 7.19 – Spécificité lexicale - Profil Engagé - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
VOIX	-0,31	-1,59	2,71*	-0,33	« Il y a encore beaucoup de choses tactiles, par la voix, ça ne fonctionne pas toujours bien, selon la radio que je veux mettre, il ne comprend pas. Donc, c'est tactile par défaut, sinon je le gérerais par la voix, comme la navigation et le téléphone. »
PENSER	-0,20	-1,30	2,36*	-0,43	« Je pense que oui. Si ça marchait mieux, je pense que je m'en servirais plus. »
MARCHER	-0,95	-1,16	1,75	0,58	« La détection des essuie-glaces ne marchait pas bien, ça ne se détecte pas assez vite, il valait mieux gérer manuellement. »
DETECT-EUR	-0,36	0,20	1,26	-0,53	« Ma voiture, c'est l'allumage automatique des feux. Je le laisse tout le temps, c'est pratique au quotidien mais parfois le détecteur ne voit pas qu'il fait sombre et du coup il ne s'allume pas, du coup je dois le mettre moi-même. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Ultra-connectés

Pour le groupe des Ultra-connectés (Tableau 7.20), la forme caractéristique « bouton » a un indice de spécificité significatif. D'après les segments de texte caractéristique associés, les boutons sont aussi importants que les écrans numériques en conduite, notamment pour la précision des manipulations.

Le suremploi des formes actives « dangereux » et « technologie » montre que les ultra-connectés sont conscients des dangers à manipuler des IHM en conduisant. Pour autant ils apprécient les bénéfices associés. Par exemple, l'interaction vocale leur parait sécuritaire parce que l'interaction n'implique pas un détournement du regard. Cependant, ils vont adapter leur mode d'interaction en fonction de la situation. Par exemple, sur autoroute, ils vont moins avoir tendance à manipuler. Le discours autour des formes actives « vocal » et « fonctionnement » montre que finalement, les IHM sont perçues comme acceptables, à partir du moment où elles sont performantes. Leur discours montre d'ailleurs qu'ils ont conscience de ce qui est performant ou non et de ce qui est disponible actuellement sur le marché.

TABLEAU 7.20 – Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
BOUTON	-0,47	-2,62*	-1,22	4,78*	« Moi je suis plus partisan des tableaux de bord où il y a un peu de boutons avec l'écran, j'aime bien avoir un minimum de boutons pour maîtriser le son. »
GPS	-0,34	-1,95	-0,36	2,44*	« ça peut l'être (stress en conduite) mais ça peut aussi faciliter. Une commande vocale GPS, ce serait idéal, ce serait même plus sécuritaire. »
TABLEAU	-0,48	-0,58	-0,27	1,90	« Je trouve qu'il ne faut pas trop d'écrans non plus. Moi j'ai un écran 3D sur le tableau de bord, le GPS est tourné vers moi. 2 écrans, ça suffit. Les boutons, sur le volant, si c'est accessible, pour le volume. »
VOCAL	-2,16*	-0,22	-0,29	1,84	- « Le GPS, quand on lui demande une adresse, il peut sortir plein d'adresses différentes. C'est compliqué, avec la voix. […] par exemple, Mercedes, c'est un système vocal très développé qui comprend tout. Mais sur la CLIO ou sur les appareils de la maison, ça ne fonctionne pas très bien. Ça dépend du serveur vocal »
DANGEREUX	-0,48	-0,58	-0,27	1,90	« Dans tous les cas, je défends la commande vocale parce que dès qu'on enlève une main du volant, ça reste plus dangereux que de parler à un truc. »
AUTOROUTE	-0,36	-0,43	-0,20	1,43	« Et que je dois changer de mode, je dois plier mon bras pour changer de bouton. Je ne sais pas pourquoi ils ne l'ont pas mis à côté du volant ou sur le côté. Si je dois rentrer sur l'autoroute, il faut que je me dépêche de mettre le mode sport, sinon je vais être distraite »
TECHNOLOGIE	-0,60	-0,25	-0,34	1,34	« Ça améliore mais on prend aussi des risques, sur certaines technologies »
FONCTIONNER	-0,83	-1,01	0,58	1,34	« C'est un problème de performance parce que si le système tactile fonctionne très bien, il n'y a pas de problème, moi je serais plutôt tactile que vocal. Si c'est une BMW avec le Vocal qui fonctionne très bien, ça me va aussi. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

‘

7.5.5 Projection dans l’expérience de conduite de demain

Les prochains paragraphes examinent les résultats issus de la projection des différents groupes de techno-affinité dans l’expérience de conduite de demain.

Groupe des Distants

Pour le groupe des Distants (Tableau 7.21), les formes actives « appeler », « penser », et « phares », ont des indices de spécificité significatifs. Cela montre que les sujets du groupe des Distants se projettent dans l’automatisation des fonctionnalités (phares, essuie-glaces) et dans l’interaction vocale, mais uniquement pour les appels. D’après les segments de textes caractéristiques associés, ces fonctionnalités ont du potentiel pour apporter du confort et de la sécurité. En effet, ces fonctionnalités permettent aux sujets du groupe des Distants de garder leur attention sur la conduite. La forme active « quitte » montre d’ailleurs que si la technologie devait se développer, elle devait être utile pour la sécurité (détection de sorties de route, d’obstacles).

En termes d’interactions, les formes caractéristiques « téléphone », « bouton » et « détourner » montrent qu’ils se projettent avec des commandes simples, à l’image de ce que proposent les téléphones aujourd’hui (des commandes qu’ils maîtrisent déjà). D’après leurs discours, la simplicité passe par la réduction du nombre de boutons physiques. Les commandes doivent être synthétiques et facilement mémorisables, à l’image des boutons tactiles colorés du CarPlay par exemple, car la visualisation des informations est importante pour eux. Enfin, les formes actives « regarder » et « route » montrent qu’ils se projettent avec des IHM qui n’impliquent pas de quitter les yeux de la route. Les écrans sont acceptés, mais ils ne doivent pas être distrayants. Les écrans doivent alors être bien positionnés et présenter des commandes simples.

TABLEAU 7.21 – Spécificité lexicale - Profil Distant - Projection dans l'expérience de conduite de demain.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
TELEPH-ONE	3,93*	0,26	-1,69	-1,60	« On est tous un peu pareils, on connaît bien notre téléphone et c'est les mêmes fonctions que celles qui sont sur notre téléphone. Si on pouvait avoir la même chose pour régler la clim' ou allumer les feux, ce serait plus facile. »
BOUTON	2,69*	-0,83	0,44	-2,09	« Ce serait comme aujourd'hui, avec moins de boutons et plus de, comme le CarPlay, un affichage beaucoup plus synthétique : dans le CarPlay, vous avez des carrés « appels », « messages », quelque chose de plus intuitif et pas un bouton qui s'imbrique dans votre tableau de bord, noir comme votre tableau de bord. »
APPELER	2,55*	-0,33	-0,42	-0,83	[A propos du vocal] « ça évite d'écrire des SMS ou d'appeler au volant, c'est plus pratique, plus rapide. Ça libère les mains, on peut continuer à faire autre chose. »
PENSER	2,50*	-0,51	-0,35	-1,13	« Tout ce qui est « essuie-glaces, feux qui s'allument automatiquement, c'est du confort, on a moins à penser et on est plus sur notre route. On n'est pas en train de chercher la commande pour allumer les phares ou les essuie-glaces. Ça peut paraître du gadget mais pour moi c'est un confort. »
PHARE	2,55*	-0,33	-0,42	-0,83	« J'ai vu une voiture, récemment, une voiture très connectée et dès qu'il y a un virage trop pointu, les phares du côté du virage sont plus importants. Ce genre de chose, pour renforcer la sécurité, c'est pas mal. »
REGARD-ER	2,55*	-0,33	-0,42	-0,83	« Ce qui me gêne, dans les écrans, pour le GPS, la navigation, parfois je le mets en route avant de partir donc normalement je suis tranquille mais parfois il bug, il ne m'indique pas le bon chemin donc j'ai tendance à le regarder, il n'est pas en face de moi, il est un peu en décalé et je me rends compte que ça pourrait être dangereux, malgré qu'il soit très grand. »
DETOUR-NER	1,91	-0,25	-0,31	-0,63	« Ce système, j'imagine quelque chose en couleur, c'est ça qui serait intéressant : on mémorise une couleur, plus que des symboles. Je pense que ma voiture le fait mais je ne l'ai jamais utilisé. Ça pourrait être intéressant parce que je cherche quelque chose de simplifié pour que visuellement, on n'ait pas à détourner le regard quand on conduit »
QUITTE	1,91	-0,25	-0,31	-0,63	« Quitte à avoir des appareils connectés, je préférerais que ce soit plus que pour le confort, pour la sécurité. Palier l'imprévisible plutôt que le prévisible : autant les feux, je suis capable de les allumer, autant une sortie de route, un obstacle… »
ROUTE	1,43	-0,19	-1,26	-0,31	« j'ai les informations bien visuelles et je peux voir la route. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Basiques

Pour le groupe des Basiques (Tableau 7.22), les formes actives « donner », « vocal » et « météo » ont un indice de spécificité positif et significatif. Le discours associé montre que les basiques se projettent dans une interaction vocale en amont du trajet. Ils sont prêts à donner des instructions à leur véhicule avant de démarrer. De plus, les fonctionnalités recherchées ne sont pas liées uniquement à la conduite (restauration, météo). La forme active « trajet » montre que l'interaction vocale est essentiellement considérée à l'arrêt. Pendant le trajet, l'interaction doit se limiter à améliorer la sécurité. Enfin, la forme active « console » montre que le contrôle des commandes partagé, avec les autres passagers, est envisageable.

TABLEAU 7.22 – Spécificité lexicale - Profil Basique - Projection dans l'expérience de conduite de demain.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
DONNER	-0,69	3,10*	-0,63	-0,58	« Dès que je monte dedans, je lui donne toutes mes instructions dès le départ. Ou alors elle a déjà enregistré mes envies de la veille et elle me demande « est-ce que tu souhaites la même chose ? Veux-tu autre chose ? »
VOCAL	-1,45	3,12*	0,36	-1,16	« Le vocal, qu'on puisse rentrer dans sa voiture : « je voudrais aller là, emmène-moi là. Mets moi telle musique, le chauffage, la clim » ce serait une belle innovation. »
METEO	-0,69	2,00*	-0,21	-0,58	« Pour interagir, je ferais comme Magali : « je veux aller à tel endroit, donne-moi les conditions météo que je vais rencontrer » et là ça peut être en vocal mais ça ne se ferait pas pendant le trajet, ce serait en préparation de la voiture. »
CONSOLE	-0,57	2,41	-0,52	-0,43	- « C'est le conducteur qui doit être seul maître à bord. » - « Oui mais dans 2-3 ans, peut-être que le passager pourrait avoir l'interaction avec la console centrale au même titre que le conducteur. »
TRAJET	-1,61	1,10	-0,40	0,59	« La commande vocale serait autorisée mais il ne faudrait pas passer les appels n'importe quand. Ça pourrait être « trouve-moi une station-service, trouve-moi un parking », quelques actions comme ça seraient possibles mais pas tout. Que certaines actions soient possibles pendant le trajet. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Engagés

Pour le groupe des Engagés (Tableau 7.23), les formes actives « habitude » et « reconnaître » montrent que les engagés se projettent avec des IHM qui proposent une personnalisation

(réglages qui s'adaptent, proposition de trajets en fonction des habitudes). Par ailleurs, la forme active « option » montre qu'ils se projettent dans un véhicule qui propose des options améliorant le confort et la sécurité (détecteur d'endormissement, réglages automatiques de la hauteur du siège, etc.).

Les formes actives « parler » et « conducteur » montrent que l'interaction vocale est admise, mais qu'elle doit être maîtrisée uniquement par le conducteur. Enfin, le suremploi de la forme active « application » montre qu'ils sont prêts à interagir avec le véhicule au-delà de l'habitacle : via une application sur smartphone pour préparer leur arrivée par exemple.

TABLEAU 7.23 – Spécificité lexicale - Profil Engagé - Projection dans l'expérience de conduite de demain.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
PARLER	-0,43	0,41	2,84*	-2,69*	« Que ce soit le conducteur qui décide le moment où on peut parler à la voiture. »
HABITUDE	-0,80	0,45	2,21*	-1,46	« Si tel jour, mercredi, on a l'habitude d'aller faire les courses après le travail, que le véhicule s'habitue à nos habitudes, comme va le faire un Smartphone. Qu'il nous propose directement l'itinéraire pour aller au supermarché, en fonction de la circulation. »
CONDUCT-EUR	-1,95	0,47	1,80	-0,50	« Je pense que c'est le conducteur qui doit rester maître du véhicule. Les passagers doivent avoir le moins d'interactions possible avec le véhicule. Au-delà des divergences d'opinion musicale, je ne voudrais pas qu'ils puissent dérégler la destination. »
RECONN-AITRE	-0,57	-0,42	1,16	0,20	-« Tout ce qui est réglages, que ça s'adapte à la personne qui s'installe au volant : la hauteur du siège, du volant, les rétros. Je crois que ça existe. -Pourquoi pas avec le doigt, ça reconnaît notre empreinte et donc ça reconnaît le conducteur. »
OPTION	0,49	-0,42	1,16	-1,04	« Je ne sais pas si ça existe sur les poids lourds, ça manque un peu, dans les véhicules, sur la base d'une option. Comme un détecteur d'endormissement […] quand on sait l'importance que ça a dans les taux d'accident. »
APPLICA-TION	-0,31	-0,58	1,38	-0,34	- « Je vois une application qui a identifié ma voiture, qui est capable de savoir quelle autonomie il me reste, s'il y a des révisions à faire, le trajet que j'ai à parcourir. Quand on rentre dans la voiture, on a déjà des infos avant de rentrer dans la voiture qui sont données par la voiture. Il y a un échange. » - « Qu'on puisse programmer la température dans la voiture. Qu'on puisse arriver dans une voiture tempérée. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

Groupe des Ultra-connectés

Pour le groupe des Ultra-connectés (Tableau 7.24), les formes actives « détecter » et « mettre », ont un indice de spécificité positif et significatif. Leur emploi montre qu'ils se projettent dans une voiture qui prend des initiatives : elle doit détecter, activer, proposer et agir en fonction de la situation et des habitudes. Les formes actives « voir » et « écran » montrent qu'ils se projettent dans un véhicule avec beaucoup de stimuli numériques (via de grands écrans qui occupent tout l'habitacle par exemple). Cela indique qu'ils sont capables de gérer beaucoup d'informations, tout en conduisant.

TABLEAU 7.24 – Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Projection dans l'expérience de conduite de demain.

FORME ACTIVE	D	B	E	UC	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
DETEC-TER	-0,69	-0,50	-0,63	2,52*	- « Elle peut se garer toute seule dès qu'il y a une place. On rentre l'adresse dans le GPS et elle détecte une place dispo, elle va se garer toute seule. » - « J'aimerais bien, si on est sur l'autoroute, à l'heure de manger, il détecte une aire d'autoroute, il nous met tous les menus, le tarif des carburants, les prestations sur place. »
METTRE	-0,35	-0,31	-2,22	2,15*	« Elle pourrait faire un peu des deux. IPhone parfois fait ça, il sait que de telle à telle heure, je vais souvent là donc il propose si je veux mettre une alarme ou il sait qu'à midi je mets souvent un minuteur, il me propose de mettre le minuteur »
VOIR	-0,23	-1,17	-0,40	1,38	« On peut avoir des alertes sur la route, en fonction de la visibilité sur la route, on peut voir des piétons qui surgissent, on a une alerte dès qu'un mouvement approche. »
ECRAN	0,38	-0,83	-1,05	1,38	« Vous auriez l'écran qui se prolonge jusque sur la console passager ou même sur le pare-brise et je peux taper sur le pare-brise ce que je veux, je peux faire une commande vocale « j'aimerais manger dans un restaurant français, qu'est-ce que tu proposes. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

7.5.6 Projection dans un cockpit automobile idéal

Les résultats de la projection dans un cockpit automobile idéal, pour chacun des groupes, est disponible au Tableau 7.25. La discussion autour de cette thématique n'a pas pu être menée avec le groupe des engagés par manque de temps. D'après les résultats, la description faite du cockpit idéal diffère d'un groupe à l'autre. En termes de commandes physiques, les sujets du

groupe des Distants en souhaitent moins, les basiques en veulent plus au niveau du volant et les ultra-connectés en souhaitent uniquement pour les fonctions nécessaires (ex : régler le volume). Concernant l'écran, les distants en souhaitent un central qui n'attire pas trop le regard et dont la position reste modulable selon les besoins. Les sujets du groupe des Basiques souhaitent un grand écran central qui puisse être partagé avec le passager et un écran HUD (affichage tête haute) pour la conduite. Enfin, les sujets du groupe des Ultra-connectés souhaitent un cluster (écran derrière le volant) numérique esthétique et personnalisable. Concernant les modalités d'interaction, les Distants sont à la recherche d'interactions tactiles et de la possibilité de masquer les options, les Basiques sont à la recherche de tactile et sont ouverts au vocal, alors que les Ultra-connectés sont à la recherche de commandes performantes, le vocal étant préféré.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 7.25 – Projection dans le cockpit automobile de demain.

	SEGMENT DE TEXTE CARACTERISTIQUE
D	- « Moins de boutons. Un plus grand écran, plus de luminosité » - « Quitte à avoir des écrans, quitte à en avoir un, qu'il soit central, au centre du tableau de bord et pas nécessairement sous les yeux du conducteur. » - « Que l'écran puisse basculer, alors que là il est fixe. Qu'il puisse basculer dans tous les sens » - « Des formes arrondies, douces et pas trop massives » - « Écran qui sert de GPS, Radio, musique Et téléphone » - « Paramétrage des commandes de sécurité : pouvoir actionner les lumières selon ce qu'on veut, ne pas subir les options. »
B	- « Plus de commandes près du volant pour qu'on n'ait pas besoin de détourner la tête » - « Que l'écran soit plus dans le champ de vision. Je gérerais les fonctions par le vocal » - « Avoir un écran assez gros au centre, ça peut être intéressant, surtout quand il y a un passager qui peut s'occuper des réglages et avoir une grosse console. » - « Ça peut être tactile au début et ensuite, quand on roule, si on est seul, de pouvoir commander par le vocal. » - « Lecture tête-haute. On n'aurait pas le regard détourné et ce serait surtout pour un changement de direction. Des affichages tête haute, c'est confortable, ça évite de regarder l'écran. »
E	/
UC	- « On peut changer le design du compte-tours par exemple » - « Un univers où tout est centré vers le conducteur : l'écran est assez haut par rapport au volant. - « Les choses hyper épurées, hyper simples. » - « Je vois un tableau de bord simple mais l'esthétisme, c'est très important pour l'achat, il faut qu'il soit en harmonie avec la voiture, qu'il soit esthétique. » - « On peut faire les 3 : tactile, écran et commande vocale » - « C'est toujours une question de performance. Si l'outil vocal fonctionne parfaitement, que ce soit entièrement vocal, sinon un peu de tactile, des boutons pour régler les volumes, pas trop de boutons. »

Note. D=Distant, B=Basique, E=Engagé, UC = Ultra-connecté, * indique une valeur significative.

7.6 Discussion

7.6.1 Impact du contexte automobile sur les usages

Les résultats de l'enquête montrent que les usages observés de la technologie en général (sections 7.5.1 et 7.5.3) et en contexte automobile (sections 7.5.2 et 7.5.4) tendent à être similaires. Par exemple, ceux qui n'apprécient pas utiliser des technologies dans leurs tâches quotidiennes, ne vont pas utiliser d'aides à la conduite en contexte automobile. C'est le cas des bas niveaux de techno-affinité. En revanche, ceux qui utilisent des commandes vocales dans leurs usages domestiques, vont aussi le faire en contexte automobile. Le contexte automobile ne semble donc pas impacter outre mesure l'usage des technologies en conduite.

Nous aurions pu nous attendre à ce qu'il y ait un décalage d'usages entre le contexte général et le contexte automobile, car l'interaction avec les technologies en contexte automobile entraîne une distraction qui peut compromettre les facultés cognitives du conducteur (Young et al., 2003). Le conducteur doit alors être capable de distribuer correctement ses ressources attentionnelles, dans un souci de sécurité. Or, les hauts niveaux de techno affinité, bien que conscients des dangers associés au contexte automobile, ne semblent pas être affectés dans leurs usages. Leurs hauts niveaux de compétences pourraient expliquer que les ressources cognitives mises à contribution dans l'interaction embarquée soient moindres, leur permettant de gérer les deux tâches (conduite et manipulation de commandes) conjointement.

Les résultats montrent également que les groupes de techno-affinité se positionnent différemment vis-à-vis des technologies. Trois points en particulier peuvent être discutés : la perception de l'utilité, la maîtrise des interactions et la gestion des informations en conduite.

7.6.2 Perception de l'utilité

Pour rappel, d'après le Modèle d'Acceptation des Technologies (TAM, Davis, 1986), la perception de l'utilité participe à l'acceptation des technologies. Les systèmes doivent donc être perçus comme efficaces, efficients et pertinents pour la tâche à réaliser. D'après les résultats de l'enquête (sections 7.5.1 et 7.5.2), la perception de l'utilité diffère selon le niveau de techno-affinité et cela impacte l'acception des technologies.

Pour les sujets du groupe des **Distants**, la technologie est perçue comme utile lorsqu'elle fournit un service qu'ils ne peuvent pas faire par eux-mêmes. Ainsi, l'évolution technologique proposée en contexte automobile, comme l'automatisation des fonctionnalités (phares, essuie-glaces, détecteur de pluie), est majoritairement rejetée, car considérée comme du gadget qui peut impacter la sécurité. Les services proposés par ce type d'options sont considérés comme réalisable par les sujets eux-mêmes. En revanche, un système anti-vol est perçu comme utile parce que les sujets ne peuvent pas surveiller leur véhicule eux-mêmes. De même, l'application Notes du téléphone est perçue comme utile pour remplacer la mémoire qui défaille.

Pour les sujets du groupe des **Basiques**, l'évolution technologique en contexte automobile n'est ni complètement rejetée, ni complètement adoptée. Parce qu'ils sont familiers de l'avancée des technologies, ils sont conscients de leur utilité pratique, sécuritaire et fonctionnel. Pour autant, les nouvelles technologies ne sont pas forcément utilisées en contexte automobile. Par exemple, certains préfèrent utiliser un lecteur CD plutôt qu'une application connectée pour écouter de la musique dans leur véhicule. Autre exemple, certains ont à disposition des technologies automatisées et intelligentes, mais ne les utilisent pas systématiquement en contexte automobile. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce comportement. Premièrement, ils n'y pensent pas : cela montre que les habitudes d'usage n'ont pas évolué. Deuxièmement, l'action réalisée par la technologie n'est pas toujours perçue comme pertinente pour leur propre usage. Comme dans le groupe des Distants, ils disent être capables de réaliser les actions par eux-mêmes, sans aide technique, bien que ces aides soient perçues comme confortables. Enfin, ils perçoivent certaines limites à l'évolution des technologies qui peuvent impacter négativement les usages : les technologies prennent un contrôle trop important sur les actions et elles entraînent de la dépendance.

Pour les sujets du groupe des **Engagés**, l'évolution technologique est perçue de manière plus positive. Les nouvelles technologies sont alors souvent acceptées et utilisées. Pour eux, l'utilité est associée à l'aspect sécuritaire d'abord (régulateur adaptatif, caméra connectée). L'automatisation des fonctionnalités et leur intelligence sont par ailleurs très appréciées pour le confort en conduite.

Pour les sujets du groupe des **Ultra-connectés**, la technologie est vue comme une extension de la main. En conséquence l'évolution des technologies est perçue comme utile dans tous les domaines, aussi bien pour le divertissement que pour le travail. Au-delà d'utiliser toutes sortes de technologies au quotidien, et en contexte automobile, ils sont à la recherche des meilleures technologies (plus pratiques, plus confortables, plus facilitantes et plus connectées).

Il y a donc d'un côté des individus avec un niveau d'affinité technologique moins important, qui n'acceptent pas les nouvelles technologies, car perçues comme non utiles pour leurs usages. Puis, à partir d'un niveau moyen d'affinité technologique, il y a des individus avec une attitude plus positive vis-à-vis des technologies et de leur utilité. Cependant, leur culture technologique, autrement dit leurs habitudes d'interaction semblent expliquer des usages différents. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature concernant les techno-générations (Docampo Rama et al., 2001 ; Sackmann & Winkler, 2013). Les usages sont ainsi moins connectés et moins interactifs pour les niveaux moyens de techno-affinité. Cela concorde avec les résultats des chapitres 5 et 6 qui montrent que les niveaux moyens de techno-affinité ont une bonne connaissance de l'environnement technologique dans lequel ils se trouvent, et qu'ils ont un usage fréquent des technologies, mais que ces technologies restent basiques : les nouvelles formes d'interaction (connectées et interactives) ne sont pas adoptées.

7.6.3 Maîtrise des interactions

Concernant la maîtrise des interactions, on observe une évolution dans la manière d'appréhender les nouvelles formes d'interaction, à mesure que le niveau de techno-affinité augmente (voir sections 7.5.3, 7.5.4 et 7.5.5).

Le manque de compétences et de connaissances des sujets du groupe des **Distants** se traduit par un manque de confiance envers les nouvelles technologies, notamment celles qui prennent le contrôle du véhicule (aide au stationnement, régulateur de vitesse, etc.). De plus, le manque de visualisation associée aux nouvelles formes d'interactions (interaction vocale, assistants intelligents) fait qu'elles sont rejetées de manière générale, car perçues comme non maîtrisables. D'après la littérature, lors d'une interaction homme-machine, le manque de visibilité de l'information peut effectivement créer une impression de perte de contrôle et être un frein à l'acceptabilité (Lahoual & Fréjus, 2018). Ainsi, dans un cockpit automobile, l'interaction mécanique est recherchée, mais pas forcément via des boutons. Les commandes tactiles semblent leur convenir, car elles ressemblent à celles qui sont trouvables sur un téléphone. Pour maîtriser les interactions, ils ont besoin de commandes visuelles, facilement mémorisables (colorées par exemple) et bien positionnées pour ne pas entraver la vision de la route.

Les sujets du groupe des **Basiques** privilégient les interactions mécaniques (boutons ou écrans). Toutefois, contrairement aux sujets du groupe des Distants, ils sont davantage ouverts aux nouvelles formes d'interactions, notamment vocales. Par exemple, ils arrivent à se projeter

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

dans une interaction vocale en contexte automobile. Cependant, ils veulent pouvoir décider des actions que doit mener le système (la pro-action des systèmes est rejetée par exemple) et ils ne s'imaginent pas le faire en conduite. En effet, ils imaginent interagir par une interaction vocale à l'arrêt, dans un souci de sécurité, et uniquement dans le but de préparer la conduite. Cela montre, encore une fois, que les usages non maîtrisés en contexte général ne sont pas acceptés en conduite. La projection dans une interaction vocale reste questionnable, car en contexte général, ils ne cherchent pas à maîtriser les nouvelles formes d'interaction. Ils se disent d'ailleurs dépassés face aux évolutions technologiques. Cela se traduit en contexte automobile, par des attentes assez basiques en termes de technologies, autrement dit des technologies qui proposent des logiques d'interaction qu'ils maîtrisent parfaitement.

Pour les sujets du groupe des **Engagés**, à partir du moment où la technologie se montre fonctionnelle, ils accordent leur confiance. Ainsi les commandes vocales et l'automatisation des fonctionnalités est entrée dans les habitudes de ceux qui ont accès à ce type de technologies. Ils se projettent par ailleurs dans un mode d'interaction plus interactif avec une personnalisation en fonction des habitudes (proposition de trajet, réglage automatique du poste de conduite en fonction du conducteur). Cela montre que leur besoin de contrôler physiquement les technologies est moins important.

Pour les sujets du groupe des **Ultra-connectés**, la confiance envers les technologies est beaucoup plus grande. Ils sont plus ouverts aux changements d'habitudes. Ils acceptent ainsi l'évolution des technologies qui impliquent de nouvelles logiques d'interactions, à partir du moment où les fonctionnalités se montrent performantes. Comme expliqué dans la littérature, ces nouvelles logiques d'interaction, quand elles sont performantes, agissent en tant qu'accélérateur opératoire en simplifiant ou en supprimant certaines procédures (Lahoual & Fréjus, 2018). Pourtant, la maîtrise de ces nouvelles logiques d'interactions, n'est pas innée. Mais, à l'inverse des bas niveaux de techno-affinité, ils sont prêts à apprendre pour que l'interaction devienne une habitude. Ce résultat montre qu'une grande affinité avec la technologie est associée à de la curiosité (qu'elle soit personnelle ou professionnelle). Les sujets du groupe des Ultra-connectés se projettent aussi dans un mode d'interaction plus interactif avec une personnalisation en fonction des habitudes, mais aussi de l'environnement. De fait, ils acceptent plus facilement de donner du contrôle à la machine, même en contexte automobile (par exemple pour la conduite autonome, pour le stationnement autonome, etc.)

Il y a donc d'un côté des individus avec un niveau d'affinité technologique moins important, qui manquent de maîtrise et qui expriment des besoins d'interaction assez similaires à ce qui

pourrait être proposé aux personnes âgées : opérations mentales simplifiées et facilement mémorisables (Craik & Bosman, 1992 ; Fisk et al., 2004 ; Kang & Yoon, 2008). Puis, plus le niveau de techno-affinité augmente, plus la maîtrise des interactions semble se traduire par 1) un besoin moindre de contrôler physiquement les systèmes et les actions et 2) un besoin plus grand d'interactivité (pro-action, personnalisation). La techno-affinité permet donc bien d'expliquer des besoins et des attentes différentes en termes d'interactions homme-machine.

7.6.4 Gestion des informations en conduite

Concernant la gestion des informations en conduite, tous considèrent que l'interaction avec les technologies embarquées représente un risque en conduite (voir section 7.5.4). Pourtant, les attitudes et les comportements diffèrent d'un groupe de techno-affinité à l'autre (voir sections 7.5.4, 7.5.5 et 7.5.6).

Dans leur discours, les sujets du groupe des **Distants** montrent qu'ils ne sont pas capables de gérer correctement les informations qui ne sont pas directement liées à la conduite. En conséquence, ils engagent le minimum d'interaction en conduite, même celles relatives aux fonctions basiques (musique, climatisation). Pour eux, les IHM sont sources de distraction physique, visuelle et cognitive. Ainsi, plus le cockpit est épuré en stimuli numériques et en commandes physiques, plus il est apprécié.

Les sujets du groupe des **Basiques** sont moins catégoriques, car ils sont capables de gérer plusieurs sources d'informations, à partir du moment où le regard n'est pas trop dévié de la route : HUD [1] et commandes physiques au volant sont ainsi appréciées. En revanche, les interactions non maîtrisées en contexte général, ne sont pas acceptées en conduite. Nous l'avons vu précédemment, l'interaction vocale n'est envisagée que hors conduite.

Les sujets du groupe des **Engagés** et du groupe des **Ultra-connectés** ne montrent pas de difficultés particulières à gérer toutes sortes de stimuli (sonores, visuels) en conduite, ni à engager de l'interaction avec les IHM. Nous l'avons vu précédemment, ils sont dotés de plus de ressources attentionnelles grâce à leur compétence technique. Toutefois, les attentes en termes de quantité de stimuli opposent les deux groupes. Les sujets du groupe des Engagés sont plutôt à la recherche d'un équilibre entre confort et utilité, mais pas les ultra-connectés. Ces derniers sont ouverts aux informations numériques de toutes sortes (pas que liées à la conduite) et de toute part : par exemple sur la console du passager pour le partage ou sur tout le pare-brise pour

1. HUD (*Head-Up Display)* est un système de projection sur le pare-brise.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

avoir accès à plus d'informations. Par ailleurs, pour les sujets du groupe des Ultra-connectés les trois types d'interactions (mécanique, tactile et vocale) sont attendues en contexte automobile pour une meilleure performance (précision du bouton physique, interactivité des assistants vocaux, etc.).

La techno-affinité semble donc expliquer des attentes différentes en termes de quantité de stimuli numérique, en contexte automobile. Plus la techno-affinité augmente, moins la quantité d'information numérique est source de distraction. Au contraire, une grande quantité d'information numérique est attendue par les plus hauts niveaux de techno-affinité.

7.6.5 Types de commandes attendues

Les attentes en termes de commandes physiques sont assez étonnantes. Les distants attendent moins de boutons physiques dans les cockpits alors même qu'ils privilégient des logiques d'interaction procédurales. À l'inverse, les ultra-connectés sont en faveurs des boutons physiques. Au-delà de l'aspect performance (précision), ils associent le toucher mécanique à du plaisir sensoriel. Cela montre que les hauts niveaux de techno-affinité ont des attentes de nature plus hédoniques que les autres niveaux de techno-affinité.

Dans le chapitre 8 nous verrons si toutes ces préférences sont retrouvées. Pour cela nous mettrons en interaction les différents profils de techno-affinité face à des cockpits qui diffèrent en termes de numérisation (quantité de stimuli numériques) et de dématérialisation (quantité de commandes mécaniques).

7.6.6 Limites et perspectives

Comme expliqué dans les résultats, la discussion autour de la projection dans un cockpit automobile idéal n'a pas pu être abordée dans le groupe des Engagés par manque de temps. Toutefois, les résultats autour des autres thématiques nous permettent d'interpréter correctement les attitudes et les comportements objectifs de ce groupe. De plus, nous voyons bien qu'entre les sujets Distants et Ultra-connectés, il y a une progression naturelle dans les attitudes et les comportements (c'est une spécificité de l'échelle de techno-affinité). Pour cette thématique, il est donc possible d'extrapoler le discours des engagés, à partir des discours des sujets des groupes Basiques et Ultra-connectés.

7.7 Conclusions du chapitre 7

Les résultats de l'enquête qualitative montrent que :

- les usages observés de la technologie en général et en contexte automobile tendent à être similaires : lorsqu'ils ne sont pas maîtrisés en contexte général, ils sont rejetés en contexte automobile. À l'inverse, lorsqu'ils sont maîtrisés en contexte général, ils sont acceptés en contexte automobile ;
- plusieurs raisons explique le rejet des technologies : une mauvaise perception de l'utilité, des habitudes d'usages trop ancrées, un manque de connaissance et un manque de maîtrise des interactions homme-machine (qui peut se traduire par la peur de perdre le contrôle) ;
- la perception de l'utilité, la maîtrise des interactions et la gestion des informations en conduite se font différemment selon le profil de techno-affinité : plus le niveau de techno-affinité augmente, plus la confiance envers les technologies est grande et leur évolution est appréciée, les nouvelles architectures d'interactions (arborescence verticale, en réseaux) sont maîtrisées et la gestion de nombreux stimuli numérique en conduite devient possible ;
- les attentes dans un cockpit automobile sont différentes selon le profil de techno-affinité : plus le niveau de techno-affinité diminue, plus les sujets expriment le besoin d'un cockpit automobile épuré en fonctionnalités et en informations. À l'inverse, plus la techno-affinité augmente, plus les sujets expriment le besoin d'automatisation, d'interactivité et de personnalisation.

Chapitre 8

Les différents profils de techno-affinité face à la numérisation et à la dématérialisation des interactions homme-machine en contexte automobile

8.1 Objectifs

L'objectif principal de ce chapitre est d'examiner comment les phénomènes de dématérialisation et de numérisation, en contexte automobile, affectent l'expérience des utilisateurs ayant différents niveaux d'affinité technologique.

Dans cette perspective, l'étude présentée s'attache à créer un protocole expérimental permettant d'étudier l'interaction entre les profils de techno-affinité précédemment identifiés au chapitre 6 et les IHM de différents cockpits automobiles, dont les degrés de numérisation et de dématérialisation varient. En faisant cela, nous voulons vérifier que, d'une part, en contexte automobile la perception ergonomique et hédonique des phénomènes de dématérialisation et de numérisation, diffère en fonction de la techno-affinité. Nous voulons vérifier que, d'autre part, selon le niveau de techno-affinité la réaction émotionnelle qui en découle n'est pas la même : les individus ne sont pas satisfaits de la même façon entre un contrôle mécanique et un contrôle dématérialisé, et n'ont pas le même plaisir à interagir entre un environnement peu numérisé et un environnement très numérisé (hypothèses générales 1 et 2). Dans ce protocole,

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

l'objectif sera alors de proposer une mesure des composantes perceptives (ergonomiques et hédoniques) et une mesure de la composante émotionnelle de l'expérience utilisateur vécue.

D'après le modèle CUE (Thüring & Mahlke, 2007), les composantes perceptives et émotionnelles impactent le jugement global résultant. En proposant une mesure du jugement global, nous pourrons alors déterminer quel rôle joue, d'une part, la perception ergonomique et hédonique et, d'autre part la réaction émotionnelle sur ce jugement global. En faisant cela nous voulons vérifier que le positionnement des individus, dans leur préférence concernant la dématérialisation et la numérisation des cockpits, est une recherche d'optimum entre une expérience ergonomique (interaction performante et non distrayante) et une expérience hédonique (interaction agréable et stimulante). Pour tester cette hypothèse, des modèles de mesures du comportement, qui permettent de modéliser une recherche d'optimum entre des attitudes en contradiction, sont attendus. Au travers des modèles développés, nous chercherons à défendre la thèse que les optima trouvés sont différents d'un profil de techno-affinité à l'autre (hypothèse générale 3).

8.2 Mise en place d'un protocole expérimental

La mise en place du protocole expérimental passe par plusieurs étapes. Pour bien comprendre l'environnement dans lequel la mise en place du protocole a été faite, nous commencerons par lister les contraintes du terrain. Dans un second temps, nous expliquerons comment les cockpits automobiles évalués ont été choisis en fonction de leur niveau de numérisation et de dématérialisation. Dans un troisième temps, nous rappellerons comment les sujets ont été recrutés en fonction de leur niveau de techno-affinité. Dans un quatrième temps, nous justifierons la création d'un questionnaire d'évaluation de l'expérience utilisateur (UX) pour cette étude, ainsi que le choix des items pour mesurer les composantes perceptives, émotionnelles et le jugement global résultant de l'UX. Une fois tous ces éléments définis, nous exposerons le protocole mis en place pour étudier l'interaction entre la techno-affinité des sujets et les caractéristiques ergonomiques et hédoniques des cockpits choisis pour l'étude.

8.2.1 Contraintes du terrain

Pour une meilleure prise en considération des éventuels biais, ou limites, dans la mise en place du protocole expérimental et dans l'interprétation des résultats, les quatre contraintes

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

principales liées au terrain sont listées ci-après :

- Premièrement, pour des questions de coût, il n'est pas possible de fabriquer des cockpits automobiles pour le terrain et un cockpit en réalité virtuelle ne convient pas, car une interaction physique homme-machine est attendue. En conséquence, l'utilisation de cockpits existants sur le marché actuel (2021) est nécessaire.
- Deuxièmement, pour des raisons de sécurité, nous avons décidé de limiter les expérimentations à une évaluation en statique, c'est-à-dire à de la manipulation d'IHM lorsque le véhicule est à l'arrêt. En effet, en conduite, la sécurité peut être impactée, car la manipulation des IHM demande beaucoup de ressources attentionnelles et peut donc s'avérer dangereuse pour les participants, notamment ceux avec un faible niveau de techno-affinité. En conséquence, le choix des items à évaluer et des tâches à réaliser devra prendre en compte cette limite.
- Les contraintes budgétaires, logistiques et cognitives limitent le temps d'expérimentation à deux heures par participant. En conséquence, le protocole devra être adapté pour faciliter l'ensemble des mesures (nombre de cockpits évalués, nombre d'items évalués) dans ce temps restreint.

8.2.2 Choix des cockpits automobiles à évaluer

Description des facteurs cockpits - Les facteurs relatifs aux caractéristiques de cockpits automobiles relèvent de la dématérialisation et de la numérisation des cockpits. Ces deux facteurs se déclinent à chaque fois en deux modalités. Ces modalités correspondent aux références extrêmes (basses et hautes) de la dématérialisation et de la numérisation.

Néanmoins, la référence basse de la numérisation reste flexible. En effet, pour respecter strictement cette référence, le cockpit sélectionné ne devrait pas présenter d'interfaces numériques. Cela ne peut être respecté qu'avec des véhicules anciens ou en entrée de gamme, qui sont alors souvent sans options. Afin de proposer des cockpits d'un niveau autant que possible équivalent, en termes d'options et de gamme, la référence basse du facteur de numérisation autorise la présence d'un écran multimédia basique au centre de l'habitacle.

En accord avec les éléments discutés au chapitre 3 de l'introduction générale, les caractéristiques associées aux cockpits sont détaillées au Tableau 8.1 pour le facteur Dématérialisation (D) et au Tableau 8.2 pour le facteur Numérisation (N). Finalement, pour chaque modalité, les styles d'interactions varient au niveau des logiques d'interaction et des dispositifs de contrôle.

TABLEAU 8.1 – Caractéristiques associées à la dématérialisation des cockpits.

Caractéristiques du facteur D

Modalité	**0**	**1**
Référence	**Basse**	**Haute**
Visuel des habitacles	Complexité visuelle : nombre important de boutons physiques	Simplicité visuelle : nombre faible de boutons physiques
Dispositifs de contrôle (commendes d'entrées)	Commandes physiques positionnées dans des zones définies par type de fonctionnalités (confort, musique, conduite)	Commandes tactiles regroupées dans une zone (souvent la zone multimédia) qui concentre alors des types de fonctionnalités différents (confort, musique, conduite)
Retours physiques (retours que l'information a bien été reçue par l'IHM)	Mécanismes d'interactions physiques : retours haptiques plus importants (force, retour de force, crantage)	Mécanismes d'interactions tactiles : retours haptiques moins importants (si disponible, l'écran ne propose que le retour haptique de validation)
Architecture et logique d'interaction	Arborescence horizontale : toutes les informations sont présentées de façon immédiate et fixe	Arborescence en profondeur : l'information présentée est partiellement visible à un moment *t* et est variable
Accès aux commandes	Accès direct car les commandes sont directement accessibles sur la planche de bord	Accès indirect car les commandes ne sont plus directement accessibles : il faut les sélectionner au sein de menus/sous-menu.

Note. D=Dématérialisation.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

TABLEAU 8.2 – Caractéristiques associées à la numérisation des cockpits.

Caractéristiques du Facteur N

Modalité	**0**	**1**
Référence	**Basse**	**Haute**
Visuel des habitacles	Épuré en stimuli numériques : pas d'écrans ou petite surface total d'écran	Chargé en stimuli numériques : grande surface totale d'écran qui évoque un cockpit digital
Dispositifs de contrôle (commandes de sorties)	Cluster classique qui peut contenir un petit écran de base	Cluster numérisé
Esthétique des écrans	- Sobriété (fond noir ; nombre de couleur de police limité) - Pas d'harmonie spéciale : impression de plusieurs écrans distincts	- Colorés - Écrans harmonieux (cohérence esthétique dans le digital qui donne l'impression d'un grand écran continu)
Retour visuel	Simplicité numérique dans le contenu : -Peu de contraste et richesse des couleurs modérée dans le contenu -Fond uni d'une même couleur -Pas d'effet visuel particulier (ex : 3D. profondeur de champ)	Couches multiples de stimuli dans le contenu : - Beaucoup de contraste et richesse des couleurs - Fond graphique coloré - Effet visuel particulier (ex : 3D. profondeur de champ)
Architecture et logique d'interaction	Au niveau du cluster arborescence horizontale : toutes les informations présentées de manière fixe et sans possibilité de personnalisation par le contexte ou par le conducteur	Au niveau du cluster, les informations sont présentées de manière : - Contextualisée (opportunité dans le digital de présenter uniquement l'information nécessaire selon le contexte, avec reconfiguration temporelle) - Ou fixe (personnalisation des informations par action du conducteur possible)

Note. N=Numérisation.

Description des cockpits sélectionnés - Avec une contrainte de deux heures d'expérimentation et la présence de 2 facteurs à 2 modalités à évaluer, nous décidons de composer l'espace produit de quatre cockpits automobiles.

Dans l'idéal, les cockpits présentés lors du terrain ne varient que sur les facteurs et les caractéristiques précédemment identifiées (Tableau 8.1 et 8.2). En faisant le choix de présenter des véhicules du marché, une contrainte majeure apparaît : chaque cockpit possède sa propre identité et cela constitue un biais pour la perception (Blumenthal, 2001 ; Herbeth & Blumenthal, 2019). Cette identité se construit à travers la marque, le modèle, la gamme de prix du véhicule ou encore les influences culturelles du pays dans lequel le véhicule a été conçu.

Pour sélectionner les cockpits, plusieurs règles ont donc été énoncées pour approcher une standardisation des habitacles :

- Des véhicules du segment C sont attendus pour répondre aux directives de l'expertise Renault. Le segment C correspond aux voitures familiales de taille moyenne (type berlines compactes). En Europe, leur taille varie en moyenne entre 4.20 mètres et 4.50 mètres. En faisant ce choix, nous essayons d'uniformiser la taille des cockpits et le niveau de gamme des véhicules.
- Des matériaux identiques (tissus, couleurs, etc.) au niveau des sièges et des planches de bord, sont attendus pour les quatre cockpits afin de minimiser les biais liés au design intérieur.
- Les marques de luxe sont évitées pour minimiser les biais liés au prix d'achat.
- Les véhicules de marques françaises sont évités pour minimiser les biais culturels.

Les véhicules sélectionnés, en accord avec le partenaire industriel, sont présentés au Tableau 8.3. Dans ce tableau, les principaux avantages et les principales limites identifiées pour le partenaire industriel sont résumées. Avec ces choix de véhicules, toutes les règles précédemment énoncées n'ont pas pu être respectées. Par exemple, le prix d'achat entre les véhicules aux cockpits numérisés est supérieur, d'au moins 20K€, au prix d'achat des véhicules aux cockpits non numérisés. Cette différence de prix s'explique par le niveau de technologie supérieur dans les cockpits numérisés. Aussi, les cockpits de Tesla Model 3 et de Honda-e présentent un design particulier. Leur tableau de bord est constitué de bois, ce qui est inhabituel pour un cockpit automobile (voir Figure 8.1). Cela a été accepté, car les deux cockpits numérisés présentent les mêmes caractéristiques. Enfin, un véhicule de marque française a dû être sélectionné pour représenter le cockpit non numérisé et non dématérialisé. D'autres véhicules, avec les mêmes

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

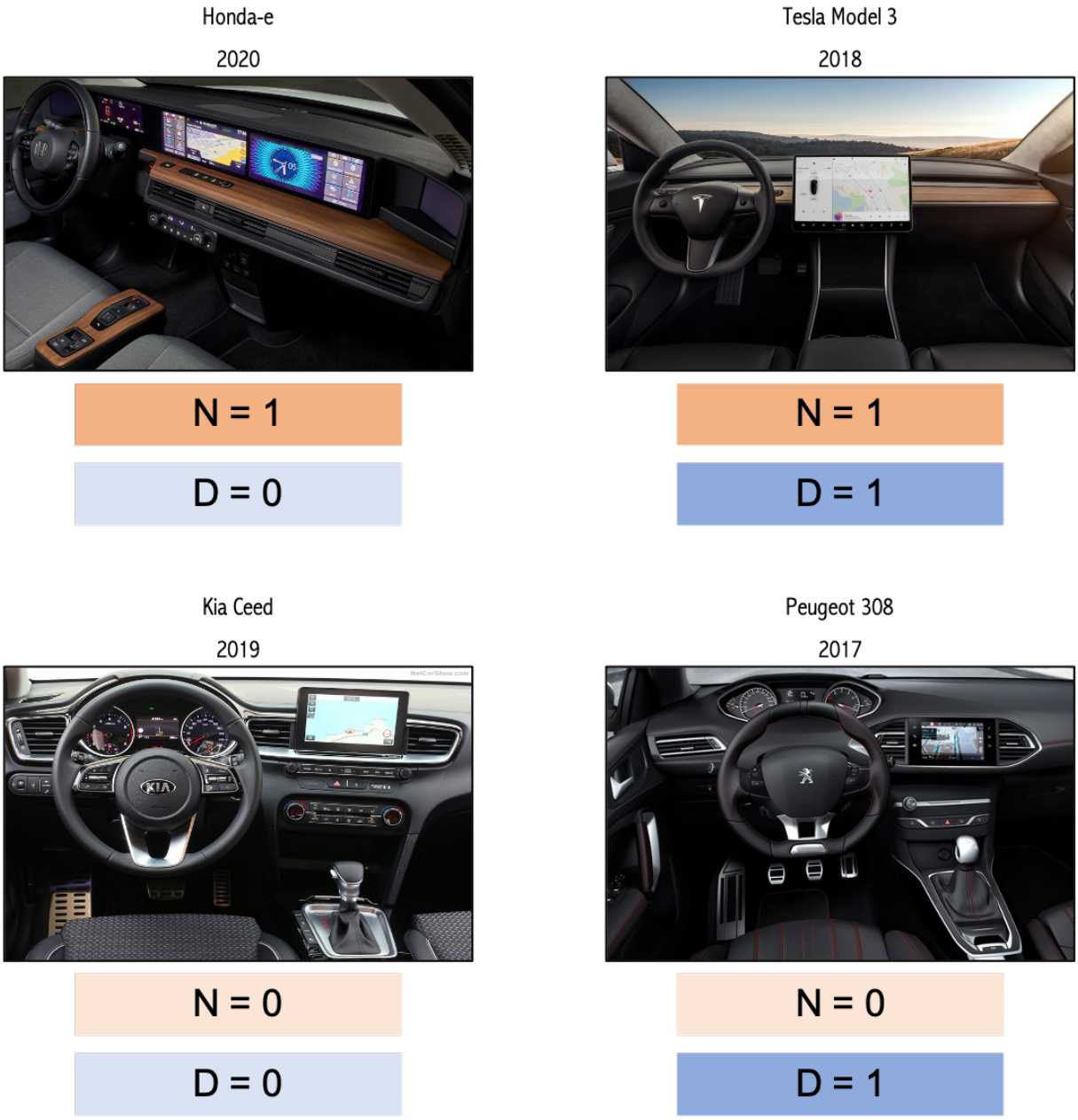
caractéristiques, existent sur le marché, mais n'étaient pas disponibles pour l'étude en France, car d'origines chinoises (par exemple la BYD Tang, version ICE).

TABLEAU 8.3 – Véhicules sélectionnés pour le terrain, leurs avantages et leurs limites.

Modèle	D	N	Avantages pour le partenaire industriel	Limites
Tesla Model 3 2018	1	1	- Véhicule électrique le plus vendu en Europe en 2021 - Véhicule situé à l'extrême de l'espace produit identifié (quasiment toutes les fonctionnalités sont concentrées dans l'écran central)	- Pas de cluster derrière le volant - Design particulier avec la présence de bois mais similaire à Honda-e
Honda-e 2020	1	0	Véhicule très numérisé pour un segment B, ce qui est rare	- Petite citadine (segment B) comparé aux trois autres modèles - Design particulier avec la présence de bois mais similaire à Tesla Model 3
Peugeot 308 2017	0	1	Concurrent direct de Renault	- Véhicule le moins récent (niveau de technologie inférieur) - Véhicule Français (potentiel biais culturel)
Kia Ceed 2019	0	0	De manière générale Kia est mieux notée en ergonomie que Renault	

Note. D=Dématérialisation, N=Numérisation, 0=Référence basse, 1= Référence haute.

FIGURE 8.1 – Cockpits évalués lors du terrain.



Note. D=Dématérialisation, N=Numérisation, 0=Référence basse, 1= Référence haute.

La Figure 8.1 présente les cockpits des différents véhicules sélectionnés. Les deux cockpits **non dématérialisés** affichent des IHM dispersées, mais organisées dans leur habitacle, permettant un accès rapide et facile aux fonctionnalités principales (climatisation ; commandes multimédias) via des commandes mécaniques. Par ailleurs, ces cockpits affichent de nombreuses commandes au volant. Tous ces éléments participent à charger visuellement les cockpits.

Les deux cockpits **dématérialisés** proposent un habitacle dans lequel toutes les fonctions et commandes principales sont concentrées dans l'écran tactile qui se trouve au centre de l'habitacle. Dans le cockpit de Tesla Model 3, cette caractéristique va à l'extrême, car les fonctions de conduite, telles que les informations de vitesses ou de charge du véhicule, se retrouvent également au centre de l'habitacle.

Les deux cockpits **non numérisés** n'ont pas de grandes surfaces d'écran. Les écrans présents au centre de l'habitacle sont basiques en termes de qualité et de fonctionnalités. Les tableaux de bord, qui se situent derrière le volant, marquent aussi la différence avec les cockpits numérisés, car ils sont classiques : des compteurs à aiguilles composent les tableaux de bord.

Les deux cockpits **numérisés** présentent une forte charge en stimuli numériques, du fait notamment de la grande surface d'écran proposée par chacun d'eux, de la qualité et la réactivité de ces écrans, ainsi que du nombre de fonctionnalités affichées sur les écrans. Honda-e offre trois écrans qui vont de part et d'autre de l'habitacle et qui sont tous liés entre eux visuellement (même graphisme, continuité de l'information). Tesla Model 3 offre un unique écran central imposant qui est à l'image d'un ordinateur ou d'une tablette. Pour interagir avec ces écrans, les interactions sont tactiles et ressemblent à celles trouvées sur les smartphones (slide, fermeture d'onglets, etc.). Par ailleurs, une séquence d'accueil visuelle et sonore est prévue par ces deux cockpits au moment de l'entrée dans le véhicule.

Nous pensons que les cockpits sélectionnés présentent assez de différences pour que la réception d'information et le contrôle des commandes soient perçus différemment et pour nous permettre de tester les hypothèses générales de la thèse. C'est un point que nous vérifierons plus loin.

8.2.3 Recrutement des sujets

Description du facteur sujet - Le facteur relatif aux caractéristiques des sujets relève de la techno-affinité. Le facteur Profil se décline en quatre modalités. Ces modalités correspondent aux profils de techno-affinité précédemment définis : Distant, Basique, Engagé et Ultra-connecté. La manière dont ces profils ont été définis, et leurs caractéristiques techno-socio-générationnelles sont décrites au chapitre 6.

Description des participants recrutés - Soixante sujets âgés de 18 à 68 ans sont recrutés pour participer à l'étude. Pour faciliter le recrutement, seuls les niveaux de techno-affinité et l'âge des sujets conditionnent l'appartenance à un profil. Concernant la techno-affinité, l'outil de mesure pratique en 15 items, développé au chapitre 6, est utilisé pour assigner les sujets recrutés dans les différents profils de techno-affinité (15 par profil). Les questions utilisées et leurs cotations, sont décrites à l'annexe L et à la section 6.4.6. Concernant l'âge, les sujets sont recrutés de manière à respecter la répartition des âges observée pour chacun des profils au Tableau 6.3. Le descriptif des sujets recrutés est disponible au Tableau 7.1.

TABLEAU 8.4 – Genre, âge et scores moyens de techno-affinité des sujets recrutés pour le terrain.

Profil	Effectif	Genre	Age moyen	Score moyen de techno-affinité
Distant	15	H : 47% F : 53%	50 (32–68)	35 (30-36)
Basique	15	H : 53% F : 47%	49 (23–68)	38 (37-38)
Engagé	15		44 (24–63)	42 (39-45)
Ultra-connecté	15		36 (22–62)	50 (46–58)

Des critères transversaux à toute l'étude ont par ailleurs été fixés pour cibler correctement la population étudiée. Tous sont possesseurs de véhicules neufs ou de véhicules d'occasion récents. Le fait d'accepter les possesseurs de véhicules d'occasion permet de ne pas exclure de l'étude les individus qui n'ont pas ou qui ne souhaitent pas acheter de véhicules neufs. De plus, l'échantillonnage montre différents profils urbains, péri-urbains, non citadins de la région parisienne, et différentes catégories socio-professionnelles, afin de garantir la représentativité des situations, des lieux de vie et des usages du véhicule au sein de la population française.

8.2.4 Création du questionnaire d'évaluation de l'UX

Deux raisons principales nous amènent à créer un questionnaire d'évaluation de l'UX. Premièrement, les questionnaires d'évaluation de l'UX proposés dans la littérature ne sont pas spécifiques à une évaluation en contexte automobile. Par exemple, au chapitre 1 nous avons pu montrer que les questionnaires d'évaluation présentés n'évaluent que très peu la sécurité d'utilisation et le plaisir sensoriel perçu (voir Tableaux 1.2 et 1.3). Ce sont des critères d'évaluation pourtant centraux dans un contexte automobile. Deuxièmement, les échelles proposées par les questionnaires sont souvent catégorielles, à l'image des échelles de *Likert* ou d'*Osgood*. Elles émettent donc une hypothèse a priori sur la structure des réponses (bipolaire ou cumulative). Afin de laisser à l'analyse la possibilité de définir la structure des attitudes, nous privilégions un format de réponse unipolaire et continu. Dans ce format de réponse, les sujets sont invités à indiquer leur degré d'accord avec les items sur un segment horizontal, de longueur fixe, dont seules les extrémités sont étiquetées avec respectivement « 0 % d'accord » et « 100 % d'accord » (Noel, 2014).

Pour construire ce nouveau questionnaire, nous nous sommes basés sur Le Modèle des Composantes de l'Expérience Utilisateur (Modèle CUE) (Thüring & Mahlke, 2007), présenté au chapitre 1. D'après ce modèle, l'expérience utilisateur se matérialise par des composantes perceptives et émotionnelles, qui influencent le jugement global résultant. Pour étudier ces liens, nous proposons une mesure de la perception ergonomique et hédonique des IHM, puis une mesure de la réaction émotionnelle et enfin une mesure du jugement global résultant de l'UX. Pour faire cela, nous allons créer des items qui évaluent spécifiquement ces registres et qui possèdent un format de réponse continu, unipolaire et borné.

Concernant la composante perceptive, les référentiels ergonomiques et hédoniques de Renault et les questionnaires d'évaluation de l'UX de la littérature, présentés au chapitre 1, sont utilisés pour créer les items. Les référentiels Renault permettent d'identifier les aspects à évaluer (facilité d'utilisation et sécurité d'utilisation, plaisir sensoriel, plaisir symbolique) ainsi que les critères métier à étudier spécifiquement (la prise en main, la compatibilité en conduite, etc.). Les questionnaires d'évaluation de l'UX permettent de formuler correctement ces critères, sous forme de questions comportementales et situationnelles destinées à un utilisateur non expert. Comme expliqué à la section 8.2.1, l'interaction avec les cockpits se fait à l'arrêt et sans passagers. Ainsi, seuls les critères ayant du sens à être évalués dans une interaction statique, avec possible projection dans la conduite, sont sélectionnés. Par exemple, nous évaluons l'agréabilité des écrans, mais pas celle du volant.

Concernant la composante émotionnelle, nous nous basons sur la littérature présentée au chapitre 1 pour créer des items. Une mesure des trois états émotionnels de valence, d'activation et de dominance est attendue. Nous proposons des items avec des échelles de réponses unipolaires. Or, la structure de la composante émotionnelle étant supposée bipolaire (Noel & Dauvier, 2007 ; Noel, Fevrier, & Deflandre, 2018 ; Russell & Mehrabian, 1977). Cela double donc le nombre d'items évalués pour la composante émotionnelle (par exemple : valence positive ; valence négative). Enfin, nous rajoutons un item qui questionne le stress, car il semble pertinent en contexte automobile.

Concernant le jugement global, la mesure se limitera à deux items. Au travers de ces deux items, l'appréciation globale de l'expérience vécue et l'appréciation globale des véhicules sont questionnés. Nous distinguons ces deux notes pour voir si les sujets parviennent à différencier le concept d'expérience de manipulation des commandes et des écrans du concept d'expérience globale avec le véhicule (confort, marque, motorisation, etc.)

Les items qui composent le questionnaire d'évaluation de l'UX, créé spécifiquement pour le contexte automobile, sont présentés : au Tableau 8.5 pour la perception ergonomique, 8.6 pour la perception hédonique, 8.7 pour la réaction émotionnelle et 8.8 pour l'appréciation globale. Pour faciliter la lecture, les tableaux 8.5 et 8.6 reprennent la structure des référentiels Renault (Tableaux 1.2 et 1.3 du chapitre 1).

TABLEAU 8.5 – Items pour mesurer la perception ergonomique.

Référentiel Renault		Item	Contenu de l'item
FACILITE D'UTILISATION	COMPREHENSION FACILE	orga	Le cockpit est bien organisé, les informations sont facilement repérables.
		comprEcran	Les informations qui sont affichées sur les écrans sont facilement compréhensibles.
		comprBouton	Il est facile de comprendre à quoi servent les commandes physiques (boutons, molettes, etc.) par leur emplacement ou leur pictogramme.
	PRISE EN MAIN FACILE	rapidite	Les commandes physiques et tactiles permettent de réaliser des actions de manière rapide.
		precision	Les commandes physiques et tactiles permettent de régler les fonctions avec le niveau de précision désiré, par exemple pour ajuster la température de la climatisation.
		lisible	Les informations qui sont affichées sur les écrans et sur les commandes physiques sont lisibles. C'est facile à lire.
SECURITE D'UTILISATION	VIGILANCE RENFORCEE	effort	Les commandes physiques et tactiles sont positionnées de manière à éviter les efforts physiques (comme d'avoir à se rapprocher) lors de la manipulation.
		position	Les écrans sont bien placés pour une prise d'information rapide tout en conduisant.
		orientation	Ce véhicule est orienté conducteur. Les commandes physiques, les commandes tactiles et les informations sont essentiellement accessibles par le conducteur.
	COMPATIBILITE AVEC LA CONDUITE	attention	Les commandes physiques et les écrans permettent de préserver l'attention portée à la conduite.
		securite	Les commandes physiques et les écrans sont adaptés pour une conduite en toute sécurité.

TABLEAU 8.6 – Items pour mesurer la perception hédonique.

Référentiel Renault		Item	Contenu de l'item
SENSORIEL	PLAISIR VISUEL	qualité	D'un point de vue esthétique, les écrans sont de bonne qualité.
		harmonieIHM	Il y a une harmonie globale entre les écrans et le reste de la planche de bord.
		harmonieEcran	De la même manière que la question précédente, il y a une harmonie globale dans la conception des écrans, comme si la même personne les avait développés (que ce soit l'objet physique ou ce qui est affiché dans les écrans)
	PLAISIR TACTILE	boutonAgreable	Les commandes physiques sont agréables à toucher et à manipuler. La sensation procurée lors de l'action des boutons ou des molettes est plaisante.
		ecranAgreable	Les commandes tactiles sont agréables à toucher et à manipuler. La sensation procurée lors de l'appui sur les écrans est plaisante.
	CONSISTENCE	congruence	Dans les commandes, il y a une harmonie globale entre ce qui est affiché, le son émis et les sensations au toucher.
SYMBOLIQUE	STIMULATION	innov	Les commandes physiques et les écrans sont innovants.
		techno	Le véhicule est riche en technologie.
		epure	La planche de bord est épurée.
		continu	Il y a une sensation de continuité des différents éléments de la planche de bord. Ils forment un tout.
	ASPIRATION	flatteur	Les commandes physiques et les écrans sont flatteurs pour l'image de celui qui possède la voiture.

TABLEAU 8.7 – Items pour mesurer la réaction émotionnelle.

Item	Contenu de l'item
valenceP	J'ai vécu une expérience positive avec ce véhicule lors de la manipulation des commandes.
valenceN	J'ai vécu une expérience désagréable avec ce véhicule lors de la manipulation des commandes.
activationP	J'ai vécu une expérience stimulante avec ce véhicule lors de la manipulation des commandes.
activationN	J'ai vécu une expérience apaisante avec ce véhicule lors de la manipulation des commandes.
dominanceP	En manipulant les boutons et les écrans, j'ai eu la sensation d'une parfaite maîtrise.
dominanceN	En manipulant les boutons et les écrans, j'ai eu la sensation d'un véhicule difficile à contrôler.
stress	J'ai vécu une expérience stressante avec ce véhicule lors de la manipulation des commandes.

TABLEAU 8.8 – Items pour mesurer l'appréciation globale.

Item	Contenu de l'item
appreciation.exp	Veuillez maintenant indiquer dans quelle mesure vous avez apprécié votre expérience de manipulation des commandes physiques et des écrans.
appreciation.voit	Au-delà de votre expérience avec ces commandes physiques et ces écrans, veuillez maintenant indiquer dans quelle mesure vous avez apprécié ce véhicule.

8.3 Protocole et collecte des données

Les expérimentations ont pour objectif de recueillir des données quantitatives, au travers de la notation des items présentés au paragraphe précédent. Les expérimentations ont également pour objectif de recueillir des données qualitatives pour consolider les résultats. Chaque entretien a donc été enregistré pour permettre une retranscription des échanges.

Pour commencer l'expérimentation, une mise en contexte était prévue de la manière suivante : *« Imaginez être en concession, vous voulez acquérir un véhicule et vous allez baser votre choix en fonction de l'expérience que vous allez vivre avec les différentes commandes, boutons et écrans de ces véhicules. Dans cette expérience, l'extérieur du véhicule (forme, taille, couleur) et son niveau de gamme intérieur ne compte pas. »*.

Ensuite, pour faciliter les expérimentations, c'est-à-dire faciliter la découverte des différents cockpits et permettre une progression dans l'évaluation de l'expérience d'interaction (de la perception au jugement globale), quatre phases étaient prévues et ont été répétées dans chaque cockpit automobile.

Au cours de ces phases, des tâches disjointes ou imbriquées à la conduite étaient prévues. Pour autant, les individus n'étaient pas jugés sur la réussite de ces tâches. Par exemple, dans le cas où ils n'arrivaient pas à réaliser une tâche (identifier une commande, trouver le chemin d'accès, etc.), une aide a pu être apportée. Ils étaient d'ailleurs libres de choisir le chemin d'interaction qui leur semblait le plus pertinent pour réaliser la tâche demandée. Les tâches devaient permettre aux participants de se projeter dans l'utilisation des différentes commandes proposées par les cockpits. Les tâches ont donc été choisies en accord avec les directives de l'expertise Renault pour représenter les actions les plus couramment effectuées dans un cockpit, tous niveaux de techno-affinité confondus.

Avec l'objectif de recueillir des éléments qualitatifs, à la fin de chaque phase des questions sur l'expérience vécue étaient posées à l'oral. Ensuite, dans l'objectif de recueillir des données quantitatives, les participants étaient invités à évaluer l'expérience vécue au travers de la notation des items créés spécifiquement à la section précédente. Le recueil des données s'est fait à l'aide d'une tablette tactile. Sur ces tablettes, des curseurs interactifs, étaient représentés pour obtenir des réponses continues et bornées sur des échelles d'accord allant de 0% à 100%. Les différentes phases, opérées dans chacun des cockpits, sont décrites ci-après.

Phase 1 - Premièrement, une phase de découverte visuelle du cockpit, sans manipulation des IHM était prévue. L'objectif de cette phase était de mettre à l'aise les participants dans chaque cockpit et de recueillir leurs premières impressions.

Pour faire cela, nous avons laissé les participants s'installer confortablement au volant, et démarrer le véhicule pour allumer les écrans. Puis, nous leur avons proposé une première activité de repérage des différentes fonctionnalités : les commandes pour régler la climatisation ; les commandes pour activer le régulateur de vitesse ; les commandes pour activer les feux de détresse ; les commandes pour passer un appel ; l'affichage des informations multimédia ; l'affichage des informations de conduite.

Ensuite, nous avons posé des questions à l'oral permettant aux participants de s'exprimer sur leurs ressentis : « êtes-vous à l'aise ? », « Que pensez-vous du niveau de technologie de ce cockpit ? », « Que pensez-vous de l'aspect esthétique ? ».

À la fin de cette première phase, les participants étaient invités à noter certains items relatifs à la perception ergonomique et hédonique. Les items évalués lors de cette première phase sont les suivants : *epure*, *orga*, *innov*, *techno*, *harmonieIHM*, *harmonieEcran*, *continuite* et *flatteur*. D'après leur contenu (voir Tableaux 8.5 et 8.6), il s'agit des items qui peuvent être évalués au visuel, c'est-à-dire sans manipulation des IHM.

Phase 2 - Deuxièmement, une phase de manipulation des IHM était prévue. L'objectif de cette phase était de laisser aux participants le temps d'effectuer une première prise en main des commandes et de recueillir leurs premières impressions concernant la manipulation de ces commandes.

Pour faire cela, nous avons demandé aux participants de réaliser des tâches disjointes à la conduite pour qu'ils puissent manipuler les commandes liées au confort (climatisation) et les commandes multimédias (radio, GPS). Les tâches demandées sont décrites au Tableau 8.9.

Ensuite, nous avons posé des questions à l'oral permettant aux participants de s'exprimer sur leurs ressentis : « Est-ce que c'était facile à réaliser ? », « Est-ce que c'était intuitif ? », « Est-ce que c'était agréable ? ».

À la fin de cette seconde phase, les participants étaient invités à noter certains items relatifs à la perception hédonique et ergonomique. Les items évalués lors de cette seconde phase sont les suivants : *qualite*, *comprEcran*, *comprBouton*, *rapidite*, *precision*, *boutonAgreable* et *EcranAgreable*. D'après leur contenu (voir Tableaux 8.5 et 8.6), il s'agit des items qui peuvent

être évalués sans projection dans la conduite, c'est-à-dire sans prendre en compte l'aspect sécuritaire associé au contexte automobile.

TABLEAU 8.9 – Tâches demandées à la phase 2 de l'expérimentation.

Climatisation	Radio	GPS
1. Activez la climatisation (A/C) et ajustez la température à 21 degrés.	1. Allumez et choisissez la radio RTL.	1. Entrez la destination suivante et lancez le GPS (« Gare de Versailles-Chantier »).
2. Choisissez la force de ventilation minimale.	2. Montez le niveau sonore.	2. Coupez le GPS.
3. Coupez la climatisation.	3. Coupez la radio.	

Phase 3 - Troisièmement, une phase de projection dans la conduite (en statique), avec manipulation des IHM, était prévue. L'objectif de cette phase était de recueillir les impressions sur la manière d'interagir avec les IHM (réception d'information, manipulation des commandes), en conduite projetée.

Pour faire cela, nous avons demandé aux participants de se mettre en condition de conduite (mains sur le volant, ceinture attachée, etc.). En parallèle, nous demandions aux participants de réaliser des tâches imbriquées ou disjointes à la conduite. Les tâches imbriquées permettaient de simuler l'interaction avec les fonctionnalités directement liées à la conduite. Les tâches disjointes permettaient de répéter les tâches précédemment réalisées et de vérifier qu'elles étaient réalisables en conduite projetée. Les tâches demandées sont décrites au Tableau 8.10.

Ensuite, nous avons posé des questions à l'oral permettant aux participants de s'exprimer sur leurs ressentis : « Quel est votre ressenti vis-à-vis de cette expérience ? », « Est-ce que les commandes vous paraissent adaptées à la conduite ? », « Pensez-vous vous habituer à ces commandes après plusieurs utilisations ? », « Finalement, diriez-vous que ce type de commande vous conviendrait ? », « Que faudrait-il améliorer pour vous satisfaire ? ».

À la fin de cette troisième phase, les participants étaient invités à noter certains items relatifs à la perception hédonique et ergonomique. Les items évalués lors de cette troisième phase sont les suivants : *lisible*, *effort*, *position*, *orientation*, *attention*, *securite*, *congruence*. D'après

leur contenu (voir Tableaux 8.5 et 8.6), il s'agit des items spécifiquement liés à la conduite, c'est-à-dire qui prennent en compte l'aspect sécuritaire associé au contexte automobile.

TABLEAU 8.10 – Tâches demandées à la phase 3 de l'expérimentation.

Lecture du tableau de bord	Climatisation	Radio
1. Activez les clignotants.	1. Activez la climatisation (A/C) et ajustez la température à 19 degrés.	1. Changez de radio.
2. Indiquez le niveau de batterie / carburant restant.	2. Choisissez la force de ventilation maximale.	2. Baissez le niveau sonore.
3. Trouvez les informations concernant le kilométrage.	3. Coupez la climatisation.	3. Coupez la radio.

Phase 4 - Quatrièmement, une phase de notation finale était prévue afin de recueillir les données sur la réaction émotionnelle et l'appréciation globale des interactions homme-machine (voir Tableaux 8.7 et 8.8).

Après avoir testé l'ensemble des cockpits, les participants étaient invités à classer les 4 cockpits en fonction de leur préférence en termes de manipulation des commandes et des écrans. Ce classement est assimilé à une mesure de jugement global, mais qui, à l'inverse des notes d'appréciation, apporte une information de comparaison entre les cockpits.

Pour réaliser toutes ces phases, les expérimentations étaient limitées à 25 minutes par cockpit. En fixant cette limite, 20 minutes étaient disponibles pour l'accueil des participants, la mise en contexte et le classement global des véhicules, en fonction de leur préférence, à la fin de l'expérimentation. Le terrain s'est déroulé sur six jours. Les véhicules étaient présentés dans un hangar en région parisienne et les participants étaient invités à tester, en statique, les quatre véhicules l'un après l'autre.

Afin de maîtriser les effets d'ordre de présentation, la méthode du Carré Latin a été suivie (Macfie, Bratchell, Greenhoff, & Vallis, 1989). L'ordre de présentation des véhicules a été défini de manière que chaque cockpit ait été vu autant de fois sur chacun des rangs de présentation (rang 1, 2, 3 et 4) et pour tous les profils de techno-affinité.

8.4 Méthodologie d'analyse

L'analyse des données recueillies lors du terrain se fera en trois étapes. Dans une première étape, nous ferons une analyse des composantes de l'UX. Dans cette étape, l'objectif sera d'étudier la structure des composantes et de quantifier l'effet des facteurs relatifs aux sujets et aux cockpits, ainsi que leurs interactions respectives, sur cette structure.

D'après le modèle CUE, ces composantes ont un impact sur le jugement global. C'est pourquoi dans une seconde étape, nous ferons une analyse de ce jugement global, afin d'expliquer l'influence des composantes de l'UX (une à une) sur les notes d'appréciation globale données par chaque profil de techno-affinité.

Les données issues du classement des cockpits en fonction de la préférence en termes de manipulation des commandes et des écrans apportent une information de comparaison entre les cockpits. C'est pourquoi, une analyse de la préférence sera menée dans une dernière étape.

8.4.1 Étape 1 : analyse des composantes de l'UX

Pour chaque composante de l'UX, perceptive et émotionnelle, l'analyse se fera en deux temps. Dans un premier temps, nous analyserons leur structure. Dans un second temps, nous analyserons la variabilité autour de cette structure (variabilité des optimums).

Structure des composantes - Nous pensons que le positionnement des individus, dans leur préférence concernant la dématérialisation et la numérisation des cockpits, est une recherche d'optimum entre des forces contradictoires (expérience ergonomique vs. hédonique ; expérience satisfaisante vs. plaisante). Si tel est le cas, alors un modèle capable précisément de représenter cette notion de compromis devrait être adapté à nos données. Dans la littérature psychométrique, ces modèles sont connus sous le nom de dépliage (Coombs, 1950, 1964).

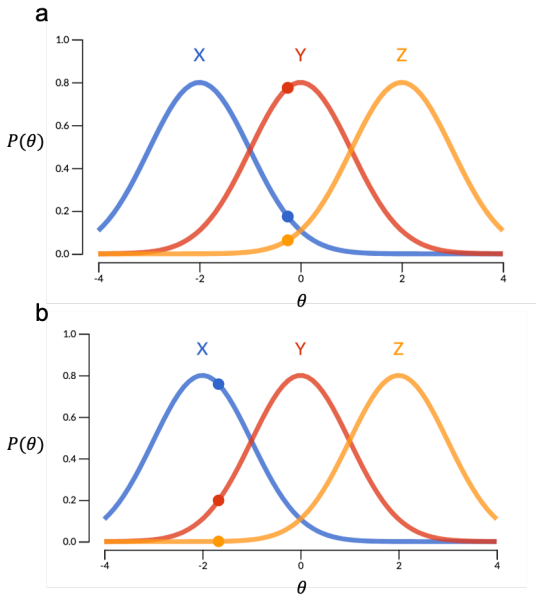
Dans notre contexte, les variables à modéliser étant continues et bornées, le modèle BUM (*Beta Unfolding Model*, Noel, 2014), issue de la théorie des réponses aux items (IRT) est sélectionné. Il s'agit d'un modèle probabiliste pour déplier les réponses continues bornées, qui est particulièrement efficace pour modéliser des phénomènes latents d'attitudes contradictoires.

Ce modèle de dépliage permet ainsi de représenter dans un même espace latent, les sujets et les items. Dans cet espace latent, les sujets sont représentés par des points idéaux et les items sont représentés par des fonctions de réponse. La position des sujets est donnée par

l'estimation de leur score θ sur le trait latent. La position des items est donnée par l'estimation de leur paramètre δ. À la différence des modèles IRT présentés à la section 4.3.2, le BUM n'est pas un modèle cumulatif. Le dépliage de la réponse suppose plutôt que la note donnée à un item sera plus élevée autour d'un point idéal sur la dimension latente. Les items sont donc caractérisés par une fonction de réponse à un seul pic de probabilité, souvent en U inversé.

Pour illustrer ces propos, la Figure 8.2, donne comme exemple les courbes caractéristiques de trois items X, Y et Z ayant des paramètres δ différents et présentant une fonction de réponse en U inversé. Les trois points positionnés sur les différentes courbes représentent la position idéale θ d'un sujet. Sa position varie entre les Figures a et b.

FIGURE 8.2 – Mécanisme de dépliage.



Nous voyons à la Figure 8.2.a que, plus le point idéal du sujet se rapproche du pic de probabilité de l'item Y, plus la probabilité que la note soit élevée pour l'item Y augmente, mais diminue pour les items X et Z situés aux deux extrémités du trait latent. Dans ce cas, l'affinité est optimale pour l'item Y, mais minimale à la fois pour les items X et Z. L'item Y représente donc un compromis entre les attitudes contradictoires présentées par les items X et Z.

Au contraire, plus le sujet s'éloigne de ce pic de probabilité, dans un sens ou dans l'autre, plus la probabilité que la note soit élevée pour l'item Y diminue. L'exemple donné à la Figure 8.2.b illustre ce propos. Dans cet exemple, le sujet va vers une position optimale à

gauche du trait latent. L'affinité devient donc optimale pour l'item X (à l'extrémité gauche du trait latent), reste minimale pour l'item Z (à l'extrémité droite du trait latent) et devient minimale pour l'item Y (au centre du trait latent).

En ajustant le modèle BUM, nous espérons ainsi résumer en une seule dimension l'information apportée par l'ensemble des items qui évaluent la perception (Tableaux 8.5 et 8.6). De la même manière, nous espérons résumer en une seule dimension l'information apportée par les items qui évaluent la réaction émotionnelle (Tableau 8.7). Si la structure de ces dimensions reflète celle d'une structure en point idéal, alors les positions θ le long du trait latent auront du sens et pourront être utilisées dans les analyses qui vont suivre. Notons que dans le cas de structures bipolaires, le modèle BUM est capable de prendre des formes cumulatives. Les courbes en U inversé sont alors comme glissé vers la gauche ou la droite du trait latent. Dans ce type de cas, nous ne voyons que la branche descendante ou montante de la courbe caractéristique des items.

Les indices OUTFIT et INFIT sont utilisés pour évaluer l'ajustement des items aux modèles BUM (Wright & Linacre, 1994). Leurs définitions ont été données à la section 5.5.4.

Variabilité des optimums - Une particularité des données est à prendre en compte avant d'étudier la variabilité des optimums. Les observations $x_{i,j,p}$ représentent la note de l'item j, donnée par un sujet i pour un cockpit p. Le score θ, qui traduit la position d'un point idéal sur les traits latents de la composante perceptive et de la composante émotionnelle, représente donc en réalité la position optimale d'une paire sujet-cockpit. Ainsi, dans un premier temps, la distribution des positions θ est examinée visuellement, au moyen de graphiques de densité. En faisant cela, nous identifions sur les traits latents, la position optimale moyenne des profils de techno-affinité et celle des cockpits évalués, de manière indépendante.

Ensuite, la variabilité des positions θ est examinée en évaluant l'effet des facteurs relatifs aux sujets et aux cockpits, ainsi que leurs interactions respectives, sur la distribution des positions θ. En faisant cela, nous vérifions que :

- les cockpits sont perçus différemment, et que leur degré de numérisation et de dématérialisation expliquent des différences de perception et de réaction émotionnelle ;
- l'interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle des cockpits est différente d'un profil de techno-affinité à l'autre.

Enfin, en évaluant les effets d'interactions, nous vérifions 1) qu'en contexte automobile, la perception ergonomique et hédonique des phénomènes de dématérialisation et de numérisation,

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

diffère en fonction de la techno-affinité et 2) que selon le niveau de techno-affinité la réaction émotionnelle n'est pas la même : les individus ne sont pas satisfaits de la même façon entre un contrôle mécanique et un contrôle dématérialisé, et n'ont pas le même plaisir à interagir entre un environnement peu numérisé et un environnement très numérisé.

Pour évaluer l'effet des facteurs sujets, cockpits et de leurs interactions sur les positions θ, une analyse de la variance est réalisée. Cette analyse prend alors en entrée les scores latent θ comme variable dépendante, et les facteurs $Profil$, $Cockpits$ et leurs interactions, comme variables et termes indépendants.

Pour identifier le modèle qui convient le mieux pour résumer la variabilité des distributions θ, plusieurs modèles de régression vont être comparés. Au-delà de d'évaluer l'effet du facteur $Profil$, l'objectif de cette comparaison est de définir si le facteur $Cockpit$ et l'interaction $Profil{\times}Cockpit$ peuvent se résumer plus simplement aux travers des facteurs $Numérisation$, $Dématérialisation$ et des interactions qui en découlent. Cela permettrait de valider le choix de ces quatre cockpits comme représentatifs des deux dimensions retenues (Numérisation, Dématérialisation) pour la description de l'espace produit. Au total, 12 modèles sont comparés. Le Tableau 8.11 répertorie leurs caractéristiques.

Pour comparer les différents modèles, nous utilisons le critère d'information d'Akaike (AIC, Akaike, 1974). L'AIC représente un compromis entre la vraisemblance des modèles et leur parcimonie (nécessité de décrire les données avec le plus petit nombre de paramètres possible). Le meilleur modèle est celui qui possède l'AIC le plus faible.

Dans ce contexte, nous supposons que la variable dépendante est distribuée normalement. Nous utilisons alors un modèle de régression linéaire pour effectuer l'analyse de la variance. Par ailleurs, comme les sujets sont soumis à quatre évaluations répétées pour les quatre véhicules, on introduit un effet sujet aléatoire. En faisant cela, nous prenons en compte la dépendance statistiques des quatre scores θ associés à chaque sujet. Ainsi, pour chaque sujet i et chaque cockpit p, le modèle M3, duquel va découler les autres modèles, se définit comme suit :

$$\hat{\theta}_{i,p} = \beta_0 + \beta_1\ Profil_i + \beta_2\ Cockpit_p + \beta_1\beta_2\ Profil_i \times Cockpit_p + \mu_i \qquad (8.1)$$

où $\theta_{i,p}$ correspond à la position estimée de la paire sujet-cockpit sur le trait latent θ, β_0 correspond à la constante du modèle, β_1 correspond au paramètre de l'effet fixe Profil, β_2 correspond au paramètre de l'effet fixe Cockpit, μ_i correspond au paramètre de l'effet aléatoire Sujet.

TABLEAU 8.11 – Modèles comparés pour expliquer la variabilité des distributions θ.

Modèles	Effets testés	Interactions testées
Modèle M1	$Constante$	/
Modèle M2	$Cockpit$	/
Modèle M3	$Profil + Cockpit$	$Profil \times Cockpit$
Modèle M4	N	/
Modèle M5	$Profil + N$	$Profil \times N$
Modèle M6	D	/
Modèle M7	$Profil + D$	$Profil \times D$
Modèle M8	$N + D$	/
Modèle M9	$Profil + N + D$	$Profil \times N + Profil \times D$
Modèle M10	$N + D$	$N \times D$
Modèle M11	$Profil + N + D$	$Profil \times N + Profil \times D + N \times D$
Modèle M12	$Profil + N + D$	$Profil \times N + Profil \times D + N \times D + Profil \times N \times D$

Note. D=Dématérialisation, N=Numérisation.

8.4.2 Étape 2 : analyse du jugement global

Dans cette analyse, nous cherchons à comprendre comment s'opère le jugement global, qui résulte de l'expérience d'interaction.

Nous voulons, d'une part, vérifier que le jugement global dépend de la perception et des émotions, comme indiqué dans la littérature. Nous voulons, d'autre part, vérifier que l'interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle, faite par chaque profil de techno-affinité, influence effectivement les jugements globaux, comme indiqué par nos hypothèses générales.

Il s'agit alors d'étudier quels types de caractéristiques IHM (ergonomiques ou hédoniques) et quels types d'émotions (valence, stimulation, maîtrise) vont influencer les notes d'appréciation globale. Nous allons donc regarder si ce qui traduit une interaction homme-machine réussie,

pour un profil donné de techno-affinité, impacte réellement le jugement global qui est fait par ce profil. Par exemple, si un manque de maîtrise est observé avec un cockpit automobile, nous allons examiner son impact sur le jugement global. Dans cet exemple, l'objectif sera de déterminer si ce manque de maîtrise impacte plus fortement les faibles niveaux de techno-affinité que les hauts niveaux de techno-affinité. Nous souhaitons ainsi donner du sens à l'interaction entre les niveaux de techno-affinité et la position de leurs optimums sur les traits latents de perception et des émotions.

Les notes d'appréciation globale de l'expérience et du véhicule traduisent ce jugement global (voir Tableau 8.8). La modélisation qui est réalisée, prend alors en entrée l'Appréciation, notée $y_{i,p}$, comme variable dépendante. Les variables et termes indépendants sont :

- Le facteur $Profil$, le facteur $Perception$ et l'interaction $Profil \times Perception$
- Le facteur $Profil$, le facteur $Emotion$ et l'interaction $Profil \times Emotion$

Les facteurs $Perception$ et $Emotion$ se traduisent par leurs scores latents $\theta_{i,p}$ précédemment estimés lors de l'analyse des composantes de l'UX.

Dans ce contexte, comme la variable dépendante est continue bornée, nous utilisons un modèle de régression linéaire généralisé, de type logistique beta (Verkuilen & Smithson, 2012) pour étudier la variabilité des notes d'appréciation. Par ailleurs, comme les sujets sont soumis à 4 évaluations répétées pour les quatre véhicules, nous introduisons un effet sujet aléatoire. En faisant cela, nous prenons en compte la dépendance statistique des quatre notes d'appréciation $y_{i,p}$ associées à chaque sujet. Ainsi, pour chaque sujet i et chaque cockpit p, le modèle étudié se définit comme suit :

$$\hat{y}_{i,p} = \beta_0 + \beta_1 \ PROFIL_i + \beta_2 \ \ \theta_{i,p} + \beta_1\beta_2 \ PROFIL_i \times \ \theta_{i,p} + \mu_i \tag{8.2}$$

où $\hat{y}_{i,p}$ correspond à la note d'appréciation estimée par le sujet i à propos du cockpit p, β_0 correspond à la constante du modèle, β_1 correspond au paramètre de l'effet fixe PROFIL, β_2 correspond au paramètre de l'effet fixe θ et μ_i correspond au paramètre de l'effet aléatoire Sujet.

8.4.3 Étape 3 : analyse des préférences

Dans cette dernière étape, nous voulons donner du sens au jugement global, mais cette fois-ci en prenant en compte l'information de comparaison des cockpits contenue dans les données

de classement. L'objectif de cette analyse est aussi d'apporter des éléments de compréhension sur les raisons qui mène les profils de techno-affinité à préférer ou à rejeter les différents cockpits automobiles après les avoir testés.

Cette analyse se fera en quatre temps. Dans un premier temps, nous donnerons une image globale du classement effectué par les 60 participants. Ensuite, nous examinerons les différences de classement qui a pu être fait entre les profils de techno-affinité, enfin, nous projetterons les profils de techno-affinité et les cockpits dans un même espace de préférence, pour une compréhension plus globale des attitudes.

Image globale du classement - Premièrement, nous voulons déterminer le classement global des préférences. Pour faire cela, l'image globale du classement est examinée par le calcul des rangs moyens attribués aux cockpits par l'ensemble des 60 sujets et par le calcul de la table marginale du classement. La table marginale représente la fréquence pour laquelle le cockpit p reçoit le rang 1, le rang 2, le rang 3 et le rang 4.

Le classement global devrait alors re-traduire les résultats précédents : les cockpits qui permettent la meilleure expérience utilisateur devraient être préférés, et inversement.

Identifier des différences de classement - Deuxièmement, les différences de classements sont examinées. L'objectif est de vérifier que les profils de techno-affinité ont des préférences différentes en termes d'interaction homme-machine. D'après nos hypothèses, les profils de techno-affinité n'ont pas les mêmes préférences entre un contrôle mécanique vs. contrôle dématérialisé ; entre un environnement peu numérisé vs. environnement totalement numérisé.

Pour étudier cela, les profils de techno-affinité sont caractérisés par leur choix fait au rang $r = \{1,\ 2,\ 3,\ 4\}$. Nous examinons alors la dépendance entre la variable profil et les choix fait à chaque rang par un test du χ^2. En faisant cela, nous considérons le rang comme une variable qualitative qui peut prendre plusieurs modalités selon le facteur considéré. Lorsque le facteur est le Cockpit alors $R_r = \{TESLA,\ PEUGEOT,\ KIA,\ HONDA\}$. Lorsque le facteur est la Numérisation ou la Dématérialisation, alors $R_r = \{0, 1\}$.

Si des différences sont observées et que nos hypothèses générales sont correctes, alors plus le niveau de techno-affinité augmente, plus les préférences devraient aller pour les cockpits aux caractéristiques technologiques (environnement numérisé, contrôle dématérialisé).

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

Projeter les profils et les cockpits dans un même espace de préférence - Troisièmement, pour étudier les proximités en termes de classement, la préférence est modélisée. Comme expliqué précédemment, nous supposons que la préférence, concernant la dématérialisation et la numérisation des interactions, se structure en point idéal. C'est pourquoi un modèle de dépliage est utilisée pour modéliser les préférences. cependant, par contraste avec ce que nous avons fait à l'étape 1, les données présentes ici sont ordinales par nature et ne peuvent donc pas être traité par une approche probabiliste. Une approche par positionnement multidimensionnel (MDS, *Multidimensional Scaling*) non métrique est donc employée. En faisant cela, l'information ordinale est transformée, permettant a posteriori la construction de distance euclidienne entre les cockpits et les sujets (Borg, Groenen, & Mair, 2018 ; Mair, 2018 ; Marden, 2014).

La modélisation qui est réalisée prend donc en entrée la matrice $I \times P$, où $I = 60$ représente le nombre total de sujets et $P = 4$ représente le nombre total de cockpits. Les sujets et les cockpits sont ainsi représentés dans un même espace euclidien de faible dimension. Le nombre d'axes retenu pour l'espace de représentation des produits est choisi en fonction du critère de STRESS (*Standardized Residual Sum of Squares*) ou Stress-I, qui reflète le manque d'adéquation entre les rangs originaux et les distances euclidiennes de l'espace de représentation. Ce critère diminue à mesure que le nombre d'axes augmente. En principe, une valeur de stress inférieure à 0.20 est considérée comme acceptable (Kruskal, 1964).

Dans le cas des modèles non métriques, il faut faire attention aux solutions dégénérées. Les solutions dégénérées sont reconnues par le fait que toutes, ou presque toutes, les distances entre les points idéaux sont identiques. Pour éviter ce problème, l'approche pénalisée de Busing, Groenen, et Heiser (2005) est particulièrement efficace.

En faisant cela, les profils de techno-affinité et les cockpits sont projetés dans un même espace de préférence. Dans cet espace, les sujets sont représentés par des points idéaux et sont proches de leurs cockpits préférés. Plus les sujets sont proches entre eux dans le plan, plus leur classement est similaire. Nous vérifions que les sujets d'un même profil de techno-affinité sont proches dans l'espace de préférence. Pour donner du sens aux distances observées, la position des profils de techno-affinité est analysée à l'aide des données qualitatives recueillies lors des expérimentations.

8.4.4 Outils d'analyse

Les différentes analyses sont réalisées à l'aide de R (4.0.5). Les régressions sont réalisées à l'aide du package *glmmTMB* (Brooks et al., 2023). La MDS non métrique, avec approche pénalisée, est réalisée à l'aide de la fonction *unfolding()* du package *smacof* (Mair, Leeuw, Groenen, & Borg, 2022).

8.5 Résultats

8.5.1 Composante perceptive

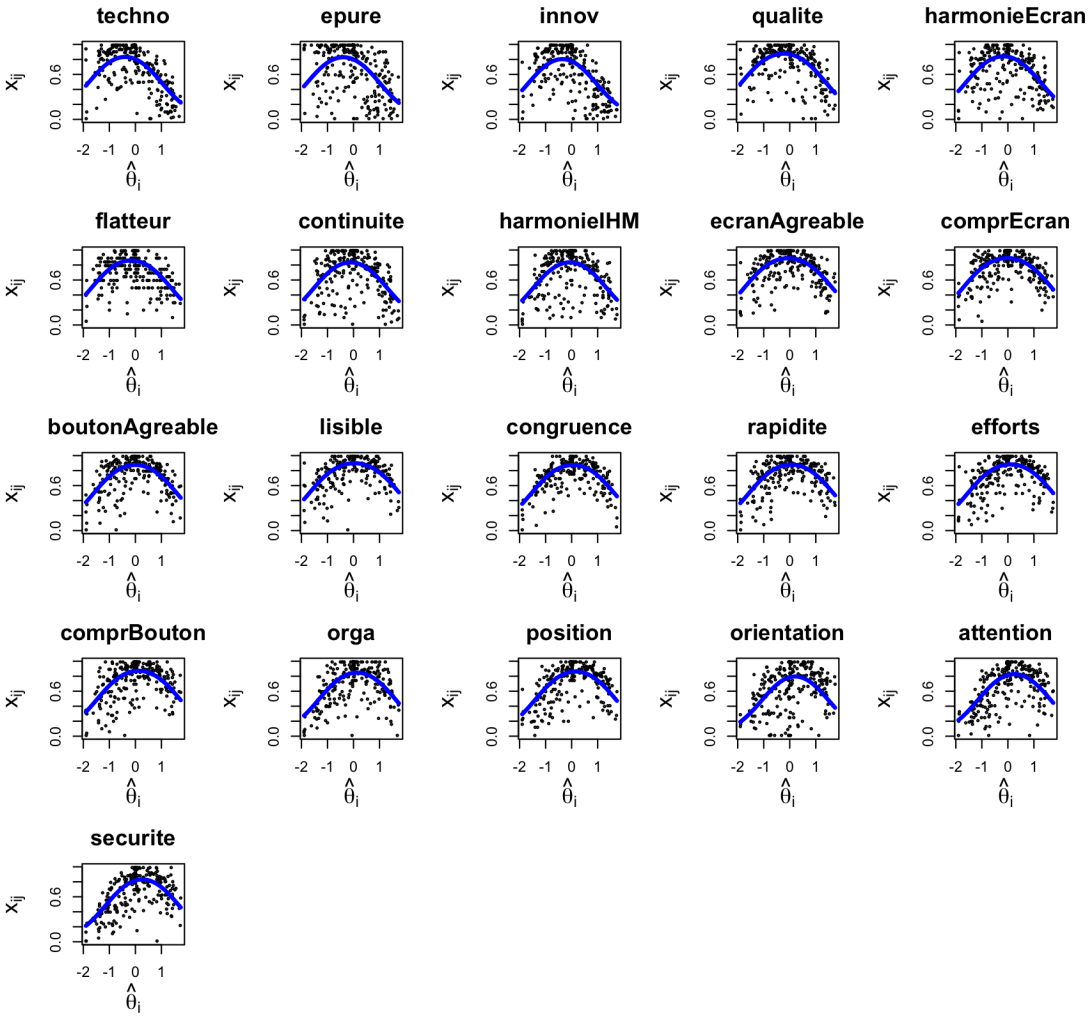
Structure de la composante perceptive - L'ajustement du modèle de dépliage BUM sur les données relatives aux composantes perceptives de l'UX, renvoie des critères d'ajustement INFIT et OUTFIT acceptables pour tous les items ($0.5 < OUTFIT < 1.5\ et\ 0.7 < INFIT < 1.3$), excepté pour l'item *précision* : « *Les commandes physiques et tactiles permettent de régler les fonctions avec le niveau de précision désiré, par exemple pour ajuster la température de la climatisation.* » ($INFIT = 1.41$). En écartant cet item du modèle, nous obtenons un modèle unidimensionnel correctement ajusté. Ce premier résultat montre que tous les items, qu'ils soient relatifs à la perception hédonique ou qu'ils soient relatifs à la perception ergonomique, appartiennent à un construit homogène qui peut se résumer par un trait latent unidimensionnel de perception.

Les courbes de réponses, associées aux items correctement ajustés au modèle BUM, sont disponibles à la Figure 8.3. Ces courbes affichent un modèle de réponse en U inversé. Cela montre qu'il y a bien un mécanisme d'affinité optimale qui s'opère entre les paires sujet-cockpit et les items relatifs à la perception. Le score latent θ traduit ainsi la position optimale de chaque paire sujet-cockpit sur le trait latent de perception.

Les paramètres d'items estimés sont reportés dans le Tableau 8.12. Pour faciliter la lecture, la première colonne du tableau renvoie à la caractéristique globale évaluée par les items considérés. Par exemple, les items *techno*, *épuré*, *innov*, *qualite*, *harmonieEcran*, d'après leur contenu (voir Tableaux 8.5 et 8.6), renvoient au caractère stimulant des cockpits automobiles.

D'après les paramètres de position, les items sont classés (de gauche à droite) des caractéristiques hédoniques (surlignés en orange dans le tableau) aux caractéristiques ergonomiques (surlignés en bleu dans le tableau). Les items relatifs à la stimulation se situent à l'extrémité gauche du trait latent, tandis que les items relatifs à la sécurité d'utilisation se situent à l'extrémité droite du trait latent. Par leur position centrale, les items *ecranAgrable*, *boutonAgrable*, *ComprEcran* et *Lisible* relatifs à la facilité d'utilisation et au plaisir d'utilisation, sont considérés comme ambivalents. Ces résultats suggèrent que le trait latent restitue le compromis entre la perception d'une expérience stimulante et plaisante et la perception d'une expérience facile, compréhensible et sécurisante.

FIGURE 8.3 – Courbes caractéristiques des items sur le trait latent de perception.



Note. En noirs sont rerésentés les points idéaux sujets-cockpits et en bleu les courbes de réponse espérées.

TABLEAU 8.12 – Paramètres des items composant le trait latent de perception.

		δ	OUTFIT	INFIT
Stimulation	**techno**	-0.39	0.86	0.87
	epure	-0.39	1.13	1.15
	innov	-0.36	0.88	0.89
	qualite	-0.23	1.04	1.07
	harmonieEcran	-0.17	1.14	1.12
Image renvoyée	**flatteur**	-0.16	1.24	1.23
Plaisir d'utilisation	**continuite**	-0.11	1.03	1.01
	harmonieIHM	-0.07	1.13	1.10
	ecranAgreable	-0.06	1.25	1.25
	comprEcran	-0.02	1.15	1.17
	boutonAgreable	0.00	1.07	1.08
Prise en main facile	**lisible**	0.03	1.20	1.19
	congruence	0.05	1.00	0.98
	rapidite	0.05	1.04	1.08
	efforts	0.10	1.20	1.22
Compréhension facile des fonctionnalité	**comprBouton**	0.12	1.08	1.09
	orga	0.14	0.92	0.90
Sécurité d'utilisation	**position**	0.15	1.10	1.10
	orientation	0.21	1.11	1.12
	attention	0.25	0.98	1.01
	securite	0.27	0.92	0.92

Note. Les items relatifs à la perception hédonique sont surlignés en orange et les items relatifs à la perception ergonomique sont surlignés en bleu.

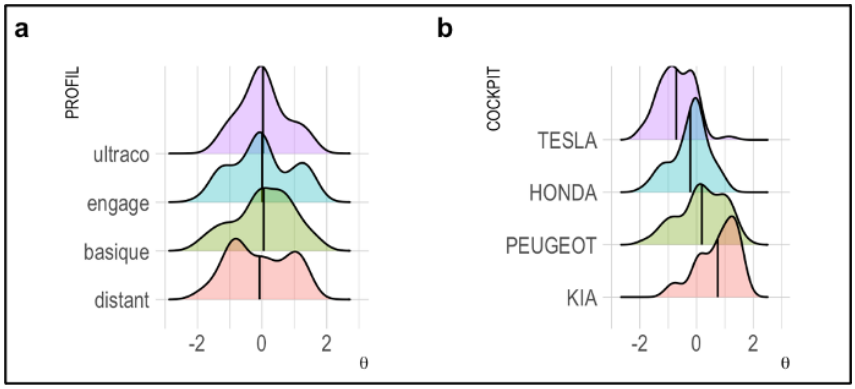
Variabilité des optimums de perception - Les graphiques de densité présentés à la Figure 8.4 permettent de visualiser la distribution des scores latents θ de perception en fonction des facteurs $Profils$ (Figure a) et $Cockpit$ (Figure b). À l'intérieur des courbes de densité, une ligne verticale indique les positions moyennes optimales pour chaque condition.

- Pour le facteur $Profil$, qui traduit le niveau de techno-affinité des sujets, les courbes de densité ont des positions optimales quasi identiques sur le trait latent de perception. Tous cockpits confondus, le niveau de techno-affinité ne semble donc pas expliquer des différences de perception.
- Pour le facteir $Cockpit$, les courbes de densités montrent des positions optimales différentes. Le cockpit de Tesla et celui de Honda (numérisés) ont des positions optimales à gauche du trait latent de perception, alors que le cockpit de Peugeot et celui de Kia (non numérisés) ont des positions optimales à droite du trait latent de perception. Tous sujets confondus, les cockpits, ainsi que leurs facteurs Numérisation et Dématérialisation, semblent donc expliquer des différences de perception.
- La position plus à gauche du cockpit de Tesla (dématérialisé, numérisé) sur le trait latent de perception, vers les caractéristiques hédoniques, indique que celui-ci est perçu comme le plus stimulant, mais aussi comme le moins sécurisant à utiliser.
- La position plus à droite du cockpit de Kia (non dématérialisé, non numérisé) sur le trait latent de perception, vers les caractéristiques ergonomiques, indique que celui-ci est perçu comme le plus sécurisant à utiliser, mais aussi comme le moins stimulant.
- La position plus centrale des cockpits de Honda et de Peugeot (compromis entre dématérialisation et numérisation), indique que ceux-ci présentent un compromis entre une interaction ergonomique et hédonique. Le cockpit de Honda, positionné légèrement plus à gauche, est alors perçu comme celui apportant le plus de plaisir à l'utilisation. Le cockpit de Peugeot, légèrement plus à droite, est alors perçu comme celui le plus facile à utiliser.

Si ces différences sont avérées, alors cela montre que les cockpits qui sont à l'extrême de l'espace produit (dématérialisé/numérisé ; non dématérialisé/non numérisé), renvoient à de moins bonnes caractéristiques ergonomiques ou hédoniques, selon leur position à gauche ou à droite du trait latent. Cela montre également que le compromis entre la dématérialisation et la numérisation permet de renvoyer à des caractéristiques à la fois ergonomiques et hédoniques. De manière globale, les préférences devraient donc aller pour les cockpits présentant ce compromis.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

FIGURE 8.4 – Courbes de densité sur le trait latent de perception en fonction des variables Profils (figure a) et Cockpit (figure b).



Pour évaluer la significativité de ces différences, plusieurs modèles de régressions linéaires mixtes sont comparés (voir Tableau 8.11 et équation 8.1 pour plus de détails). D'après les critères AIC calculés pour chaque modèle, le potentiel explicatif du modèle M8 est le plus intéressant ($AIC_{M8} = 512.11$).

Dans ce modèle, les facteurs $Numérisation$ et $Dématérialisation$ ont été retenus. Ce résultat montre que la numérisation et la dématérialisation des cockpits permettent d'expliquer des différences significatives de perception, conformément à ce qui a été observé sur les graphiques de densité. En revanche, le facteur $Profil$ n'a pas été retenu comme variable explicative dans le meilleur modèle. La techno-affinité ne permet donc pas d'expliquer des différences de perception, conformément à ce qui a été observé sur les graphiques de densité.

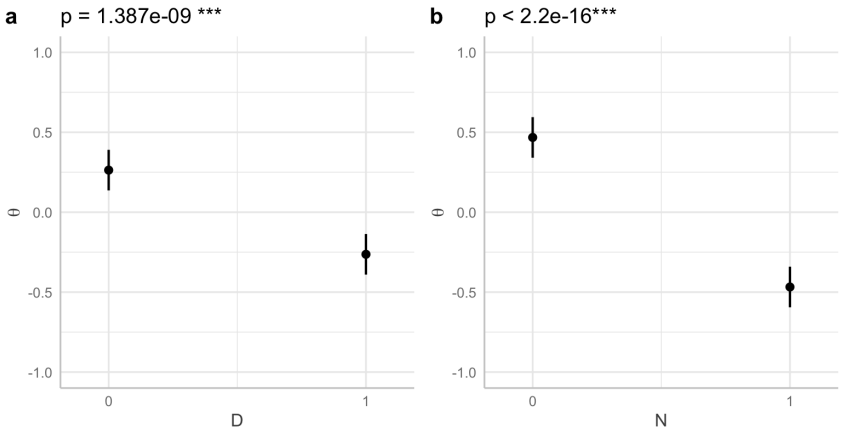
Les graphiques d'estimations des coefficients du modèle M8, sont présentés à la Figure 8.5. La valeur des coefficients traduit la position moyenne estimée des différentes modalités de la Numérisation (Figure a) et de la Dématérialisation (Figure b) sur le trait latent de perception.

D'après la Figure 8.5, les cockpits numérisés et dématérialisés, plus technologiques, ont une position moyenne optimale estimée plus à gauche sur le trait latent de perception que les cockpits non numérisés et non dématérialisés. Or, d'après la position des items sur le trait latent de perception (Tableau 8.12), les items qui sont situés à gauche sont ceux relatifs aux caractéristiques hédoniques (stimulation, plaisir d'utilisation, etc.), alors que ceux situés à droite sont ceux relatifs aux caractéristiques hédoniques (sécurité d'utilisation, compréhension, etc.). Cela montre qu'un environnement technologique participe à rendre les interactions significativement plus stimulantes et sensorielles, mais aussi moins ergonomiques et moins

sécurisantes.

Par ailleurs, l'écart entre les modalités 0 et 1 de la variable Numérisation est plus important que l'écart des modalités de la variable Dématérialisation. La numérisation des cockpits est donc à l'origine d'une plus grande différence de perception que leur dématérialisation.

FIGURE 8.5 – Estimation des coefficients du modèle de perception.



Note. N = Numérisation et D = Dématérialisation, * indique p $<$ .05. ** indique p $<$ .01. *** indique p $<$ .001.

8.5.2 Composante émotionnelle

Structure de la composante - L'ajustement du modèle de dépliage BUM sur les données relatives à la réaction émotionnelle, renvoie des critères d'ajustement INFIT et OUTFIT acceptables pour tous les items ($0.5 < OUTFIT < 1.5\ et\ 0.7 < INFIT < 1.3$), excepté pour l'item $arousalN$: « *J'ai vécu une expérience apaisante avec ce véhicule lors de la manipulation des commandes.* » ($OUTFIL = 0.46$, $INFIT = 0.29$). En écartant cet item du modèle, nous obtenons un modèle unidimensionnel correctement ajusté (Tableau 8.13). Ce premier résultat montre que tous les items relatifs à la réaction émotionnelle appartiennent à un construit homogène qui peut se résumer par un trait latent unidimensionnel émotionnel.

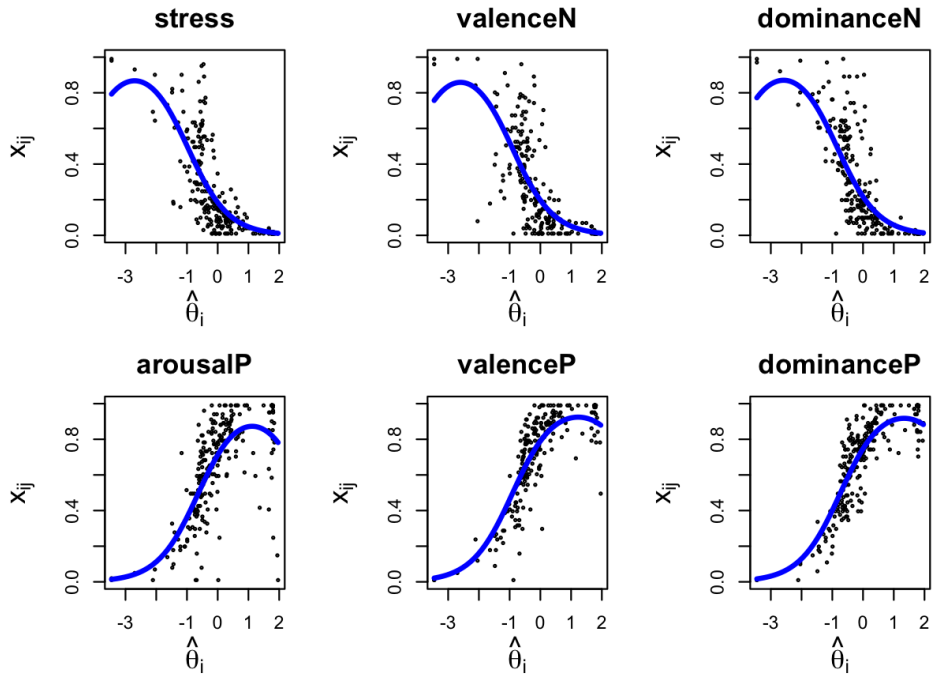
Les courbes de réponses, associées aux items correctement ajustés au modèle BUM, sont disponibles à la Figure 8.6. Elles affichent un modèle de réponse cumulatif et bipolaire : des courbes de réponses aux pentes négatives s'opposent à des courbes de réponse aux pentes positives. Les pentes négatives sont liées à une expérience vécue comme stressante, désagréable

et non maitrisée. Les pentes positives sont liées à une expérience vécue comme stimulante, agréable et maitrisée. Pour chaque paire sujet-cockpit, le score latent θ traduit donc une position émotionnelle globale qui va de l'hyper-stress à gauche et qui s'oppose au sentiment d'être stimulé, bien et en contrôle à droite.

TABLEAU 8.13 – Paramètres des items composant le trait latent émotionnel.

	δ	OUTFIT	INFIT
stress	-2.70	0.81	0.96
valenceN	-2.60	0.91	0.97
dominanceN	-2.58	0.90	0.85
arousalP	1.12	0.81	0.81
valenceP	1.23	0.71	0.72
dominanceP	1.33	0.70	0.69

FIGURE 8.6 – Courbes caractéristiques des items sur le trait latent émotionnel.



Note. En noirs sont rerésentés les points idéaux sujets-cockpits et en bleu les courbes de réponse espérées.

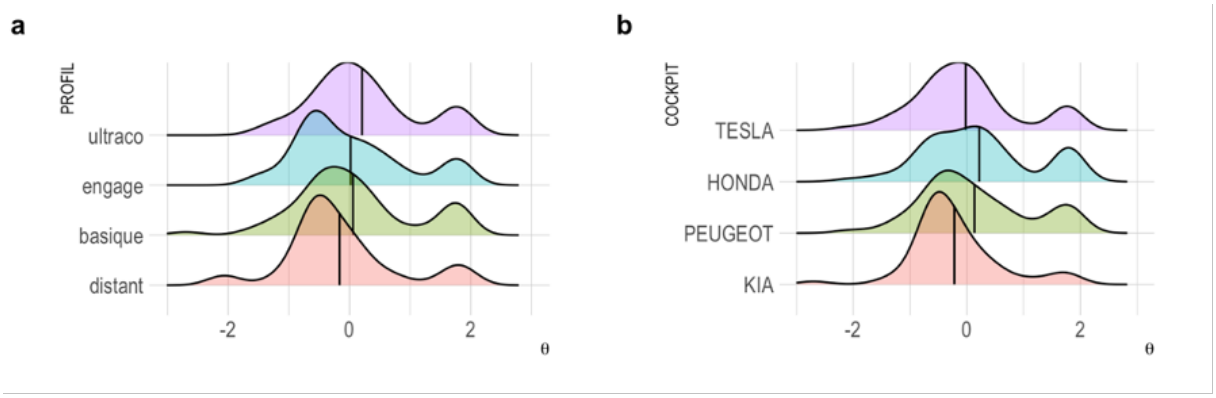
Variabilité des optimums émotionnels - Les graphiques de densité présentés à la Figure 8.7 permettent de visualiser la distribution des scores latents θ sur le trait latent émotionnel, en fonction des facteurs $Profil$ (Figure a) et $Cockpit$ (Figure b).

- Pour le facteur $Profil$, les courbes de densité affichent des positions optimales légèrement différentes sur le trait latent émotionnel. Le profil Distant a une position plus à gauche sur le trait latent émotionnel que les autres profils. Le Profil Engagé a une position plus centrale. Enfin, les Profils Basique et Ultra-connecté ont des positions plus à droite sur le trait latent.

  Ces positions indiquent que, tous cockpits confondus, les hauts et bas niveaux de techno-affinité ne vivent pas la même expérience émotionnelle. L'expérience pourrait être moins agréable et moins en contrôle pour le profil Distant que pour les autres profils. Ces résultats restent à confirmer avec l'analyse de la variance, car les différences observées ne sont pas très marquées.

- Pour le facteur $Cockpit$, les courbes de densités affichent des positions optimales légèrement différentes sur le trait latent émotionnel. Cela indique que, tous sujets confondus, les cockpits automobiles sont à l'origine d'expériences émotionnelles différentes.
- La position plus à gauche du cockpit de Kia (non dématérialisé, non numérisé) sur le trait latent émotionnel indique qu'il est à l'origine d'une expérience moins positive émotionnellement. Ce résultat est étonnant car, d'après l'analyse de la composante perceptive, le cockpit de Kia est celui qui est perçu comme le plus sécurisant à utiliser.
- La position plus centrale du cockpit de Tesla (dématérialisé, numérisé) sur le trait latent émotionnel indique une expérience émotionnelle entre perte de maitrise et stimulation. Ce résultat est cohérent avec le fait que le cockpit de Tesla est celui qui est perçu comme le plus stimulant, mais aussi comme le moins sécurisant à utiliser (d'après l'analyse de la composante perceptive).
- La position plus à droite des cockpits de Honda et Peugeot (compromis entre dématérialisation et numérisation) sur le trait latent émotionnel indique une expérience plus positive émotionnellement (entre bien-être et maîtrise). Ce résultat est cohérent avec le fait que les cockpits de Honda et Peugeot sont ceux perçus comme présentant un compromis entre caractéristiques ergonomiques et hédoniques (d'après l'analyse de la composante perceptive).

FIGURE 8.7 – Courbes de densité sur le trait latent émotionnel fonction des variables Profil (figure a) et Cockpit (figure b).



Pour évaluer la significativité de ces différences, plusieurs modèles de régressions linéaires mixtes sont comparés (voir Tableau 8.11 et équation 8.1 pour plus de détails). D'après les critères AIC calculés pour chaque modèle, le potentiel explicatif du modèle M10 est le plus intéressant ($AIC_{M10} = 647.52$).

Dans ce modèle, les facteur $Numérisation$ et $Dématérialisation$ ont été retenus, ainsi que le terme d'interaction $Numérisation \times Dématérialisation$. Ce résultat montre que la dématérialisation et la numérisation des cockpits permettent d'expliquer des différences significatives dans la réaction émotionnelle, conformément à ce qui a été observé sur les graphiques de densité. En revanche, le facteur $Profil$ n'a pas été retenue comme variable explicative dans le meilleur modèle. La techno-affinité ne permet donc pas d'expliquer des différences dans la réaction émotionnelle, contrairement à ce qui a été observé sur les graphiques de densité.

Les graphiques d'estimations des coefficients du modèle M10, sont présentés à la Figure 8.8. La valeur des coefficients traduit la position moyenne estimée des différentes modalités de la Numérisation (Figure a) et de la Dématérialisation (Figure b) sur le trait latent émotionnel.

D'après ce graphique, la numérisation et la dématérialisation des cockpits provoque une expérience positive émotionnellement (optimum à droite du trait latent), à condition qu'il n'y ait pas les deux modalités en même temps :

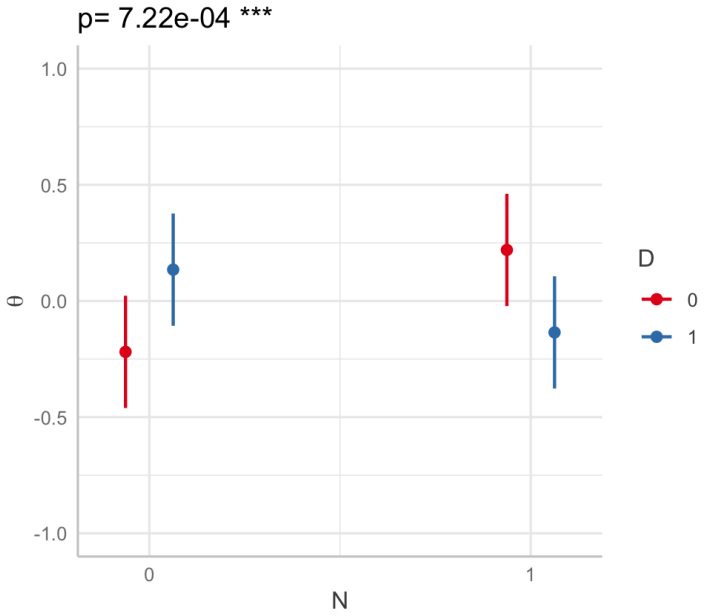
- La conjonction de la dématérialisation et de la numérisation n'est pas positive pour l'expérience émotionnelle. Cela montre qu'un environnement automobile trop technologique, peut avoir un effet négatif et renvoyer à une expérience moins positive émotionnellement, notamment à cause de la perte de maîtrise (position centrale du cockpit

de Tesla sur le trait latent émotionnel à la Figure 8.7).

- Lorsque les cockpits sont ni dématérialisés, ni numérisés, l'expérience est encore moins positive émotionnellement. Cela montre qu'un environnement automobile pas assez technologique, peut avoir un effet négatif et renvoyer à une expérience moins positive émotionnellement, notamment à cause d'un manque de stimulation (position à gauche du cockpit de Kia sur le trait latent émotionnel à la Figure 8.7).

Ces résultats confirment que le compromis entre la dématérialisation et la numérisation est essentiel à une expérience émotionnelle positive, c'est-à-dire à la fois stimulante, agréable et maîtrisable. D'après les graphiques de densités (Figures 8.4 et 8.7), les cockpits qui permettent cela sont ceux qui présentent un compromis entre caractéristiques ergonomiques et caractéristiques hédoniques.

FIGURE 8.8 – Estimation des coefficients du modèle émotionnel.



Note. N = Numérisation et D = Dématérialisation, * indique p < .05. ** indique p < .01. *** indique p < .001.

8.5.3 Appréciation globale

Effet de la perception sur l'appréciation - Pour tester l'influence de la perception et du niveau de techno-affinité sur les notes d'appréciation globale, une analyse de la variance est réalisée à l'aide d'un modèle de régression beta mixte (voir équation 8.2). Les résultats de l'ANOVA (Tableau 8.14) montrent que le terme d'interaction $Profil \times Perception$ a un effet significatif sur les notes d'appréciation globale.

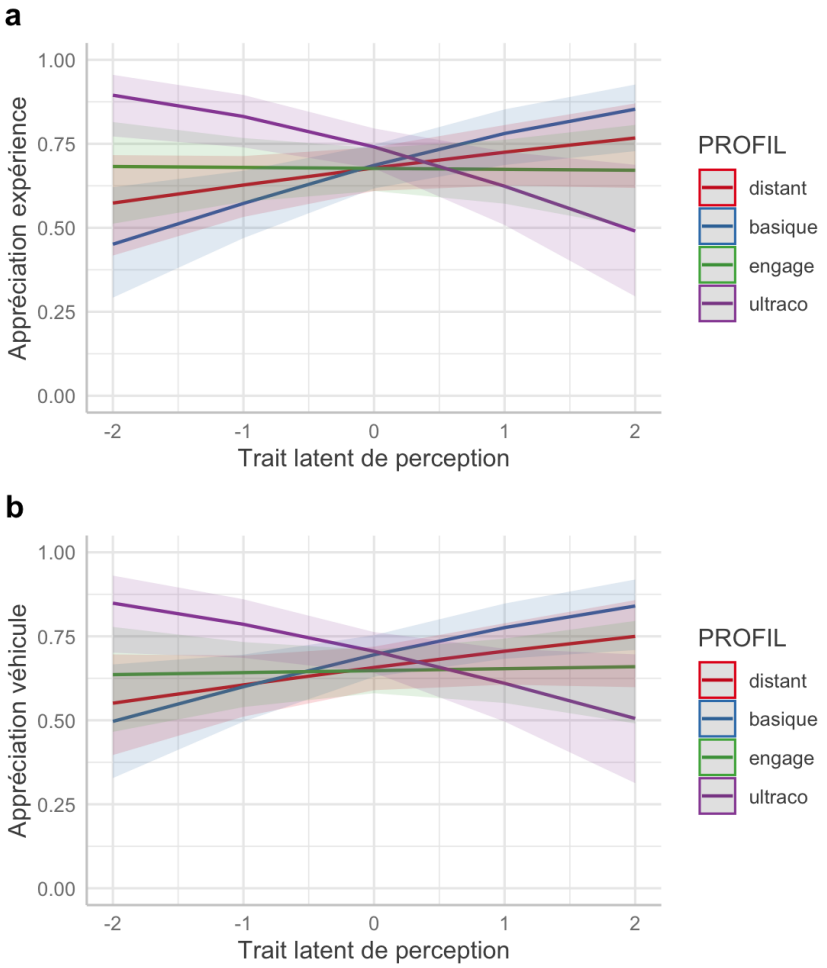
Pour rappel, le facteur $Perception$ résume le type de caractéristiques renvoyées par chaque cockpit automobile évalué. Si le cockpit est positionné à gauche du trait latent de perception, alors il renvoie davantage de caractéristiques hédoniques. Si le cockpit est positionné à droite du trait latent de perception, alors il renvoie davantage de caractéristiques ergonomiques. Enfin, s'il est positionné au centre, alors il propose un compromis. Le terme d'interaction $Profil \times Perception$ significatif montre donc que, selon le profil de techno-affinité, certaines caractéristiques vont impacter plus fortement les notes d'appréciation globale. Les caractéristiques ergonomiques et hédoniques ne sont donc pas appréciées de la même façon d'un profil de techno-affinité à l'autre.

Les graphiques d'estimations des coefficients des effets significatifs sont présentés à la Figure 8.9.

TABLEAU 8.14 – Résultats de l'ANOVA.

		Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Appréciation expérience	Profil	1.91	3.00	0.59
	Position	1.29	1.00	0.26
	Profil :Perception	15.66	3.00	**0.0013**
Appréciation véhicule	PROFIL	1.67	3.00	0.64
	Position	1.40	1.00	0.24
	Profil:Perception	11.07	3.00	**0.011**

FIGURE 8.9 – Estimation des coefficients des effets significatifs des modèles explicatifs de l'appréciation globale.



Note. Figure a : Appréciation globale de l'éxperience de manipulation des commandes physiques et des écrans, Figure b : Appréciation globale des véhicules

Les graphiques situés à la Figure 8.9 montrent que :

- Le profil Ultra-connecté note différemment des autres profils. Plus le profil Ultra-connecté est positionné à gauche sur le trait latent de perception, vers les caractéristiques hédoniques, plus les notes d'appréciation augmentent. À l'inverse, plus le profil Ultra-connecté est positionné à droite sur le trait latent de perception, vers les caractéristiques ergonomiques, plus les notes d'appréciation diminuent. Cela montre que le profil Ultra-connecté a plus d'affinité avec les caractéristiques hédoniques que

les caractéristiques ergonomiques. D'après les résultats précédents, les caractéristiques hédoniques sont apportées par les cockpits numérisés et par les interactions dématérialisées. L'environnement technologique, dans un contexte automobile, est donc un critère essentiel pour que l'expérience utilisateur du profil Ultra-connecté soit appréciée. Leur préférence devrait donc aller pour les cockpits plus numérisés et plus dématérialisés.

- Plus les profils profils Distant et Basique sont positionnés à droite sur le trait latent de perception, vers les caractéristiques ergonomiques, plus les notes d'appréciation augmentent. Cela montre que l'ajout de caractéristiques ergonomiques, permettant une prise en main facilité et une conduite sécurisée, favorise les notes d'appréciation globale des profils Distant et Basique. D'après le modèle de perception (Figure 8.5), leur préférence devrait aller vers les cockpits moins numérisés et moins dématérialisés.
- La courbe associée au profil Engagé va dans le même sens que celles associées aux profils Distant et Basique. Toutefois, cette courbe est moins pentue. Pour ce profil, l'appréciation se trouve probablement plus dans le compromis d'une expérience à la fois ergonomique et hédonique. Leur préférence devrait donc aller pour les cockpits de Honda et de Peugeot qui matérialisent ce compromis.

Effet de la réaction émotionnelle sur l'appréciation - Pour tester l'influence de la réaction émotionnelle et du niveau de techno-affinité sur les notes de l'appréciation globale, une analyse de la variance est réalisée à l'aide d'un modèle de régression beta mixte (voir équation 8.2). Les résultats de l'ANOVA (Tableau 8.15) montrent que le facteur $Emotion$ et le terme d'interaction $Profil \times Emotion$ ont un effet significatif sur les notes de l'appréciation globale de l'UX et sur les notes de d'appréciation globale des véhicules.

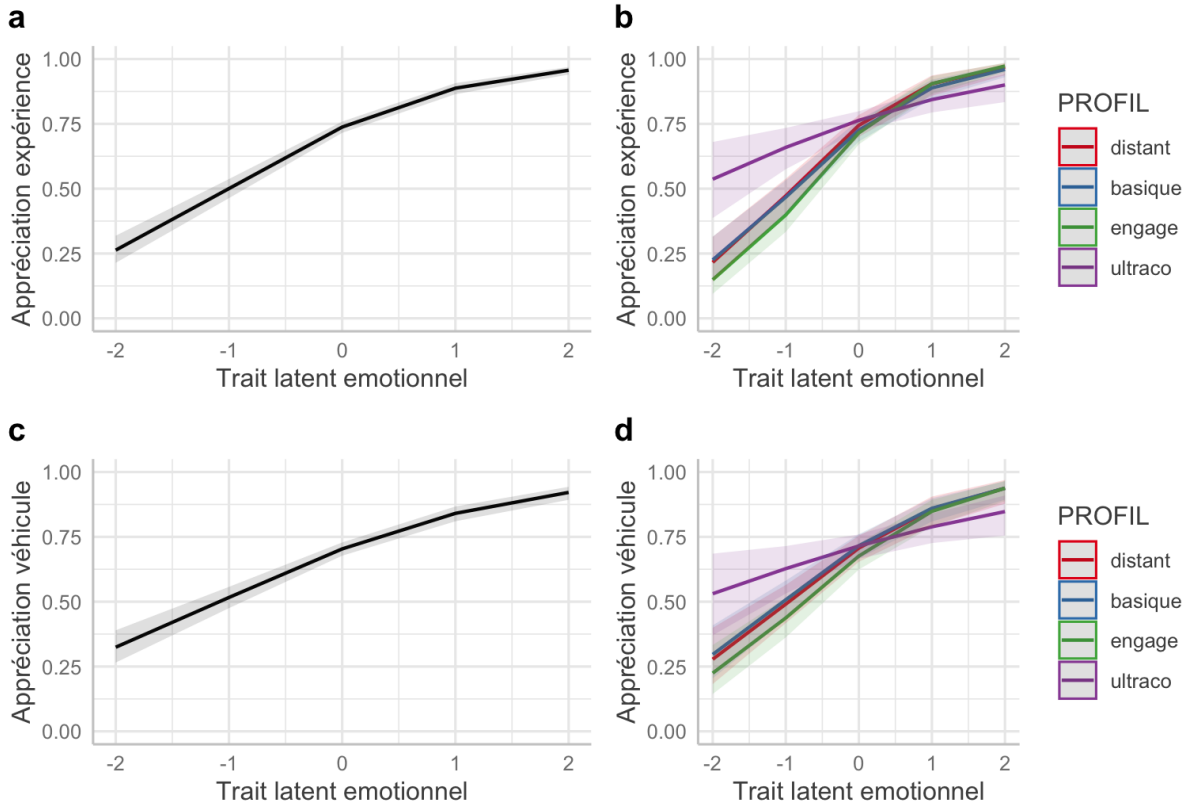
Le facteur $Emotion$ traduit la position émotionnelle globale qui va de l'hyper-stress à gauche et qui s'oppose au sentiment d'être bien et en maitrise à droite (voir Figure 8.6). Les résultats montrent donc que la réaction émotionnelle impacte les notes d'appréciation et que selon le profil de techno-affinité, elle n'aura pas le même impact.

Les graphiques d'estimations des coefficients des effets significatifs sont présentés à la Figure 8.10.

TABLEAU 8.15 – Résultats de l'ANOVA : Effet de la réaction émotionnelle sur l'appréciation globale.

		Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Appreciation expérience	Profil	4.29	3.00	0.23
	Emotion	199.30	1.00	**2.96E-45**
	Profil:Emotion	19.66	3.00	**2.00E-04**
Appreciation véhicule	Profil	1.83	3.00	0.61
	Emotion	122.71	1.00	**1.61E-28**
	Profil:Emotion	10.50	3.00	**0.015**

FIGURE 8.10 – Effets significatifs des modèles explicatifs de l'appréciation globale de l'expérience d'interaction (Figures a et b) et du véhicule (Figures c et d) en fonction de la réaction émotionnelle.



Sur les graphiques de la Figure 8.10, nous observons une courbe croissante entre le trait latent émotionnel et les notes d'appréciation globale. Cela montre que plus l'expérience émotionnelle est positive (expérience stimulante, agréable et maîtrisée), plus les notes d'appréciation sont élevées (Figures a et c).

Les Figures b et d montrent en revanche que la courbe associée au profil Ultra-connecté ne croît pas aussi fortement que les courbes associées aux autres profils de techno-affinité. Étant donné la position des items à droite du trait latent émotionnel (stimulation, valence puis maîtrise), cela montre que pour le profil Ultra-connecté, la stimulation est plus importante que le besoin de maîtriser les cockpits.

8.5.4 Préférences

Maintenant que nous avons montré que la perception des caractéristiques ergonomiques, hédoniques et que la réaction émotionnelle jouaient un rôle dans l'appréciation de l'expérience d'interaction, voyons comment cela se répercute sur les préférences globales des cockpits automobiles, en termes d'interaction homme-machine.

Image globale du classement - Le calcul des rangs moyens de préférence ($\bar{r}_{Honda} = 2.12$, $\bar{r}_{Tesla} = 2.22,\ \bar{r}_{Peugeot} = 2.65,\ \bar{r}_{Kia} = 3.02$) et le calcul de la table marginale (Tableau 8.16) montrent que, sur 60 répondants, Honda est le cockpit préféré. Il est placé en 1re ou 2^{nd} position par 72 % des sujets. Ce résultat était attendu, car d'après l'analyse de la composante émotionnelle, le cockpit de Honda propose l'expérience émotionnelle la plus positive.

Un peu plus étonnamment, le cockpit de Tesla est davantage préféré à celui de Peugeot. En effet, Tesla est placé en 1re ou 2^{nd} position par 58 % des sujets alors que Peugeot n'est placé en 1re ou 2^{nd} position que par 40 % des sujets. Pourtant, d'après l'analyse de la composante perceptive, le cockpit de Tesla est perçu comme moins ergonomique que le cockpit de Peugeot (voir Figure 8.4).

Enfin, comme attendu, Kia est le cockpit le moins préféré, car il est placé en 3e ou 4e position par 70 % des sujets. Ce résultat était attendu, car d'après l'analyse de la composante émotionnelle, le cockpit de Kia propose l'expérience émotionnelle la moins positive.

TABLEAU 8.16 – Table marginale du classement des préférences.

Cockpit	rang 1	rang 2	rang 3	rang 4
Honda	20	23	7	10
Tesla	23	12	14	11
Peugeot	13	11	20	16
Kia	4	14	19	23
Total	60	60	60	60

Différences de classement - L'analyse du χ^2 ($rang\ 1 : \chi^2(9) = 10.28,\ p = 0.33$; $rang\ 2 : \chi^2(9) = 8.19,\ p = 0.51$; $rang\ 3 : \chi^2(9) = 17.116,\ p = 0.047$; $rang\ 4 : \chi^2(9) = 17.59\ p = 0.040$) indique qu'il y a dépendance entre les profils de techno-affinité et les choix faits aux rangs 3 et 4. Malgré la petite taille d'échantillon, cela montre qu'il y a un consensus dans le classement des cockpits les moins préférés, et que ce consensus dépend du profil de techno-affinité.

Les choix faits au rang 3 sont difficilement interprétables, nous regardons alors les modalités qui sont sur- ou sous-représentées au rang 4. Lorsqu'un cockpit est surreprésenté au rang 4, alors il est moins préféré que les trois autres. À l'inverse, lorsqu'un cockpit est sous-représenté au rang 4 alors, il est plus préféré que les trois autres. Les choix faits au rang 4 font consensus pour les profils Basiques et Ultra-connectés.

Pour le profil Basique, le cockpit de Honda est sous-représenté au rang 4. Ce résultat montre que le profil Basique a une préférence pour le cockpit de Honda.

Pour le profil Ultra-connecté, le cockpit Peugeot est surreprésenté au rang 4 et les cockpits numérisés sont sous-représentés au rang 4. Ces résultats sont d'autant plus forts que le cockpit Peugeot est sous-représenté au rang 1 et les cockpits numérisés sont surreprésentés au rang 1. Cela montre que le profil Ultra-connecté a une préférence significative pour les cockpits numérisés et qu'il rejette significativement le cockpit de Peugeot.

Projection des profils et des cockpits dans un même espace de préférence - Une MDS à deux dimensions sur les données de préférence indique un stress acceptable de 0.20. L'espace de préférence suggère naturellement la structure de notre espace produit (Figure 8.11). Sur la première dimension, nous identifions à gauche les cockpits non dématérialisés et à droite les cockpits dématérialisés. Sur la seconde dimension, nous identifions en haut les cockpits non

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

numérisés et en bas les cockpits numérisés. Le point idéal du cockpit de Honda se trouve plus centré que les autres cockpits sur la dimension 1. Cette position s'explique par le fait qu'il s'agit du cockpit préféré en moyenne. Il y a donc moins de variabilité sur son classement, tous sujets confondus.

Sur ce graphique de MDS, nous avons entouré deux points idéaux. Ces points idéaux sont respectivement ceux du sujet 2 et des sujets 39 et 48. Leur classement brut est disponible au Tableau 8.17. Les sujets 39 et 48 partagent le même point idéal, car ils ont attribué le même classement aux cockpits. Le sujet 2 et les sujets 39 et 48 sont proches dans l'espace de préférence, car ils ont attribué un classement similaire : ils classent les cockpits non numérisés au rang 1 ou 2 et classent les cockpits numérisés aux rangs 3 et 4. Leurs points idéaux se trouvent donc en haut de la dimension 2. Les points idéaux des sujets 39 et 48 sont plus proches du point idéal de Peugeot que de Kia car ils ont classé le cockpit de Peugeot en première position. À l'inverse, le point idéal du sujet 2 est plus proche du point idéal de Kia car il a classé le cockpit de Kia en première position. Ces résultats montrent que l'espace de préférence est bien représenté.

SUJET	KIA	PEUGEOT	TESLA	HONDA
2	1	2	3	4
39	2	1	4	3
48	2	1	4	3

TABLEAU 8.17 – Classement brut des sujets 2, 39 et 48.

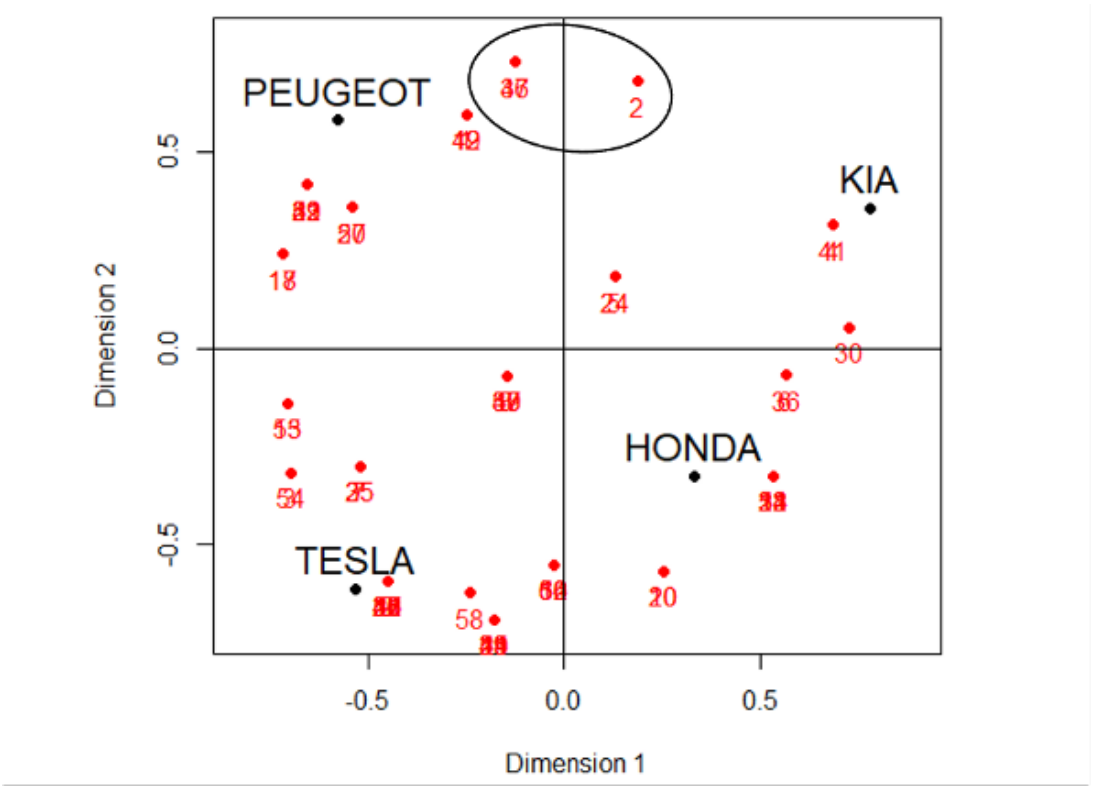


FIGURE 8.11 – Espace de préférence issue de la MDS.

À cet espace de préférence, nous avons ensuite intégré le facteur techno-affinité (Figure 8.12). Pour cela, le même espace de préférence est représenté quatre fois de sorte à obtenir un graphique par profil. Sur chaque graphique, les points idéaux colorés représentent la position des 15 sujets associés au profil considéré. Les 4 points idéaux noirs représentent la position des cockpits. Le point idéal rose représente l'individu moyen fictif de chaque profil. Enfin, pour faciliter la lecture des résultats, nous avons entouré les individus qui proposent une classification similaire au sein de chaque profil.

À première vue, les profils ne se répartissent pas de la même manière sur cet espace de préférence. Excepté pour le profil Ultra-connecté, où les points sujets se concentrent de manière évidente sur la partie basse de la dimension 2 (vers les cockpits numérisés), pour les autres profils, il n'y a pas de regroupement aussi évident.

Pour apporter des éléments de compréhension à chacun de ces graphiques, nous utilisons : les classements bruts, la position de l'individu moyen fictif au sein de chaque profil et les verbatims recueillis lors des expérimentations.

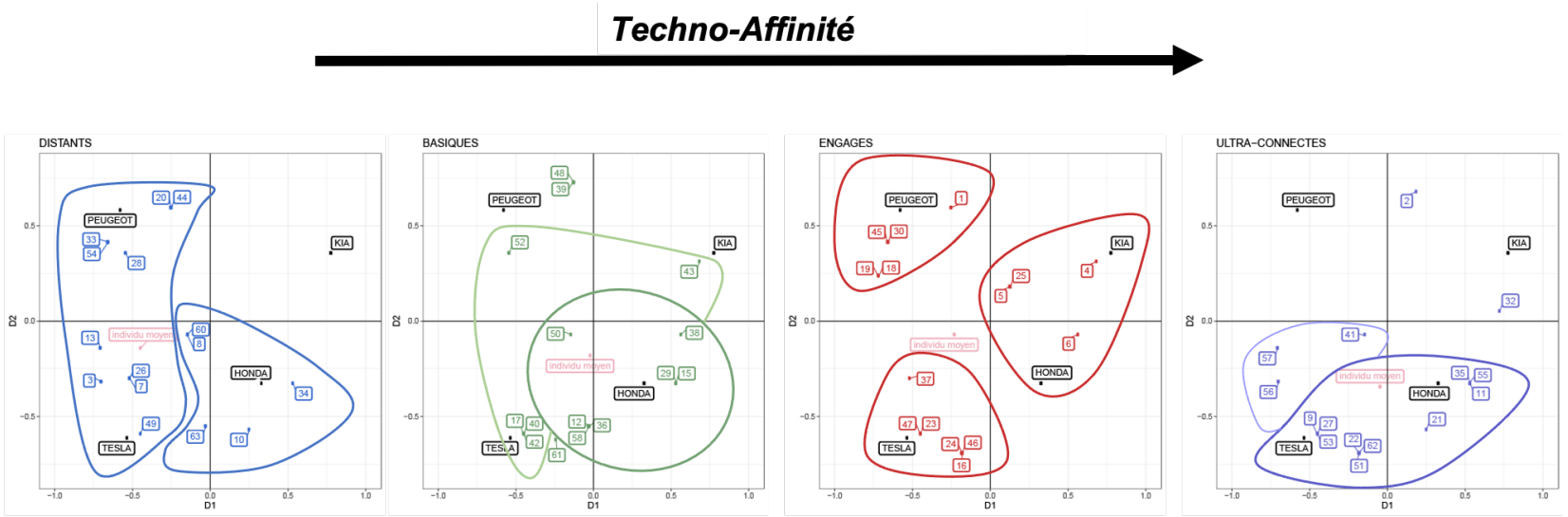


FIGURE 8.12 – Espace de préférence représenté par profil de techno-affinité.

Profil Distant

Au niveau de l'espace de préférence (Figure 8.12), nous pouvons voir que les points sujets se concentrent autour de trois points cockpits principaux : Peugeot, Tesla et Honda. Nous pouvons voir également que les points sujets sont éloignés d'un point cockpit en particulier : Kia. Les classements bruts au sein du profil Distant montrent une hétérogénéité dans la préférence. Les cockpits de Peugeot, Tesla et Honda sont classés en 1re position autant de fois. Cela montre toutefois qu'il y a un consensus dans le rejet, car le cockpit de Kia n'est jamais classé en 1re position.

L'individu moyen Distant se situe plutôt à gauche de la dimension D1. C'est une position relative aux cockpits dématérialisés. Le classement de cet individu moyen ($\bar{r}_{Distant,Peugeot} = 2.2$; $\bar{r}_{Distant,Tesla} = 2.2$; $\bar{r}_{Distant,Honda} = 2.4$; $\bar{r}_{Distant,Kia} = 3.2$) montre qu'il met les cockpits dématérialisés en premières positions, puis les cockpits non dématérialisés en dernières positions. Par ailleurs, les classements bruts montrent que 73 % des sujets du profil Distant classent les cockpits non dématérialisés au rang 4. Ces résultats montrent qu'il y a une préférence pour les cockpits dématérialisés.

Enfin, les verbatims (Figure 8.13) montrent que les sujets du profil Distants sont à la recherche de cockpits épurés en informations et en commandes. Les cockpits aux interactions dématérialisés permettent cela, car ils concentrent toutes les informations au même endroit. Les IHM étant hors du champ de vision, cela ne capture pas leur attention en conduite. Les IHM sont par ailleurs facilement repérable, car situés à un seul endroit. L'IHM de Tesla est jugée comme plus difficile à appréhender que celui de Peugeot, mais l'apprentissage de procédures basiques leur semble envisageable.

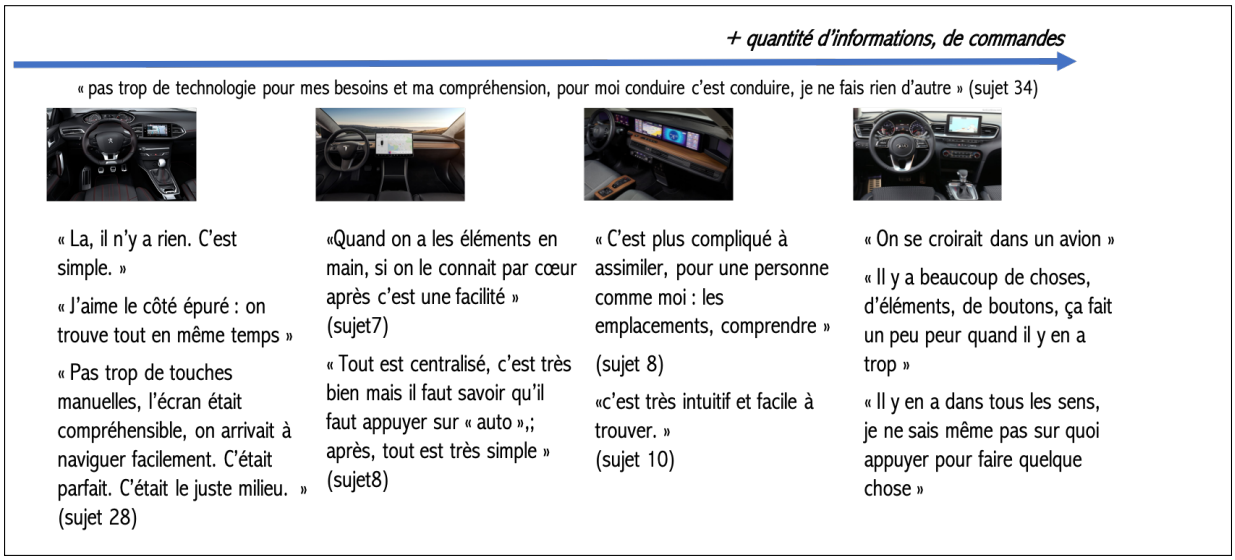


FIGURE 8.13 – Verbatims du profil Distant.

Profil Basique

Au niveau de l'espace de préférence (Figure 8.12), nous pouvons voir que les points sujets du profil Basique se concentrent autour du cockpit de Honda, mais qu'aucun autre cockpit n'est isolé.

Les classements bruts montrent qu'il n'y a pas d'homogénéité dans les classements. Cependant, il y a un consensus pour un cockpit en particulier : Honda. Ce cockpit est classé en 1re ou 2^{nd} position par 80 % des sujets du profil Basique.

L'individu moyen Basique est plutôt central sur les dimensions D1 et D2 (légèrement décalé vers les cockpits numérisés et non dématérialisés). Le classement de cet individu moyen ($\bar{r}_{Basique,Honda} = 1.7$; $\bar{r}_{Basique,Tesla} = 2.5$; $\bar{r}_{Basique,Peugeot} = 2.7$; $\bar{r}_{Basique,Kia} = 3.0$) montre qu'il préfère Honda aux autres cockpits. Ces résultats appuient celui précédemment observé : le cockpit de Honda est sous-représenté au rang 4. Au vu de ces éléments, nous pouvons conclure que le cockpit de Honda est le préféré du profil Basique.

Enfin, les verbatims (Figure 8.14) montrent que les sujets du profil Basique sont plutôt enclins à l'adoption de nouvelles technologies et de nouvelles pratiques de conduite. Cependant, ils semblent contraints par leur besoin d'attention à la route. C'est pourquoi l'environnement technologique doit rester familier. Ainsi, ils jugent les cockpits en fonction de la perception de la sécurité : les cockpits trop extrêmes sur l'espace produit (dématérialisés et numérisés ; non

dématérialisés et non numérisés) obtiennent des avis négatifs du point de vue de la sécurité, alors que les cockpits qui présentent un compromis entre la numérisation et la dématérialisation obtiennent des avis positifs du point de vue de la sécurité. Les cockpits de Honda et de Peugeot présentent ce compromis. La préférence de Honda vis-à-vis de Peugeot pourrait s'expliquer par le manque de caractéristiques hédoniques renvoyées par le cockpit de Peugeot (« *elle n'est pas suffisamment moderne* »).

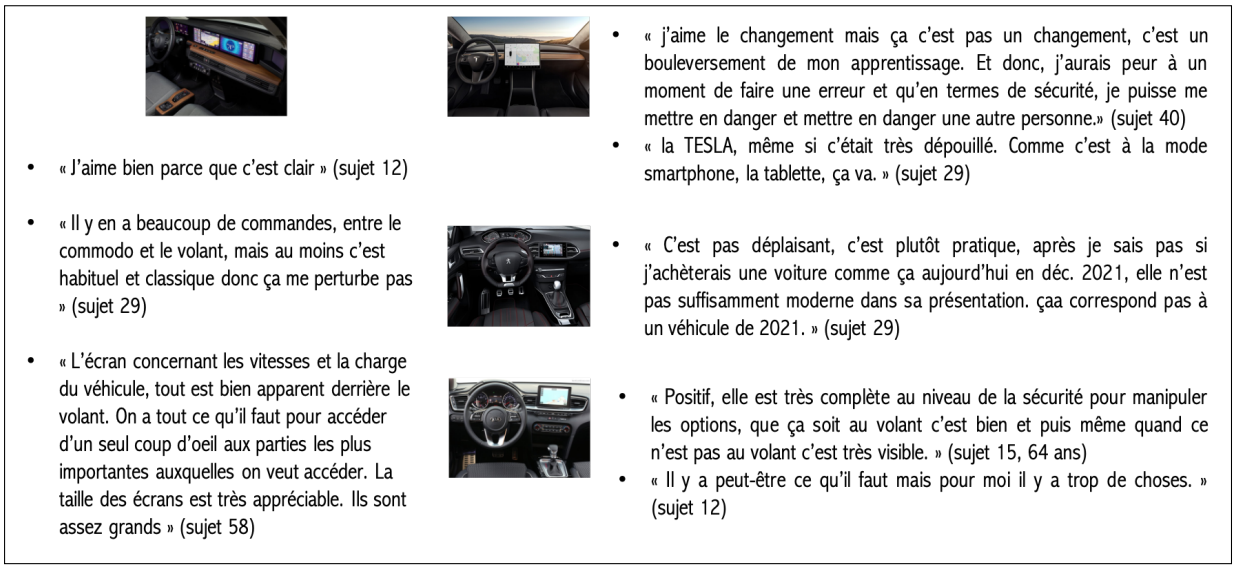


FIGURE 8.14 – Verbatims du profil Basique.

Profil Engagé

Au niveau de l'espace de préférence (Figure 8.12), nous pouvons voir que les points sujets du profil Engagé se concentrent autour de chaque cockpit. Néanmoins, les points semblent plus proches des cockpits de Tesla et Peugeot que des cockpits de Honda et Kia.

Les classements bruts montrent qu'il n'y a pas d'homogénéité dans les classements. Certains classent les cockpits numérisés en premières positions, d'autres classent les cockpits dématérialisés en premières positions, enfin, d'autres encore, classent les cockpits plus classiques (Honda, Peugeot, Kia) en premières positions.

L'individu moyen Engagé est plutôt central sur les dimensions D1 et D2 mais légèrement décalé vers les cockpits dématérialisés. Le classement de cet individu moyen ($\bar{r}_{Engagé,Tesla} =$

2.3 ; $\bar{r}_{Engagé,Honda} = 2.3$; $\bar{r}_{Engagé,Peugeot} = 2.4$; $\bar{r}_{Engagé,Kia} = 3.0$) montre qu'il n'y a pas de réelle préférence entre tous les cockpits.

Enfin, les verbatims (Figure 8.15) montrent que les sujets du profil Engagé n'ont pas tous les mêmes priorités en conduite : entre ceux qui sont ouverts à la technologie, et aux caractéristiques hédoniques associées, et ceux qui sont à la recherche de maîtrise, car privilégient les aspects sécuritaires. Selon les verbatims, l'aspect sécuritaire se traduit par la présence de commandes mécaniques facilement accessibles et par un niveau de numérisation adéquate (ni trop, ni pas assez d'informations sur les écrans). Ils sont ainsi conscients des efforts à fournir pour maîtriser les nouvelles formes d'interactions proposées par les cockpits dématérialisés ou numérisés, mais ne sont pas tous prêts à mener ces efforts. C'est pourquoi il y a un manque de consensus au sein de ce profil.

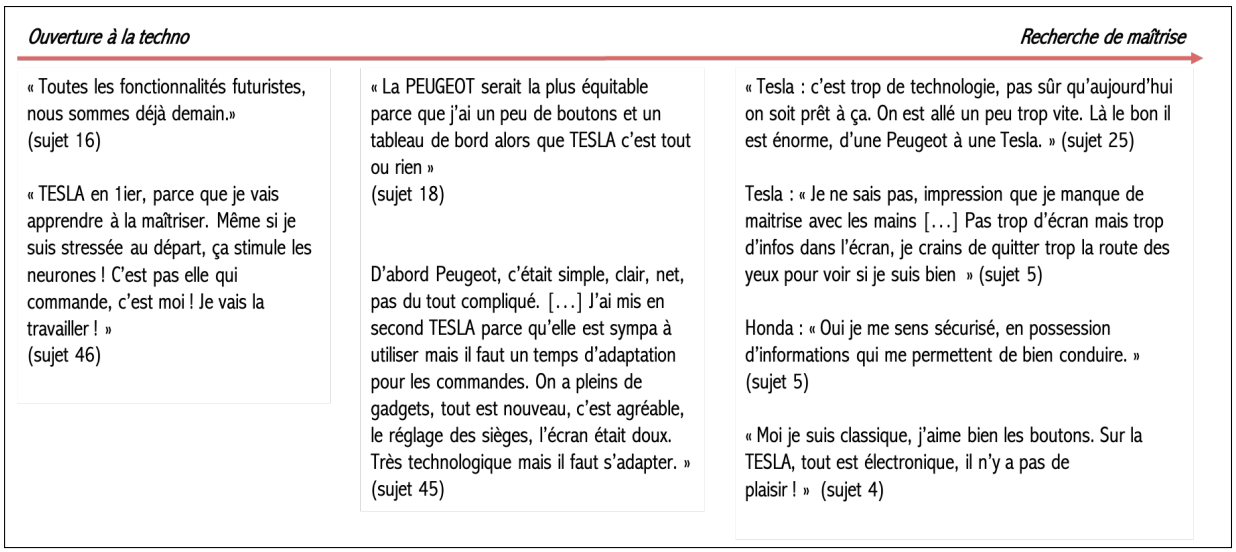


FIGURE 8.15 – Verbatims du profil Engage.

Profil Ultra-connecté

Au niveau de l'espace de préférence (Figure 8.12), nous pouvons voir que les points sujets se concentrent en bas de l'axe D2, autours des cockpits numérisés (Tesla et Honda). Les classements bruts montrent qu'il y a une homogénéité dans les classements : au moins un cockpit numérisé est classé en 1re position par 87 % des ultra-connectés interrogés.

L'individu moyen Ultra-connecté est plutôt central sur la dimension D1 et est décalé vers le bas sur la dimension D2. C'est une position relative aux cockpits numérisés. Le classement de cet individu moyen ($\bar{r}_{Ultra-connecté,Tesla} = 1.9$; $\bar{r}_{Ultra-connecté,Honda} = 2.0$; $\bar{r}_{Ultra-connecté,Kia} = 2.9$; $\bar{r}_{Ultra-connecté,Peugeot} = 3.3$) montre qu'il y a une nette préférence pour les cockpits numérisés et un rejet du cockpit de Peugeot. Ces éléments ne font que traduire les résultats précédemment observés lors de la caractérisation des profils par leur choix faits aux rangs 1 et 4.

Enfin, les verbatims (Figure 8.16) montrent que les sujets du profil Ultra-connectés classent les cockpits en fonction de leur niveau de technologie. Au-delà de la volonté d'avoir accès aux dernières fonctionnalités et leur maîtrise des interactions (vocales notamment), ils accordent beaucoup d'importances aux aspects hédoniques (esthétiques des écrans, niveaux de gamme du cockpit, etc.).

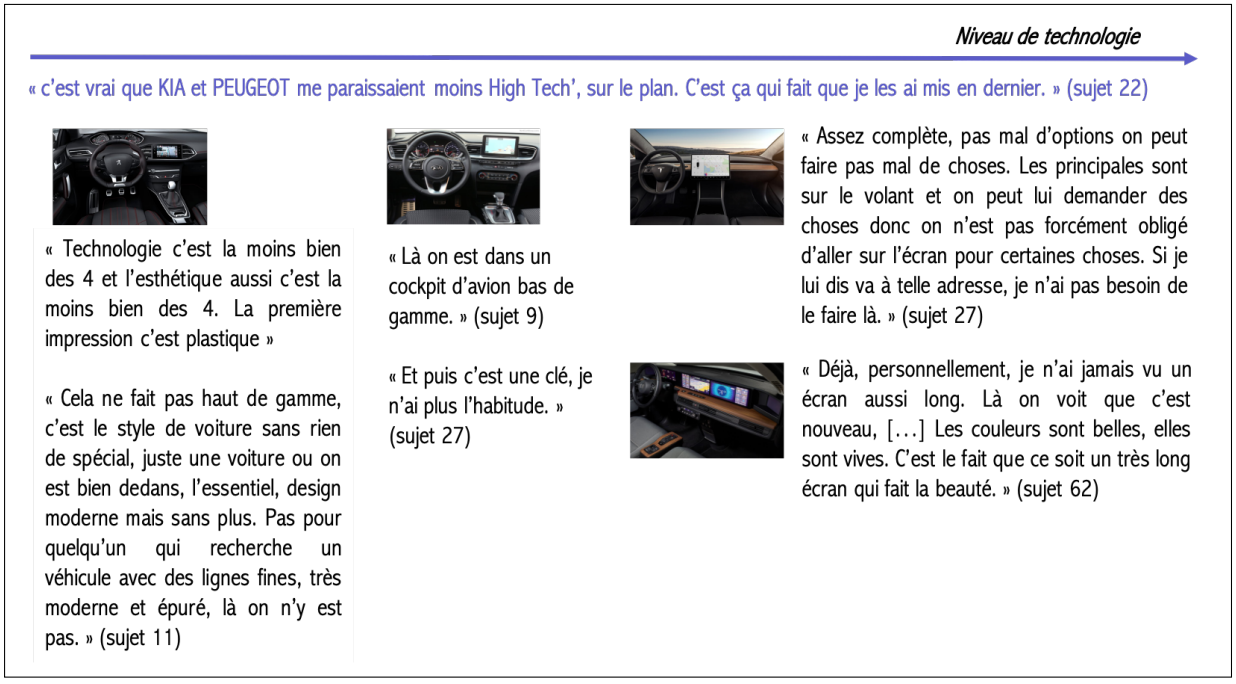


FIGURE 8.16 – Verbatims du profil Ultra-connecté.

8.6 Discussion

Dans cette étude, nous avons cherché à montrer que la numérisation et la dématérialisation des cockpits automobiles impactaient l'expérience d'interaction de manière différente selon le profil de techno-affinité.

Dans le protocole proposé, nous avons sélectionné des véhicules du marché qui permettent au mieux de répondre aux modalités des facteurs $Numérisation$ et $Dématérialisation$. Cette tâche n'était pas évidente au vu de l'ensemble des possibilités du marché, des caractéristiques spécifiques attendues pour chaque facteur et des biais induits par les marques. Nous avons également sélectionné des sujets présentant des niveaux différents de techno-affinité, sur la base d'un outil psychométrique que nous avons nous-même développé. Enfin, nous avons décidé de créer entièrement un questionnaire d'évaluation de l'UX, afin qu'il puisse s'adapter au contexte automobile. Les résultats montrent que ces choix étaient pertinents, car l'interaction entre la techno-affinité des sujets et les caractéristiques ergonomiques et hédoniques des cockpits automobiles sélectionnés pour l'étude explique des différences dans le jugement global (appréciation, préférences, rejets).

Un des résultats fondamental observé dans cette étude est que l'information hédonique et ergonomique est comprise et interprétée émotionnellement de la même manière d'un profil à l'autre, mais que la valeur donnée à l'information est différente : l'appréciation globale et les préférences diffèrent d'un profil de techno-affinité à l'autre.

8.6.1 Une interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle identique

Dans cette étude, tous les profils de techno-affinité ont eu la même interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle de l'expérience d'interaction avec les cockpits automobiles proposés dans l'étude. Nos hypothèses générales 1 et 2 ne sont donc pas validées.

Nous avons vu que la **perception** des caractéristiques à la fois ergonomiques et hédoniques, peut se résumer en une seule dimension (Tableau 8.12). La perception des cockpits se matérialise sous la forme d'un continuum qui oppose ces deux aspects. Trop de caractéristiques hédoniques renvoyées par les cockpits tend à impacter négativement la perception ergonomique de l'interaction. À l'inverse, trop de caractéristiques ergonomiques renvoyées par les cockpits, tend à impacter négativement la perception hédonique de l'interaction (Figure 8.3).

Les modèles qui expliquent le mieux la variabilité de la perception sont ceux qui résument les différences de cockpits par leur degré de numérisation et de dématérialisation (Figure 8.5). Les résultats montrent que la numérisation et la dématérialisation des cockpits impactent leur position sur ce trait latent de perception. L'ajout d'un environnement technologique participe ainsi à rendre l'interaction plus hédonique (plus stimulante et plus plaisante sensoriellement) mais aussi moins ergonomique (moins facile à utiliser et moins sécurisante). Le compromis, c'est-à-dire là où les notes d'évaluation de l'UX sont les meilleures, se trouve dans une interaction à la fois hédonique et ergonomique. Cela est possible lorsque les IHM du cockpit automobile permettent à la fois une prise en main facile des commandes et une interaction plaisante sensoriellement.

Nous l'avons vu, les cockpits qui permettent ce compromis dans notre étude sont ceux de Honda et de Peugeot (Figure 8.4). Cela s'explique assez bien, car ces deux cockpits, à la différence du cockpit de Kia, présentent un environnement technologique (par la numérisation ou par la dématérialisation) qui stimule les utilisateurs, mais ne renvoient pas à un environnement trop technique qui puisse distraire les utilisateurs en conduite, comme le ferait l'IHM du cockpit de Tesla.

- Le cockpit de Honda présente trois écrans et une quantité d'information numérique importante qui peuvent participer à accaparer l'attention du conducteur. Pourtant, le cockpit permet un accès facilité aux fonctions principales, via les commandes mécaniques de la partie centrale et via les raccourcis sur le volant. Il permet également un accès facilité aux différentes informations, car chaque espace est organisé par fonction dans l'habitacle. Les informations de conduite sont derrière le volant. Les commandes de confort et les commandes multimédias sont sous les écrans, à des emplacements différents. Enfin, la première couche d'information sur l'écran central est présentée de manière simple, via des icônes colorées et avec une sémiotique adaptée (symboles à l'image des icônes d'un smartphone, associés à du texte). Par ailleurs, les boutons mécaniques produisent un feedback, sonore ou visuel, qui pourrait aussi expliquer la position plus à gauche sur le trait latent de perception du cockpit de Honda (vers les caractéristiques hédoniques). Par exemple, lorsque l'utilisateur baisse la température de l'habitacle via les boutons rotatifs, les écrans affichent un thermomètre qui passe du rouge ou bleu. Cela participe à rendre l'expérience plus sensorielle et compréhensible.

- Le cockpit de Peugeot présente les avantages de la dématérialisation (tout dans une tablette tactile centrale). L'interaction est alors perçue comme stimulante et agréable, car le cockpit est épuré et peut donc produire, d'après la position très à gauche de l'item *epure* (« *La planche de bord est épurée.* ») sur le trait latent de perception, un effet de surprise (que se cache-t-il dans l'écran ?). Pourtant, son écran central reste classique et très facile à utiliser. Il y a très peu d'informations affichées et ces informations sont de mêmes natures. Cela ne vient donc pas accaparer l'attention du conducteur. Le cockpit est par ailleurs bien organisé : les informations de conduite restent au niveau du tableau de bord, qui par la même occasion est classique (compteur aiguille). Les informations d'info-divertissement et de confort s'organisent dans des onglets différents sur l'écran central tactile, mais cet écran présente moins de deux niveaux de profondeur, ce qui facilite la visualisation des logiques d'interactions. La présentation de cet écran est simple par ailleurs. Tous ces éléments peuvent expliquer la position de ce cockpit un peu plus à droite sur le trait latent de perception (vers les caractéristiques ergonomiques).

La réaction émotionnelle se matérialise également sous la forme d'un continuum qui oppose le stress à la sensation de maitrise (Figure 8.6). Les résultats montrent qu'une expérience est émotionnellement positive lorsqu'elle est maîtrisable, agréable et stimulante.

La position du cockpit de Kia est étonnement plus à gauche sur ce trait latent (vers les positions émotionnelles négatives) (Figure 8.7). Pourtant, sa position sur le trait latent de perception montre que ses IHM renvoient des caractéristiques ergonomiques (facilité et sécurité d'utilisation). Cela montre que les qualités ergonomiques d'un système ne sont pas suffisantes pour expliquer la réussite d'une interaction. Les qualités hédoniques sont essentielles : l'ajout de technologies, par la numérisation ou la dématérialisation, est donc pertinent. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature. La conception d'une IHM ne doit pas se limiter à l'amélioration de l'utilisabilité et de l'utilité. Elle doit favoriser une interaction agréable et stimulante, sources d'émotions positives (Desmet, 2002 ; Hassenzahl et al., 2010 ; D. Norman, 1988 ; Partala & Kallinen, 2012 ; Thüring & Mahlke, 2007). Les cockpits de Tesla, Peugeot et Honda permettent cela.

La position des items sur le trait latent émotionnel montre que les items qui questionnent la sensation d'une expérience difficile à contrôler (*dominanceN*) et la sensation d'une expérience stimulante (*arousalP*) sont côte à côte (Tableau 8.13). Le premier se trouve sur les positions négatives du trait latent émotionnel (vers le stress), alors que le second se trouve sur les positions positives du trait latent (vers l'expérience agréable). La stimulation étant apportée

par la technologie, cela montre que les sujets acceptent les environnements technologiques jusqu'au moment où l'excès de technologie leur fait perdre le contrôle. Le cockpit de Tesla représente bien cette dualité. Par exemple, les essuie-glaces de la Tesla Model 3 s'activent de manière automatique par détection de la pluie. Il n'y a plus de commandes au volant pour activer les essuie-glaces. Cela participe donc à rendre l'habitacle plus épuré. Le réglage de la vitesse des essuie-glaces peut néanmoins se faire au moyen de commandes vocales ou au moyen de commandes tactiles situées sur l'écran central. Par l'écran tactile, le réglage ne peut pas se faire en un coup d'œil. Il faut donc avoir le réflexe de régler cela à la voix dans des situations qui demandent beaucoup d'attention sur la conduite (pluie en conduite). En 2020, un conducteur allemand a provoqué un accident alors qu'il essayait d'ajuster la vitesse de ses essuie-glaces manuellement, via le menu en profondeur de son écran tactile, ce qui lui a fait quitter les yeux de la route trop longtemps (Claudel, 2020). Cela a mis en évidence les limites de ce type de cockpit entièrement dématérialisé.

Finalement, les cockpits qui permettent une expérience émotionnelle positive sont ceux concilient les aspects ergonomiques et hédoniques précédemment discutés (Figure 8.7). Une expérience émotionnelle positive participe à rendre les expériences plus appréciées significativement, tous profils confondus (Figure 8.10).

8.6.2 Des besoins hédoniques et ergonomiques différents

Les résultats montrent que les profils de techno-affinité ont la même interprétation des interactions, mais qu'ils affichent des besoins et des préférences significativement différents. Ce constat, nous avons pu le faire en analysant ce qui permettait d'améliorer les notes d'appréciation et en analysant les préférences.

Les analyses montrent que l'appréciation d'une expérience s'explique par la recherche d'un optimum, entre caractéristiques ergonomiques et caractéristiques hédoniques, qui s'avère positionné différemment d'un profil à l'autre (Figure 8.9). Ce résultat vient valider notre hypothèse générale 3.

Les besoins sont de natures plus hédoniques pour le profil **Ultra-connecté** (Figure 8.9). Ils sont conscients du manque d'ergonomie associé à la numérisation et à la dématérialisation des cockpits. En effet, ils ont la même perception des cockpits que les autres profils de techno-affinité. Pourtant, les caractéristiques hédoniques, apportées par les cockpits numérisés et dématérialisés, participent à améliorer les notes d'appréciation du profil Ultra-connecté. Cela

montre que la stimulation est importante à leur expérience et que le besoin de maîtriser est moins prégnant que pour les autres profils. Ce dernier point, nous l'avons validé en étudiant les notes d'appréciation en fonction de la réaction émotionnelle : la pente de la courbe associée au profil Ultra-connecté est moins forte (Figure 8.10). Cela a du sens, car ils sont dotés d'un niveau d'affinité technologique assez haut pour leur permettre d'être plus sereins à l'idée de s'adapter à des interactions plus techniques. D'ailleurs, d'après les résultats, leur préférence pour les cockpits numérisés est significative. Les verbatims associés à leurs expérimentations montrent, qu'au-delà des aspects stimulants, ils accordent beaucoup d'importance aux aspects esthétiques apportés par les écrans (Figure 8.16). Nous avions vu par ailleurs, dans le chapitre 7, qu'ils accordaient beaucoup d'importance aux commandes mécaniques. Cela pourrait expliquer pourquoi le cockpit de Peugeot est significativement rejeté : la dématérialisation en tant que telle n'est pas attendue. En revanche, le cockpit de Tesla est validé, car en plus de l'aspect numérisé, ils sont conscients que les commandes mécaniques sont remplaçables par des commandes vocales performantes.

Les autres profils de techno-affinité montrent des besoins de nature plus ergonomiques (Figure 8.9), notamment lié à la sécurité d'utilisation. Le contexte automobile a donc un fort impact sur l'expérience d'interaction. Les verbatims associés aux expérimentations montrent que l'absence de distraction est un critère particulièrement important pour les profils Distant, Basique et Engagé (Figures 8.13, 8.14 et 8.15). Néanmoins, au travers des résultats de l'analyse des préférences, nous observons des attitudes assez différentes selon les profils. Nous pourrions ajouter aux résultats quantitatifs une dimension de relation à la conduite : l'activité principale est la conduite, l'utilisateur doit alors être prêt à ce que la technologie vienne modifier son environnement habituel. Tous ces profils n'ont pas un niveau équivalent d'affinité technologique leur permettant d'accepter de la même manière que la technologie vienne modifier leur espace de conduite.

Les sujets du profil **Distant** ne veulent pas d'un environnement automobile trop distrayant. Le niveau de technologie importe peu, car ils n'utilisent pas les IHM en conduite. C'est pourquoi le cockpit de Tesla est préféré par certain : ils peuvent mettre de côté les fonctionnalités qui sont proposées. C'est plutôt la quantité d'information qui les perturbe. Ce résultat, nous l'avions déjà observé au chapitre 7 : trop de boutons ou trop d'information altère leur concentration sur la conduite. Le fait qu'ils rejettent le cockpit de Kia, et qu'ils rejettent, de manière générale, les cockpits non dématérialisés, confirme ce résultat. Pour eux, la simplicité visuelle équivaut à la simplicité d'utilisation.

À partir du profil **Basique**, l'affinité technologique se traduit par l'envie de conduire dans un environnement plus technologique. Cependant, cette envie est limitée par le besoin d'être attentif en conduite. Au sein de ce profil, nous observons finalement une préférence pour le cockpit de Honda. Cela montre que les sujets trouvent satisfaction dans le cockpit qui permet le compromis entre une interaction facile et plaisante.

Pour les sujets du profil **Engagé**, la préférence est plus hétérogène. Il y a une attirance marquée pour les technologies, mais cette attirance fait face au besoin prégnant de sécurité et de maîtrise. Cette dimension relative à la conduite aurait du sens ici pour expliquer les différences de préférence observées dans ce profil.

8.6.3 Limites et perspectives

Certaines limites et perspectives de l'étude peuvent être discutées. Premièrement, dans cette étude, le modèle des Composantes de l'Expérience Utilisateur (CUE-Model, Thüring & Mahlke, 2007) sert de base théorique. Ce modèle indique que l'interaction entre les caractéristiques du système et les caractéristiques de l'utilisateur va impacter les composantes perceptives et émotionnelles de l'expérience, avant d'impacter le jugement global du système. Dans notre étude, nous montrons un résultat un peu différent. L'interaction entre les caractéristiques du système (liés aux facteurs $Numérisation$ et $Dématérialisation$) et les caractéristiques de l'utilisateur (lié à leur techno-affinité) n'ont pas d'impact significatif sur les composantes de l'UX mais seulement sur le jugement global. Ces résultats sont un peu plus étonnants pour la composante émotionnelle que pour la composante perceptive.

En effet, les items de la composante perceptive relèvent d'une mesure descriptive des cockpits et de leurs IHM. Tous les sujets ont finalement conscience de ce qu'est un cockpit épuré, bien organisé, etc. Cela est vrai même pour les items hédoniques qui, à part pour les aspects de stimulation, ne questionnent que très peu les aspects symboliques forts (aspirations, souvenirs, relation avec les autres, etc.). Seul l'item *flatteur* (« *Les commandes physiques et les écrans sont flatteurs pour l'image de celui qui possède la voiture.* ») aurait finalement pu apporter une réponse différente entre les individus, car cet item demande à l'utilisateur d'évaluer sa propre image en interaction avec le cockpit qu'il évalue. En revanche, les items de la composante émotionnelle relèvent d'une mesure expérientielle. Ces items questionnent directement les utilisateurs sur ce qu'ils vivent en interaction avec ces cockpits. L'absence de significativité est alors étonnante. Il faut rappeler que l'expérience s'est déroulée en statique. Il est donc fort

probable, que les différences soient plus marquées en utilisation réelle. Toutefois, cela n'invalide pas les résultats. Pour cette expérience de vingt minutes par cockpit, et en statique, tous les individus ont eu la même interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle des cockpits.

Deuxièmement, nous avons peu de répondant par groupe de techno-affinité. L'analyse du χ^2 pour étudier la dépendance entre les profils de techno-affinité et les choix faits à chaque rang est donc à considérer avec précaution. Il faut qu'il y ait un fort consensus entre les participants de chaque groupe pour que des différences significatives apparaissent. Ce test nous a quand même permis de montrer le fort consensus de préférence au sein du profil Ultra-connecté et le consensus général pour le rejet au sein de tous les profils.

Ces deux premières limites étaient connues avant l'étude et ont été prises en compte dans l'interprétation des résultats. Pour les dépasser et confirmer les résultats, une expérience en conduite est attendue. Cela permettrait de capturer une expérience émotionnelle plus contextualisée et de se focaliser sur les profils de techno-affinité que l'expertise Renault souhaite approfondir.

Deux dernières limites peuvent être discutées. Premièrement, comme attendu, des biais ont été induits par le choix des véhicules. Par exemple, les personnes très grandes avaient du mal à se sentir confortables dans l'habitacle de Honda car il est plus petit que ceux des autres véhicules. Il y a, par ailleurs, d'autres biais que nous n'avions pas prévu. Par exemple, l'ouverture particulière de la portière de la Tesla Model 3, ou l'utilisation des clés de contact dématérialisées de Tesla Model 3 et de Honda-e a parfois déstabilisé les participants. Nous avons rapidement décidé de modifier le protocole pour prendre en charge ces éléments (ouvrir la portière aux participants, garder les clés et les positionner au bon endroit, etc.) afin d'éviter ces biais. Dans les résultats, les p-valeurs indiquent néanmoins que les interactions $Profil \times Perception$ et $Profil \times Emotion$ (Tableaux 8.14 et 8.15) ont plus d'impact sur les notes d'appréciation de l'expérience, que sur les notes d'appréciation des véhicules. Cela montre donc que les participants ont réussi à se focaliser sur l'évaluation des commandes et des écrans, en se détachant du reste du véhicule.

Enfin, lors du terrain, nous avons observé que le sujet 2, classé dans le profil Ultra-connecté, avait beaucoup de difficulté à utiliser les véhicules (démarrer par exemple) et à utiliser la tablette tactile de notation. De manière générale, il n'y a que les sujets du profil Distant, plutôt âgés, qui ont eu des difficultés à utiliser les tablettes tactiles. Dans l'espace de préférence, le point idéal du sujet 2 s'est trouvé à l'opposé des points idéaux des autres membres du profil Ultra-connecté (Figure 8.12). Cela questionne le recrutement de cet individu : est-il classé

dans le bon profil ? Est-il réellement en capacité de conduite ? Toutefois, nous avons décidé de ne pas écarter les données de cet individu, car cela n'a pas empêché de trouver des différences significatives entre le profil Ultra-connecté et les autres profils.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

8.7 Conclusions du chapitre 8

les résultats montrent que :

- tous les profils de techno-affinité ont eu la même interprétation hédonique, ergonomique et émotionnelle de l'expérience d'interaction en contexte automobile ;
- la perception de l'interaction se matérialise sous la forme d'un continuum entre deux aspects contradictoires : les caractéristiques hédoniques et les caractéristiques ergonomiques ;
- la numérisation et la dématérialisation des cockpits participent à rendre l'interaction plus hédonique (plus stimulante et plus plaisante sensoriellement) mais aussi moins ergonomique (moins facile à utiliser et moins sécurisante) ;
- un compromis est trouvé lorsque le cockpit automobile permet à la fois une prise en main facile des commandes et une interaction plaisante sensoriellement ;
- les caractéristiques hédoniques sont essentielles à une expérience réussie ;
- une expérience est réussie lorsqu'elle est stimulante, agréable et maîtrisée ;
- les sujets acceptent les environnements technologiques jusqu'au moment où l'excès de technologie leur fait perdre le contrôle ;
- l'appréciation d'une expérience s'explique par la recherche d'un optimum, entre caractéristiques ergonomiques et caractéristiques hédoniques. Cet optimum s'avère positionné différemment d'un profil de techno-affinité à l'autre ;
- le profil Ultra-connecté apprécie davantage les expériences homme-machine plus hédoniques apportées par les cockpits fortement numérisés ;
- les autres profils de techno-affinité ont des besoins de nature plus ergonomiques, notamment lié à la sécurité d'utilisation. Le besoin d'attention en conduite peut expliquer des différences de préférences entre ces profils.

Quatrième partie

Discussion générale

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

Chapitre 9

Discussion générale

9.1 Rappel des objectifs, des problématiques et des hypothèses

L'objectif principal de ces travaux de recherche est d'étudier l'impact de la culture sur la perception des Interfaces Homme-Machine (IHM) automobiles. Ces travaux prennent place dans un contexte d'évolution technologique. D'un point de vue académique, l'objectif est d'identifier les spécificités culturelles à prendre en compte dans les choix de conception des IHM. D'un point de vue industriel, l'objectif est de définir si le bénéfice client (et donc commercial) est suffisant pour investir dans l'adaptation des IHM automobiles aux spécificités culturelles.

Pour répondre à ces objectifs, nous avons commencé par un état de l'art afin de mieux cerner les deux objets d'études que sont les IHM et la culture dans un contexte d'évolution technologique. Cet état de l'art s'est décliné en trois chapitres dans la partie 1. Il s'est appuyé sur des travaux en ergonomie cognitive, en psychologie des émotions, en anthropologie, en sociologie, et sur des recherches interdisciplinaires relatives à l'industrie automobile.

L'interaction Homme-Machine nécessite le recours aux sciences humaines et sociales, car elle fait intervenir de nombreux processus psychologiques (Barnard, 1995 ; Landauer, 1995 ; Myers et al., 1996 ; Scapin, 1986 ; Shackel, 1969). Parmi ces processus psychologiques, il y a l'étape de perception, qui va conditionner la réaction émotionnelle et toutes les actions qui vont suivre (Hassenzahl, Diefenbach, & Göritz, 2010 ; D. A. Norman, 1986 ; Thüring & Mahlke, 2007). Les concepteurs d'IHM accordent ainsi donc beaucoup d'importance à ce que les IHM renvoient les bonnes caractéristiques ergonomiques et hédoniques aux utilisateurs. Leur but est que les IHM soient sources de satisfaction et de plaisir à l'usage (Hassenzahl, 2005).

Dans le contexte automobile, l'interaction homme-machine est complexifiée du fait de la multiplicité des interactions et de la prise en compte de la composante sécuritaire (Blumenthal,

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

2001 ; Noël et al., 2022). Au-delà de vouloir créer des IHM utilisables et agréables à utiliser, les concepteurs automobiles s'attachent à rendre les interactions peu distrayantes pour la conduite.

L'évolution des technologies en contexte automobile se traduit par deux phénomènes marquants (voir Figures 3.6 et 3.7). Le premier concerne la dématérialisation des cockpits (convergence des moyens de contrôles, auparavant mécaniques, vers des interfaces numériques). Le second concerne la numérisation des cockpits (augmentation importante flux informationnel visuel ou bien sonore au sein des habitacles).

Cet ajout de technologies peut être apprécié pour des raisons sensorielles et symboliques notamment. Pour autant, il est important pour le partenaire industriel d'étudier l'impact de ces phénomènes sur ses clients. En effet, il y a un risque que la dématérialisation et la numérisation, en modifiant les types d'interactions, impactent négativement le contrôle d'une part, et l'attention en conduite d'autre part. Face à cette dualité, nous avons alors fait l'hypothèse que le positionnement des sujets, dans leur préférence concernant la dématérialisation et la numérisation des cockpits, se traduit par une recherche d'optimum entre une expérience ergonomique (interaction performante et non distrayante) et une expérience hédonique (interaction agréable et source de plaisir) (**hypothèse générale 3**).

Dans ces travaux, nous avons cherché à étudier l'effet des **facteurs culturels** sur l'interaction homme-machine. Il se trouve que la culture est souvent résumée au moyen de la nationalité. Cependant, dans un contexte de mondialisation, où les technologies sont largement diffusées à travers le monde, et dans la problématique qui est la nôtre, nous nous sommes concentrés sur une dimension culturelle différente. En effet, nous avons pris le parti de considérer la sous-dimension techno-socio-générationnelle de la culture pour expliquer des différences dans la relation aux technologies, et par extension, dans l'interaction homme-machine. Pour étudier la culture à un niveau techno-socio-générationnel, nous avons proposé de mesurer l'affinité technologique. À partir d'éléments de la littérature concernant les techno-générations et le concept de fracture numérique (Ben Youssef, 2004 ; Docampo Rama et al., 2001 ; Pasquier, 2022 ; Sackmann & Winkler, 2013), nous avons fait l'hypothèse que la techno-affinité est un facteur de différentiation fort entre les sujets. Et qu'il a une valeur culturelle pertinente qui ne se réduit pas à l'âge des sujets (sous-hypothèses de la parties 2).

Nous avons ainsi fait l'hypothèse que face à des cockpits automobiles dont le degré de dématérialisation et de numérisation varie, la perception ergonomique et hédonique diffère

en fonction de la techno-affinité. Nous avons aussi fait l'hypothèse que la réaction émotionnelle résultante diffère en fonction de la techno-affinité. Ces deux hypothèses constituent nos **hypothèses générales 1 et 2**. Puis, rapidement nous avons soutenu l'idée que la recherche d'optimum, entre une expérience hédonique et une expérience ergonomique, n'est pas la même d'un profil de techno-affinité à l'autre. Cette hypothèse constitue la suite de **l'hypothèse générale 3**.

Pour tester ces hypothèses, nous avons défini deux axes de recherche appliquée. Le premier axe concerne l'étude du concept de techno-affinité par la validation d'une échelle de mesure psychométrique. Le deuxième axe concerne le développement d'études de terrains expérimentaux pour étudier les attitudes et les comportements objectifs des sujets face aux interactions homme-machine, selon le niveau de techno-affinité. Ces recherches ont été décrites dans quatre études réparties entre la partie 2 et 3.

9.2 Approches générales pour répondre aux problématiques de la thèse

Deux approches principales sont employées pour répondre aux problématiques de la thèse. Premièrement, l'approche IRT (*Item Response Theory*) est utilisée dans ces travaux de thèse pour mesurer divers phénomènes psychologiques. Les modèles IRT nous sont apparus comme les plus adéquats pour aborder notre problématique. En effet, nous cherchions essentiellement à mesurer des différences inter-individuelles d'affinité entre des sujets et des technologies, ou entre des sujets et des caractéristiques d'interaction homme-machine. Les modèles IRT ont justement pour propriété de projeter simultanément les sujets et les items, dans un même espace latent, en donnant du sens à leur inter-distance (van der Linden, 2019), ce qui a facilité l'interprétation des modèles développés. Dans ces travaux de recherche, nous avons ainsi pu tester une variété de modèles IRT, permettant la modélisation de mécanismes cumulatifs à partir de données catégorielles (dans le cadre de la techno-affinité) et de mécanismes de compromis à partir de données continues bornées (dans le cadre de l'évaluation de l'UX).

Deuxièmement, une approche mixte quantitative-qualitative est utilisée dans ces travaux de thèse. Dans nos travaux, le chapitre 7 fait l'interface entre les résultats quantitatifs de la partie 2, qui modélisent la techno-affinité et les résultats de la partie 3, qui valident les comportements objectifs des différents profils de techno-affinité à l'égard des technologies. En

outre, dans le chapitre 8 nous avons utilisé les verbatims recueillis lors des expérimentations pour expliquer des différences de préférences dans l'interaction homme-machine. En faisant cela, nous avons montré que ces approches (quantitatives et qualitatives) étaient complémentaires. L'approche qualitative permet en effet d'apporter des éléments de compréhension qualitatifs aux phénomènes psychologiques observés de manière quantitative. Au-delà d'identifier des différences d'affinité, nous apportons de la substance aux attitudes et comportements modélisés.

9.3 Contributions, limites et perspectives autour de la mesure de techno-affinité

9.3.1 Contributions

Dans ces travaux de recherche, nous avons contribué à la mesure de différences interindividuelles de techno-affinité. Pour faire cela, nous avons collecté un grand nombre de réponses, sur un ensemble de 110 items couvrant un champ large d'objets technologiques. Pour ces items, les répondants devaient indiquer leur niveau factuel de possession, de connaissance et d'usage. Puis, nous avons montré que le spectre large couvert par les items pouvaient correctement être modélisé par une seule dimension, clairement identifiée comme une dimension bipolaire et cumulative de techno-affinité. Enfin, nous avons pu proposer un outil de mesure psychométrique de la techno-affinité. L'outil a pu être utilisé pour recruter des sujets dont le rapport à la technologie variait : des plus distants, aux plus connectés aux technologies (Distants, Basiques, Engagés, Ultra-connectés).

À travers l'ensemble des analyses effectuées en marge de la validation d'une échelle de mesure psychométrique, nous avons pu valider toutes les sous-hypothèses de la partie 2 concernant la techno-affinité :

- La techno-affinité se modélise sous la forme d'une seule dimension bipolaire où la technophobie est opposée à la technophilie.
- La techno-affinité englobe naturellement un facteur temporel d'ordre générationnel, mais du fait de facteurs socio-professionnels, elle ne se confond pas exclusivement avec ce facteur temporel.
- La techno-affinité est un bon prédicteur du comportement objectif des sujets en contexte automobile.

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

- La techno-affinité est pertinente dans un contexte de mondialisation, car il existe une dimension commune et consistante entre deux pays aux valeurs culturelles nationales différentes.

Parmi les contributions de notre étude, les résultats d'unidimensionnalité, de bipolarité et de cumulativité sont discutés.

Unidimensionnalité de l'échelle - Au travers d'indicateurs factuels de la relation homme-technologie, nous modélisons en une seule dimension :

- différentes attitudes et différents comportements objectifs et généraux à l'égard des technologies ;
- une dimension bipolaire où la technophobie s'oppose à de la technophilie ;
- différents niveaux socio-générationnels.

D'après les résultats de l'enquête qualitative, lorsque le niveau de techno-affinité est faible, l'ouverture aux nouvelles technologies est limitée. Les sujets expliquent clairement leur manque d'affinité technologique par le fait de ne pas être amené à les utiliser au quotidien, à cause de leur âge, de leur activité professionnelle qui ne leur permet pas, ou encore de leurs habitudes d'usages bien ancrées. À l'inverse, lorsque le niveau de techno-affinité est élevé, l'ouverture aux nouvelles technologies est plus grande. Les sujets expliquent cela essentiellement par de l'intérêt personnel ou professionnel, rendant possible la modification des usages.

Comme expliqué au chapitre 4, l'hypothèse d'unidimensionnalité était attendue. Pourtant, ce qu'elle retranscrit est assez étonnant. Avec la mesure qui est proposée, nous restituons, via une seule dimension, plusieurs phénomènes psychologiques souvent étudiés de manière séparée dans la littérature (techno-génération, fracture numérique, anxiété technologique, etc.) (Arcep, 2021 ; Heinssen, Glass, & Knight, 1987 ; Sackmann & Winkler, 2013), ou souvent modélisés sous formes de facteurs orthogonaux (Anderberg, Eivazzadeh, & Berglund, 2019 ; Soldatova, Nestik, Rasskazova, & Dorokhov, 2021). Tout en étant cohérent avec les éléments de la littérature, nous arrivons à restituer, de manière plus sobre, l'attitude conflictuelle sous-jacente à la relation homme-technologie, en montrant que toutes ces notions sont intrinsèquement liées les unes aux autres et qu'elles impactent l'affinité technologique.

Bipolarité de l'échelle - Nous avons vu que la mesure proposée de la techno-affinité (partie 2) est cohérente avec les attitudes et les comportements objectifs qui sont observés entre les faibles et les hauts niveaux de techno-affinité (chapitre 7).

Les sujets avec un plus faible niveau de techno-affinité affichent explicitement du rejet pour les nouvelles technologies, au travers de marqueurs de méconnaissance et d'anxiété. Par exemple, en contexte automobile, certains peuvent dire « *Ça fait peur. Du coup, je ne l'utilise pas, même sur l'autoroute.* » à propos du régulateur de vitesse. Il s'agit pourtant d'une aide à la conduite très pratique.

À l'inverse, les sujets avec un plus haut niveau de techno-affinité affichent explicitement de l'enthousiasme à l'égard des technologies, au travers de marqueurs de curiosité et d'intérêt marqué pour le développement technologique. Par exemple, ils disent vouloir « aller toujours plus loin pour aller vers les meilleures technologies ».

Par ces résultats, nous montrons que la techno-affinité traduit bien une attitude bipolaire entre, d'une part, de la peur, du rejet ou de l'ignorance et, d'autre part, de la confiance, de l'acceptation ou de la compétence. Ces résultats sont en accord avec ceux suggérés dans la littérature (Ben Youssef, 2004 ; Osiceanu, 2015 ; Pasquier, 2022).

Cumulativité de l'échelle - La dimension de techno-affinité a clairement été identifiée comme une dimension cumulative, où l'usage implique en probabilité de la possession et où la possession implique en probabilité de la connaissance. Inversement, et selon le principe d'un cumul, la connaissance d'une technologie n'implique pas nécessairement qu'on la possède ou qu'on l'utilise, et l'échelle permet donc de représenter aussi ce type de profils intermédiaires. En outre, la mesure de techno-affinité s'est avérée homogène et facilement généralisable au contexte automobile. C'est ce que nous ont montré les résultats du chapitre 7.

En contexte automobile, nous avons pu observer une augmentation des connaissances, des usages et des compétences avec l'augmentation du niveau de techno-affinité. Cela se traduit par le fait que plus le niveau de techno-affinité augmente, plus les nouvelles technologies (automatisation, interactivité, personnalisation, etc.) sont acceptées, maîtrisées et que les informations qu'elles renvoient sont appréciées, voire attendue en conduite.

Un usage modéré et basique des technologies est ainsi observé chez les niveaux plus faibles de techno-affinité. Les moins technophiles ont une attitude distante à la technologie, qui se traduit par de la prudence, voire de la crainte. Ils affichent le besoin de maîtriser les produits et les services qu'ils utilisent en conduite. Enfin, ils sont à la recherche du meilleur rapport qualité/prix. Puis, plus le niveau de techno-affinité augmente, plus l'usage des technologies est fréquent, connecté et interactif en contexte automobile. Les plus technophiles sont enthousiastes à l'idée de vivre de nouvelles expériences d'interactions, ce qui implique des attentes

plus importantes en matière de confort, de performance, voire de plaisir pour les sujets du profil Ultra-connecté.

À ce niveau des résultats, nous montrons déjà que la techno-affinité est pertinente dans notre problématique pour identifier des besoins et attentes différentes en termes d'interaction homme-machine.

9.3.2 Limites et perspectives

Au-delà des limites évoquées aux chapitres 5 et 6, certaines limites plus générales sont à considérer autour de la comparaison internationale et autour des approches adoptées pour la construction de l'échelle mesure. Des perspectives de recherche à la suite de ce travail seront également proposées.

Comparaison internationale - Dans nos discussions, nous avons beaucoup mentionné la nécessité de défendre la thèse que la techno-affinité est une variable culturelle pertinente dans un contexte de mondialisation. En accord avec le partenaire industriel, nous avons décidé de mener une comparaison France-Allemagne. En effet, des études internes révèlent de fortes disparités de perception entre ces deux pays sur les IHM automobiles de la marque Renault. Nous avons ainsi choisi l'Allemagne pour étudier ces différences. Dans nos résultats, nous avons identifié une dimension commune et consistante de techno-affinité entre ces deux pays aux niveaux différents de valeurs culturelles nationales.

Pour la comparaison internationale, nous avons opté pour l'outil de mesure issu de la théorie de Hofstede (G. Hofstede, 1984). Le VSM (G. Hofstede & Minkov, 2013) est l'outil de mesure le plus souvent utilisé en conception transculturelle d'IHM. Ce choix mériterait pourtant d'être discuté au travers d'une étude plus approfondie des similitudes et des différences entre le modèle de Hofstede (G. Hofstede, 1984) et celui de Schwartz (Schwartz, 2009).

Comme évoqué au chapitre 5, la mesure de différences nationales de techno-affinité mériterait aussi d'être menée entre des nationalités plus contrastées. Au vu des éléments de la littérature, il est probable que des valeurs culturelles nationales expliquent des différences d'attitudes plus marquées vis-à-vis de la technologie entre certaines nations plus éloignées géographiquement (exemple : entre la France et les pays d'Asie de l'Est). Premièrement, nous avons vu que les niveaux de valeurs nationales impactaient les perceptions (Nisbett & Masuda, 2003 ; Shiraev & Levy, 2020). Deuxièmement, une grande partie des phénomènes de dématé-

rialisation et de numérisation observés sur le marché automobile se font en Asie (notamment en Chine). Cela montre que leur rapport est a priori différent vis-à-vis des technologies en contexte automobile. La prise en compte d'une comparaison de ce type serait très informative pour le partenaire industriel.

Par ailleurs, une comparaison transculturelle à plus grande échelle (entre plusieurs pays par exemple), ne demanderait qu'un effort de traduction des questionnaires et permettrait d'étayer nos hypothèses qu'une dimension commune et consistante de techno-affinité traverse tous les continents.

Outil de mesure de la techno-affinité - Au chapitre 4, nous avons exposé les arguments en faveur du développement d'une nouvelle échelle de mesure psychométrique d'affinité technologique. Puis, nous avons construit de deux échelles de mesure. Dans un contexte théorique, une échelle de mesure en version longue a été construite au chapitre 5. Dans un contexte pratique, une échelle en version courte a été construite au chapitre 6.

Ce travail est intéressant pour trois raisons. Premièrement, ce sont des échelles de mesure d'attitudes générales à l'égard des technologies, qui proposent un positionnement individuel d'affinité avec les technologies. Ce type d'échelle n'existe pas dans la littérature ergonomique aujourd'hui, ou alors les instruments, construits dans la tradition factorielle, sont concentrés sur les indicateurs et n'intègrent pas de paramètre individuel (Anderberg et al., 2019 ; Martínez-Córcoles et al., 2017). C'est pourquoi un article sur la construction et la validation de cette échelle est en préparation. Pour l'article, il s'agira de combiner l'approche théorique du chapitre 5 et l'approche pratique du chapitre 6 afin de proposer une échelle, à la fois adaptée à un contexte de recherche et facilement utilisable sans routine statistique.

Deuxièmement, le travail d'une échelle de mesure en version courte est un résultat pratique aussi bien pour la thèse que pour le partenaire industriel. L'échelle, par son format court a pu facilement être intégrée à des questionnaires de recrutement. Il s'agit souvent d'un point problématique en contexte industriel. En effet, le nombre de questions, ou le temps passé à y répondre coûte de l'argent à celui qui engage une étude. Dans le cadre de la thèse, 15 items est une longueur de tests qui est apparue comme un compromis acceptable entre les nécessités de terrain (passation rapide) et la qualité psychométrique (erreur de mesure sur les paramètres individuels). Il serait quand même intéressant d'étudier le nombre minimal de questions qui permettraient une mesure tout aussi acceptable de la techno-affinité.

Enfin, nous l'avons évoqué au chapitre 5, une échelle de ce type, qui se base sur la mesure d'indicateurs factuels, plutôt que d'aspects attitudinaux, permet d'éviter les biais de jugement personnel. Toutefois, cette échelle nous contraint à une mise jour perpétuelle, car les objets technologiques, aujourd'hui considérés comme nouveaux, seront obsolètes dans quelques années. C'est une spécificité de la mesure de la relation aux technologies. L'avantage est que les modèles IRT facilitent le travail de mise-à-jour, par la méthodologie du chaînage d'items.

9.4 Contributions, limites et perspectives autour de la modélisation de l'UX en contexte automobile

9.4.1 Contributions

Au travers du travail de modélisation de l'expérience utilisateur (chapitre 8), nous avons pu mesurer l'effet de la numérisation et de la dématérialisation des cockpits automobiles sur l'expérience utilisateur. Nous avons pu également identifier les aspects de la numérisation et de la dématérialisation qui conviennent à chaque profil de techno-affinité étudié.

À travers l'ensemble des analyses effectuées, nous avons pu montrer que l'interprétation ergonomique, hédonique et émotionnelle des interactions est la même, quel que soit le niveau de techno-affinité. En revanche, nous avons montré que la valeur donnée à cette interprétation n'est pas la même d'un profil de techno-affinité à l'autre. Ainsi, les jugements globaux diffèrent significativement, notamment entre le profil Ultra-connecté et les autres profils de techno-affinité (Distants, Basiques, Engagés).

Parmi les contributions de notre étude, l'approche de modélisation individualisée et l'application pratique résultante sont discutées.

Apport de la modélisation individualisée Dans la littérature classique, les outils d'évaluation de l'UX (AttrakDiff 2, meCUE) permettent une évaluation centrée sur le produit (Hassenzahl et al., 2003 ; Minge et al., 2017). La modélisation proposée au chapitre 8 est une approche individualisée. Avec le modèle de dépliage employé, ici le BUM (Noel, 2014), nous mettons en modèle l'interaction homme-machine : les sujets et les cockpits sont directement placés dans un même espace latent. Autrement dit, notre approche permet une évaluation centrée conjointement sur les produits et sur les sujets, en mettant explicitement en modèle la

façon dont les préférences peuvent être le résultat d'un compromis entre deux forces opposées. À notre connaissance, il n'existe pas d'approches équivalentes dans la littérature.

Nous avons ainsi modélisé les composantes perceptives et émotionnelles de l'expérience utilisateur. Nous avons ensuite évalué leur impact sur l'appréciation globale de l'expérience.

Avec cette modélisation, nous avons montré que les caractéristiques ergonomiques des IHM ne sont pas suffisantes pour permettre une expérience utilisateur émotionnellement positive. L'ajout de caractéristiques hédoniques (notamment par la numérisation ou la dématérialisation des cockpits) est essentielle pour permettre une expérience maîtrisée, agréable et stimulante. Ces résultats sont cohérents avec la théorie générale autour de l'expérience utilisateur (Hassenzahl, 2005 ; Hassenzahl et al., 2003 ; Thüring & Mahlke, 2007). Cela vient donc valider notre approche de modélisation individualisée.

Avec cette modélisation, nous avons également montré que l'appréciation d'une expérience s'explique par la recherche d'un optimum entre caractéristiques ergonomiques et caractéristiques hédoniques. Cet optimum s'avère positionné différemment d'un profil de techno-affinité à l'autre. Ces résultats nous ont permis de valider notre hypothèse générale 3.

Ainsi, les Ultra-connectés affichent des besoins de nature plus hédoniques que les autres profils. Ils sont à la recherche d'une expérience plus stimulante. D'après Hassenzahl (2005), les nouveautés sont considérées comme des opportunités futures de développement personnel. Il se trouve que les sujets du profil Ultra-connecté sont sans cesse à la recherche de nouveautés. Pour ce profil, l'excitation apportée par les nouvelles expériences technologiques est alors plus importante que le besoin de contrôle.

À l'inverse, les autres niveaux de techno-affinité sont à la recherche d'une expérience plus ergonomique et sécurisante. Grâce aux apports qualitatifs du chapitre 7 et 8, nous pouvons expliquer ces différences par le fait que :

- la gestion des ressources attentionnelles diffère d'un niveau de techno-affinité à l'autre. Par exemple, trop d'informations affichées sur les écrans numériques distrait les bas niveaux de techno-affinité. À l'inverse, la numérisation des cockpits est recherchée par les très hauts niveaux d'affinité. Leur maîtrise des technologies et des logiques d'interactions fait que l'activité de conduite n'est pas parasitée par l'attention que requiert l'interaction homme-machine.
- la préoccupation de la sécurité diffère entre les sujets du profil Ultra-connecté et les sujets des autres profils (Distant, Basique, Engagé). Pour ces derniers, la technologie

NOËL, Muriel. Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles - 2023

est considérée avec prudence. Ainsi les nouveaux types d'interactions (arborescence verticale, interactivité, intelligence artificielle, etc.) ne sont pas toujours acceptés s'ils ne sont pas maîtrisés hors conduite. L'affinité technologique explique aussi une plus grande confiance envers l'automatisation des technologies. Cela pourrait donc faciliter la distribution adéquate des ressources attentionnelles en conduite pour réduire la préoccupation de la sécurité.

Ces résultats montrent que, en contexte automobile, des dimensions de gestion des ressources attentionnelles et de préoccupation de la sécurité modèrent les besoins et les attentes en termes d'interactions homme-machine.

9.4.2 Limites et perspectives

Au-delà des limites évoquées aux chapitres 7 et 8, certaines limites plus générales sont à considérer autour du protocole expérimental et des données qualitatives recueillies.

Protocole - Dans notre protocole, nous n'avons pas proposé d'échelle de mesure de la relation à la conduite. La relation à la conduite pourrait se décrire par la capacité à gérer ses ressources attentionnelles et par la préoccupation de la sécurité. Ces dimensions apparaissent en tout cas dans les résultats comme essentielles pour une compréhension plus fine des besoins intra-profil. Continuer les recherches en ce sens permettrait de mettre directement en relation l'affinité technologique avec la gestion des ressources attentionnelles et avec la préoccupation de la sécurité en conduite.

Dans cette étude, nous avons montré que la perception ergonomique, hédonique et émotionnelle des cockpits automobiles était la même d'un profil de techno-affinité à l'autre. En montrant cela, nous ne validons pas nos hypothèses générales 1 et 2. Comme évoqué au chapitre 8, ces résultats sont à considérer en prenant en compte les biais de protocole.

D'une part, les caractéristiques hédoniques évaluées sont restreintes aux aspects de plaisir d'usage (visuel, tactile) et à l'aspect stimulation. Cela a du sens pour notre étude, qui s'intéresse particulièrement à la relation homme-technologie et qui est contrainte par le temps. Néanmoins, dans un contexte d'évaluation global, des items hédoniques, plus diversifiés, devraient être ajoutés au questionnaire d'évaluation de l'UX. Par exemple, des items qui permettent une évaluation plus approfondie de l'identification et de l'évocation, comme suggérés par Hassenzahl (2005), devraient être ajoutés.

D'autre part, nous étions dans une évaluation en statique. Nous pensons qu'une évaluation en conduite pourrait faire apparaitre des résultats quelque peu différents, notamment dans la réaction émotionnelle.

Aussi, les participants étaient autorisés à mettre en œuvre l'interaction qu'ils souhaitaient pour réaliser les tâches demandées. Dans un cockpit automobile, il existe plusieurs chemins d'interactions parmi la multitude d'IHM situées sur le volant ou sur la console centrale. Il y avait aussi la possibilité pour les participants d'utiliser les commandes vocales. Pour la réalisation des tâches, nous nous adaptions au niveau de techno-affinité de chaque sujet. De fait, ni les expériences vécues, ni le nombre d'étapes n'étaient exactement les mêmes d'un sujet à l'autre. Cela ajoute de la variabilité aux données. Pour plus de contraste dans les résultats, des indicateurs de type réussite, échec, demande d'aide, etc., devraient être pris en compte dans l'analyse.

Enfin, de manière générale pour les études expérimentales présentées à la partie 2, nous avons eu recours à l'aide d'un prestataire spécialisé dans le recueil de données qualitatives. Bien que cela nous ait permis de récolter un gros volume de données, sur un temps restreint, deux limites apparaissent. Premièrement, les enquêteurs, devaient se projeter dans le protocole que nous avions imaginé. Ce protocole était complexe, dense et, notamment pour le terrain expérimental, traitait de produits complexes également. Par exemple, les cockpits des véhicules numérisés ont été difficiles à appréhender par les enquêteurs. Bien qu'un temps de prise en main des cockpits était prévu, nous avons minimisé le temps nécessaire pour le faire. Ainsi, pour les premiers enquêtés, le déroulé de l'enquête n'a pas été aussi fluide que prévu, mais cela a rapidement été corrigé ensuite. Deuxièmement, pour mener à bien ces expérimentations, dans un temps restreint plusieurs enquêteurs ont pu récolter des données en parallèle. Chacun ayant sa propre expertise des études qualitatives, cela a pu créer un biais au niveau des résultats. Cependant, il était intéressant de croiser leurs retours respectifs sur chaque profil de techno-affinité interrogé, pour une synthèse des résultats plus nuancée.

Les données qualitatives Dans l'étude présentée au chapitre 8, nous avons recueilli des verbatims à l'échelle individuelle. Dans l'étude, nous nous sommes limités à les utiliser pour consolider l'analyse des préférences en termes de manipulation des commandes et des écrans. Néanmoins, l'information contenue par ces verbatims, pourrait être plus riche. En effet, nous avons recueilli des verbatims lors de trois phases distinctes (découverte visuelle, manipulations des IHM, projection dans la conduite avec manipulation des IHM). Une analyse plus complète

et globale de ces données devrait être menée dans la suite de ces travaux. Une prise en compte de ces phases dans l'analyse qualitative pourrait apporter une compréhension situationnelle et temporelle à l'évaluation de l'UX.

9.5 Retour sur les questions de recherche

9.5.1 Spécificités culturelles à prendre en compte dans le choix de conception des IHM

Nous avons montré que la numérisation et la dématérialisation impactaient positivement l'expérience utilisateurs. Si cet ajout de technologie est maîtrisée et que le cockpit automobile permet un compromis entre une interaction ergonomique, sécurisée, agréable et stimulante, alors l'expérience sera d'autant plus appréciée.

La numérisation et la dématérialisation présentent un intérêt stratégique pour le constructeur automobile, car elles impliquent directement la conception. Il s'agit d'une nouvelle tendance sur le marché. Il est donc légitime pour Renault de se questionner sur l'intérêt de suivre ou non ces tendances. D'autant plus que, lorsque tout est numérique, l'adaptation aux profils de techno-affinité peut être réalisée en modifiant simplement le *software* par des mises à jour (par exemple, changer l'apparence et la taille des icônes pour l'adapter aux segments culturels de techno-affinité). La question est donc de savoir si ces ajustements sont pertinents.

Par profil, voici les attentes et les besoins en termes de numérisation et de dématérialisation, tels qu'ils sont apparus dans l'étude :

Distant - Pour les sujets du profil Distant, une très faible affinité avec les technologies est observée et se traduit par une réelle difficulté à appréhender la technologie automobile en conduite. Ils sont déstabilisés par leur besoin d'attention à la route. Ils ont une perception négative de l'utilité des nouvelles technologies en conduite (automatisation, intelligence artificielle, interaction vocale, etc.). Ils préfèrent contrôler que laisser du contrôle aux IHM. Pourtant, les cockpits qui affichent un environnement digital ne sont pas rejetés. De plus, l'interaction tactile ne pose pas de problème en particulier, tant que les fonctionnalités sont aisément repérables et utilisables (un niveau de profondeur faible est attendu). Par contre, l'abondance d'information, notamment de commandes ou d'écrans, fait que les cockpits qui

ne sont pas dématérialisés sont rejetés par les distants.

Basique - Pour les sujets du profil Basique, une affinité moyenne avec les technologies est observée et se traduit par de l'ouverture à la nouveauté technologique. Ils sont plutôt enclins à la numérisation et la dématérialisation. Pourtant, ils sont limités, voire contraints, par leur besoin d'attention à la route : l'environnement technologique doit rester familier, maîtrisé et permettre une bonne visibilité sur la route. Dans leur cas, les commandes aux volants sont particulièrement appréciées.

Engagés - Pour les sujets du profil Engagé, une forte affinité technologique, qui se traduit par le fait d'être conscients des bénéfices associés à l'environnement technologique dans lequel ils se trouvent. Ce qui différencie chacun, c'est la volonté de s'adapter à la nouveauté. Un cockpit qui allie des caractéristiques hédoniques et des commandes performantes pour la sécurité, conviendrait.

Ultra-connecté - Pour les sujets du profil Ultra-connecté, une très haute affinité technologique est observée et se traduit par une prise en main rapide des technologies en contexte automobile. Cela leur permet d'être à l'aise face aux stimuli environnants, même ceux ne concernant pas la conduite. Ils semblent d'ailleurs être sensibles au plaisir apporté par l'ensemble des éléments du cockpit (IHM et environnement de l'IHM). Ils sont à la recherche de raffinement et de manière générale, à la recherche de nouvelles expériences stimulantes.

9.5.2 Direction industrielle

Finalement, pour définir si le bénéfice client (et donc commercial) est suffisant pour investir dans l'adaptation des IHM automobiles aux spécificités culturelles de techno-affinité, une réponse avec deux visions, à court et long terme, peut être faite.

Adaptation à court terme - Les clients, qui pourraient présenter de fortes différences d'appréciation ne vont pas être la cible actuelle de Renault. Ils vont être soient trop connectés (Ultra-connectés), soit trop déconnectés (Réfractaires). Aujourd'hui, ces profils représentent un si petit pourcentage de la population française qu'une adaptation spécifique ne paraît pas adéquate.

- Les Ultra-connectés vont être à la recherche de véhicules prémium pour satisfaire leur besoin de technologies. De plus, dans leurs attitudes ils expriment clairement ne jamais être satisfaits du niveau de technologie présenté.

- Les Réfractaires sont par nature déconnectés de l'évolution technologique. Ils ne veulent pas subir la technologie. Leurs choix se porteront naturellement sur des véhicules avec le moins de technologie possible.

Pour une adaptation à court terme, les parts de marché de Renault se positionnent aujourd'hui vers des clients avec un niveau d'affinité technologique plutôt moyen.

Dans ce cadre, il est préférable de proposer un cockpit automobile qui puisse satisfaire les besoins, à la fois ergonomiques et hédoniques de tous les profils de techno-affinité. Pour cela, l'ajout de technologie est attendu, mais l'organisation du cockpit doit favoriser la compatibilité en conduite avec, entre autres, un accès direct aux commandes principales, et un positionnement permettant une vue dégagée sur la route, ainsi que des modalités d'interactions (tactile, mécanique et vocale) performantes et fonctionnelles.

Toutefois, il ne faut pas oublier que l'ajout de technologies dans un cockpit automobile est quelque chose de coûteux. Nous avons vu que les faibles niveaux de techno-affinité privilégient le rapport qualité prix dans ce domaine. Au-delà du bénéfice client, il faut donc savoir si les clients sont prêts à payer pour une prestation technologique. C'est un questionnement important à prendre en compte avant toute adaptation.

Adaptation à long terme - Si l'ambition de la marque est d'aller vers des segments de clients plus connectés, alors l'adaptation des IHM automobiles doit se faire en prévoyant le cockpit automobile d'« après-demain ». Au vu des éléments de la thèse, il faut s'attendre à ce que la nouvelle génération soit hyperconnectée. Pour répondre à leur besoin, il faudra alors faire des choix technologiques qui correspondent aux besoins actuels du profil Ultra-connecté. Les cockpits automobiles devront permettre des expériences utilisateurs plus poussées en termes d'interactivité, de dématérialisation et de personnalisation. Dans ce contexte, la numérisation des cockpits est attendue.

Ce qui retient les niveaux moyens de techno-affinité de se tourner vers les cockpits plus technologiques, c'est leur besoin de maîtriser les interactions et leur préoccupation de la sécurité. Il y a alors peut-être un effort à fournir du côté de la conception pour accompagner ces changements. C'est une problématique sur laquelle Renault travaille déjà au travers de la conception d'outils de formation embarqués pour l'appropriation des technologies en contexte

automobile (Cusanno, 2022).

Finalement dans cette vision à long terme, les cockpits de la marque Renault, à l'image de la nouvelle Renault Megan E-tech (2022), ne seraient pas adaptés aux niveaux plus faibles de techno-affinité (Distants et Réfractaires). Toutefois, les cockpits de la marque Dacia, qui permettant une interaction centrée sur l'ergonomie, leur conviendrait davantage.

Bibliographie

RÉFÉRENCES

Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, *19*(6), 716–723. doi: 10.1109/TAC.1974.1100705

Anderberg, P., Eivazzadeh, S., & Berglund, J. S. (2019). A Novel Instrument for Measuring Older People's Attitudes Toward Technology (TechPH) : Development and Validation. *Journal of Medical Internet Research*, *21*(5), e13951. doi: 10.2196/13951

Apple. (2023). *iPhone - Comparer les modèles.* Consulté le 2023-01-11, sur `https://www.apple.com/fr/iphone/compare/`

Arcep. (2021). *Le baromètre du numérique - Edition 2021.* Consulté le 2023-01-20, sur `https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/barometre-du-numerique/le-barometre-du-numerique.html`

Argus. (2021, juin). *Régulateur de vitesse obligatoire en 2022, c'est officiel.* Consulté le 2023-04-17, sur `https://www.largus.fr/actualite-automobile/regulateur-de-vitesse-obligatoires-en-2022-ca-se-precise-10646399.html`

Barnard, P. (1995). The contributions of applied cognitive psychology to the study of Human-Computer Interaction. In R. M. Baecker, J. Grudin, W. A. S. Buxton, & S. Greenberg (Eds.), *Readings in Human–Computer Interaction* (pp. 640–658). Morgan Kaufmann. https ://doi.org/10.1016/B978-0-08-051574-8.50066-2.

Bastien, C., & Scapin, D. (1993). *Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces.* (report N° RT-0156). INRIA. Consulté sur `Pages:79).https://hal.inria.fr/inria-00070012`

Ben Youssef, A. (2004). Les quatre dimensions de la fracture numérique. *Réseaux*, *127-128*(5-6), 181–209. doi: https://www.cairn.info/revue-reseaux1-2004-5-6-page-181.htm

Berger, P. L., & Huntington, S. P. (2002). *Many Globalizations*. Oxford University Press. doi: 10.1093/0195151461.001.0001

Berry, J. W. (1975). An ecological approach to cross-cultural psychology. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie en haar Grensgebieden*, *30*, 51–84.

Birnbaum, A. (1968). Some latent trait models. *Statistical theories of mental test scores*, 397–424. doi: https://cir.nii.ac.jp/crid/1571417124968096896

Blumenthal, D. (2001). *Contribution à la caractérisation de produits complexes non anonymes - application à l'évaluation du confort de l'habitacle avant des véhicules automobiles* [Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Industries Alimentaires (ENSIA)].

Boduroglu, A., Shah, P., & Nisbett, R. E. (2009). Cultural Differences in Allocation of Attention in Visual Information Processing. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *40*(3), 349–360. doi: 10.1177/0022022108331005

Borg, I., Groenen, P. J., & Mair, P. (2018). *Applied Multidimensional Scaling and Unfolding*. Cham : Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-73471-2

Brangier, E. (2002). L'assistance technique comme forme de symbiose entre l'homme et la technologie Esquisse d'un modèle de la symbiose homme-technologie- organisation. *Revue d'Interaction Homme-machine*, *3*, 19–34.

Brard, M., & Lê, S. (2017). Adaptation of the Q-methodology for the characterization of a complex concept through a set of products : From the collection of the data to their analysis. *Food Quality and Preference*. doi: 10.1016/j.foodqual.2017.06.010

Brooke, J. (1996). SUS : A 'Quick and Dirty' Usability Scale. In *Usability Evaluation In Industry* (p. 207-212). CRC Press. doi: 10.1201/9781498710411-35

Brooks, M., Bolker, B., Kristensen, K., Maechler, M., Magnusson, A., McGillycuddy, M., ... Stouffer, D. B. (2023). *glmmTMB : Generalized Linear Mixed Models using Template Model Builder.*

Brosnan, M. J. (1998). The impact of computer anxiety and self-efficacy upon performance. *Journal of Computer Assisted Learning*, *14*(3), 223–234. doi: 10.1046/j.1365-2729.1998.143059.x

Bruner, J. S., & Goodman, C. C. (1947). Value and need as organizing factors in perception. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, *42*, 33–44. doi: 10.1037/h0058484

Busing, F. M. T. A., Groenen, P. J. K., & Heiser, W. J. (2005). Avoiding degeneracy in multidimensional unfolding by penalizing on the coefficient of variation. *Psychometrika*, *70*(1), 71–98. doi: 10.1007/s11336-001-0908-1

Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, N.J : L. Erlbaum Associates.

Chalmers, P., Pritikin, J., Robitzsch, A., Zoltak, M., Kim, K., Falk, C. F., ... Oguzhan, O. (2022). *mirt : Multidimensional Item Response Theory.* doi: https://CRAN.R-project.org/package=mirt

Chapon, A., Gabaude, C., & Fort, A. (2006). *Défauts d'attention et conduite automobile : état de l'art et nouvelles orientations pour la recherche dans les transports [contributions présentées lors du séminaire du Groupe Attention du RESAT, Réseau Éveil, sommeil, attention, transports, mars 2005]* (N° n° 52). Arcueil : INRETS.

Churchill, G. A. (1979). A Paradigm for Developing Better Measures of Marketing Constructs. *Journal of Marketing Research*, *16*(1), 64–73. doi: 10.2307/3150876

Claudel, M. (2020, août). *Les essuie-glaces de la Tesla Model 3 sont-ils « illégaux » ?* Consulté le 2023-04-08, sur `https://www.numerama.com/vroom/641195-les-essuie-glaces-de-la-tesla-model-3-sont-ils-illegaux.html`

Collins, T., & Wyart, V. (2018). Chapitre VI. La perception visuelle. In *La cognition* (pp. 239–269). Paris : Gallimard. Consulté le 2022-12-21, sur `https://www.cairn.info/la-cognition--9782072764370-p-239.htm`

Coombs, C. H. (1950). Psychological scaling without a unit of measurement. *Psychological Review*, *57*, 145–158. doi: 10.1037/h0060984

Coombs, C. H. (1964). A theory of data. *New York : Wiley*.

Craik, F. I., & Bosman, E. A. (1992). Age-related changes in memory and learning. In *Gerontechnology* (Vol. 3, p. 79). IOS Press.

Cuche, D. (2020). *La notion de culture dans les sciences sociales*. La Découverte.

Cusanno, H. (2022). *Concevoir un outil de formation embarqué pour l'appropriation d'un véhicule autonome* [These de doctorat, Nantes Université].

Darrell Bock, R. (1972). Estimating item parameters and latent ability when responses are scored in two or more nominal categories. *Psychometrika*, *37*(1), 29–51. doi: 10.1007/BF02291411

Davis, F. D. (1986). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems : theory and results. https ://dspace.mit.edu/handle/1721.1/15192* (Thesis). Massachusetts Institute of Technology.

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319. doi: 10.2307/249008

Desmet, P. (2002). *Designing Emotions* (Thèse de doctorat non publiée).

Desmet, P., & Hekkert, P. (2007). Framework of product experience. https ://www.semanticscholar.org/paper/framework-of-product-experience-desmet-hekkert/a06af1f69531f1b4e776c06bcfffb4ea8a70d9c6. *International Journal of Design*.

de Vet, J., & de Ruyter, B. (1996). *An inventory of interaction styles* (Rapport technique). Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO). doi: https://research.tue.nl/nl/publications/8cddeb36-cbd1-4e41-bc13-ad6a60d202f8

Diaz, J., Rusu, C., & Collazos, C. (2016). Experimental Validation of a Set of Cultural-Oriented Usability Heuristics : e-Commerce Websites Evaluation. *Computer Standards & Interfaces*, *50*. doi: 10.1016/j.csi.2016.09.013

Docampo Rama, M. (2001). *Technology generations handling complex user interfaces* (Thèse de doctorat non publiée). Eindhoven University of Technology, Eindhoven.

Docampo Rama, M., Ridder, H., & Bouma, H. (2001). Technology generation and Age in using layered user interfaces. *Gerontechnology*, *1*. doi: 10.4017/gt.2001.01.01.003.00

Ecoeur, R. (2020). *L'autoradio a 90 ans : histoire d'une invention sans fausse note - Détours*. Consulté le 2023-01-17, sur `https://detours.canal.fr/lautoradio-a-90-ans-histoire-dune-invention-sans-fausse-note/`

Fisk, A., D., A., Rogers, W., A., W., Charness, N., Neil, ... Joseph (2004). *Designing for Older Adults : Principles and Creative Human Factors Approaches*. doi: 10.1201/9781420023862

Fogg, B. (2009). A behavior model for persuasive design. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology* (pp. 1–7). New York, NY, USA : Association for Computing Machinery. doi: 10.1145/1541948.1541999

Ford, G., & Kotzé, P. (2005). *Designing Usable Interfaces with Cultural Dimensions*. doi: 10.1007/11555261_57

Fraley, C., Raftery, A. E., Scrucca, L., Murphy, T. B., & Fop, M. (2022). *mclust : Gaussian Mixture Modelling for Model-Based Clustering, Classification, and Density Estimation.*

François, M., Osiurak, F., Fort, A., Crave, P., & Navarro, J. (2017). Automotive HMI design and participatory user involvement : review and perspectives. *Ergonomics*, *60*(4), 541–552. doi: 10.1080/00140139.2016.1188218

Freudenthal, T. D. (1998). Learning to use interactive devices : age differences in the reasoning process.
doi: 10.6100/IR513362

Gannouni, S., Aledaily, A., Belwafi, K., & Aboalsamh, H. (2020). Adaptive Emotion Detection Using the Valence-Arousal-Dominance Model and EEG Brain Rhythmic Activity Changes in Relevant Brain Lobes. *IEEE Access*, *PP*, 1–1. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2986504

Garland, K. J., & Noyes, J. M. (2008). Computer attitude scales : How relevant today ? *Computers in Human Behavior*, *24*(2), 563–575. doi: 10.1016/j.chb.2007.02.005

Green, E. (2004). L'Autre collectiviste : Processus de mise en altérité dans la psychologie interculturelle. In (pp. 145–169).

Grislin, M., & Kolski, C. (1996). Evaluation des interfaces homme-machine lors du développement des systèmes interactifs. *Techniques et sciences informatiques*, *15*, 265–296.

Hancock, P. A., Pepe, A. A., & Murphy, L. L. (2005). Hedonomics : The Power of Positive and Pleasurable Ergonomics. *Ergonomics in Design*, *13*(1), 8–14. doi: 10.1177/106480460501300104

Hart, S. G. (1986). *NASA Task Load Index (TLX).* doi: https://ntrs.nasa.gov/citations/20000021487

Hassenzahl, M. (2005). The Thing and I : Understanding the Relationship Between User and Product. In (Vol. 3, pp. 31–42). doi: 10.1007/1-4020-2967-5_4

Hassenzahl, M., Burmester, M., & Koller, F. (2003). AttrakDiff : Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In G. Szwillus & J. Ziegler (Eds.), *Mensch & Computer 2003 : Interaktion in Bewegung* (pp. 187–196). Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag. doi: 10.1007/978-3-322-80058-9_19

Hassenzahl, M., Diefenbach, S., & Göritz, A. (2010). Needs, affect, and interactive products – Facets of user experience. *Interacting with Computers*, *22*(5), 353–362. doi: 10.1016/j.intcom.2010.04.002

Hasson-Fauré, P. N. (2022). *Le CD fête ses 40 ans, voici l'histoire de ce support qui a révolutionné l'industrie musicale - Edition du soir Ouest-France - 17/08/2022.* doi: https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/2022-08-17/le-cd-fete-ses-40-ans-voici-l-histoire-de-ce-support-qui-a-revolutionne-l-industrie-musicale-ba669678-436f-42a9-b579-c339adab4e38

Heimgärtner, R. (2015). Intercultural User Interface Design. In (pp. 113–146). doi: 10.4018/978-1-4666-8619-9.ch006

Heinssen, R. K., Glass, C. R., & Knight, L. A. (1987). Assessing computer anxiety : Development and validation of the Computer Anxiety Rating Scale. *Computers in Human Behavior*, *3*(1), 49–59. doi: 10.1016/0747-5632(87)90010-0

Herbeth, N., & Blumenthal, D. (2019). Automobiles in context. In *Context* (pp. 409–430). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-814495-4.00020-9

Hofstede, G. (1984). *Culture's Consequences : International Differences in Work-Related Values*. SAGE.

Hofstede, G., & Minkov, M. (2013). *VALUES SURVEY MODULE 2013 MANUAL.* doi: https://geerthofstede.com/research-and-vsm/vsm-2013/

Hofstede, G. H., & Minkov, M. (2010). *Cultures and organizations : software of the mind : intercultural cooperation and its importance for survival* (3rd ed éd.). New York : McGraw-Hill.

Hoft, N. L. (1996). Developing a cultural model. In *International users interface* (pp. 41–73). USA : John Wiley & Sons, Inc.

Hogan, M. (2009). Age Differences in Technophobia : An Irish Study. In W. Wojtkowski, G. Wojtkowski, M. Lang, K. Conboy, & C. Barry (Eds.), *Information Systems Development : Challenges in Practice, Theory, and Education Volume 1* (pp. 117–130). Boston, MA : Springer US. doi: 10.1007/978-0-387-68772-8_10

Husson, F., Josse, J., Le, S., & Mazet, J. (2023). *FactoMineR : Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. https ://cran.r-project.org/package=factominer.*

Husson, F., Le, S., & Cadoret, M. (2020). *SensoMineR : Sensory Data Analysis. https ://cran.r-project.org/package=sensominer.*

Inserm. (2016). *Au coeur des organes : L'œil et la vision. https ://www.youtube.com/watch ?v=syla6u1bof8.*

International Telecommunication Union. (2022). *Facts and Figures 2022 - Report index. https ://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2022/index.*

ISO-9241-11. (1998). *ISO 9241-11 :1998(en), Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 11 : Guidance on usability. https ://www.iso.org/obp/ui/iso :std :iso :9241 :-11 :ed-1 :v1 :en* (Rapport technique).

ISO-9241-11. (2018). *ISO 9241-11 :2018(fr), Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 11 : Utilisabilité — Définitions et concepts* (Rapport technique).

Kang, N. E., & Yoon, W. C. (2008). Age- and experience-related user behavior differences in the use of complicated electronic devices. *International Journal of Human-Computer Studies*, *66*(6), 425–437. doi: 10.1016/j.ijhcs.2007.12.003

Kay, R. H. (1989). A Practical and Theoretical Approach to Assessing Computer Attitudes. *Journal of Research on Computing in Education*, *21*(4), 456–463. doi: 10.1080/08886504.1989.10781894

Khan, T., Pitts, M., & Williams, M. (2016). Cross-Cultural Differences in Automotive HMI Design : A Comparative Study Between UK and Indian Users' Design Preferences. *Journal of Usability Studies*, *11*, 45–65.

Kruskal, J. B. (1964, mars). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, *29*(1), 1–27. Consulté le 2023-04-27, sur https://doi.org/10.1007/BF02289565 doi: 10.1007/BF02289565

Lafon, P. (1980). Sur la variabilité de la fréquence des formes dans un corpus. *Mots. Les langages du politique*, *1*(1), 127–165. doi: 10.3406/mots.1980.1008

Lahoual, D., & Fréjus, M. (2018). Usages des systèmes d'interaction vocale dans l'habitat : quels retours d'expérience utilisateur et quels critères d'interaction à intégrer en conception ?.

Lallemand, C., & Gronier, G. (2018). *Méthodes de design UX : 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs* (2e éd.). Eyrolles.

Landauer, T. K. (1995). Let's Get Real : A Position Paper on the Role of Cognitive Psychology in the Design of Humanly Useful and Usable Systems. In R. M. Baecker, J. Grudin, W. S. Buxton, & S. Greenberg (Eds.), *Readings in Human–Computer Interaction* (pp. 659–665). Morgan Kaufmann. doi: 10.1016/B978-0-08-051574-8.50067-4

Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In (Vol. 5298, pp. 63–76). doi: 10.1007/978-3-540-89350-9_6

Lemaire, P. (1999). La reconnaissance des formes, l'attention et la MDT. In *Psychologie cognitive.* Bruxelles : De Boeck.

Luyat, M. (2014). Chapitre 1. Qu'est-ce que la perception ?. https ://www.cairn.info/la-perception–9782100710324-p-11.htm. In *La perception* (pp. 11–21). Paris : Dunod.

Lê, S., Lê, T., & Cadoret, M. (2015). Napping and sorted Napping as a sensory profiling technique. In *Rapid Sensory Profiling Techniques* (pp. 197–213). Elsevier. doi: 10.1533/9781782422587.2.197

Macfie, H. J., Bratchell, N., Greenhoff, K., & Vallis, L. V. (1989). Designs to Balance the Effect of Order of Presentation and First-Order Carry-Over Effects in Hall Tests. *Journal of Sensory Studies*, *4*(2), 129–148. doi: 10.1111/j.1745-459X.1989.tb00463.x

Mahlke, S., & Thüring, M. (2007). Studying antecedents of emotional experiences in interactive contexts. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in*

Computing Systems (pp. 915–918). San Jose California USA : ACM. doi: 10.1145/1240624.1240762

Mair, P. (2018). Multidimensional Scaling. In P. Mair (Ed.), *Modern Psychometrics with R* (pp. 257–287). Cham : Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-93177-7_9

Mair, P., Leeuw, J. D., Groenen, P. J. F., & Borg, I. (2022). *smacof : Multidimensional Scaling*. doi: https://CRAN.R-project.org/package=smacof

Marcus, A., & Gould, E. W. (2000). Crosscurrents : cultural dimensions and global Web user-interface design. *Interactions*, *7*(4), 32–46. doi: 10.1145/345190.345238

Marden, J. I. (2014). *Analyzing and Modeling Rank Data*. CRC Press.

Martínez-Córcoles, M., Teichmann, M., & Murdvee, M. (2017). Assessing technophobia and technophilia : Development and validation of a questionnaire. *Technology in Society*, *51*. doi: 10.1016/j.techsoc.2017.09.007

Masters, G. N. (1982). A rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, *47*(2), 149–174. doi: 10.1007/BF02296272

Maydeu-Olivares, A., & Joe, H. (2014). Assessing Approximate Fit in Categorical Data Analysis. *Multivariate Behavioral Research*, *49*(4), 305–328. doi: 10.1080/00273171.2014.911075

Meixner, G., & Müller, C. (Eds.). (2017). *Automotive User Interfaces : Creating Interactive Experiences in the Car*. Cham : Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-49448-7

Mercedez-Benz. (2023). *MBUX*. doi: https://www.mercedes-benz.fr/passengercars/technologie/technologies-mercedes-benz/mbux-presentation.html

Minge, M., Thüring, M., Wagner, I., & Kuhr, C. V. (2017). The meCUE Questionnaire : A Modular Tool for Measuring User Experience. In M. Soares, C. Falcão, & T. Z. Ahram (Eds.), *Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations* (pp. 115–128). Cham : Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-41685-4_11

Morgan, D. L. (1996). Focus Groups. *Annual Review of Sociology*, *22*(1), 129–152. doi: 10.1146/annurev.soc.22.1.129

Muraki, E. (1992). A Generalized Partial Credit Model : Application of an EM Algorithm. *Applied Psychological Measurement*, *16*(2), 159–176. doi: 10.1177/014662169201600206

Muraki, E. (1997). A Generalized Partial Credit Model. In W. J. van der Linden & R. K. Hambleton (Eds.), *Handbook of Modern Item Response Theory* (pp. 153–164). New York, NY : Springer. doi: 10.1007/978-1-4757-2691-6_9

Myers, B., Hollan, J., Cruz, I., Bryson, S., Bulterman, D., Catarci, T., ... Ioannidis, Y. (1996). Strategic directions in human-computer interaction. *ACM Computing Surveys*, *28*(4), 794–809. doi: 10.1145/242223.246855

Nielsen, J. (1993). Chapter 2 - What Is Usability ? In J. Nielsen (Ed.), *Usability Engineering* (pp. 23–48). San Diego : Morgan Kaufmann. doi: 10.1016/B978-0-08-052029-2.50005-X

Nio. (2021). *Our Future Smart Cars Will Be Embodied Digital Assistants.* doi: https://www.nio.com/blog/our-future-smart-cars-will-be-embodied-digital-assistants

Nisbett, R. E. (2003). *The geography of thought : how Asians and Westerners think differently–and why* (1st Free Press trade pbk. ed éd.). New York : Free Press.

Nisbett, R. E., & Masuda, T. (2003). Culture and point of view. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *100*(19), 11163–11170. doi: 10.1073/pnas.1934527100

Noël, M., Noël, Y., Lucet, N., & Lê, S. (2022). Translating non-experts' perception for expert engineers : A first step in co-designing automotive human–machine interfaces. *Food Quality and Preference*, *98*, 104528. doi: 10.1016/j.foodqual.2022.104528

Noël, Y. (1999). Recovering unimodal latent patterns of change by unfolding analysis : Application to smoking cessation. *Psychological Methods*, *4*, 173–191. doi: 10.1037/1082-989X.4.2.173

Noel, Y. (2014). A Beta Unfolding Model for Continuous Bounded Responses. *Psychometrika*, *79*(4), 647–674. doi: 10.1007/s11336-013-9361-1

Noel, Y. (2015). Five factors but one dimension : An alternative view at the Big Five Factor model of personality..

Noel, Y., & Dauvier, B. (2007). A Beta Item Response Model for Continuous Bounded Responses. *Applied Psychological Measurement*, *31*, 47–73. doi: 10.1177/0146621605287691

Noel, Y., Fevrier, F., & Deflandre, A. (2018). *Two factors but one dimension : An alternative view at the structure of mood and emotion* [preprint]. PsyArXiv. doi: 10.31234/osf.io/tv9ys

Norman, D. (1988). *The Design of Everyday Things*. The MIT Press, Cambridge.

Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things : Revised and Expanded Edition*. Hachette UK.

Norman, D. A. (1986). Cognitive Engineering. In *User Centered System Design* (pp. 31–62). Boca Raton : CRC Press. doi: 10.1201/b15703-3

Ollivier, F. (2021). *Des doigts au calcul : une analyse implicative des relations entre habiletés manuelles, mémoire de travail et calcul additif simple* [These de doctorat, Rennes 2]. doi: https://www.theses.fr/2021REN20038

Osiceanu, M.-E. (2015). Psychological Implications of Modern Technologies : "Technofobia" versus "Technophilia". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *180*, 1137–1144. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.02.229

Parenteau, D. (2007). Diversité culturelle et mondialisation. *Politique et Sociétés*, *26*(1), 133. doi: 10.7202/016443ar

Partala, T., & Kallinen, A. (2012). Understanding the most satisfying and unsatisfying user experiences : Emotions, psychological needs, and context. *Interacting with Computers*, *24*(1), 25–34. doi: 10.1016/j.intcom.2011.10.001

Pasquier, D. (2022). Le numérique à l'épreuve des fractures sociales. *Informations sociales*, *205*(1), 14–20. doi: 10.3917/inso.205.014

Perrier, M. (2018). *Regards sur l'animation japonaise : une étude comparative France-Japon* [These de doctorat, Nantes]. doi: https://www.theses.fr/2018NANT2020

Ratinaud, P. (2014). *IRaMuTeQ.*

Rouet, J.-F., & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : Vers un modèle des processus cognitifs.

Russell, J., & Mehrabian, A. (1977). Evidence for a Three-Factor Theory of Emotions. *Journal of Research in Personality*, *11*, 273–294. doi: 10.1016/0092-6566(77)90037-X

Sackmann, R., & Winkler, O. (2013). Technology generations revisited : The internet generation. *Gerontechnology*, *11*(4), 493–503. doi: 10.4017/gt.2013.11.4.002.00

Safwat, S., el Bolock, A., Mostafa, A., Faltaous, S., Schneegaß, S., & Abdennadher, S. (2020). The Effect of Student-Lecturer Cultural Differences on Engagement in Learning Environments - A Pilot Study. In (pp. 118–128). doi: 10.1007/978-3-030-51999-5_10

Scapin, D. (1986). *Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. https ://hal.inria.fr/inria-00070083* (Rapport technique N° RT-0077). INRIA.

Schwartz, S. (1992). *Schwartz Value Survey.* doi: https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037\%2Ft07641-000

Schwartz, S. (2009). Culture matters : National value cultures, sources and consequences. In *Understanding Culture : Theory, Research and Application* (pp. 127–150).

Segall, M. H., Campbell, D. T., & Herskovits, M. J. (1966). *The influence of culture on visual perception*. Oxford, England : Bobbs-Merrill.

Segall, M. H., Dasen, P. R., Berry, J. W., & Poortinga, Y. H. (1990). *Human behavior in global perspective : An introduction to cross-cultural psychology*. Elmsford, NY, US : Pergamon Press.

Shackel, B. (1969). Man-Computer Interaction—The Contribution of the Human Sciences. *Ergonomics*, *12*(4), 485–499. doi: 10.1080/00140136908931075

Shiraev, E. B., & Levy, D. A. (2020). *Cross-Cultural Psychology : Critical Thinking and Contemporary Applications* (7e éd.). Routledge. doi: 10.4324/9780429244261

Soldatova, G., Nestik, T., Rasskazova, E., & Dorokhov, E. (2021). Psychodiagnostics of Technophobia and Technophilia : Development and Testing a Questionnaire of Attitudes

towards Technology for Adolescents and Parents. *Social Psychology and Society*, *12*(4), 170–188. doi: 10.17759/sps.2021120410

Sperandio, la Garza, D., & Michel. (1999). Impact du vieillissement des personnes, handicapées ou non, sur l'utilisation d'objets techniques. In F. Bouchayer & A. Rozenkier (Eds.), *Évolutions technologiques, dynamique des âges et vieillissement de la population : programme pluriannuel de recherche en sciences sociales.* Paris, France : MIRE.

Steiger, J. H., & Lind, J. C. (1980). Statistically Based Tests for the Number of Common Factors. Iowa City.

Söderbäck, J., & Andersson, A. (2020). *UX design in a technology driven product development process* [thèse de doctorat, Faculty of Engineering LTH, Lund University]. doi: http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9002284

Tardif, J. (2008). Mondialisation et culture : un nouvel écosystème symbolique. *Questions de communication*(13), 197–223. doi: 10.4000/questionsdecommunication.1764

Thissen, D., Cai, L., & Bock, R. D. (2010). The nominal categories item response model. In *Handbook of polytomous item response theory models* (pp. 43–75). New York, NY, US : Routledge/Taylor & Francis Group.

Thüring, M., & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology*, *42*(4), 253–264. doi: 10.1080/00207590701396674

Touzani, M. (2000). *Le processus de validation des échelles de mesure : fiabilité et validité.*

Trindade, R. (2022, juillet). *Découvrez la toute nouvelle version de l'Apple CarPlay.* Consulté le 2023-01-17, sur `https://mondial.paris/actualite/apple-carplay-toute-nouvelle-version-navigation-application-4912.html`

Trompenaars, F., & Hampden-Turner, C. (1997). *Riding the Waves of Culture : Understanding Cultural Diversity in Business, Second Edition*. Nicholas Brealey Pub.

Trélat, E. (2005). *Contrôle optimal : théorie & applications*. Paris : Vuibert.

Tullis, T. S. (1985). Designing a menu-based interface to an operating system. *ACM SIGCHI Bulletin*, *16*(4), 79–84. doi: 10.1145/1165385.317471

Tylor, E. B. (1876). *La civilisation primitive*. C. Reinwald.

UNESCO. (1982). *Déclaration de Mexico sur les politiques culturelles adoptée par la Conférence mondiale sur les politiques culturelles.* UNESDOC Bibliothèque Numérique. doi: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000054668?posInSet=4&queryId=N-EXPLORE-6feb33bf-81c7-4865-80f3-75876ffea75e

Vallerand, R. J. (1989). Vers une méthodologie de validation trans-culturelle de questionnaires psychologiques : Implications pour la recherche en langue française. [Toward a methodology for the transcultural validation of psychological questionnaires : Implications for research in the French language.]. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, *30*, 662–680. doi: 10.1037/h0079856

van der Linden, W. J. (Ed.). (2019). *Handbook of Item Response Theory : Models*. Boca Raton : Chapman and Hall/CRC. doi: 10.1201/9781315119144

van Schuur, W. H., & Kiers, H. A. L. (1994). Why Factor Analysis Often is the Incorrect Model for Analyzing Bipolar Concepts, and What Model to Use Instead. *Applied Psychological Measurement*, *18*(2), 97–110. doi: 10.1177/014662169401800201

Verkuilen, J., & Smithson, M. (2012). Mixed and Mixture Regression Models for Continuous Bounded Responses Using the Beta Distribution. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, *37*(1), 82–113. doi: 10.3102/1076998610396895

We are rewind. (2023). *Histoire du lecteur cassette*. Consulté le 2023-01-17, sur `https://www.wearerewind.fr/guide-lecteur-cassette/histoire-du-lecteur-cassette`

Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1994). Reasonable mean-square fit values. *Rasch Measurement Transactions*(8), 370–371.

Yang, T., Linder, J., & Bolchini, D. (2012). DEEP : Design-Oriented Evaluation of Perceived Usability. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *28*(5), 308–346. doi: 10.1080/10447318.2011.586320

Young, K., Regan, M., & Hammer, M. (2003). *Driver Distraction : A Review of the Literature* (Rapport technique N° 206). Monash University Accident Research Centre.

Young, K. L., Rudin-Brown, C. M., Lenné, M. G., & Williamson, A. R. (2012). The implications of cross-regional differences for the design of In-vehicle Information Systems : A

comparison of Australian and Chinese drivers. *Applied Ergonomics*, *43*(3), 564 – 573. doi: https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.09.001

zeib graphisme. (2023). *Animation orientale vs. Animation occidentale !* Consulté le 2023-01-06, sur `https://zeib-graphisme.com/animation-orientale-vs-occidentale/`

Zhu, C. (2015). *Re-examining cross-cultural user interface design indicators : an empirical study* [masterThesis,University of Twente]. doi: https://essay.utwente.nl/68170/

Table des figures

TABLE DES FIGURES

1.1 IHM dans un cockpit automobile. 18

1.2 Le MHP, adapté et traduit de Card et al. (1983). 20

1.3 Les sept étapes mentales impliquées dans l'exécution d'une tâche selon D. A. Norman (1986). 21

1.4 Modèle de l'Acceptabilité des Systèmes de Nielsen (1993). 24

1.5 Le TAM de Davis (1986). 25

1.6 Dimensions de conception d'une interface multimédia selon Yang et al. (2012). 28

1.7 Modèle conceptuel de l'interaction de D. Norman (1988). 29

1.8 Modèle de l'UX de Hassenzahl (2005). 34

1.9 Modèle CUE, extrait de Mahlke et Thüring (2007). 35

1.10 Hiérarchie des besoins de l'UX, extrait de Söderbäck et Andersson (2020). . . 40

1.11 Valence-Activation-Dominance Model, extrait de Gannouni et al. (2020). . . . 41

1.12 Modèle de HUME de Noel et al. (2018). 41

1.13 Échelle du SAM, extrait de Safwat et al. (2020). 43

2.1 Les couches de la culture selon Trompenaars et Hampden-Turner (1997). . . . 49

2.2 Sources de différences entre deux pays selon Hofstede (2010). 50

2.3 Modèle des relations entre les sept orientations culturelles de Schwartz (2009). 52

2.4 Cartographie culturelle selon Schwartz (2009). 53

2.5 Visuels de dessins animés. 56

2.6 Comparaison des niveaux culturels de l'Italie et du Japon. 58

2.7 Interfaces du site internet Coca-Cola™ datant des années 2010, extrait de Diaz et al. (2017). 59

3.1 Frise chronologique sur l'évolution des supports et des lecteurs de musique. . . 70
3.2 Première IHM d'info-divertissement développée en 1998. 72
3.3 Évolution d'un cockpit automobile. 73
3.4 Cockpit de la Tesla Model 3. 73
3.5 Assistant digital Nomi de la marque Nio. 74
3.6 Exemples de cockpits dématérialisés sur le marché. 82
3.7 Exemples de cockpits numérisés sur le marché. 82

4.1 Processus de validation d'une échelle psychométrique, extrait de Touzani (2000). 92
4.2 Courbes caractéristiques IRT, adapté de Ollivier (2021) 94

5.1 Extrait du VSM de G. Hofstede et Minkov (2013). 103
5.2 Courbe de densité des paramètres de sujets θ 111
5.3 Courbes caractéristiques des critères binaires. 111
5.4 Critères avec différents paramètres de position. 112
5.5 Position des critères binarisés, rangés par rubriques, sur le trait latent. 114
5.6 Courbe pentue VS plate. 115
5.7 Paramètre de pente négatif VS positif. 115
5.8 Coefficients de corrélation entre les différentes estimations de techno-affinité, selon le niveau de contrainte du modèle. 119
5.9 Graphique de densité pour la question externe EQ.1 120
5.10 Graphique de validité externe en contexte général (figure a) et en contexte automobile (figure b) 124
5.11 Niveaux de valeurs culturelles nationales en France et en Allemagne. 126
5.12 Analyse différentielle d'items de techno-affinité entre France et Allemagne. . . 126

6.1 Ordre des courbes de réponse de l'item T5 à l'issue du modèle nominal. 141
6.2 Ordre des courbes de réponse de l'item P4 à l'issue du modèle nominal. 142
6.3 Répartition des scores de techno-affinité le long du trait latent. 144

6.4 Projection des classes de techno-affinité et des items sélectionnés sur le trait latent. . . . 145
6.5 Lien entre score sommé et score IRT. . . . 152

8.1 Cockpits évalués lors du terrain. . . . 210
8.2 Mécanisme de dépliage. . . . 223
8.3 Courbes caractéristiques des items sur le trait latent de perception. . . . 232
8.4 Courbes de densité sur le trait latent de perception en fonction des variables Profils (figure a) et Cockpit (figure b). . . . 235
8.5 Estimation des coefficients du modèle de perception. . . . 236
8.6 Courbes caractéristiques des items sur le trait latent émotionnel. . . . 237
8.7 Courbes de densité sur le trait latent émotionnel fonction des variables Profil (figure a) et Cockpit (figure b). . . . 239
8.8 Estimation des coefficients du modèle émotionnel. . . . 240
8.9 Estimation des coefficients des effets significatifs des modèles explicatifs de l'appréciation globale. . . . 242
8.10 Effets significatifs des modèles explicatifs de l'appréciation globale de l'expérience d'interaction (Figures a et b) et du véhicule (Figures c et d) en fonction de la réaction émotionnelle. . . . 244
8.11 Espace de préférence issue de la MDS. . . . 248
8.12 Espace de préférence représenté par profil de techno-affinité. . . . 249
8.13 Verbatims du profil Distant. . . . 251
8.14 Verbatims du profil Basique. . . . 252
8.15 Verbatims du profil Engage. . . . 253
8.16 Verbatims du profil Ultra-connecté. . . . 254

LISTE DES TABLEAUX

1.1 Résumé des qualités ergonomiques attendues pour les IHM automobiles, adapté et traduit de François et al. (2017) 26

1.2 Exemple d'items pour évaluer la perception ergonomique. 31

1.3 Exemple d'items pour évaluer la perception hedonique. 38

1.4 Exemple d'items pour évaluer la réaction émotionnelle. 44

3.1 Styles d'interactions. 69

5.1 Banque initiale de critères (extrait). 99

5.2 Questionnaire initial (extrait des questions et des échelles de réponses associées). 100

5.3 Questions attitudinales supplémentaires. 102

5.4 Descriptif de la population enquêtée en France. 104

5.5 Position des critères et émergence des technologies associées dans les foyers. . 113

5.6 Items informatifs sélectionnés pour le questionnaire 117

5.7 Estimation des coefficients des catégories de réponses des questions attitudinales externes 122

6.1 Position des 30 items les mieux ajustés au modèle ordinal. 143

6.2 Catégories de réponses du questionnaire initial de techno-affinité significativement surreprésentées. 148

6.3 Proportion d'individus par catégorie socio-professionnelle. 151

6.4 Description des profils de techno-affinité. 155

7.1 Genre, âge et scores moyens de techno-affinité des sujets interrogés lors des Focus Groups. 163

7.2 Guide d'entretien semi-directif des Focus Groups 165
7.3 Lexique des technologies abordées lors des entretiens semi-directifs 168
7.4 Spécificité lexicale - Profil Distant - Rapport aux technologies. 170
7.5 Spécificité lexicale - Profil Basique - Rapport aux technologies. 171
7.6 Spécificité lexicale - Profil Engage - Rapport aux technologies. 172
7.7 Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Rapport aux technologies. 173
7.8 Spécificité lexicale - Profil Distant - Choix et attentes en termes de technologies embarquées. 175
7.9 Spécificité lexicale - Profil Basique - Choix et attentes en termes de technologies embarquées. 176
7.10 Spécificité lexicale - Profil Engagé - Choix et attentes en termes de technologies embarquées. 177
7.11 Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Choix et attentes en termes de technologies embarquées. 178
7.12 Verbatims associés aux interactions mécaniques. 180
7.13 Spécificité lexicale - Profil Distant - Rapport aux interactions vocales. 181
7.14 Spécificité lexicale - Profil Basique - Rapport aux interactions vocales. 181
7.15 Spécificité lexicale - Profil Engagé - Rapport aux interactions vocales. 182
7.16 Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Rapport aux interactions vocales. . 183
7.17 Spécificité lexicale - Profil Distant - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile. 185
7.18 Spécificité lexicale - Profil Basique - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile. 186
7.19 Spécificité lexicale - Profil Engagé - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile. 187
7.20 Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Types d'interactions engagés dans un cockpit automobile. 188
7.21 Spécificité lexicale - Profil Distant - Projection dans l'expérience de conduite de demain. 190

7.22 Spécificité lexicale - Profil Basique - Projection dans l'expérience de conduite de demain. 191
7.23 Spécificité lexicale - Profil Engagé - Projection dans l'expérience de conduite de demain. 192
7.24 Spécificité lexicale - Profil Ultra-connecté - Projection dans l'expérience de conduite de demain. 193
7.25 Projection dans le cockpit automobile de demain. 195

8.1 Caractéristiques associées à la dématérialisation des cockpits. 206
8.2 Caractéristiques associées à la numérisation des cockpits. 207
8.3 Véhicules sélectionnés pour le terrain, leurs avantages et leurs limites. 209
8.4 Genre, âge et scores moyens de techno-affinité des sujets recrutés pour le terrain. 212
8.5 Items pour mesurer la perception ergonomique. 215
8.6 Items pour mesurer la perception hédonique. 216
8.7 Items pour mesurer la réaction émotionnelle. 217
8.8 Items pour mesurer l'appréciation globale. 217
8.9 Tâches demandées à la phase 2 de l'expérimentation. 220
8.10 Tâches demandées à la phase 3 de l'expérimentation. 221
8.11 Modèles comparés pour expliquer la variabilité des distributions θ. 226
8.12 Paramètres des items composant le trait latent de perception. 233
8.13 Paramètres des items composant le trait latent émotionnel. 237
8.14 Résultats de l'ANOVA. 241
8.15 Résultats de l'ANOVA : Effet de la réaction émotionnelle sur l'appréciation globale. 244
8.16 Table marginale du classement des préférences. 246
8.17 Classement brut des sujets 2, 39 et 48. 247

Annexes

ANNEXE A

CRITÈRES DE CONCEPTION IHM, EXTRAIT DE GRISLIN ET KOLSKI (1996)

Critères	*Éléments de l'IHM concernés*
Guidage : ensemble des moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'ordinateur.	
Incitation (1)	Informations fournies à l'utilisateur sur l'état dans lequel il se trouve, actions possibles ou attendues et moyens de les mettre en œuvre.
Groupement par localisation (2)	Positionnement des items les uns par rapport aux autres pour indiquer leur appartenance ou non à une même classe, ou en montrer la distinction.
Groupement par format (3)	Indices graphiques des items les uns par rapport aux autres pour indiquer leur appartenance ou non à une même classe.
Retour informatif (4)	Réponses de la machine après actions de l'utilisateur ("Feed-back" immédiat).
Clarté (5)	Caractéristiques lexicales de présentation des informations pouvant entraver ou faciliter la lecture de ces informations.
Charge de travail : ensemble des éléments ayant un rôle dans la réduction de la charge perceptive ou mnésique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue.	
Concision (6)	Charge de travail perceptive et mnésique en rapport à des éléments individuels d'entrée/sortie.
Actions minimales (7)	Charge de travail au niveau des options ou moyens utilisés pour atteindre un but.
Densité d'information (8)	Charge de travail perceptive et mnésique pour des ensembles d'éléments et non pour des items.
Contrôle explicite : prise en compte par le système à la fois des actions explicites des utilisateurs et du contrôle qu'ils ont sur le traitement de leurs actions.	
Actions explicites (9)	Relations explicites entre le fonctionnement de l'application et les actions des utilisateurs. Le système doit exécuter seulement les opérations demandées par l'utilisateur, au moment où il les demande.
Contrôle utilisateur (10)	L'utilisateur doit toujours avoir la main et donc pouvoir contrôler le déroulement des traitements en cours.
Adaptabilité : capacité du système à réagir selon le contexte, les besoins et les préférences de l'utilisateur.	
Flexibilité (11)	Moyens mis à la disposition de l'utilisateur pour personnaliser l'IHM selon ses stratégies ou habitudes de travail et les exigences des tâches.
Expérience utilisateur (12)	Moyens mis en œuvre pour permettre au système de respecter le niveau d'expérience de l'utilisateur.
Gestion des erreurs : moyens permettant d'éviter ou réduire les erreurs et les corriger.	
Protection (13)	Moyens mis en place pour détecter les erreurs d'entrées de données ou de commandes ou d'actions aux conséquences néfastes.
Qualité des messages (14)	Pertinence, facilité de lecture et exactitude de l'information fournie sur la nature des erreurs commises et les actions corrective à entreprendre.
Correction des erreurs (15)	Moyens mis à la disposition de l'utilisateur pour lui permettre de corriger ses erreurs.
Homogénéité et cohérence (ou consistance) (16) : façon dont les choix de conception de l'IHM sont conservés pour des contextes identiques, et différents sinon.	
Signifiance des codes et dénominations (17) : Adéquation entre l'objet ou l'information affichée ou demandée et son référent.	
Compatibilité (18) : Accord existant entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perception, habitudes, etc.) et les tâches d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part.	

ANNEXE B

DIMENSIONS CULTURELLES, EXTRAIT DE KHAN ET AL. (2016)

Cultural dimensions	Definition	Characteristics	Example countries
Power Distance Index (PDI)	Extent to which the weaker members of a society accept inequality in power	*High Power Distance*: Centralized decision making, management and superiors are highly respected and have the last say in decisions. *Low Power Distance*: Everyone expects to share in decision making; management hierarchies are flatter and more open to questioning.	Germany and Scandinavian countries score low on this dimension.
Individualism vs. Collectivism Index (IDV)	Relationship between individuals and groups	*High Individualism*: Social ties are loose; individuals expected to look after themselves. *High Collectivism*: Individuals are strongly incorporated into groups of family and school; government policies often favor the group over individual rights.	Individualistic countries are Australia, Canada, US, UK, and Holland. Latin America countries are extremely collectivistic countries.
Masculinity vs. Femininity Index (MAS)	Distribution of emotional roles between genders	*High Masculinity*: Favors assertiveness with an emphasis on competition. *High Femininity*: Focuses on quality of life with an importance placed on the well-being of relationships.	Japan scores high on Masculinity; countries that score high on Femininity are Sweden and Norway.
Uncertainty Avoidance Index (UAI)	Extent to which a society feels threatened with unknown situations, ambiguity, and uncertainty	*High Uncertainty Avoidance*: Strictly defined rules of behavior and formality; things that are different or unexplained can be viewed as dangerous. *Low Uncertainty Avoidance*: Willingness to take risks, more experimentation and/or innovative behavior.	Countries that score high on this dimension are Latin countries; countries that score low are Denmark, Sweden, and Singapore.
Long- vs. Short-Term Orientation Index (LTO)	Extent to which members of a cultural group are willing to accept delayed gratification of material, social, and emotional needs	*Long-Term Orientation*: Promotes virtue and persistence, focus towards future rewards. *Short-Term Orientation*: Emphasis is placed on the past and present, fosters a respect for tradition.	Philippines, Nigeria, and Pakistan display low in Long-Term Orientation index

Annexe C

Conception transculturelle selon Diaz et al. (2016)

Heuristics	Associated cultural dimension	Heuristic's keywords
(CH1) Visibility of system status	(UA) Uncertainty Avoidance	Informed actions – status changes – feedback
(CH2) Match between system and the real world	(IDV vs COL) Individualism vs. Collectivism	Familiar concepts – conventions
(CH3) User control and freedom	(MAS vs FEM) Masculinity vs Femininity.	Control – undo/redo
(CH4) Consistency and standards	(IDV vs COL) Individualism vs. Collectivism	Conventions – standards
(CH5) Error prevention	(UA) Uncertainty Avoidance.	Avoid mistakes – detailed design – prevention
(CH6) Recognition rather than recall	(UA) Uncertainty Avoidance.	Memory load – remember information – instructions
(CH7) Flexibility and efficiency of use	(MAS vs FEM) Masculinity vs Femininity.	Efficient – simple – efficacy
(CH8) Aesthetic and minimalist design	(IDV vs. COL) Individualism vs. Collectivism.	Clean interface – significant elements
(CH9) Help users recognize, diagnose, and recover from errors	(UA) Uncertainty Avoidance.	Clear content – suggesting solution – details
(CH10) Help and documentation	(UA) Uncertainty Avoidance.	Documentation – information – adequate
(CH11) The information structure	(PD) Power Distance.	Hierarchic – organization – options
(CH12) Accurate and detailed results	(MAS vs FEM) Masculinity vs Femininity.	Goal oriented – concise

ANNEXE D

CONCEPTION TRANSCULTURELLE SELON MARCUS ET GOULD (2000), ADAPTÉ PAR KHAN ET AL. (2016)

Cultural dimensions	Classification	UI attributes	Feature Requirements
Power Distance Index (PDI)	High	Information style	Provide highly structured information
		Access to information	Focus on authority and security of the system
Uncertainty Avoidance Index (UAI)	High	Menu structure	Ensure minimum and single type of menu option features
	Low		System can have many menu options with several types for features
	High	Text options	Provide descriptive text for system features
	Low		Provide abbreviated text for system features
			Each text should be supplemented by images
Masculinity vs. Femininity Index (MAS)	Masculine	Number of steps	Ensure limited tasks options are available for each feature
		User help	Provide a help button for each feature
			Provide informative feature for user exploration
		Gender distinction	Ensure explicit distinction between gender and age for each feature content, help, and text option
	Feminine	Aesthetic appeal	Aesthetic appeal and color options
Individualism vs. Collectivism Index (IDV)	Individualist	Content style	Provide an option for personalization and feedback
			Provide images of materialism; emphasize new features of the system
	Collectivist		Provide cross-national symbol for features
Long- vs. Short-Term Orientation Index (LTO)	Short-term	Navigation style	Overall navigation style should be simple
	Long-term		Navigation style can be varied and complex

ANNEXE E

QUESTIONNAIRE INITIAL (ITEMS)

QUESTIONNAIRE INITIAL (ITEMS)

Items	Questions
T3	T3. A quelle fréquence utilisez-vous votre téléphone fixe ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.
T4	T4. A quelle fréquence utilisez-vous votre téléphone mobile ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.
T5	T5. Avec quel doigt utilisez-vous l'écran tactile de votre téléphone mobile ?
T6	T6. Quel type de téléphone mobile possédez-vous actuellement ? (Si vous avez plusieurs téléphones, nous parlons de celui que vous utilisez le plus souvent)
T7	T7. Pouvez-vous décrire le premier téléphone portable que vous avez eu ?
T8	T8. Pour communiquer avec certains de vos proches, faites-vous des appels vidéos avec votre téléphone mobile ?
Ordi_portableperso	T91. Avez-vous… - Ordinateur portable - Un ou plusieurs ordinateurs personnels
Ordi_fixeperso	T92. Avez-vous… - Ordinateur fixe / de bureau - Un ou plusieurs ordinateurs personnels
Ordi_portablepro	T93. Avez-vous… - Je n'en possède pas - Un ou plusieurs ordinateurs personnels
Ordi_fixepro	T91. Avez-vous… - Ordinateur portable - Un ou plusieurs ordinateurs professionnels
T10	T10. En ce qui concerne les mises à jour de votre système d'exploitation, quelle phrase vous correspond le mieux :
T11_1	T11. Utilisez-vous votre ordinateur pour les activités suivantes : - Pour des activités de bureautique (mails, traitement de texte, agenda, comptabilité, etc.)
T11_2	T11. Utilisez-vous votre ordinateur pour les activités suivantes : - Pour des activités spécifiques comme le codage, les montages photos/vidéos/musicaux
T11_3	T11. Utilisez-vous votre ordinateur pour les activités suivantes : - Pour jouer
T11_4	T11. Utilisez-vous votre ordinateur pour les activités suivantes : - Pour regarder des films / séries
T11_5	T11. Utilisez-vous votre ordinateur pour les activités suivantes : - Pour effectuer des démarches administratives (impôt, Sécurité Sociale, etc.)
T12	T12. Lorsque je rencontre un problème avec mon ordinateur personnel ou professionnel (matériel ou logiciel), pour le résoudre :
T13	T13. Lorsque j'achète un nouvel ordinateur, je le configure moi-même (choix et assemblage des composants matériels).
T14	T14. A quelle fréquence jouez-vous aux jeux-vidéos ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.
T15	T15. Jouez-vous ou avez-vous déjà joué avec une manette à retour haptique (manette vibrante type DualSense, Wii par exemple) ?
T16	T16. Jouez-vous ou avez-vous déjà joué à des jeux en ligne multi-joueurs ?
T17	T17. Vous servez-vous d'une montre connectée ?
T18	T18. Vous servez-vous d'une enceinte connectée (Alexa, Google Home, etc.) ?
T19	T19. Utilisez-vous une enceinte connectée (Alexa, Google Home, etc.) pour écouter de la musique ?
T21B_1	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une voiture connectée
T21B_2	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Un système de chauffage connecté
T21B_3	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une balance connectée
T21B_4	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une cafetière connectée

T21B_5	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Un réfrigérateur connecté
T21B_6	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Un robot culinaire connecté
T21B_7	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une serrure connectée
T21B_8	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une télévision connectée
T21B_9	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Un système de télésurveillance connecté
T21B_10	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une brosse à dent connectée
T21B_11	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Une tondeuse autonome
T21B_12	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Un aspirateur autonome
T21B_13	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Des luminaires connectés
T21B_14	T21B. Utilisez-vous les objets connectés suivants ? - Des volets roulants connectés
T24	T24. Utilisez-vous une application de streaming pour écouter de la musique (YouTube, Deezer, Spotify, Apple musique, etc.) ?
T25	T25. A quelle fréquence regardez-vous des films ou des séries sur un poste de télévision en direct ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.
T26	T26. A quelle fréquence regardez-vous des films ou des séries en streaming (Netflix, Amazon prime...) ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.
T27	T27. Avez-vous l'habitude de regarder la météo en direct sur un poste de télévision ?
T28	T28. Avez-vous l'habitude de consulter la météo sur votre téléphone mobile ?
T28B	T28B. Avez-vous l'habitude de consulter la météo via votre enceinte connectée (Alexa, Google Home, etc.) ?
T29	T29. Avez-vous l'habitude de consulter les informations sur internet (via les réseaux sociaux, magazines en ligne...) ?
T30	T30. Utilisez-vous un système de TVcasting (Chromecast, FireTV) pour regarder des vidéos ?
T31	T31. Utilisez-vous un système de casting (Chromecast, FireTV) pour visionner des photos de votre téléphone sur un autre écran ?
XR1_5	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Facebook
XR1_6	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - LinkedIn
XR1_7	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Twitter
XR1_8	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Skype
XR1_9	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - YouTube
XR1_10	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Instagram
XR1_11	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Reddit
XR1_12	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Snapchat
XR1_13	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - TikTok
XR1_14	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Twitch
XR1_15	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Discord

XR1_16	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Pinterest
XR1_17	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - BeReal
XR1_18	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Messenger
R2	R2. Diriez-vous qu'internet est votre principal moyen de distraction ?
R3	R3. Quelle est la plus longue période de temps durant laquelle vous ne vous êtes pas connecté(e) à internet au cours des 12 derniers mois ?
R4	R4. Lorsque vous travaillez, vous arrive-t-il de consulter vos réseaux sociaux à des fins personnelles ?
R5	R5. Dès que vous vous levez le matin, vous connectez-vous à internet (réponse aux messages/mails, réseaux sociaux, consulter les informations, etc.) ?
P1_1	P1. Utilisez-vous : - les applications de paiement en ligne (Lydia, PayPal, etc.)
P1_2	P1. Utilisez-vous : - les applications de paiement mobile sans contact en magasin (Paylib, GooglePay, etc.)
P1_3	P1. Utilisez-vous : - les services en ligne de votre banque pour consulter vos relevés bancaires
P2	P2. Possédez-vous un compte bancaire dans une banque 100% en ligne ?
P3	P3. Avez-vous l'habitude d'acheter des e-Billets pour des places de cinéma, de train, de concert, etc. sur votre téléphone mobile ?
P4	P4. Lisez-vous des livres en format électronique (liseuse, téléphone mobile…) ?
P5	P5. Ecoutez-vous des livres audios ?
P6	P6. Vous est-il déjà arrivé d'utiliser des tutoriels vidéos en ligne pour apprendre à faire quelque chose de nouveau (activité manuelle ou intellectuelle) ?
I2	I2. Avez-vous déjà assisté à des salons technologiques (VivaTech, Rise, etc.) ?
I3_1	I3. Vous informez-vous sur les nouvelles technologies via les canaux suivants ? - Des magazines (papier, TV, internet)
I3_2	I3. Vous informez-vous sur les nouvelles technologies via les canaux suivants ? - Des newsletters
I3_3	I3. Vous informez-vous sur les nouvelles technologies via les canaux suivants ? - Des influenceurs (ses) que vous suivez sur les réseaux sociaux
I3_4	I3. Vous informez-vous sur les nouvelles technologies via les canaux suivants ? - Des chaînes Youtube
C1	C1. Utiliser internet génère des émissions de gaz à effets de serre :
C2	C2. Quand je visite un site web, mes données de navigation sont enregistrées par le serveur :
C3	C3. Arduino c'est :
C4	C4. On peut dire de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée que :
C5	C5. Twitch c'est :
C6	C6. Le Deep-Learning c'est :
C7	C7. Un Toptweet c'est :
C8	C8. Le Bitcoin c'est :
C9	C9. Hyperloop c'est :
C10	C10. Neuralink c'est :

QUESTIONNAIRE INITIAL (ÉCHELLES)

QUESTIONNAIRE INITIAL (ECHELLES DE REPONSES)

Item	k	Échelle de réponses
T3	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais, je n'en ai pas ou je n'en utilise pas
T4	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais, je n'en ai pas ou je n'en utilise pas
T5	1	J'utilise l'index majoritairement
	2	J'utilise le pouce majoritairement
	3	J'utilise les deux doigts
	4	Je n'ai pas de téléphone à écran tactile
T6	1	Téléphone à antenne
	2	Téléphone à pavé numérique
	3	Téléphone à clavier alphabétique (type BlackBerry)
	4	Téléphone à écran tactile avec clavier alphabétique
	5	Smartphone
T7	1	Téléphone à antenne
	2	Téléphone à pavé numérique
	3	Téléphone à clavier alphabétique (type BlackBerry)
	4	Téléphone à écran tactile avec clavier alphabétique
	5	Smartphone
T8	1	Oui
	2	Je pourrais faire des appels vidéos, mais je ne le fais pas
	3	Je n'ai pas téléphone mobile me permettant d'effectuer un appel vidéo
	4	Je ne sais pas comment faire
	5	Je ne sais pas ce qu'est un appel vidéo
Ordi_portableperso	1	Oui
	2	Non
Ordi_fixeperso	1	Oui
	2	Non
Ordi_portablepro	1	Oui
	2	Non
Ordi_fixepro	1	Oui
	2	Non

T10	1	Je fais toujours attention à avoir un système d'exploitation à jour
	2	Je gère moi-même les mises à jour de mon système d'exploitation
	3	Je laisse l'ordinateur s'en occuper de façon automatique
	4	Je ne sais pas ce qu'est un système d'exploitation
T11_1	1	Oui
	2	Non
T11_2	1	Oui
	2	Non
T11_3	1	Oui
	2	Non
T11_4	1	Oui
	2	Non
T11_5	1	Oui
	2	Non
T12	1	La plupart du temps je résous le problème par moi-même
	2	J'essaie de voir si je peux résoudre le problème par moi-même avant de demander de l'aide
	3	Je demande directement de l'aide
T13	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce que veut dire "configurer moi-même un ordinateur"
	4	Je n'ai jamais acheté d'ordinateur par moi-même
T14	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Je ne joue jamais aux jeux-vidéos
T15	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est une manette à retour haptique
T16	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est le mode multi-joueurs
T17	1	Oui
	2	J'en ai une mais je ne m'en sers pas
	3	Je n'ai pas de montre connectée
	4	Je ne sais pas ce qu'est une montre connectée
T18	1	Oui
	2	J'en ai une mais je ne m'en sers pas
	3	Je n'ai pas d'enceinte connectée

	4	Je ne sais pas ce qu'est une enceinte connectée
T19	1	Oui
	2	Non
T21B_1	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_2	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_3	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_4	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_5	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_6	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_7	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_8	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_9	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_10	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas

	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_11	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_12	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_13	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T21B_14	1	Oui, j'en utilise un/une
	2	J'en possède un/une mais je ne l'utilise pas
	3	Je n'en possède pas
	4	Je ne sais pas de quoi il s'agit
T24	1	Oui
	2	Je possède au moins une de ces applications mais je ne l'utilise pas pour écouter de la musique
	3	Je ne possède pas de telles applications
	4	Je ne sais pas ce qu'est une application de streaming
T25	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Je ne regarde jamais de films ou de séries sur un poste de télévision en direct
	6	Je n'ai pas de télévision
T26	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Je ne regarde jamais de films ou de séries en streaming
	6	Je ne sais pas ce qu'est le streaming
T27	1	Oui
	2	Non
T28	1	Oui
	2	Non
T28B	1	Oui
	2	Non
T29	1	Oui

	2	Non
	3	Je n'ai pas d'accès à internet
T30	1	Oui
	2	Je possède ce type de système mais je ne l'utilise pas
	3	Je ne possède pas de système de TVcasting
	4	Je ne sais pas ce qu'est le TVcasting
T31	1	Oui
	2	Je possède ce type de système mais je ne l'utilise pas
	3	Je ne possède pas de système de casting
	4	Je ne sais pas ce qu'est le système de casting
XR1_5	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_6	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_7	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_8	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_9	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_10	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine

	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_11	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_12	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_13	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_14	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_15	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_16	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_17	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine

	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_18	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
XR1_19	1	Une fois par jour
	2	Une fois par semaine
	3	Une fois par mois
	4	Une fois par an
	5	Jamais
	6	Je ne suis pas inscrit(e)
R2	1	Oui
	2	Non
R4	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne suis inscrit(e) à aucun réseau social
R5	1	Oui
	2	Non
P1_1	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce que c'est
P1_2	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce que c'est
P1_3	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce que c'est
P2	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est une banque en ligne
P3	1	Oui
	2	Non
	4	Je ne sais pas ce qu'est un e-billet
P4	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est un livre en format électronique
P5	1	Oui

	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est une application de livres audios
P6	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est un tutoriel
I2	1	Oui
	2	Non
	3	Je ne sais pas ce qu'est un salon technologique
I3_1	1	Oui
	2	Non
I3_2	1	Oui
	2	Non
I3_3	1	Oui
	2	Non
I3_4	1	Oui
	2	Non
C1	1	VRAI
	2	FAUX
	3	Je ne sais pas
C2	1	VRAI
	2	FAUX
	3	Je ne sais pas
C3	1	Une carte permettant de construire des projets électroniques
	2	Un robot télécommandé utilisé en médecine
	3	Une nouvelle technologie donnant accès à la vision nocturne
	4	Je ne sais pas
C4	1	En réalité virtuelle l'environnement est tout virtuel alors qu'en réalité augmentée on ajoute du virtuel à la réalité
	2	C'est la même chose
	3	On est obligé d'utiliser des casques spéciaux pour les deux
	4	Je ne sais pas
C5	1	Une plateforme de streaming de vidéos en direct
	2	Le nom d'un jeu vidéo de combat
	3	Un langage de programmation pour films d'animation
	4	Je ne sais pas
C6	1	Un algorithme permettant à un réseau de neurones d'apprendre à partir de données non structurées
	2	Une technologie permettant d'explorer les fonds marins
	3	Un programme d'apprentissage sur l'univers à travers des satellites
	4	Je ne sais pas
C7	1	Un message court qui a été repartagé un grand nombre de fois

	2	Une fonctionnalité de réseau social qui permet de partager du contenu à un nombre limité de personnes
	3	Une application web
	4	Je ne sais pas
C8	1	Une monnaie virtuelle qui ne dépend d'aucune banque
	2	Un type de jeux vidéo ayant pour objectif de rassembler un maximum de pièces
	3	Un système de numération utilisant la base 2
	4	Je ne sais pas
C9	1	Un projet de train à très très grande vitesse
	2	Le nom d'une des attractions en réalité virtuelle de Disneyland
	3	Le nom d'un futur ordinateur superpuissant
	4	Je ne sais pas
C10	1	Le nom d'une start-up qui développe des implants cérébraux
	2	Le nom d'un réseau de neurones d'intelligence artificielle
	3	Une carte électronique permettant la réalisation de projets "do it yourself"
	4	Je ne sais pas

Annexe G

Critères mal ajustés au 2PL

Critères	OUTFIT
interest_tech.fair	7.46
use_tiktok	3.15
know_connected.telemonitoring	3.10
poss_connected.fridge	2.90
poss_connected.lock	2.59
use_bereal	2.13
use_connected.toothbrush	2.15
know_connected.coffeemaker	2.06
poss_connected.toothbrush	1.92
poss_connected.coffeemaker	2.16
use_twitch	2.23
poss_connected.light	2.23
know_connected.TV	2.01
know_music.streaming	1.89
typeofuse_audio.book	1.81
know_payment.mobile	1.74
know_connected.light	1.68
know_connected.car	1.59
poss_cellPhone	1.55
know_connected.speaker	1.55

ANNEXE H

RUBRIQUES DE LA FIGURE 5.4

Categories	Topics	Binarized Criteria
Usage	Basic Banking practices	payment.online ; banking.service
	No Social Media	sn.none
	Internet Usage	meteo.smartphone ; news.internet ; online.tutorial
	Basic Social Media	facebook ; twitter ; youtube ; youtube ; instagram ; snapchat ; pinterest ; messenger
	Gaming	videogames ; hapticjoystick ; multiplayermode
	Connected Practices	music.connectedspeaker ; meteo.connectedspeaker ; faceTimePhone ; music.streaming ; moovie.streaming ; e.billet ; e.book
		tv.casting ; casting
	Pro Social Media	linkedin ; skype
	New banking practices	payment.mobile
	Connected Devices	connected.watch ; connected.speaker ; connected.car ; connected.heating ; connected.weigher ; connected.coffeemaker ; connected.fridge ; connected.foodProcessor ; connected.lock ; connected.TV ; connected.telemonitoring ; autonomous.mower ; autonomous.shoover ; connected.light ; connected.shutters
	New Social Media	reddit
DailyUseMarker	Basic Usage	homePhone ; cellPhone
	No connection	addict.off.1week
	Internet Addiction	addict.distraction ; addict.snTravail ; addict.matin
	Connected Usage	moovie.streaming
	Basic Social Media	facebook ; twitter ; youtube ; instagram ; snapchat ; pinterest ; messenger
	Gaming	freq_videogames
	New Social Media	reddit ; tiktok ; twitch ; bereal
	Pro Social Media	linkedin ; skype
Possession	Basic Techno	touchScreenPhone ; smartphoneCurrently ; TV ; webaccess
	Personal Computer	persoLaptop ; persoDeskComputer
	Connected App	faceTime ; music.appstreaming ; tv.casting ; casting ; online.bank
	Connected Devices	smartphoneFirst ; connected.watch ; connected.speaker ; connected.car ; connected.heating ; connected.weigher ; connected.foodProcessor ; connected.TV ; connected.telemonitoring ; autonomous.mower ; connected.shutters
	Pro Computer	proLaptop ; proDeskComputer
Knowledge	Familiarity wt IT	OS ; setup
	Basic Knowledge (MCQS)	MCQS.gaz ; MCQS.cookies
	Familiarity wt Connected Devices	connected.watch ; connected.heating ; connected.weigher ; connected.fridge ; connected.foodProcessor ; connected.lock ; connected.toothbrush ; autonomous.mower ; autonomous.shoover ; connected.shutters

	Familiarity wt Connected Practices	faceTime ; hapticjoystick ; streaming ; casting ; tv.casting ; service.bancaire
	Basic Skill	indexFinger ; computer.office ; solving.pb.tryout
	Advanced Skill	thumbFinger ; faceTime ; computer.gaming ; computer.moovie
	Technical Skill	MAJ ; computer.specific ; solving.pb.oneself ; setup
	Curiosity Marker	interest_tech.journal
		interest_tech.newsletter ; interest_tech.socialnetwork ; interest_tech.youtube
	Technical Knowledge (MCQS)	MCQS.arduino ; MCQS.RV ; MCQS.twitch ; MCQS.deeplearning ; MCQS.toptweet ; MCQS.hyperloop ; MCQS.neuralink

Echelle de mesure de la techno-affinité

THE TECHNOSCORE QUESTIONNAIRE (1/4)

	0 point	1 point	2 points
TELEPHONY			
T1. I currently own a smartphone.	❑ No	❑ Yes	
T2. To use the touch screen of my cell phone…	❑ I don't have a touch screen phone	❑ I have one and I use the index mostly	❑ I have one and I use my thumb mostly
T3. To communicate with some of my relatives, I make video calls with my cell phone.	❑ I don't know how to do it	❑ I would know how to make video calls, but I don't	❑ Yes, I do
IT			
T4. I use my computer for office activities (email, word processing, agenda, accounting...).	❑ No	❑ Yes	
T5. I use my computer to watch films or series.	❑ No	❑ Yes	
T6. I use my computer to play.	❑ No	❑ Yes	
T7. I use my computer for specific activities like programming, photo/video/musical editing.	❑ No	❑ Yes	
T8. I have a professional laptop.	❑ No	❑ Yes	
T9. Regarding updates to my Operating System, the phrase that suits me best is:	❑ I don't know what an Operating System is	❑ I know what it is, but I don't handle it	❑ I always make sure I have an up-to-date Operating System
ENTERTAINMENT			
T10. I have a TV set.	❑ No	❑ Yes	
T11. I watch movies or series in streaming (Netflix, Amazon prime...)..	❑ I don't know what streaming is	❑ I know what it is, but I don't do it	❑ I do it
T12. I watch movies or series on streaming (Netflix, Amazon prime...) at least once a day.	❑ No	❑ Yes	
T13. I own a streaming application to listen to music (YouTube, Deezer, Spotify, Apple music...).	❑ No	❑ Yes	
T14. I use a streaming application to listen to music (YouTube, Deezer, Spotify, Apple music...).	❑ No	❑ Yes	
T15. I use a connected speaker (Alexa, Google Home, etc.) to listen to music.	❑ No	❑ Yes	

THE TECHNOSCORE QUESTIONNAIRE (2/4)

	0 point	1 point	2 points	3 points
DIGITAL PRACTICES				
T16. I usually check the weather on my cell phone.	❑ No	❑ Yes		
T17. I usually check the weather via a connected speaker (Alexa, Google Home...).	❑ No	❑ Yes		
T18. I usually check the news on the Internet (social networks, online reviews...).	❑ No	❑ Yes		
T19. I used to buy e-tickets for cinema, train, concert tickets, etc. on my cell phone.	❑ No	❑ Yes		
T20. I read books in electronic format (e-reader, cell phone...).	❑ No	❑ Yes		
T21. I have already used online video tutorials to learn how to do something new (manual or intellectual activity).	❑ No	❑ Yes		
T22. I use a casting system (Chromecast, FireTV) to view photos from my phone on another screen.	❑ I don't know what a casting system is	❑ I know what it is, but I don't have one	❑ I have this type of system, but I don't use it	❑ Yes, I use this type of system
T23. I use a TVcasting system (Chromecast, FireTV) to watch videos.	❑ I don't know what a TVcasting system is	❑ I know what it is, but I don't have one	❑ I have this type of system, but I don't use it	❑ Yes, I use this type of system
VIDEO GAMES				
T24. I play video games.	❑ I don't play	❑ I play	❑ I play at least once a day	
T25. I play or have already played multi-player online games.	❑ I don't know what multiplayer is	❑ I know what it is, but I have never had the opportunity to play in multiplayer mode	❑ I have already had the opportunity to play in multiplayer mode	
T26. I play or have already played with a controller with haptic feedback (for example: DualSense vibrating controller, Wii).	❑ I don't know what a haptic feedback controller is	❑ I know what a haptic controller is, but I have never played with one	❑ I have already played with this type of controller	

THE TECHNOSCORE QUESTIONNAIRE (3/4)

		0 point	1 point	2 points	3 points
	I use ….	I don't know what it is	I know what it is, but I don't have one	I have one, but I don't use it	Yes, I use one
T27.	a connected bathroom scale.	❑	❑	❑	❑
T28.	a connected food processor.	❑	❑	❑	❑
T29.	an autonomous robotic lawnmowers.	❑	❑	❑	❑
T30.	connected roller shutters.	❑	❑	❑	❑

	0 point	1 point	2 points
BANKING PRACTICES			
T31. I use online payment applications (Lydia, PayPal, etc.).	❑ No	❑ Yes	
T32. I use mobile contactless payment applications (Paylib, GooglePay, etc.) in-store.	❑ No	❑ Yes	
INTERNET USAGE			
T33. When I am working, I sometimes consult social networks for personal use.	❑ I am not registered in any social network	❑ No	❑ Yes
T34. As soon as I get up in the morning, I connect to the internet (reply to messages/emails, social networks, check the news...).	❑ No	❑ Yes	
T35. I would say that the internet is my main source of entertainment.	❑ No	❑ Yes	
NEW TECHNOLOGIES			
T36. I inform myself about new technologies via YouTube channels.	❑ No	❑ Yes	
T37. I inform myself about new technologies via influencers I follow on social networks.	❑ No	❑ Yes	

THE TECHNOSCORE QUESTIONNAIRE (4/4)

		0 point	1 point	2 point
I use the following Social Networks:		I don't use	I use	I use at least once a day
T38.	YouTube	❑	❑	❑
T39.	Instagram	❑	❑	❑
T40.	Snapchat	❑	❑	❑
T41.	Twitter	❑	❑	❑
T42.	Reddit	❑	❑	❑

		0 point	1 point
I use the following Social Networks at least once a day		No	Yes
T43.	TikTok	❑	❑
T44.	LinkedIn	❑	❑
T45.	Skype	❑	❑
T46.	BeReal	❑	❑

MCQs

T47. What is Twitch?
❑ I don't know
❑ The name of a fighting video game
❑ A programming language for animated films
❑ A live video streaming platform

T48. What is a Top Tweet?
❑ I don't know
❑ A web application
❑ A social networking feature that allows content to be shared with a limited number of people
❑ A short message that has been re-shared a large number of times

T49. What is Neuralink?
❑ I don't know
❑ The name of an artificial intelligence neural network
❑ An electronic card that allows for do-it-yourself projects
❑ The name of a start-up that develops brain implants

T50. What is Arduino?
❑ I don't know
❑ A remote-controlled robot used in medicine
❑ A new technology giving access to night vision
❑ A board that allows you to build electronic projects

MCQs rule of presentation : Random order of answers

MCQs scores :
For each question and following this order :

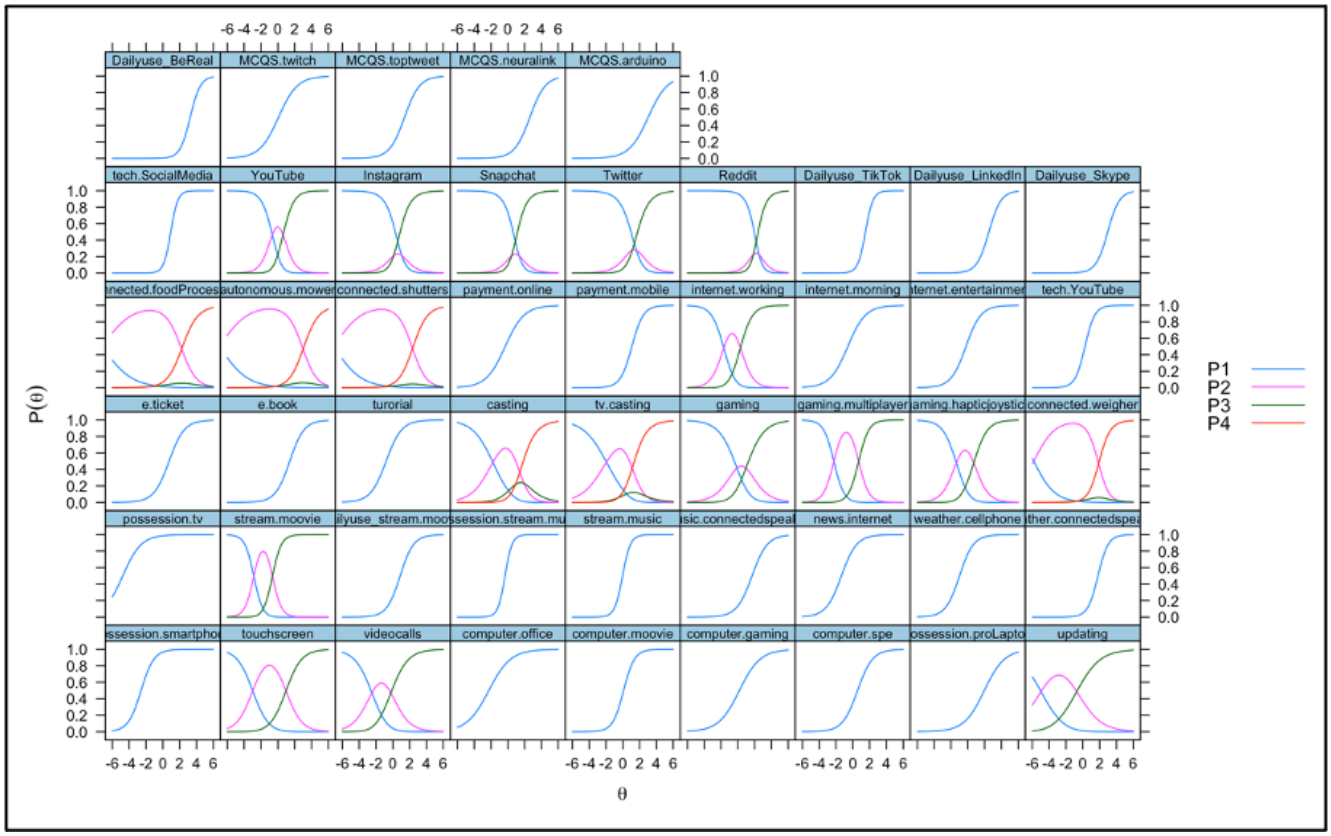
0 point = False =The first 3 response categories

1 point = True = The last response category

ANNEXE J

COURBES CARACTÉRISTIQUES GPCM

COURBES CARACTÉRISTIQUES DES 50 ITEMS QUI CONSTITUENT LE QUESTIONNAIRE VALIDÉ, ALLÉGÉ ET RECODÉ



ANNEXE K

QUESTIONS COMPLÉMENTAIRES

LISTE DES QUESTIONS COMPLEMENTAIRES (CHAPITRE 6)

Réseaux sociaux	
XR1_1	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - SixDegrees
XR1_2	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - MySpace
XR1_3	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - MSN
XR1_4	XR1. A quelle fréquence utilisez-vous les réseaux sociaux ? Choisissez pour chacun d'entre eux la fréquence dont vous êtes le/la plus proche. - Copains d'avant
Échelle de réponses	
1	Une fois par jour
2	Une fois par semaine
3	Une fois par mois
4	Une fois par an
5	Jamais
6	Je ne suis pas inscrit(e)

Autre contexte	
I4	I4. Diriez-vous que l'univers de la science-fiction vous intéresse ?
Échelle de réponses	
1	Oui, beaucoup
2	Oui, un peu
3	Non

Crise sanitaire	
H1	H1. Durant la crise sanitaire, avez-vous dû télétravailler alors que vous ne le faisiez pas ou peu auparavant ?
Échelle de réponses	
1	Oui
2	Non
H2	H2. Et aujourd'hui quel mode d'organisation du travail suivez-vous ?
Échelle de réponses	
1	Je travaille tous les jours sur mon lieu de travail
2	1 jour par semaine en télétravail, le reste sur site
3	2 jours par semaine en télétravail, le reste sur site
4	3 jours par semaine en télétravail, le reste sur site
5	4 jours par semaine en télétravail, le reste sur site
6	5 jours par semaine en télétravail

H3	H3. Suite à la crise sanitaire, vos pratiques et habitudes liées à l'usage d'internet et de votre mobile ?
Échelle de réponses	
1	Ont beaucoup évolué
2	Ont un peu évolué
3	N'ont pas changé
H4_1	H4. En quoi vos pratiques et habitudes liées à l'usage d'internet et de votre mobile ont évolué ?
Échelle de réponses	
1	Plus de temps de consultation des réseaux sociaux / internet
2	Plus d'achats en ligne
3	Besoin de connexion permanente avec le télétravail
4	Nouveaux gestes, nouvelles habitudes liées au contenu : série/film, réseaux sociaux…
5	Autres
H4_2	H4. En quoi vos pratiques et habitudes liées à l'usage d'internet et de votre mobile ont évolué ?
Échelle de réponses	
1	Plus de temps de consultation des réseaux sociaux / internet
2	Plus d'achats en ligne
3	Besoin de connexion permanente avec le télétravail
4	Nouveaux gestes, nouvelles habitudes liées au contenu : série/film, réseaux sociaux…
5	Autres
H4_3	H4. En quoi vos pratiques et habitudes liées à l'usage d'internet et de votre mobile ont évolué ?
Échelle de réponses	
1	Plus de temps de consultation des réseaux sociaux / internet
2	Plus d'achats en ligne
3	Besoin de connexion permanente avec le télétravail
4	Nouveaux gestes, nouvelles habitudes liées au contenu : série/film, réseaux sociaux…
5	Autres
H4_4	H4. En quoi vos pratiques et habitudes liées à l'usage d'internet et de votre mobile ont évolué ?
Échelle de réponses	
1	Plus de temps de consultation des réseaux sociaux / internet
2	Plus d'achats en ligne
3	Besoin de connexion permanente avec le télétravail
4	Nouveaux gestes, nouvelles habitudes liées au contenu : série/film, réseaux sociaux…
5	Autres
H4_5	H4. En quoi vos pratiques et habitudes liées à l'usage d'internet et de votre mobile ont évolué ?
Échelle de réponses	
1	Plus de temps de consultation des réseaux sociaux / internet
2	Plus d'achats en ligne
3	Besoin de connexion permanente avec le télétravail
4	Nouveaux gestes, nouvelles habitudes liées au contenu : série/film, réseaux sociaux…
5	Autres

OUTIL DE MESURE PRATIQUE

Vos opinions

1. Dans quelle mesure, êtes-vous d'accord avec cette proposition : « l'univers des nouvelles technologies m'intéresse » ?

Tout à fait d'accord	4
D'accord	3
Pas d'accord	2
Pas du tout d'accord	1

2. Quel est l'aspect le plus important d'un équipement technologique pour vous ?

Le prix	1
La fiabilité	2
Qu'il soit multi-fonctions	3
Les applications les plus à la mode/les plus tendances	4
Les dernières fonctionnalités	5
Un design pointu	6

Objets possédés

3. Pouvez-vous décrire le premier téléphone portable que vous avez eu ?

4. Quel type de téléphone mobile possédez-vous actuellement ? (Si vous avez plusieurs téléphones, nous parlons de celui que vous utilisez le plus souvent)

Je n'ai pas ou je n'utilise pas de téléphone mobile	1
Téléphone à antenne	2
Téléphone à pavé numérique	3
Téléphone à clavier alphabétique (type BlackBerry)	4
Téléphone à écran tactile avec clavier alphabétique	5
Smartphone	6

5. Avez-vous un ordinateur portable professionnel ?

Oui	2
Non	1

Vos usages

6. Jouez-vous ou avez-vous déjà joué avec une manette à retour haptique (manette vibrante type DualSense, Wii par exemple) ?

7. Utilisez-vous votre ordinateur pour des activités spécifiques comme le codage, les montages photos/vidéos/musicaux ?

8. Utilisez-vous les applications de paiement mobile sans contact en magasin (Paylib, GooglePay, etc.) ?

Oui	3
Non	2
Je ne sais pas ce qu'est	1

9. Utilisez-vous l'objet connecté suivant : un robot culinaire connecté ?

10. Utilisez-vous l'objet connecté suivant : une serrure connectée ?

Oui, j'en utilise un	4
J'en possède un mais je ne l'utilise pas	3
Je n'en possède pas	2
Je ne sais pas de quoi il s'agit	1

QCM

15. Savez-vous ce qu'est le Deep-Learning ?

Une technologie permettant d'explorer les fonds marins	1
Un programme d'apprentissage sur l'univers à travers des satellites	1
Un algorithme permettant à un réseau de neurones d'apprendre à partir de données non structurées	2
Je ne sais pas	1

Votre fréquence d'usage

11. A quelle fréquence utilisez-vous le réseau social suivant : YouTube ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.

12. A quelle fréquence utilisez-vous le réseau social suivant : MySpace ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.

13. A quelle fréquence utilisez-vous le réseau social suivant : Twitch ? Choisissez ci-dessous la fréquence dont vous êtes le/la plus proche.

Une fois par jour	6
Une fois par semaine	5
Une fois par mois	4
Une fois par an	3
Jamais	2
Je ne suis pas inscrit(e)	1

14. Dès que vous vous levez le matin, vous connectez-vous à internet (réponse aux messages/mails, réseaux sociaux, consulter les informations, etc.) ?

Oui	3
Non	2
Je n'ai pas d'accès à internet	1

COLLEGE DOCTORAL BRETAGNE
EDUCATION, LANGAGES INTERACTIONS, COGNITION CLINIQUE, EXPERTISE

UNIVERSITÉ RENNES 2

Titre : Étude de l'impact de la culture sur la perception ergonomique et hédonique des Interfaces Homme-Machine automobiles

Mots clés : IHM ; UX Design ; IRT ; Techno-socio-générations ; Techno-affinité

Résumé : Pour les constructeurs automobiles l'enjeu est de créer des IHM faciles et agréables à utiliser, avec une composante sécuritaire comme contrainte supplémentaire. Dans un contexte d'évolution technologique, l'objectif de cette thèse est de comprendre l'effet de la numérisation et de la dématérialisation des cockpits automobiles sur l'expérience utilisateur. Le double objectif est de comprendre ce qui, dans la numérisation et la dématérialisation, va plaire et être adapté à chaque segment culturel techno-socio-générationnel. Dans une première partie, nous proposons, via une approche IRT, un outil de mesure psychométrique de la techno-affinité permettant d'identifier la culture techno-socio-générationnelle des individus. Dans une seconde partie, nous proposons deux études afin d'évaluer l'impact de la techno-affinité sur l'interaction homme-machine dans un contexte d'évolution technologique. La première étude, est une enquête qualitative. La seconde étude propose la conception d'une situation écologique d'évaluation de l'UX en contexte automobile. Au travers d'une approche IRT, les modèles mettent en évidence que l'ajout de technologie en contexte automobile est bénéfique pour une expérience homme-machine émotionnellement positive (stimulante, agréable et maîtrisée). Les modèles montrent également que les préférences se traduisent par la recherche d'un compromis entre une expérience ergonomique et une expérience hédonique. Cependant, des dimensions de gestion des ressources attentionnelles et de préoccupation de sécurité, modèrent les besoins et les attentes des individus selon leur niveau de techno-affinité.

Title: Study of the impact of culture on the ergonomic and hedonic perception of automotive Human-Machine Interfaces

Keywords: HMI; UX Design; IRT; Techno-socio-generations; Techno-affinity

Abstract: For car manufacturers, the challenge is to create easy and pleasant to use HMI, with a safety component as an additional constraint. In a context of technological evolution, the objective of this thesis is to understand the effect of digitalization and dematerialization of automotive cockpits on the user experience. The double objective is to understand what, in digitization and dematerialization, will appeal and be adapted to each techno-socio-generational cultural segment. In a first part, we propose, through an IRT approach, a psychometric measurement tool of techno-affinity allowing to identify the techno-socio-generational culture of individuals. In a second part, we propose two studies in order to evaluate the impact of techno-affinity on man-machine interaction in a context of technological evolution. The first study is a qualitative investigation. The second study proposes the design of an ecological situation of evaluation of the UX in an automotive context. Through an IRT approach, the models highlight that the addition of technology in an automotive context is favorable for positive emotional human-machine experience (stimulating, pleasant and controlled). The models also show that preferences are translated by the search for a compromise between an ergonomic and a hedonic experience. However, dimensions of attentional resource allocation and safety concerns moderate the needs and expectations of individuals according to their level of techno-affinity.

Imp. Service Reprographie - Rennes 2