



HAL
open science

Gestes et cognition : caractérisation de l'activité de co-conception multimodale dans un environnement de Réalité Augmentée Spatialisée

Maud Poulin

► **To cite this version:**

Maud Poulin. Gestes et cognition : caractérisation de l'activité de co-conception multimodale dans un environnement de Réalité Augmentée Spatialisée. Psychologie. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2021. Français. NNT : 2021GRALI068 . tel-03389476

HAL Id: tel-03389476

<https://theses.hal.science/tel-03389476>

Submitted on 21 Oct 2021

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.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : **Génie Industriel : conception et production**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

Maud POULIN

Thèse dirigée par **Jean-François BOUJUT, Professeur, Grenoble INP** et

Co-encadrée par **Cédric MASCLET, Maître de conférences, Université Grenoble Alpes**

préparée au sein du **Laboratoire G-SCOP**
dans l'**École Doctorale I-MEP² - Ingénierie – Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production**

Gestes et cognition : caractérisation de l'activité de co-conception multimodale dans un environnement de Réalité Augmentée Spatialisée

Thèse soutenue publiquement le « **23 Septembre 2021** »,
devant le jury composé de :

Mme, Françoise DARSEES

Professeure des universités, Institut de recherche biomédicale des Armées,
Rapporteuse

Mme, Stéphanie BUISINE

Directrice de recherches, Campus d'enseignement supérieur et de formation
professionnelle, Rapporteuse

M, Frédéric MERIENNE

Professeur des universités, Institut Image – Arts et Métiers, Examineur

M, Daniel MESTRE

Directeur de recherches, CNRS, Examineur

Mme, Erica DE VRIES

Professeure des universités, Université Grenoble Alpes, Présidente

M, Jean-François BOUJUT

Professeur des universités, Grenoble INP, Directeur de thèse

M, Cédric MASCLET

Maître de conférences, Université Grenoble Alpes, Co-encadrant de thèse



« Il est impossible de ne pas communiquer »

Paul Watzlawick

« Les détails ne sont pas des détails, ils font la conception d'un produit »

Bill Bernbach

Remerciements

Je souhaite remercier sincèrement les membres de mon jury de thèse. Tout d'abord, merci à **Mmes Françoise Darses** et **Stéphanie Buisine** de me faire l'honneur de rapporter mon travail. Vos rapports m'ont permis de faire murir des réflexions et de renforcer mon argumentaire en acquérant plus de confiance scientifique. Un grand merci également à **M. Frédéric Mérienne** et **M. Daniel Mestre** d'avoir accepté d'examiner ma thèse. Vos années d'expérience dans le domaine de la réalité augmentée et virtuelle seront d'une grande richesse pour l'ambition professionnelle que je poursuis.

Je tiens à remercier toute l'équipe du projet SPARK que j'ai rencontrée dans les six premiers mois de la thèse (Jamie, Elies, Nicolo, Gaetano, Fatma, etc.). Tout particulièrement, je remercie **Xavier Majoral** pour sa disponibilité, sa générosité, et pour sa collaboration sur le produit Viuhö.

Je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de thèse **Jean-François Boujut** et mon co-encadrant **Cédric Masclat**, d'une part de m'avoir fait confiance en m'accordant le poste d'ingénieure ergonomiste il y a maintenant quatre ans, puis de m'avoir proposé de poursuivre sur le projet SPARK avec une thèse. Cette opportunité a été un tremplin dans ma carrière professionnelle dont je n'aurais pas bénéficié sans votre rencontre. Un immense merci pour ces quatre belles années tant au niveau professionnel qu'humain.

Je voudrais aussi remercier **Lian Apostol** et **Sébastien Martin** pour leur soutien technique sur la plateforme sans qui les expérimentations n'auraient jamais pu se dérouler ainsi.

J'exprime des sincères remerciements aux stagiaires m'ayant permis de prendre du recul sur des aspects méthodologiques et d'avoir contribué à la rédaction d'un article de revue pour **Laetitia Baldacchino** et aux tests de fiabilité inter-codeurs pour **Alicia Bouche** et **Camille Borel**.

Malgré le contexte sanitaire, j'ai eu la chance d'intégrer un laboratoire de recherche où il fait bon travailler et où j'ai pu rencontrer une équipe de doctorants et de jeunes chercheurs que j'affectionne particulièrement aujourd'hui. Merci pour tous ces bons moments et pour ceux encore à venir !

Et enfin, à mon frère, ma maman et Justine pour leur soutien et le bonheur qu'ils m'apportent chaque jour.

Résumé

L'activité de conception mobilise des fonctions cognitives de haut niveau largement étudiées depuis ces dernières années. Cependant, dans un souci d'améliorer toujours plus l'innovation, la créativité et de réduire les barrières de communication entre les designers et les non-designers pendant les réunions de co-conception de produits, des outils d'aide à la conception sont déployés, tous poursuivant des objectifs différents. La plateforme SPARK utilisant les propriétés de la Réalité Augmentée Spatialisée (SAR) est notamment un outil développé pour faciliter les interactions et la compréhension entre les experts et les non-experts de la conception pendant les phases de revue. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de thèse où nous proposons une analyse multimodale de l'activité de co-conception dans un environnement SAR. Nous avons employé une démarche ergonomique tout au long de cette recherche en procédant à l'observation de séances de co-conception chez notre partenaire industriel puis en effectuant une expérimentation en laboratoire à plus grande échelle accompagnée de questionnaires et d'entretiens d'auto-confrontation avec les utilisateurs. Cette démarche nous a permis, d'une part, d'identifier quelle était l'influence de cette technologie sur les différentes activités cognitives et les gestes réalisés par les acteurs. Il a été montré que la technologie SAR n'a aucune influence sur les activités de conception sauf pour la génération d'idées où les résultats révèlent un nombre significativement plus important d'idées lorsqu'on utilise cet outil. Cette technologie semble également avoir une influence sur les gestes mobilisés car elle sollicite davantage la manipulation ou le pointage de l'artefact dans la scène. D'autre part, nous avons analysé les relations entre les gestes réalisés et les activités cognitives mobilisées dans le protocole verbal. Par exemple, un des résultats principaux de cette étude a montré que l'activité de simulation du contexte d'usage est significativement associée à des gestes iconiques. Les résultats de ce travail de recherche nous permettent d'avancer quelques préconisations d'usage de cette technologie dont les avantages sont avérés dans la phase de revue de la conception du produit et où la tangibilité de l'artefact est un facteur de réussite.

Mots-clés : co-conception, Réalité Augmentée Spatialisée, activités cognitives, gestes

Abstract

The design activity mobilises high-level cognitive functions that have been widely studied in recent years. However, in order to improve innovation and creativity and to reduce communication barriers between designers and non-designers during product co-design meetings, design support tools are deployed, all with different objectives. In particular, the SPARK platform using the properties of Spatial Augmented Reality (SAR) is a tool developed to facilitate interactions and understanding between design experts and non-experts in the design review phases. It is in this context that we propose a multimodal analysis of the co-design activity in a SAR environment. We used an ergonomic approach throughout this research by observing co-design sessions at our industrial partner's premises and then by carrying out a larger-scale laboratory experiment accompanied by questionnaires and self-confrontation interviews with end-users. This approach allowed us, on the one hand, to identify the influence of this technology on the different cognitive activities and gestures performed by the actors. It was shown that the SAR technology has no influence on design activities except for idea generation where the results reveal a significantly higher number of ideas when using this tool. This technology also seems to have an influence on the mobilised gestures because it solicits more manipulation or pointing of the artefact in the scene. On the other hand, we analysed the relationships between the gestures performed and the cognitive activities mobilised in the verbal protocol. For example, one of the main results of this study showed that the activity of simulating the context of use is significantly associated with iconic gestures. The results of this research work allow us to put forward some recommendations for the use of this technology, the advantages of which are proven in the product design review phase and where the tangibility of the artefact is a success factor.

Key words: co-design, Spatial Augmented Reality, cognitive activities, gestures

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	10
1. Introduction.....	11
2. Positionnement de la thèse.....	11
2.1 Cadre de notre travail de recherche.....	11
2.2 La pluridisciplinarité : une force dans l'étude des interactions en conception.....	13
2.2.1 <i>Les sciences de l'ingénieur.....</i>	13
2.2.2 <i>Les sciences humaines.....</i>	14
2.2.3 <i>Les outils d'aide à la conception.....</i>	15
3. Enjeux de la thèse.....	16
4. Contexte et objectifs de la thèse	17
5. Originalité de la thèse	20
6. Apport scientifique de la thèse	21
7. Structure du document	22
PARTIE I: ETAT-DE-L'ART : L'ACTIVITE DE CO-CONCEPTION ASSISTEE PAR LA REALITE AUGMENTEE SPATIALISEE.....	27
1. L'étude de la conception collaborative.....	28
1.1. La conception collaborative.....	28
1.2. Les processus de conception.....	30
1.2.1 <i>Les différents modèles du processus de conception.....</i>	30
1.2.2 <i>Le Design Thinking.....</i>	35
1.2.3 <i>Les méthodes Agiles.....</i>	36
2. L'activité de conception.....	37
2.1. De la cognition... ..	38
2.1.1. <i>Les activités cognitives mobilisées dans les réunions de co-conception.....</i>	38
2.1.2. <i>La synchronisation cognitive.....</i>	41
2.1.3. <i>Les neurosciences cognitives.....</i>	43
2.2. ... Aux gestes.....	45
3. L'étude des interactions en conception.....	47
3.1. L'impact de la nature de la représentation externe.....	47
3.2. Les objets intermédiaires.....	50
4. Les outils d'aide à la conception.....	51
4.1. Présentations des différents outils d'aide à la conception.....	51
4.2. La Réalité Augmentée Spatialisée.....	52
5. Le projet SPARK.....	54
5.1. Contexte et objectifs du projet SPARK.....	54
5.2. Vers une amélioration de la collaboration et de la créativité.....	57
5.3. Stimulo : notre agence de design partenaire.....	58
5.3.1. <i>Présentation de Stimulo.....</i>	59
5.3.2. <i>Stratégie de l'agence.....</i>	59
5.3.3. <i>Modèle de processus de conception adopté par l'agence.....</i>	60
6. Synthèse de l'état-de-l'art.....	62
PARTIE II : OJECTIFS, PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....	65
1. Identification de objectifs poursuivis.....	66
2. Problématique de recherche et hypothèses.....	67
2.1. Problématique.....	67
2.2. Hypothèses.....	68

PARTIE III : METHODOLOGIE.....	71
1. Choix des méthodes et cadre d'analyse.....	72
2. Création des grilles de codage des gestes et du protocole verbal.....	73
2.1. Notre classification des gestes dans la conception.....	74
2.2. Notre classification des activités cognitives de conception et des arguments.....	76
2.3. Le coding book.....	79
2.4. La validation des grilles de codage.....	82
2.5. Procédure de codage des sessions.....	83
PARTIE IV : OBSERVATIONS D'ETUDES DE CAS CHEZ NOTRE PARTENAIRE INDUSTRIEL.....	86
1. Introduction des observations sur le terrain.....	87
2. Cadre expérimental et méthodologie.....	88
2.1 Définition des observations.....	88
2.1.1 <i>Présentation des produits en cours de conception.....</i>	<i>88</i>
2.1.2 <i>Présentation des participants.....</i>	<i>92</i>
2.1.3 <i>Synthèse de présentation des observations.....</i>	<i>92</i>
2.2 Configuration des salles d'observation.....	93
2.3 Matériel d'enregistrement audio et vidéo.....	94
2.4 Présentation des tâches de conception.....	94
2.5 Protocole d'observation.....	95
3. Résultats.....	95
3.1 La réalité augmentée spatialisée facilite les interactions entre les designers et les non-designers.....	96
3.2 La réalité augmentée spatialisée modifie la pensée habituelle des concepteurs.....	98
3.2.1 <i>Le taux des différentes modalités d'activités cognitives diffère selon la condition de co-conception.....</i>	<i>98</i>
3.2.2 <i>La nature de l'argumentation diffère selon la condition de co-conception.....</i>	<i>102</i>
3.2.3 <i>Les modalités de gestes employés diffèrent selon la condition de co-conception.....</i>	<i>106</i>
3.3 La réalité augmentée spatialisée améliore l'interaction avec le prototype.....	110
3.4 La réalité augmentée spatialisée améliore la productivité des acteurs pendant les sessions de co-conception.....	112
3.5 Exploration des résultats non-attendus.....	114
4. Discussion générale de la phase d'observation.....	116
PARTIE V : REDEFINITION DES HYPOTHESES DE RECHERCHE.....	120
1. Hypothèse 1 : L'analyse des sessions de co-conception révèle des associations de gestes et d'activités cognitives quasi systématiques.....	121
2. Hypothèse 2 : La technologie SAR a un impact sur l'activité multimodale de conception.....	121
2.1 Sous-hypothèse 1 : La technologie SAR facilite les interventions de clients pendant la phase de <i>detailed design</i>	122
2.2 Sous-hypothèse 2 : La technologie SAR facilite la génération d'idées et leur évaluation.....	122
3. Hypothèse 3 : Les gestes sont une aide à la compréhension.....	123
3.1 Sous-hypothèse 1 : Les participants mobilisent moins de gestes en présence de la technologie SAR.....	123
3.2 Sous-hypothèse 2 : Pour pallier aux difficultés de communication, les acteurs utilisent des gestes en l'air de type iconique, métaphorique et les gesticulations.....	124

PARTIE VI : EXPERIMENTATIONS EN LABORATOIRE.....127

1. Introduction des expérimentations.....	129
2. Cadre expérimental et méthodologie.....	130
2.1 Prérequis et critères de sélection de l'étude de cas.....	130
2.1.1 <i>Sélection du projet.....</i>	131
2.1.2 <i>Sélection du produit.....</i>	131
2.1.3 <i>Sélection des participants.....</i>	131
2.2 Définition de l'étude de cas.....	132
2.2.1 <i>Condition expérimentale standard.....</i>	133
2.2.2 <i>Condition expérimentale SAR.....</i>	133
2.3 Protocole expérimental.....	134
2.3.1 <i>Organisation de la procédure expérimentale.....</i>	134
2.3.2 <i>Configuration de la salle expérimentale.....</i>	135
2.3.3 <i>Équipement d'enregistrement vidéo et audio.....</i>	136
2.3.4 <i>Description des participants.....</i>	137
2.3.5 <i>Présentation de la tâche de conception.....</i>	137
3. Validation de la reproductibilité des sessions en laboratoire.....	138
4. Résultats.....	139
4.1 Certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments sont systématiquement liées quelle que soit la nature de l'artefact.....	139
4.1.1 <i>Il existe des corrélations entre certaines modalités de gestes et d'activités cognitives.....</i>	140
4.1.2 <i>Il existe des corrélations entre certaines modalités de gestes et d'arguments.....</i>	142
4.1.3 <i>Il existe des corrélations entre certaines modalités d'activités cognitives et d'arguments.....</i>	144
4.2 La réalité augmentée spatialisée a un impact sur l'activité multimodale de co-conception.....	146
4.2.1 <i>La technologie SAR facilite l'intervention des utilisateurs finaux.....</i>	146
4.2.2 <i>La technologie SAR facilite la génération d'idées portant sur les caractéristiques du produit et leur validation.....</i>	148
4.3 Les gestes sont une aide à la compréhension.....	153
4.3.1 <i>Moins de gestes sont réalisés dans un environnement SAR.....</i>	153
4.3.2 <i>Les gestes iconiques, métaphoriques et les gesticulations sont initiés pour pallier aux difficultés de communication.....</i>	157
5. Les entretiens d'auto-confrontation.....	157
5.1 Origines et principes de base de l'entretien d'auto-confrontation.....	157
5.2 Analyse des entretiens.....	158
5.2.1 <i>L'intention des gestes : de l'implicite vers l'explicite.....</i>	158
5.2.2 <i>Recueil des impressions sur les sessions et sur la technologie SAR.....</i>	161
6. Questionnaires.....	163
6.1 Questionnaire de la designer.....	163
6.1.1 <i>Construction du questionnaire de la designer.....</i>	163
6.1.2 <i>Résultats des questionnaires de la designer.....</i>	164
6.2 Questionnaire des utilisateurs.....	166
6.2.1 <i>Construction du questionnaire des utilisateurs.....</i>	166
6.2.2 <i>Résultats des questionnaires des utilisateurs.....</i>	168
6.3 Conclusion générale des questionnaires.....	171

DISCUSSION GENERALE DES RESULTATS ET CONCLUSION.....173

1. Etayage et argumentation des résultats.....	173
2. Discussion au sujet de notre démarche expérimentale.....	184
3. Préconisations et perspectives de recherche.....	186
4. Conclusion.....	189

GLOSSAIRE.....	190
BIBLIOGRAPHIE.....	191
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	203
Tableaux.....	203
Figures.....	205
ANNEXES.....	207
Annexe 1 : Accord de participation aux observations	208
Annexe 2 : Outils statistiques.....	211
Annexe 3 : Formulaire de consentement des expérimentations en laboratoire.....	214
Annexe 4 : Résultats des expérimentations en laboratoire.....	216
Annexe 5 : Questionnaires de la designer et des utilisateurs.....	224

Introduction générale

Sommaire

1. Introduction	11
2. Positionnement de la thèse	11
2.1 Cadre de notre travail de recherche.....	11
2.2 La pluridisciplinarité : une force dans l'étude des interactions en conception	13
2.2.1 <i>Les sciences de l'ingénieur</i>	13
2.2.2 <i>Les sciences humaines</i>	14
2.2.3 <i>Les outils d'aide à la conception</i>	15
3. Enjeux de la thèse.....	16
4. Contexte et objectifs de la thèse	17
5. Originalité de la thèse	20
6. Apports scientifiques et industriels de la thèse	21
7. Structure du document	22

1. Introduction

Ce travail de thèse s'inscrit dans une société en constante évolution et où chaque individu doit faire preuve d'une grande adaptabilité. Tous les métiers étroitement liés ou non au domaine de la conception ne font pas exception à la règle : les méthodes de management, de gestion de projet et les outils techniques en support de la créativité et de la conception de produits évoluent rapidement. C'est dans ce contexte que j'ai eu le plaisir de poursuivre ce travail de recherche en étudiant les concepts de conception collaborative _ que nous appellerons co-conception (*co-design*) tout au long de ce manuscrit _ et en étudiant l'influence de l'introduction d'une technologie de Réalité Augmentée Spatialisée (SAR) sur l'activité de co-conception.

Dekoninck et al. (2018) ont défini la co-conception comme "*une session pré-organisée qui implique des designers et des non-designers travaillant ensemble sur le processus de développement de produits*". Ces séances emploient une méthode spécifique du processus de conception en impliquant des clients et/ou utilisateurs finaux et qui met l'accent sur leur rôle en leur donnant la possibilité de partager des informations et d'apporter de nouveaux aspects innovants à l'artefact.

Dans cette partie introductive de mes travaux de thèse, nous allons aborder plusieurs points. Premièrement, nous souhaitons exposer les enjeux de cette recherche tant au niveau académique qu'industriel. Deuxièmement, la thèse s'inscrit dans une pluridisciplinarité dont les fondements seront présentés de manière à visualiser les champs disciplinaires sollicités et de prendre connaissance de la revue de la littérature associée. Troisièmement, nous présenterons le contexte dans lequel s'inscrit cette thèse suivie de son originalité. Ensuite, nous aborderons les apports scientifiques issus de ces travaux de recherche. Pour finir, nous présenterons la structure du document pour une meilleure lisibilité.

2. Positionnement de la thèse

Nous étudions, dans ce travail de recherche, le travail collaboratif assisté par un outil de réalité augmentée spatialisée dans une perspective issue de deux domaines scientifiques : l'ergonomie et le génie industriel. Dans ce cadre, nous allons tout d'abord vous présenter le contexte académique dans lequel a évolué ce projet. Puis, nous exposerons les domaines scientifiques impliqués dans ces travaux et qui constituent les fondements de notre état-de-l'art.

2.1. Cadre de notre travail de recherche

Cette thèse s'inscrit dans la recherche en génie industriel _ discipline ayant émergé en France dans les années 80. Selon l'American Institute of Industrial Engineers, le génie industriel *englobe la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés en utilisant les connaissances provenant des sciences*

mathématiques, physiques et sociales, ainsi que les principes et méthodes des sciences pour l'ingénieur, dans le but d'optimiser au maximum les performances globales d'une entreprise.

Le génie industriel s'intéresse à un grand nombre de phases (prototypage, production, acheminement, achat, ...) faisant appel à des corps de métier divers (ingénierie, informatique, architecture, mécanique, ...) et dont les applications doivent répondre à des contraintes de temps, de coût, et de qualité toujours plus spécifiques.

Notre recherche a été accueillie dans le laboratoire G-SCOP (Grenoble – Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production) au sein de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. En janvier 2007, le CNRS, Grenoble-INP et l'Université Joseph Fourier créaient cette nouvelle entité de recherche : le G-SCOP, qui a entraîné la fusion d'équipes venant des Laboratoires 3S, LAG, Leibniz et GILCO. Dans un monde industriel en pleine mutation (mouvements de délocalisation-relocalisation, développement des services, couple "produits-services", ...), le laboratoire G-SCOP a perçu l'importance de plus en plus forte d'intégrer la notion de développement durable dans ses recherches. En effet, la situation que nous connaissons sur notre environnement pousse les entreprises à s'inscrire dans une croissance durable et à se poser la question des lieux et leviers de la performance économique. Cette performance se joue sur la capacité des entreprises à innover en matière de produits et de services mais aussi sur leur capacité à inventer de nouvelles organisations industrielles. Tous ces défis scientifiques constituent les thèmes de recherche poursuivis par le laboratoire.



Figure 1: Les thématiques de recherche du laboratoire G-SCOP

Plus particulièrement, notre recherche s'inscrit dans l'étude de la conception collaborative (CC) visant à comprendre et à modéliser les interactions entre experts-métiers participant à la conception de produits

et/ou des services associés, et à proposer des supports, des outils et des méthodes pour faciliter ces interactions.

Afin de comprendre ce qu'il se joue dans la communication inter-acteurs, une autre discipline importante est mobilisée dans cette étude. Il s'agit de l'ergonomie cognitive. Cette discipline née à la suite de la seconde guerre mondiale, a pour rôle de fournir aux concepteurs des connaissances sur l'humain, son fonctionnement cognitif, ses limites et ses capacités de façon à adapter son travail (Falzon, 2005). L'intégration de certaines méthodes ergonomiques dans le cycle de conception de produits constitue le champ de l'ergonomie de conception (Sagot et al., 1998 ; Gronier, 2006).

Ainsi, l'étude de la conception collaborative étant complexe et sollicitant plusieurs disciplines scientifiques, nous exposerons en détail tous les fondements de notre état-de-l'art dans la section suivante.

2.2. La pluridisciplinarité : une force dans l'étude des interactions en conception

Vous l'aurez compris, afin d'apporter une meilleure compréhension de tous les processus sous-jacents à la co-conception dans notre étude, plusieurs disciplines sont mobilisées. Les sciences de l'ingénieur, les sciences humaines et comme nous utilisons un outil de réalité augmentée, le champ des outils d'assistance à la conception est notamment central dans cette thèse.

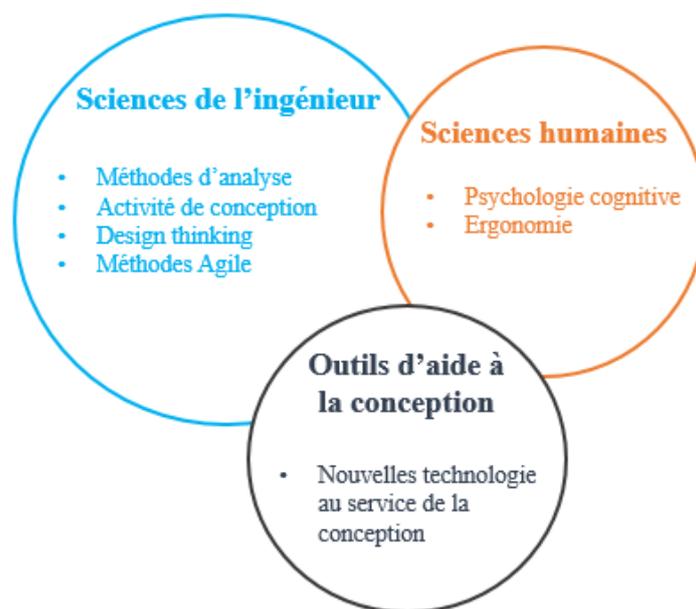


Figure 2: Disciplines rencontrées dans l'étude des interactions entre concepteurs

2.2.1. Les sciences de l'ingénieur

Les sciences de l'ingénieur et plus particulièrement le génie industriel, présenté déjà brièvement dans la section 2.1, sont un ensemble de disciplines très complémentaires formant un système composé de sciences techniques (e.g. mathématiques, physique) et de sciences humaines et sociales (e.g.

psychologie, ergonomie). Dans notre cas, nous nous intéressons à la conception de produits et notamment aux processus qui la sous-tendent du fait du caractère individuel et collectif de cette activité (Klein Meyer et al., 2007). L'activité de conception de produits repose sur un échange permanent d'informations et de prise de décisions dans l'objectif de proposer les meilleures solutions répondant aux exigences du cahier des charges d'une part et des clients d'autre part (Benabid, 2014). Les échanges entre tous les acteurs de la conception (designers et non-designers) ont poussé la discipline à s'intéresser à la notion de collaboration. En effet, l'étude des interactions verbales entre les acteurs de la conception est primordiale pour la compréhension de cette activité. De plus, Bucciarelli (1994) considère que la conception est une activité sociale où le produit est un objet commun à partager bien que chacun ait ses propres points de vue, pensées, croquis, diagrammes et opinions personnelles. L'objet est donc un moyen d'expression de ses propres représentations mentales selon Eckert et Boujut (2003). Ainsi, une grande partie de notre état-de-l'art se base sur l'étude des interactions entre les acteurs et au rôle de l'artefact (ou de la représentation externe) dans la génération de solutions.

2.2.2. *Les sciences humaines*

Afin d'étudier comment les acteurs de la conception interagissent entre eux et à travers l'artefact, nous avons besoin de nous reposer sur les connaissances des sciences sociales et notamment de la psychologie cognitive pour comprendre le raisonnement, la perception et l'attention des participants pour aboutir à l'évaluation d'une solution.

Nous pensons que la compréhension de l'influence des outils d'aide à la conception, notamment des plateformes de réalité augmentée spatialisée passe nécessairement par la compréhension en amont de l'activité du concepteur. Cependant, le caractère inconscient des fonctions exécutives et de la gestuelle des acteurs rend complexe la modélisation de cette activité. Notre objectif va donc être de procéder à une analyse poussée de l'activité de co-conception en intégrant les modalités verbales et gestuelles afin de démystifier l'activité de co-conception.

Notre inscription dans le domaine de l'ingénierie nous pousse à procéder à des observations sur le terrain compte-tenu de notre proximité avec le secteur industriel. Cela nous pousse aussi, et surtout, à chercher l'aspect performatif des développements conceptuels dans le but d'améliorer les outils tels que la plateforme de réalité augmentée spatialisée utilisée dans cette thèse. Cependant, les seules observations menées sur le terrain ne sont pas suffisantes pour une analyse fine des processus cognitive. En effet, la psychologie cognitive emploie préférentiellement l'expérimentation comme outil d'analyse et ceci dans l'objectif de recueillir des données quantifiables. C'est pourquoi nous procéderons à des observations sur le terrain puis à des expérimentations où nous aurons recours aux analyses de l'expérimentatrice mais aussi au jugement des participants sur leur propre pratique.

2.2.3. *Les outils d'aide à la conception*

Tout au long des étapes de conception d'un produit, les concepteurs utilisent différents moyens de représenter les solutions proposées permettant de concrétiser progressivement le projet.

L'un des premiers médias employés comme représentation intermédiaire est l'esquisse. Cette forme de croquis dessiné au crayon sur un papier est très utile pour transmettre visuellement l'idée qu'a la personne qui l'utilise. Cependant, les esquisses manquent de fonctionnalité car leur création est lente, très schématique et déconnectée des autres outils employés généralement (principalement, les outils technologiques). Avec l'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), des représentations graphiques en deux dimensions puis en trois dimensions voient le jour. Les bureaux d'études de grands groupes aéronautiques et automobiles commencent alors à porter de l'intérêt à ces nouvelles techniques _ la conception assistée par ordinateur (CAO) _ pouvant intégrer des contraintes géométriques et physiques fortes (Blinn et al., 1982). En raison de la fidélité de la représentation du produit fournie par les modèles CAO, cet outil s'est imposé comme un outil fédérateur où tous les corps de métiers peuvent s'intégrer aux différentes étapes du cycle de conception du produit.

Par la suite sont apparues les technologies de réalité virtuelle (RV ou VR en anglais) qui sont, dans une certaine mesure, des solutions d'avenir pour les entreprises voulant surmonter les problèmes de coûts et de délais dus aux limitations des représentations intermédiaires classiques (Kan et al., 2001). Ainsi, les représentations virtuelles obtenues grâce à ces technologies permettent une analyse plus détaillée et permettent d'évaluer un nombre important de déclinaisons de solutions d'autant plus que leur création est rapide.

Cependant, les outils d'aide à la conception se multipliant, tous ne sont pas appropriés à toutes les situations.

Grâce au domaine du CSCW (Computer-Supported Cooperative Work), les informaticiens, ergonomes, psychologues et sociologues se sont intéressés aux interactions entre les individus dans le but d'améliorer leur travail et de mettre à disposition des outils pour les assister. Par conséquent, dans ce courant du CSCW, les ergonomes ont cherché à comprendre les réels besoins des utilisateurs afin de proposer des outils adaptés.

Dans notre étude, nous sommes face à l'implication de designers et de non-designers dans le processus de conception de produits qui sont en constante collaboration. Seulement, les différences de niveau d'expertise des acteurs, les décalages entre les attentes de chacun, les réunions à distance et parfois même la barrière de la langue compliquent les échanges et la compréhension des propositions de chacun. Pour faire face à ces difficultés, nous avons considéré que l'outil de réalité augmentée pouvait être facilitateur dans les interactions entre les participants. En effet, nous pensons que la combinaison de l'aspect physique et digital de l'objet permettrait un meilleur partage des représentations communes et

donc une meilleure compréhension (Ware & Rose, 1999). C'est pour cette raison que la plateforme de réalité augmentée spatialisée a été créée dans le cadre du projet SPARK dans lequel cette thèse s'inscrit. Grâce aux disciplines du génie industriel et de l'ergonomie, nous allons étudier l'influence d'une telle technologie sur la collaboration entre les acteurs en se focalisant sur la participation des clients et des utilisateurs pendant les réunions de co-conception.

La présentation de ces trois grands domaines de recherche nous donne une représentation de ce qui constitue notre état-de-l'art. Le caractère pluridisciplinaire de cette thèse est représentatif du terrain industriel dans lequel notre société évolue et où la technologie, le facteur humain et l'économie sont en perpétuelle articulation.

3. Enjeux de la thèse

Les enjeux de cette thèse sont aussi bien académiques qu'industriels et même environnementaux.

- La co-conception est un champ important de la recherche où l'activité de conception y est étudiée. Les gestes d'une part et le protocole verbal (le contenu du discours) d'autre part ont été observés, classés et identifiés comme jouant un rôle dans le processus de co-conception (Visser, 2010, 2011, Cross et al., 1996). Seulement, de rares études se sont intéressées au caractère multimodal de l'activité de co-conception (Détienne et al., 2006 ; Eris et al., 2014) et cela apporterait de nouveaux éléments de compréhension. Notamment, nous souhaiterions confirmer l'affirmation de Détienne et al., (2006) selon laquelle la composante gestuelle est une aide à l'interprétation des échanges verbaux. Selon ces auteurs, les gestes déictiques correspondraient à une activité d'interprétation ou d'information, tandis que les gestes en l'air seraient des simulations que ces derniers n'ont pas distinguées comme étant une activité à part entière. Par leurs travaux et ceux à l'origine de l'étude de l'activité multimodale de co-conception (Darses et al. 2001), nous allons apporter un nouveau regard à cette dimension scientifique. Premièrement, nous inscrivons notre étude dans le domaine de la co-conception de produits tandis que les études évoquées s'appliquaient à la recherche en architecture. De plus, l'étude de la multimodalité est très coûteuse en temps. Une analyse sous-entend l'observation de plusieurs cas d'étude avec une procédure de transcription du protocole verbal suivi d'un codage de ces interactions qui demandent approximativement quatre heures pour vingt minutes de sessions. La recherche en mode "projet", ne permettant pas le déploiement d'étude de cette envergure, les recherches se sont stoppées à l'analyse de sessions singulières, non répliquées et dont il est difficile de tirer des conclusions généralisables. Par conséquent, nous allons nous attaquer à l'analyse de l'activité **multimodale** de co-conception de **produits** en apportant des résultats sur un échantillon dont il est possible de **tirer des conclusions statistiques significatives**.

- Les industriels font face à un problème récurrent dans le processus de conception d'un produit : la durée des cycles de conception. En effet, un processus lent peut notamment entraîner des conséquences sur la production et sur la compétitivité des entreprises sur le marché. Pour réduire ces cycles de conception, l'enjeu est de capter au mieux les besoins des utilisateurs en les faisant participer aux différentes phases de conception. Seulement, la participation d'un public non-expert n'est pas toujours aisée. Pour répondre à ce défi, des outils technologiques sont créés et notre travail de recherche s'inscrit justement dans le développement de la plateforme de réalité augmentée spatialisée SPARK, créée pour favoriser les échanges entre les designers et les non-designers. Par notre étude, nous espérons apporter de nouveaux éléments de réponse sur les bénéfices ou risques d'usage des technologies de réalité augmentée dont les impacts ont été encore peu étudiés jusqu'à présent (Shen et al., 2010 ; Karakaya & Demirkan, 2015 ; Milovanovic et al., 2017) notamment ceux de la réalité augmentée spatialisée (O'Hare, 2018, 2018 ; Cascini et al., 2020). Ainsi, par l'identification de lacunes ou de bénéfices de cette technologie sur la mobilisation des processus cognitifs de conception, nous serons à même de proposer des préconisations d'emploi de cette plateforme pour les industries désireuses de l'utiliser.
- L'élaboration de maquettes et de prototypes constitue une étape importante du processus de conception d'un produit. Non seulement les résultats des solutions émises sont visibles par les concepteurs et les clients, mais ceux-ci peuvent faire l'objet d'un support de validation ou de communication dans la suite du projet. Cependant, le nombre de maquettes et de prototypes élaborés pour concevoir un produit est parfois conséquent. La matière, les machines, les produits sont autant de causes pouvant contribuer à la pollution industrielle. La technologie de réalité augmentée spatialisée contribue à la diminution du nombre de maquettes produites grâce à la digitalisation de la partie visuelle du produit. En cela, les aspects de couleurs et de finitions peuvent être testés virtuellement avant la prise de décision d'une solution finale. L'intégration de plus en plus forte du développement durable dans la recherche et dans l'industrie est un enjeu majeur du XXI^{ème} siècle. En cela, la diminution du nombre de prototypes est un argument de taille en faveur du développement d'un outil réduisant significativement le nombre de maquettes nécessaire.

4. Contexte et objectifs de la thèse

Cette recherche s'inscrit dans l'étude de la co-conception et notamment des outils, méthodes et modèles qui soutiennent les interactions entre les designers et les utilisateurs lors de la conception d'un produit.

Etant dans une ère de l'innovation où tout le processus de conception se numérise par soucis de réduction des coûts et de temps, de nombreux outils d'aide à la conception sont nés. Les outils de conception traditionnels tels que le dessin et le croquis (standard) ont fait place aux outils de CAO (Conception et dessin Assistés par Ordinateur) qui ont changé l'ensemble du processus de conception et les activités

des concepteurs (Darses et al., 2001). Le développement de ces outils a, en effet, été mis au point pour assister certaines activités créatives des concepteurs et utilisateurs. Pendant les phases amont de la conception, les acteurs de la conception sont amenés à proposer beaucoup de solutions pouvant répondre aux exigences du cahier des charges. Du fait de l'importance de ces phases et de l'implication des utilisateurs, la participation de ces derniers est rendue difficile car il n'y a pas de représentation stable du produit. Pour aider à l'émergence d'idées, le système TRENDS (Bouchard et al., 2008) a, par exemple, été conçu. Ce logiciel de recherche analogique fonctionne sur la base des besoins ciblés par les utilisateurs, favorisant l'émergence d'idées créatives. Un autre système d'aide à la conception, T'nD - Touch and Design – a, quant à lui, été conçu pour externaliser les idées et ainsi améliorer le passage d'une représentation interne à une représentation externe commune (Bosinco et al., 2006). La prise de décision étant un moment important des réunions de co-conception, le logiciel SKIPPI dédié à cette activité a été imaginé et développé (Lockner & Bonnardel, 2014). Grâce à un algorithme, SKIPPI génère des idées et simule l'adéquation de la solution avec les attentes du cahier des charges.

La diversité des outils développés ces dernières années nous montre le besoin d'assistance de l'activité de co-conception compte-tenu de sa complexité. En plus du besoin d'aider à la génération d'idée, à l'exploration des solutions possibles ou à la prise de bonnes décisions, un défi de la co-conception est de créer une relation basée sur un langage commun permettant de partager des représentations communes du problème à résoudre (Stempfle & Badke-Schaub, 2002 ; Détienne et al., 2004 ; Ruiz-Dominguez, 2008). Cependant, certaines caractéristiques de la conception collaborative complexifient la tâche de conception. La communication entre les membres du groupe ne sont pas toujours efficaces par manque de connaissance ou d'expérience d'un ou plusieurs individus mais aussi à cause des différences interindividuelles indépendantes de toutes connaissances antérieures (Chartier, 2007). Ainsi, la création d'outils de réalité augmentée (AR) paraît être une bonne solution grâce à l'interactivité en temps-réel avec des représentations 3D que permet cette technologie (Azuma et al., 2001). Plus particulièrement, la réalité augmentée spatialisée (SAR) permet la manipulation directe du prototype sur lequel des images virtuelles sont projetées et où les modifications sont réalisables instantanément (Raskar et al., 1998).

En amont de ce travail de recherche est né le projet SPARK H2020 (<https://spark-project.net>) dont l'objectif était de créer un outil collaboratif basé sur la technologie SAR permettant la manipulation des objets tangibles et digitaux coexistant dans un même environnement. Afin de développer la plateforme, un des défis du projet était de comprendre les interactions sous-tendues par la co-conception dans ce type d'environnement virtuel et si une telle technologie permettait de stimuler et d'améliorer aussi bien la créativité des concepteurs que celle des utilisateurs. Pour procéder à l'évaluation de la plateforme, des critères de performance vis-à-vis de la créativité des sessions ont été analysés (Tableau 6 ; § I.5.1) :

- La quantité d'idées émises dans une session

- La variété des idées émises dans une session
- Le nombre d'idées de bonne qualité
- Le degré de nouveauté des idées
- Le score de progression de la tâche ((3pts x nombre de tâches de hautes importance résolues) + (2pts x nombre de tâches de moyenne importance résolues) + 1pt x nombre de tâches peu importantes résolues).
- L'efficacité du filtrage (nombre d'idées rejetées ÷ (nombre d'idées considérées – nombre désiré d'idées à retenir))

A l'issue du projet, les résultats montrent de bonnes performances des sessions de co-conception sur la plateforme avec une amélioration de la quantité, de la variété, de la qualité et de la nouveauté des idées générées par les individus mais ne montraient pas de différence significative sur les autres critères évoqués (Cascini, 2020). C'est en effectuant ces analyses que nous avons fait le constat que certains gestes et activités cognitives étaient récurrents lors des sessions. Les travaux de thèse de Ben Guefrech (2020) se sont notamment intéressés aux interactions entre les participants d'une session en observant que la technologie SAR améliore l'implication des parties prenantes par la réalisation de gestes autour des artefacts.

Grâce aux travaux engagés dans le projet SPARK et à la thèse de Fatma Ben Guefrech (2020), nous nous sommes longuement intéressés à l'activité de co-conception du point de vue de la performance des sessions mais également du point de vue de la gestuelle effectuée par les designers et les utilisateurs. La revue de la littérature de ces travaux nous a permis d'identifier de nombreuses études sur les activités cognitives de conception et certaines également sur les gestes réalisés mais très peu s'intéressent à la relation entre les gestes et le discours afin d'analyser la co-conception dans toute sa complexité. C'est en cela que nous souhaitons aborder l'analyse de l'activité de co-conception multimodale dans ce travail de recherche et apporter un complément aux travaux réalisés pendant le projet SPARK et pendant la thèse de Fatma Ben Guefrech.

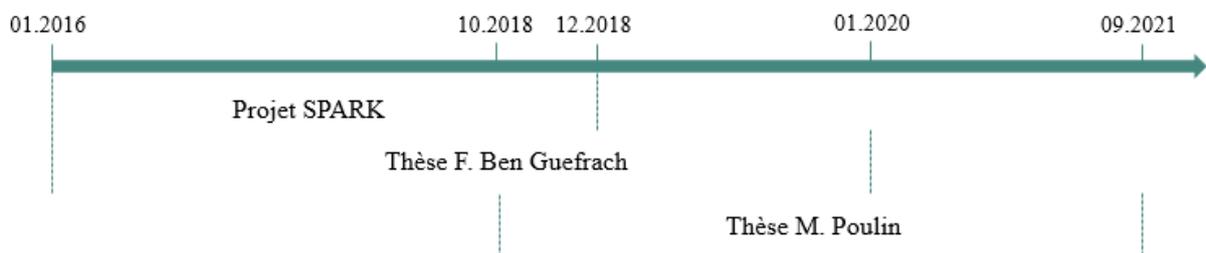


Figure 3: Chronologie des travaux issus du projet SPARK au sein du laboratoire G-SCOP

Nous avons alors observé des sessions de co-conception chez notre partenaire industriel (agence de design) menées avec l'outil de technologie SAR et sans cet outil afin de procéder à une première analyse de l'activité multimodale co-conception. Grâce à ces mêmes sessions de co-conception, nous avons

affiné nos grilles de codage et nous avons réalisé des premières analyses des activités cognitives et des gestes [Partie IV]. A cette étape de la thèse, nous avons une idée plus précise de l'activité de co-conception impliquant des designers et des clients. Cependant, même si nous avons identifié certains gestes comme étant prépondérant et important dans la conception selon la condition expérimentale, il nous est encore difficile de tirer des conclusions au regard du peu de séances observées. C'est pourquoi la dernière partie de cette thèse sera employée à l'élaboration de reproduction de séances de conception en laboratoire avec un nombre plus important de participants (44 au total). Nous procéderons à une analyse statistique de l'effet de la technologie sur les gestes et le protocole verbal ainsi qu'une analyse de corrélation des gestes et des activités entre elles pour mettre en lumière des profils d'interactions systématiquement utilisés. La première phase d'observation nous ayant également servi à affiner nos hypothèses, nous tenterons d'y répondre par ces expérimentations. De plus, nous allons proposer aux participants de remplir un questionnaire d'évaluation de la collaboration et de participer à un entretien d'auto-confrontation dans le but de les faire expliciter sur l'intention des gestes réalisés. Ceci nous permettra de mieux comprendre le rôle des gestes dans les interactions et d'identifier leur importance relativement aux activités de conception [Partie VI].

5. Originalité de la thèse

Du fait de son origine et les fondements utilisés dans la recherche, cette thèse a quelques spécificités.

Premièrement, elle s'appuie sur une technologie de réalité augmentée spatialisée qui a beaucoup moins été étudiée que ces consœurs réalité augmentée et réalité virtuelle. Nous profitons de l'expérience du projet SPARK et de la plateforme installée dans les locaux du laboratoire pour exploiter les potentiels de cette technologie et d'approfondir les connaissances quant à l'usage de la technologie SAR.

Deuxièmement, cette thèse s'inscrit dans une pluridisciplinarité riche :

- Une plateforme de SAR a besoin d'informaticiens pour fonctionner et pour adapter l'interface aux attentes des chercheurs.
- Les chercheurs en génie industriel étudient la co-conception en étant proches du terrain. Des partenaires industriels sont impliqués dans ces travaux pour une analyse de l'activité en pratique.
- L'apport de connaissances en ergonomie et en psychologies cognitives couplées avec les connaissances en conception constitue la plus grande originalité par rapport à des recherches ne faisant pas appel aux sciences sociales.
- Notre dernière originalité est d'étudier l'activité de co-conception dans plusieurs modalités : gestuelle et cognitive. En effet, beaucoup d'études ont déjà été menées sur l'activité de conception ou sur les gestes mais rares sont celles qui traitent des deux modalités simultanément. Notre défi est de pouvoir réaliser cette analyse afin d'apporter de plus amples connaissances à l'activité de co-conception du point de vue multimodale.

6. Apports scientifiques et industriels de la thèse

Notre partenariat avec l'agence de design Stimulo basée à Barcelone (<https://stimulo.com/>) ainsi que l'aide de concepteurs professionnels impliqués dans les expérimentations, nous permet de proposer des résultats sur l'activité de co-conception au plus proche de la réalité du terrain.

De nouveaux résultats sur l'influence de la réalité augmentée spatialisée et sur l'analyse de l'activité cognitive et gestuelle pendant des séances de co-conception constituent les apports fondamentaux de cette thèse.

Tout d'abord, notre recherche s'appuie sur l'identification des gestes et des activités cognitives de conception lors de différentes sessions. L'étude de la relation entre ces deux variables est rare. En cela, nous souhaitons apporter de nouvelles connaissances sur le lien entre les gestes et les activités pendant une session de co-conception. Pour étudier ces variables de manière indépendance ou en corrélation les unes avec les autres, des analyses quantitatives seront réalisées, permettant de répondre à nos interrogations quant à une différence de mobilisation de certains gestes ou activités entre des sessions traditionnelles et des sessions utilisant la technologie SAR. Par la suite, nous avons mené des analyses qualitatives permettant de savoir quelles sont les informations manipulées cognitivement et les intentions à l'origine des actions. Pour cela, nous avons procédé à des entretiens d'auto-confrontation avec les participants.

Notre grille de codage et notre méthodologie sont facilement reproductibles dans d'autres études traitant de la conception d'un produit en réunion. Ainsi, la recherche sur la multimodalité de l'activité de co-conception a encore de belles perspectives en étudiant d'autres étapes du processus (la phase d'exploration ou de communication par exemple) ou en étudiant l'influence d'autres outils d'aide à la conception. De plus, les premières études menées dans le projet SPARK montrent que la réalité augmentée spatialisée constitue une technologie pouvant répondre à certains besoins d'industriels souhaitant apporter de la tangibilité aux phases amont de la conception sans altérer la créativité et les interactions entre les diverses parties prenantes. En effet, la technologie SAR est un soutien aux concepteurs et aux clients quant à la proposition de nouvelles idées. Cet outil permet très facilement et quasi instantanément de partager une représentation à l'ensemble des individus présents. Ceci permet d'éviter la mauvaise compréhension de chacun.

D'un point de vue industriel, les résultats des analyses portées sur la relation des activités cognitives avec l'usage de cette technologie nous indiquerons si cette technologie est utile pour toutes les activités des acteurs (génération, évaluation, justification, décision, etc.) et pour quelle phase du processus de conception celle-ci est la plus adaptée. Nous pourrions répondre à ce dernier point en analysant les types d'arguments qui sont portés sur le produit car un grand nombre d'occurrences présents dans une modalité, par exemple celle sur la fonctionnalité du produit, signifierait que la technologie est

facilitatrice dans la réalisation de cette tâche. Ainsi, il nous sera possible de faire des préconisations d'emploi de cette plateforme pour les entreprises et concepteurs désirant l'utiliser.

7. Structure du document

Afin de faciliter la lecture du document et la compréhension de notre procédure, nous avons structuré notre document en suivant la chronologie de déroulement de la thèse. Ce manuscrit est divisé en quatre grandes parties : l'état-de-l'art, la méthodologie, la première phase d'observation d'études de cas chez notre partenaire industriel et la seconde phase expérimentale en laboratoire. La problématique et les hypothèses de recherche ainsi que la conclusion de ce document n'intègrent pas de partie spécifique mais sont considérées comme des articulations entre les parties de la même manière que la section introductive que vous venez de lire.

Partie I : Etat-de-l'art

Notre état-de-l'art explore la littérature en lien avec la problématique de recherche que nous poursuivons. Celle-ci est centrée sur la caractérisation de l'activité multimodale de co-conception dans un environnement de réalité augmentée spatialisée qui comporte plusieurs dimensions : l'étude de la co-conception ; les processus de conception agiles et la démarche de Design Thinking ; la cognition et les gestes dans la conception ; le rôle de l'artefact dans le processus de conception ; les outils d'aide à la conception et pour finir ; et la présentation de notre background scientifique proche : le projet SPARK.

Partie II : Objectifs, problématique de recherche et hypothèses

L'analyse bibliographique dans les domaines de l'activité multimodale de conception et de l'influence de la technologie SAR sur cette activité nous ont conduit à repérer des manques dans la littérature et à formuler une problématique de recherche pour tenter d'apporter un nouvel éclairage dans ce domaine.

A partir des lacunes scientifiques identifiées, nous avons constaté l'importance de travailler sur la combinaison des gestes et du protocole verbal pour comprendre comment les uns s'articulent avec les autres. Ainsi, en ayant connaissance de la manière dont interagissent les designers et non-designers avec ces différents canaux de communication, il nous serait possible de procéder à une comparaison de situations traditionnelles avec des situations d'usage de la technologie SAR pour en déduire les impacts positifs et négatifs de cet outil.

Nous sommes partis d'une problématique de recherche globale où les hypothèses de recherche se sont affinées avec l'observation de séances de co-conception pendant le projet SPARK. Nous formulons l'hypothèse que la plateforme SPARK facilite les échanges entre les designers et les clients / utilisateurs. D'autre part, nous explorons l'hypothèse selon laquelle la technologie SAR a un impact sur l'activité de co-conception. De plus, nous souhaitons vérifier que la plateforme SPARK améliore les interactions

avec le prototype. Pour finir, nous répondrons à l'hypothèse qui suppose que la plateforme SPARK améliore la productivité des concepteurs.

Partie III : Méthodologie

Dans cette partie, nous détaillerons les choix des méthodes d'analyse que nous avons sélectionnées. Cette thèse étant constituée de deux étapes d'analyses, nous présenterons, dans cette section, les éléments de méthodologie communs aux observations sur le terrain et aux expérimentations en laboratoire. D'une part, pour identifier des gestes et des activités cognitives, il est nécessaire de procéder à une analyse du protocole en élaborant des grilles de classification. Celles-ci se sont construites sur la base des données du projet SPARK mais aussi sur les connaissances extraites de la littérature. Ainsi, nous présenterons en détails tous les éléments qui constituent ces grilles de codage. De plus, l'élaboration de ces grilles de codage a nécessité leur validation scientifique pour s'assurer de leur fiabilité et de leur robustesse. Nous présenterons les résultats des tests de validation exercés sur ces grilles à deux moments de ce travail de thèse. La fin de cette partie *méthodologie* explique notre procédure de codage lorsque nous sommes face à une session de co-conception. Cette étape est régie par des règles établies dans un *coding book* et suit un processus partant de la transcription du protocole verbal à la segmentation du discours pour terminer par un codage de chacune des occurrences (tours de paroles).

Partie IV : Observation de sessions de co-conception chez notre partenaire industriel

La première partie de cette thèse est constituée d'observations de six sessions de co-conception chez notre partenaire industrie. Trois d'entre elles sont des sessions qui se sont déroulées dans des conditions conventionnelles de conception que l'on appellera *standard*. Trois autres se sont déroulées dans des conditions d'utilisation de la plateforme de réalité augmentée spatialisée SPARK. L'objectif de ces observations était d'identifier les activités cognitives employées et les gestes réalisés par les participants afin de répondre aux hypothèses initiales du projet et de repérer quelques associations de gestes et d'activités cognitives récurrentes dans les séances. Nous apporterons à cette observation des résultats statistiques puis, sur la base de quelques étonnements relevés sur le déroulement des sessions, nous formulerons des hypothèses plus précises auxquelles nous pourrions répondre avec un panel de participants plus important dans la phase d'expérimentation en laboratoire.

Partie V : Redéfinition des hypothèses de recherche

L'observation de six sessions de co-conception chez notre partenaire industriel nous a permis de répondre aux quatre hypothèses préliminaires du projet SPARK. Cependant, l'analyse de ces sessions a montré quelques étonnements auxquels nous ne nous attendions pas et dont nous souhaitons apporter d'autres éléments de réponse. Par exemple, nous avons identifié que certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments se manifestent en même temps et de manière quasi systématique.

De plus, nous avons vu que les gestes sont récurrents dans les sessions mais nous ne savons pas précisément quels sont leurs rôles pour les acteurs de la conception. Ainsi, nous avons repris les hypothèses préliminaires et ajouter ces deux thématiques à nos expérimentations en laboratoire. Celles-ci ont pour objectif de recréer une session de co-conception réelle connue pendant les observations sur le terrain en la répliquant un grand nombre de fois afin de minimiser les biais engendrés par la diversité des situations. Ainsi, nous pourrions affirmer ou infirmer nos hypothèses et répondre à notre question de recherche sur la base de résultats fidèles.

Partie VI : Reproduction de sessions de co-conception réelles en laboratoire

Comme expliqué précédemment, nous avons eu plusieurs étonnements en analysant les six premières sessions chez notre partenaire industriel. De plus, seul un faible nombre de sessions ont été observées sur le terrain et cela n'a pas rendu possible l'agrégation de résultats statistiquement généralisables. Par conséquent, nous avons sélectionné une session de co-conception que nous avons connue avec l'agence de design Stimulo et nous l'avons répliqué un grand nombre de fois avec des utilisateurs finaux sélectionnés. Ainsi, grâce à cette expérimentation à plus grande échelle, nous espérons conclure à une caractérisation de l'activité multimodale de co-conception et répondre à notre interrogation portant sur l'impact de la technologie SAR sur cette activité. Pour cela, nous avons réalisé quarante-quatre sessions dont vingt-deux se sont déroulées dans des conditions standards et les vingt-deux autres dans des conditions d'utilisation de la plateforme SPARK. Dans chaque groupe, deux potentiels utilisateurs finaux d'un appareil de géolocalisation pour les sports de montagne étaient présents et ont participé aux deux conditions expérimentales. Au total, nous avons donc vingt-deux groupes et quarante-quatre participants. Ces conditions intra-groupes (c'est-à-dire où les utilisateurs participent aux deux conditions) sont menées pour pouvoir comparer les deux situations. En effet, le changement de participant pourrait induire un biais dû à la personnalité des utilisateurs dont nous voulions nous abstenir. A la suite des deux conditions expérimentales, les participants étaient invités à remplir un questionnaire portant sur l'évaluation de la collaboration puis à passer un entretien d'auto-confrontation concernant l'intention de leurs gestes pendant les sessions de co-conception.

Toutes les données filmées et recueillies ont fait l'objet d'analyses quantitatives ou qualitatives dont nous avons extrait les résultats.

Discussion générale des résultats et conclusion

La discussion générale de cette thèse visera à répondre à la question de recherche en reprenant les résultats issus des deux phases successives de ce travail. Dans un premier temps, nous aborderons nos résultats avec un regard critique et argumenterons au regard d'autres travaux réalisés dans le passé afin d'étayer nos résultats. Dans un deuxième temps, nous reviendrons sur notre démarche expérimentale en apportant des explications vis-à-vis de nos choix puis nous aborderons les avantages et les inconvénients

de nos choix méthodologiques. Pour finir, nous proposerons des perspectives du côté académique et du côté industriel en apportant quelques recommandations d'usage de cette technologie pendant les séances de co-conception de produits.

Annexes

Les annexes de ce travail de recherche se composent de plusieurs parties :

- Annexe 1 : Formulaire de consentement à participer aux observations au sein du projet SPARK.
- Annexe 2 : Présentation des outils statistiques. Afin de synthétiser les explications d'emploi des tests statistiques selon leur contexte, nous avons créé l'annexe 2 résumant la manière dont s'utilisent les différents tests et comment se réalise l'interprétation des résultats.
- Annexe 3 : Formulaire de consentement à participer aux expérimentations en laboratoire.
- Annexe 4 : Résultats de la partie IV. Lors des analyses des différentes sessions, nous avons recueillis beaucoup de résultats faisant l'objet de nombreux tests statistiques représentés par des tableaux et des graphiques. Ces résultats étant en nombre conséquent, nous mettons à votre disposition les tableaux et les explications ne figurant pas dans la partie IV dans cette annexe. Ceci apportera au document plus de lisibilité en synthétisant les informations utiles que nous avons pu extraire de ces données.
- Annexe 5 : Questionnaire de la designer et des utilisateurs



Figure 4: Structure du document

Partie I : Etat-de-l'art : L'activité de co-conception assistée par la Réalité Augmentée Spatialisée

Sommaire

1. L'étude de la conception collaborative.....	28
1.1. La conception collaborative.....	28
1.2. Les processus de conception.....	30
1.2.1 Les différents modèles du processus de conception.....	30
1.2.2 Le Design Thinking.....	35
1.2.3 Les méthodes Agiles.....	36
2. L'activité de conception.....	37
2.1. De la cognition... ..	38
2.1.1. Les activités cognitives mobilisées dans les réunions de co-conception.....	38
2.1.2. La synchronisation cognitive.....	41
2.1.3. Les neurosciences cognitives.....	43
2.2. ... Aux gestes.....	45
3. L'étude des interactions en conception.....	47
3.1. L'impact de la nature de la représentation externe.....	47
3.2. Les objets intermédiaires.....	50
4. Les outils d'aide à la conception.....	51
4.1. Présentation générale des outils d'aide à la conception.....	51
4.2. La Réalité Augmentée Spatialisée.....	52
5. Le projet SPARK.....	54
5.1. Contexte et objectifs du projet SPARK.....	54
5.2. Vers une amélioration de la collaboration et de la créativité.....	57
5.3. Stimulo : notre agence de design partenaire.....	58
5.3.1. Présentation de Stimulo.....	59
5.3.2. Stratégie de l'agence.....	59
5.3.3. Modèle de processus de conception adopté par l'agence.....	60
6. Synthèse de l'état-de-l'art.....	62

1. L'étude de la conception collaborative

Dans ce chapitre ainsi que dans l'intégralité des chapitres traitant de l'état-de-l'art, nous avons menés une recherche approfondie des différentes études menées dans le domaine de la conception. Une revue de la littérature est une étape nécessaire dans la structuration d'un domaine de recherche et fait partie intégrante de toute recherche menée (Easterby-Smith et al., 2002) ; elle aide à identifier le contenu conceptuel du domaine (Meredith, 1993) et guide le développement de la théorie. Les différents concepts, modèles et méthodes passés en revue dans les prochaines sections fournissent et donnent un aperçu des connaissances les plus pertinentes et nous permettent d'identifier les études clés pour nos propres travaux.

1.1. La conception collaborative

Selon Simon (1995), la conception collaborative est une activité collective de résolution de problèmes intégrée, à la fois sociale, technique et organisationnelle, faisant intervenir un ensemble d'acteurs aux domaines de compétence divers et mobilisant des outils dans le but de réaliser une tâche prédéfinie (Darses, 2002 ; Visser, 2003).

Suivant cette définition de l'activité de conception collaborative aussi appelée **co-conception**, étudier la conception en tant que tâche revient à se focaliser sur des problèmes "mal définis" (Newell & Simon, 1972 ; Greeno, 1978 ; Cross, 1986 ; Goel & Pirolli, 1989) où :

- Les problèmes sont vastes et complexes. Par conséquent, les problèmes sont liés à de nombreuses variables externes qui sont difficiles à scinder.
- La résolution de ces problèmes nécessite la mise en commun de compétences multiples nécessitant le développement de collaborations au sein d'un groupe.
- Une grande liberté subsiste au début du processus de conception.
- Plusieurs solutions à un problème sont acceptables : il n'y a pas une seule "bonne" solution.
- Les étapes d'analyse et de résolution du problème sont imbriquées. Ainsi, le problème formalisé n'existe pas complètement avant la solution, les deux sont en interaction.
- La tâche de conception n'est pas prédéfinie. Il est nécessaire de combiner, de réinventer des stratégies pour développer une solution tout en s'appuyant sur des projets similaires et des prototypes déjà existants.
- L'évaluation des solutions est difficile en raison du manque de réalisme des représentations graphiques et/ou des modèles, et en raison de critères non clairement définis et parfois contradictoires. La remise en question des solutions finales peut être sans fin avec la possibilité de proposer constamment des idées alternatives. Elle peut aussi s'avérer coûteuse, c'est pourquoi nous les considérons souvent comme satisfaisantes et non-optimales.

Les modes de pilotage du processus de conception ont évolué vers une organisation en mode projet. Par conséquent, de nombreux acteurs auparavant non impliqués le deviennent (marketing, logisticiens, utilisateurs finaux, etc.), ce qui modifie considérablement la dimension sociocognitive des activités de conception par une transformation des interactions entre les pairs. C'est pourquoi les théoriciens des domaines des sciences de l'ingénieur et de l'ergonomie cherchent à comprendre et à intégrer cette dimension humaine à la conception. En effet, cela implique une prise en compte des processus cognitifs et sociaux en incluant les caractéristiques individuelles et collectives aux interactions. Blessing (1993) parlait déjà de cette complexité en considérant l'implication d'acteurs, d'artefacts, d'outils et d'entités industrielles. Par la suite, Brassac (2003) a souligné l'importance de l'activité psychique dans la conception en insistant sur le besoin de s'interroger sur les mécanismes mentaux mis en jeu par les acteurs. D'autres auteurs comme Brassac après lui se sont aussi mobilisés pour répondre à cette large question (Visser, 2006 ; Huysentruyt, 2012).

Du point de vue des sciences de l'ingénieur, la co-conception étudie la nature des problèmes de conception auxquels les différents acteurs sont confrontés. Pendant une séance de co-conception, les individus doivent résoudre des tâches correspondant à des sous-problèmes (Détienne, 2005). Chaque sous-problème contient des contraintes énoncées par le client (externes) et des contraintes exprimées par les concepteurs eux-mêmes (internes) qui ont été transmises pour répondre aux exigences techniques de l'entreprise (Cassier, 2010). Associées à toutes ces contraintes, nous retrouvons des différences interindividuelles induites par différentes disciplines et compétences développées par les concepteurs. La conception se voit être alors un processus de négociation entre les disciplines et entre les individus (Bucciarelli, 1988). Les solutions générées ne sont donc pas uniquement basées sur des critères purement techniques de résolution de problèmes. Elles résultent également de compromis entre les concepteurs.

Loin de s'opposer au point de vue des sciences de l'ingénieur, l'ergonomie cognitive, quant à elle, étudie la conception afin "*d'identifier un ensemble de caractéristiques formelles de certaines situations professionnelles : des caractéristiques de la tâche, que l'on connaît en général assez bien, et des caractéristiques de l'espace-problème et du raisonnement qui sont en revanche souvent moins bien identifiés*" (Darses et Falzon, 1996). L'analyse des compétences intellectuelles que les concepteurs mettent en place pour résoudre les problèmes auxquels ils font face est alors primordiale. Ainsi, la discipline de l'ergonomie cognitive s'intéresse aux fonctions cognitives mobilisées pour réaliser une tâche et se focalise sur les situations qui posent problème en les évaluant et en proposant des outils pour faire évoluer les compétences et l'organisation du travail. Les champs d'intervention de l'ergonomie cognitive sont variés tant la prise en compte du facteur humain peut s'avérer cruciale dans la conception de systèmes surtout lorsqu'ils sont à risque. Les situations de gestion de crises peuvent mener à des catastrophes si l'activité cognitive des opérateurs n'a pas été considérée en amont. Dans cette prise de conscience de l'importance du raisonnement humain, les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) sont un secteur qui intègre de plus en plus ces aspects dans le

but de créer des environnements de travail facilitant ; des objets ; ou encore des interfaces informatiques intuitives et faciles d'utilisation. Nous appelons ce champ disciplinaire "la conception centrée utilisateur".

En résumé, la co-conception est une activité de résolution de problèmes au sein d'un groupe dont les individus ont des profils variés et où les solutions de conception sont ouvertes. Cette activité intègre les caractéristiques techniques des systèmes mais aussi les caractéristiques humaines des concepteurs et des utilisateurs pour une conception qui tend vers une solution optimale. Tout ceci constitue un processus qui s'inscrit dans le temps et qui s'appuie sur des méthodes, outils et modèles que nous allons vous présenter dans le paragraphe suivant.

1.2. Les processus de conception

A la différence d'une procédure (manière de procéder), un processus est une succession d'événements organisés dans le temps en vue d'un résultat particulier. Appliquée à la conception, cette définition serait donc "*une succession d'activités organisées dans le temps dont l'objectif est de créer un système ou un produit*".

De nombreux travaux ont voulu modéliser le processus de conception d'un produit en énumérant plusieurs phases par lesquelles passent les concepteurs. La sous-section suivante présentera les plus pertinents. Ainsi, nous pourrions inscrire notre étude dans une étape spécifique du processus en parallèle de modèles existants.

1.2.1. Les différents modèles du processus de conception

Nombreux sont les modèles du processus de conception disponibles dans la littérature (Wynn & Clarkson, 2018). Pour cause, la diversité des champs d'applications de ces modèles est très vaste. Les activités des entreprises et leurs stratégies sont aussi nombreuses qu'il y a de projets. En effet, selon Eckert et Clarkson (2010), "*un processus de conception doit être adapté au produit en cours de développement, à la compétence de l'équipe de conception et aux aspirations des utilisateurs*". Par conséquent, chaque entreprise peut utiliser des modèles de processus de conception différents dans le but de garantir le développement du produit dans le respect du budget et des délais (Clarkson & Eckert, 2010) tout en améliorant l'efficacité du processus.

Il existe deux sortes de modèles : les modèles descriptifs et les modèles prescriptifs. Les modèles descriptifs décrivent les phénomènes rencontrés pendant la conception "tels qu'ils sont" tandis que les modèles prescriptifs prescrivent certains aspects des phénomènes de conception "tels qu'ils devraient être" (Chakrabarti & Blessing, 2015).

Un des modèles descriptifs les plus simples relatés dans la littérature est celui de Cross (2000). Ce modèle est constitué de quatre phases : l'exploration, la génération, l'évaluation et la communication. Selon ce modèle, les trois premières phases décrites ne sont pas forcément séquentielles et il peut arriver

qu'il y ait des alternances entre ces différentes étapes. En effet, la conception d'un produit sur le terrain n'est pas un processus qui est composé d'une succession d'étapes mais celui-ci adopte plutôt une forme d'alternance entre les phases où celles-ci sont conjointes (Van der Lugt, 2001).

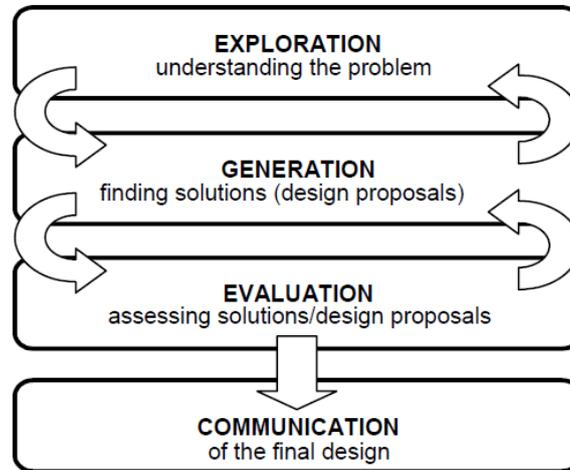


Figure 5: Modèle de base en quatre étapes du processus de conception (Cross, 2000)

Un exemple de modèle prescriptif fondateur est celui de Pahl et Beitz (1984) dont les étapes détaillées sont la clarification de la tâche, la conceptualisation, la réalisation et la conception détaillée.

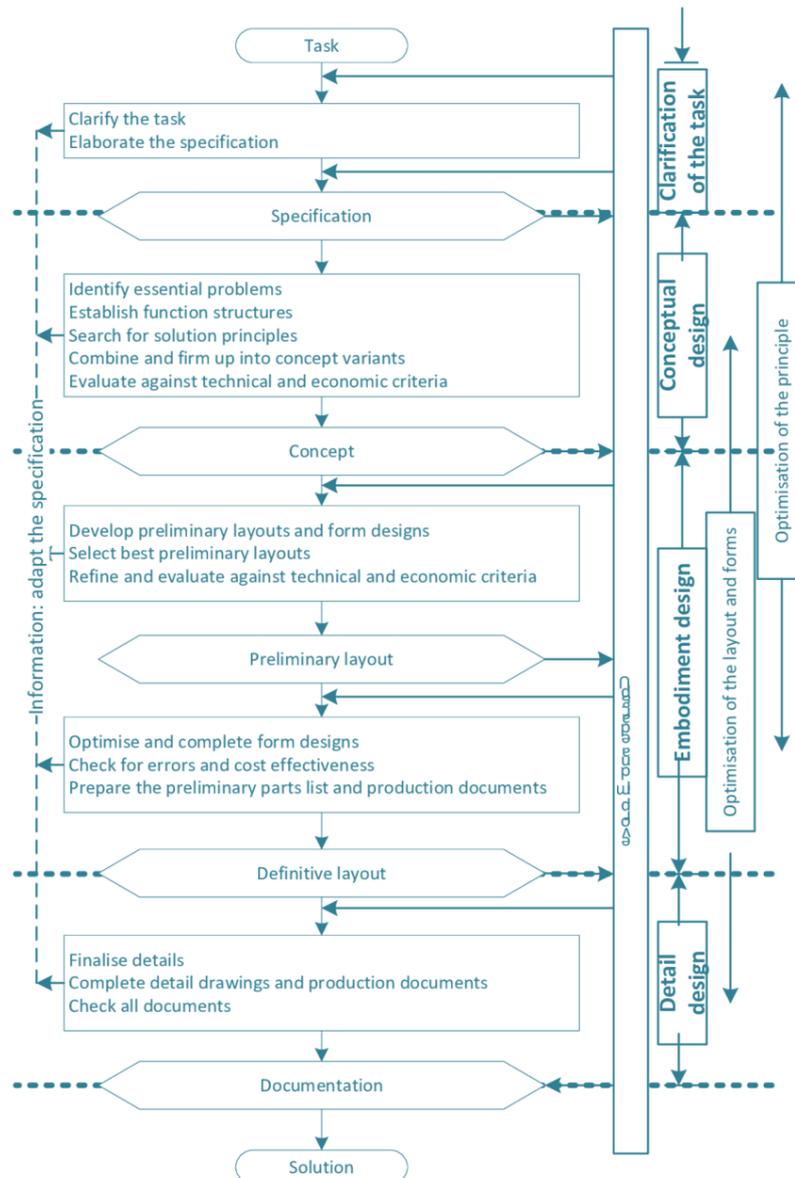


Figure 6: Modèle prescriptif du processus de conception selon Pahl & Beitz (1984)

L'intérêt de la recherche pour la modélisation du processus de conception a abouti à de nombreuses études. Afin de synthétiser les connaissances dans ce domaine, des revues de la littérature telles que celle de Howard et al., (2008) et Gericke & Blessing (2012) nous donnent une représentation plus globale des modèles existants et des phases de conception qui les constituent.

Howard et al., (2008) ont analysés 23 modèles principalement issus de l'ingénierie mécanique. Grâce à l'analyse de ces modèles générés entre 1967 et 2006, ils ont réussi à identifier les grandes phases que composent le processus de conception :

- L'analyse du besoin (*establishing a need*)
- La planification des tâches (*analysis of task*)
- La conceptualisation (*conceptual design*)
- La définition de l'architecture du produit (*embodiment design*)

- La conception détaillée (*detailed design*)
- L'implémentation (*implementation*)

Certaines de ces étapes sont communes au modèle prescriptif de Pahl & Beitz (1984) et semblent faire consensus dans la communauté de chercheurs du XXème siècle.

Par la suite, Gericke & Blessing (2012) ont également procédé à une revue de la littérature où ils ont recueilli 64 articles où quatre étapes du processus de conception se trouvait déjà dans la revue de Howard et al., (2008). D'après cet ensemble de près de 90 articles ayant développé des modèles du processus de conception, nous pouvons affirmer que les étapes de *planification des tâches*, de *conceptualisation*, de *définition de l'architecture du produit* et de *la conception détaillée* sont communes à l'activité de conception quel que soit le domaine. Une représentation de toutes ces étapes associées aux différentes disciplines est disponible dans la figure 7. Vous pourrez constater que Gericke et Blessing (2012) ont énoncé quatre autres phases du processus autres que celles présentées précédemment. L'étape de *l'analyse du besoin* est soulignée dans les modèles de conception de services, de logiciels ou de systèmes alors que dans d'autres domaines les besoins de l'utilisateur ne sont pas décrits comme une partie intégrante. D'autres étapes telles que *l'implémentation*, *l'usage* et la *phase de clôture* sont intégrés dans certains modèles mais ne font pas l'unanimité. Ceci s'explique par la discipline à l'origine de ces modèles. Les domaines axés sur la conception accordent beaucoup d'importance aux étapes d'incarnation (*embodiment design*) et de conception détaillée (*detailed design*). Au contraire, les disciplines centrées sur l'utilisateur se focalisent davantage sur l'étape d'établissement du besoin (*establishing a need*) (Gericke & Maier, 2011). Pour finir, les disciplines centrées sur le projet se concentrent sur l'ensemble des huit étapes illustrées dans la figure 7.

Discipline	Establishing a need	Analysis of task	Conceptual design	Embodiment design	Detailed design	Implementation	Use	Closeout
mechanical engineering (n=31)								
industrial design (n=1)								
systems engineering (n=5)								
building design/architecture (n=5)								
software design (n=7)								
service design (n=7)								
mechatronics (n=3)								
PSS (n=3)								
transdisciplinary approach (n=1)								

Figure 7: Comparaison des modèles du processus de conception (Gericke & Blessing, 2012)

Au regard des nombreux modèles énoncés précédemment, nous nous rendons compte que l'élaboration d'un modèle du processus de conception est complexe, non linéaire et dépend de la discipline et du contexte dans lequel se déroule le processus.

En industrie, un modèle très populaire né dans les années 2000 illustre parfaitement les étapes allant de la définition du problème à la solution où les individus peuvent adopter des points de vue convergents et divergents faisant évoluer le processus. Ce modèle appelé le modèle en Double Diamant est constitué de quatre étapes (Découvrir ; Définir ; Développer ; Délivrer) qui fonctionnent comme une carte que les designers peuvent utiliser pour organiser leurs pensées afin d'améliorer le processus de créativité. Il est important de garder à l'esprit que ce modèle non plus, n'est, en aucun cas, linéaire. Les designers sont encouragés à faire des allers-retours entre ces étapes afin de bien comprendre la nature du problème et la façon dont ils peuvent le résoudre ou améliorer une solution existante. Une représentation de ce modèle est disponible ci-dessous (Figure 8).

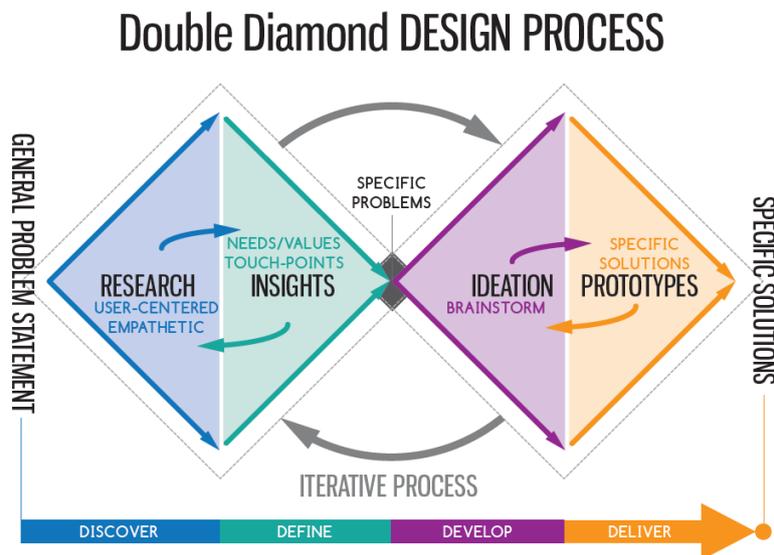


Figure 8: Modèle en Double Diamant par The Design Council

Grâce à l'exposition de tous ces modèles, nous allons pouvoir situer notre travail dans l'une des étapes de conception faisant sens dans la littérature. Notre étude se situe dans une phase de finition du produit où les designers et les utilisateurs définissent ensemble les matériaux, les couleurs et les finitions à apporter aux produits. Ainsi, cela correspondrait à phase de conception détaillée dite de *detailed design* qui consiste à intégrer des sous-solutions et à affiner et finaliser la solution. Dans le modèle de Cross (2000) cela correspondrait à l'étape d'évaluation où les concepteurs font des allers-retours vers l'étape de génération afin de préciser les finitions du produit. En industrie, cette étape est liée à la phase de revue de la conception où l'on évalue et propose des idées alternatives avant prototypage.

1.2.2. Le Design Thinking

Le Design Thinking est à la fois une méthode managériale et un processus de conception centré sur la cognition des concepteurs. En effet, cette méthode, en totale complémentarité des méthodes agiles présentées dans le paragraphe suivant, est fondée sur l'observation empathique et sur des compétences techniques (le prototypage).

Le premier à avoir parlé de Design Thinking est Herbert Simon en 1978 dans son livre "The sciences of the Artificial". Ensuite, le Design Thinking a été développé à Stanford avec Peter Rowe et Mc Kim dans leurs enseignements des aspects visuels et de la pensée créative. Mais c'est surtout l'agence de design IDEO, américaine, qui a popularisé ce terme, *Design Thinking* et qui a permis à Stanford de créer la première école de Design Thinking au monde : le Hasso Plattner Institute (HPI).

Bernard Roth, contributeur de la création de l'école, revient sur cinq principes fondateurs du Design Thinking :

- **Comprendre avec empathie** : le Design Thinking met toujours l'humain au centre en intégrant la perception des équipes professionnelles tout en étudiant la faisabilité du produit du point de vue des usages et des objectifs du client.
- **Définir** : Analyser l'ensemble des critères et des données recueillies afin de définir le problème à résoudre.
- **Créer / Conceptualiser** : La créativité est un des mots-clés du Design Thinking. C'est une étape où la génération d'idées est ouverte en incitant les designers et les non-designers à imaginer des solutions créatives.
- **Prototyper** : Concrétisation des idées générées avec ce qu'on appelle un POC, *proof of concept*, c'est-à-dire un prototype. L'objectif est de mettre en réalisation en créant une maquette du produit pour matérialiser concrètement ce qui est proposé. L'important est de ne pas mettre un gros investissement financier dans cette étape.
- **Tester** : Le prototype est testé au sein de l'équipe ou auprès d'un échantillon de la population afin de voir si le produit remplit les critères d'exigence des utilisateurs. Il est possible d'apporter des modifications au produit à la suite de ces tests.

Cette méthode autour des cinq étapes qui sont décrites ici est fondamentale pour comprendre l'esprit et la façon de faire du Design Thinking.

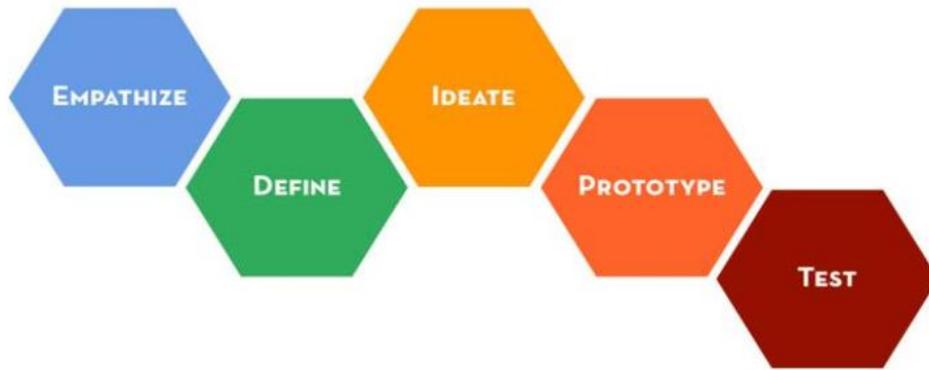


Figure 9: Le processus de Design Thinking (Plattner, 2010)

Quelques chercheurs en conception se sont aussi intéressés à ce processus en proposant quelques définitions. Tout d'abord, Visser (2006) a défini le Design Thinking comme un processus de "*stratégies créatives que les concepteurs utilisent pendant le processus de conception*" puis Dorst (2012) comme "*un processus d'exploration et de stratégies créatives*".

En somme, le Design Thinking est une méthode spécifique pour résoudre des problèmes de conception et de gestion de projet et pour générer des solutions innovantes, sur la base d'une approche centrée utilisateur avec des équipes pluridisciplinaires (Thoring & Müller, 2011).

Nous venons de vous présenter ce qu'est le Design Thinking car, dans notre étude, nous nous intéressons à la participation des clients et des utilisateurs dans les phases de conception. Ce processus n'étant pas linéaire, nécessitant des phases de créativité et impliquant plusieurs acteurs de la conception, nous nous inscrivons tout à fait dans ce contexte.

1.2.3. Les méthodes agiles

Le terme *Agile* définit une approche de gestion de projet introduite par Barry W. Boehm en 1986 et est en opposition avec des méthodes traditionnelles dites *en cascade*. En effet, les méthodes traditionnelles laissent peu de place au changement et définissent un objectif en tout début de projet tandis que les méthodes agiles définissent plusieurs objectifs atteignables et découpés dans le temps afin d'obtenir de manière plus sûre un résultat (Collignon & Schöpfel, 2016). Bien plus que des méthodes, l'agilité représente un état d'esprit, une philosophie, une culture soutenue par de nouvelles pratiques managériales plus souples.

Plusieurs méthodes agiles existent à ce jour dont Scrum (Schwaber, 2009), Lean et eXtreme Programming sont les plus connues.

L'ensemble des méthodes agiles reposent sur douze principes fondamentaux issus du "Manifeste Agile" (<http://agilemanifesto.org/>) qui sont les suivants :

1. La priorité est de satisfaire le client
2. Accueillir favorablement les demandes de changement, même à un stade avancé du développement. Les processus agiles permettent d'exploiter le changement au profit de l'avantage concurrentiel du client
3. Livrer fréquemment des versions opérationnelles du projet
4. Assurer une collaboration entre le client et l'équipe projet quotidiennement tout au long du projet
5. Construire des projets autour de personnes motivées en leur fournissant l'environnement et le soutien dont ils ont besoin
6. Privilégier la transmission d'informations en face à face
7. Un logiciel fonctionnel est la principale mesure du progrès
8. Faire avancer le projet de manière constante et soutenable dans le temps
9. Une attention continue à l'excellence technique et à la conception renforce l'agilité
10. Aller au plus simple
11. Responsabilité les équipes
12. A intervalles réguliers, réfléchir à la manière de devenir plus efficace par rapport à ses processus et comportements

Tableau 1: Les douze principes fondamentaux des méthodes agiles (Bricogne-Cuignières, 2015)

Les principes énoncés précédemment sont à la base de la gestion de projet où la flexibilité et la collaboration sont les maîtres-mots. Les exigences fixes ne sont pas clairement définies (Wysocki, 2011) car, dans un projet, il est rare que tout se passe comme prévu. Diverses perturbations et contraintes peuvent survenir et vous obliger à replanifier vos objectifs à court, moyen et long terme. C'est pourquoi ces méthodes laissent la place aux imprévus, aux changements et à l'évolution des besoins en ayant pour principal objectif de satisfaire le client.

Le processus de co-conception se rapproche des méthodes agiles en s'accordant avec nombreux principes énoncés ci-dessus. L'ergonomie aussi s'associe aux méthodes agiles (Chamberlain, 2006 ; Sy, 2007) en adoptant une démarche centrée utilisateurs où la place du contexte d'utilisation et des besoins du client sont importants.

Ainsi, nous avons jugé pertinent de vous présenter ces méthodes dans notre état-de-l'art au regard des outils de conception et de la discipline de l'ergonomie utilisant certains de ces principes et étant compatibles avec ces approches.

2. L'activité de conception

Du point de vue de l'ergonomie, l'activité est la mobilisation de l'ensemble des facultés humaines pour réaliser une tâche. Simon (1969/1996) par exemple, définit la conception comme une activité cognitive

et intellectuelle par laquelle sont réalisées des actions qui modifient une solution existante en une solution préférée. Pour Visser (2009), l'activité de conception est une activité de construction des représentations passant d'une représentation mentale abstraite à une représentation physique concrète.

Le premier paragraphe de cet état-de-l'art vous a présenté ce qu'est la conception d'un point de vue temporel, c'est-à-dire organisé dans un processus. Dans cette section, nous allons nous intéresser aux opérations mentales et gestuelles aboutissant au résultat d'une solution de conception. Pour cela, nous commencerons par aborder les aspects cognitifs de la conception puis continuerons avec l'étude des gestes dans les interactions entre les acteurs de la conception.

2.1. De la cognition...

2.1.1. Les activités cognitives mobilisées dans les réunions de co-conception

En psychologie cognitive, nous parlons de processus cognitifs pour désigner la perception, l'attention, l'inhibition, la planification, la flexibilité mentale, la mémoire, la représentation, le langage, la résolution de problèmes, le raisonnement, la catégorisation, la prise de décisions, les apprentissages mais aussi les émotions. Toutes ces fonctions cognitives dites de "haut niveau", permettent aux individus de s'adapter à chaque situation en prenant en compte toutes les informations au regard des connaissances dont ils disposent antérieurement afin de réguler leur discours et de s'ajuster à la dynamique de groupe.

La conception est une activité qui implique, de la part des designers, beaucoup de capacité de réflexion. En effet, Détienne (2002) indiquait que les processus mentaux impliqués dans l'activité de conception peuvent être envisagés comme appartenant à une tâche cognitive complexe. En adoptant une approche cognitive de la conception, Pahl et Beltz (1984) ont mené une étude visant à développer des modèles théoriques sur les processus internes d'un individu, afin de comprendre les processus cognitifs qui soutiennent la réalisation d'une tâche en spécifiant les différentes étapes du traitement de l'information. Huysentruyt et al., (2012) relatent, dans leur étude, les principaux processus cognitifs développés au cours d'une activité de conception au regard de la littérature :

- L'exploration et la manipulation des connaissances et la construction de représentations mentales (Visser, 2006 ; Meunier, 2009).

- Deux mémoires semblent être utilisées : la mémoire de travail, autrement appelée la mémoire à court terme (définie par Baddeley en 1990) qui permet le maintien de l'information temporairement en mémoire afin de la manipulation et la mémoire sémantique impliquée dans la mémoire à long terme (Tulving, 1995) qui stocke toute nos connaissances et que l'on va récupérer à différents moments.

- La métacognition introduite par Flavell (1979) est la connaissance de sa propre connaissance et de celle des autres, c'est-à-dire "savoir que l'on sait." La métacognition a un impact sur la planification (Dunlosky & Metcalfe, 2009 ; Tarricone 2011) et sur notre capacité à acquérir de nouvelles connaissances (Nguyen-Xuan, 1990 ; Rozencwajg, 2003).

D'autres études se sont intéressées à l'activité de collaboration pendant les réunions. D'Astous et al., (2004) ont notamment identifié différentes activités cognitives récurrentes dans ces études. Premièrement, l'élaboration de solutions ou de solutions alternatives est une activité fréquente dans le domaine de la conception. Deuxièmement, nous retrouvons l'évaluation des solutions sur la base des critères définis par le cahier des charges. Troisièmement, la notion de synchronisation cognitive est introduite (Darses et al., 1996). Celle-ci se réfère à une activité de clarification où les individus construisent une représentation partagée de l'état actuel de la solution. Pour finir, les auteurs ont identifié les activités relatives à la gestion des conflits et la négociation.

Compte-tenu des nombreuses études portant sur la compréhension des fonctions cognitives mobilisées par les concepteurs en réunion, des procédés de codage (*coding scheme*) ont été développés afin de catégoriser les activités cognitives décrivant la nature générale des discussions autour des solutions de conception. Olson et al., (1992, 1996) ont par exemple, développé une classification des activités de conception comptant vingt-deux catégories. Les auteurs ont développé ces catégories dans l'objectif d'analyser les interactions entre plusieurs individus d'un groupe de concepteurs. Grâce à leur codage du discours, les résultats montrent que beaucoup de temps est alloué à la clarification. Herbsleb et al. (1995) ont aussi développé un procédé de codage similaire à celui d'Olson et al., et l'ont utilisé pour comparer des réunions de conception. Par la suite, Darses et al. (2001) ont développé une méthode d'analyse du protocole verbal pour étudier les processus argumentatifs des concepteurs. Cette méthode nommée COMET a été créée dans l'objectif d'identifier les actions et les arguments des concepteurs dans des situations réelles. Pour cela, les auteurs ont enregistré sur le terrain une séance de conception qu'ils ont transcrite en respectant les tours de parole des participants. Le procédé de codage de cette étude est sous la forme Type / Action / Objet, représenté dans le tableau ci-dessous.

Modulation (MOD)	Predicate (ACT)	Argument (OBJ)
Assertion Assertions are not coded as such: implicitly, a unit is assertive.	Generate (GEN) Proposing a new element into the dialogue (a solution, a goal, an inferred data, etc.)	Problem data (DAT)
Request (REQ)	Evaluate (EVAL) Judging the value of a subject. This evaluation can either be negative, positive or neutral.	Solution elements (SOL)
	Inform (INFO) Handing out new knowledge with respect to the nature of a subject	Domain objects (OBJ)
	Interprete (INT) Expressing a personal representation of a subject. This representation is made through the use of expressions such as "I believe that...", "I think ..." or "...maybe...".	Goal (GOAL)
		Domain rule or procedure (PROC)
		Task (TASK)

Tableau 2: Catégories de modes, actions et arguments définis dans la méthode COMET (Darses et al., 2001)

A la suite de ces travaux, D'Astous et al., (2004) ont eux aussi créé leur propre *coding scheme* sur la base des études citées précédemment. Ces auteurs ont implémenté au procédé de codage Type / Action / Objet un attribut associé au sujet traité dans le discours. Les éléments constitutifs de la classification de ces auteurs sont les suivants :

Activities	Manage (project or meeting) (MAN) Introduce or read part of the document to be reviewed (INTRO) Develop (DEV) Evaluate (EVAL) Formulate a hypothesis (concerning the "what?", "how?" or "why?") (HYP) Inform ("what?" or "how?") (INFO) Justify ("why?") (JUS) Accept (ACC) Reject (REJ)
Subjects	Solution (implemented in part of the document to be reviewed) (SOLx) Project or meeting (exclusively subject of MAN) (PROJ and MEET) Result of a previous activity (coded by the activity and the sequence ID)
Attributes	Form criterion (CRIT.F) Content criterion (CRIT.C)

Tableau 3: Classification des activités, sujets et attributs de D'Astous et al. (2004)

ACTIVITY	ABREV.	DEFINITION
Management	MAN	Coordinating and planning the different tasks at the project or meeting level.
Introduction	INTRO	Introducing a new subject into the discussion.
Development	DEV	Presenting a new idea in detail.
Evaluation	EVAL	Judging the value of a subject. An evaluation is negative, positive or neutral.
Hypothesis	HYP	Expressing a personal representation of a subject, using phrases such as "I believe that...", "I think ..." or "Maybe...".
Information	INFO	Handing out new knowledge with respect to the nature of a subject.
Justification	JUSTIF	Arguing or explaining the rationale of a choice.
Acceptance	ACC	Considering a subject as being valid.
Rejection	REJ	Discarding a subject as being invalid.

Tableau 4: Définition des activités du coding scheme de D'Astous et al. (2004)

Au regard de ces deux classifications différentes, nous voyons que D'Astous et al. (2004) ont implémentés des activités non-existantes dans celle de Darses et al. (2001). Par exemple, ils ajoutent

l'activité de gestion de projet (MAN), d'introduction d'un sujet (INTRO) étant différencié de la génération (GEN), la formulation d'hypothèses (HYP), la justification (JUST) et les activités décisionnelles (ACC et REJ).

Nous verrons dans la suite de ce travail de recherche, notamment dans la méthodologie, que ces classifications sont à l'origine de celles développées dans notre propre étude. En effet, afin de caractériser l'activité multimodale de co-conception et de procéder à des analyses qualitatives et quantitatives, nous avons besoin de grilles de codage nous permettant de catégoriser les activités cognitives de conception générées par les acteurs mais aussi les gestes que ceux-ci réalisent pendant les réunions.

Nous avons fourni, dans cette section, une vue d'ensemble sur les études traitant de la compréhension des processus mentaux mobilisés dans une activité aussi complexe que la conception. L'aboutissement d'une décision nécessitant la compréhension totale des concepteurs entre eux et un partage des représentations du problème commun, nous allons aborder dans la prochaine section la notion de synchronisation cognitive qui est centrale dans l'étude du processus de conception.

2.1.2. *La synchronisation cognitive*

Lors d'une séance de co-conception, tous les acteurs (designers, clients et utilisateurs finaux) partagent un but commun qui est de développer conjointement une solution. Pour cela, tous contribuent à la faire évoluer (Darses, 1997). De plus, des approches telles que la "conception centrée utilisateur" et la "co-création" ont transformé le rôle de l'utilisateur final, qui est passé de "sujet" du processus de conception à "partenaire" du processus de conception (O'Hare, 2018). Cela a des conséquences sur la communication car les arguments, la construction de l'idée et l'intégration des points de vue diffèrent selon l'expertise des acteurs. Pourtant, une bonne compréhension entre les pairs afin de construire un espace d'intersubjectivité est essentiel pour établir des accords et remplir les objectifs visés. Pour co-construire ce référentiel commun, les mécanismes cognitifs de **synchronisation cognitive** prédominent (Darses & Falzon, 1996).

Selon Amalberti et al. (1992), la synchronisation cognitive est "*l'ensemble des processus cognitifs qui concourent à faire converger les concepteurs vers une solution acceptée par tous, à partir de connaissances du domaine (comme les contraintes, critères, solutions connues, procédures, etc.) et de connaissances sur la résolution du problème (buts, stratégies, heuristiques, etc.)*." Faire converger les partenaires repose sur deux objectifs selon Darses et al. (1996) :

- S'assurer que chacun a connaissance des faits relatifs à l'état de la situation : données du problème, état de la solution, hypothèses adoptées, etc.
- S'assurer que chacun partage un même savoir général quant au domaine : règles techniques, objets du domaine et leurs propriétés, procédures de résolution, etc.

Ainsi, lorsque des solutions sont proposées et évaluées, des débats constructifs autour d'argumentations et de justifications par les contraintes enrichissent l'évolution de la solution. De plus, les activités de synchronisation cognitives varient selon les groupes d'acteurs. En effet, l'hétérogénéité des concepteurs en fonction de leurs domaines, leurs connaissances et leurs cultures vont compliquer l'instauration d'un référentiel commun.

Cette idée de référentiel commun a été reprise par Darses en 2009 où ce concept constitue l'une des trois activités de synchronisation cognitive :

- L'établissement d'un référentiel commun
- L'intégration des points de vue
- La prise de décision collective

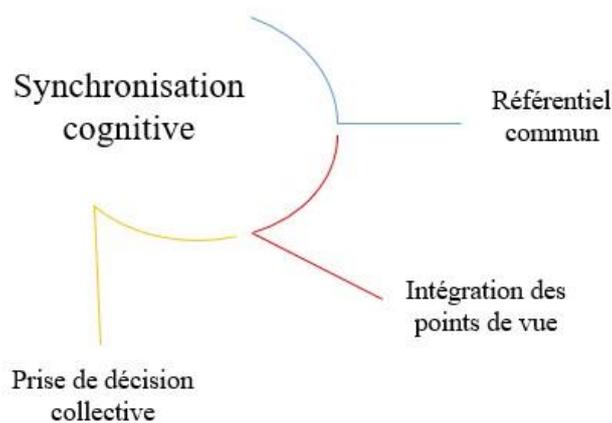


Figure 10: Représentation des activités constitutives de la synchronisation cognitive

Il est communément admis que le référentiel commun se compose de représentations mentales (ou représentations internes) constituées de connaissances du domaine, des buts à atteindre et de contraintes mais est aussi composé de représentations externes telles que les esquisses, l'artefact ou autres documents centraux dans les réunions de co-conception. L'intégration des points de vue quant à elle, est une procédure de reconstruction collective des différents niveaux d'abstraction du sujet abordé (Rasmussen, 1986) et se résume à travailler de manière collective sur les changements d'état des différentes représentations internes. Pour finir, la prise de décision en groupe est l'aboutissement du processus de synchronisation cognitive engageant l'examen des différentes solutions proposées par les acteurs de la conception. Cette étape décisionnelle résulte d'un long processus de partage des représentations internes, de l'intégration des points de vue mais aussi de la qualité de l'argumentation aboutissant en un rejet ou en une validation de la solution émise.

Pour conclure, construire un modèle de représentations partagées du problème est essentiel pour le déroulement optimal d'une séance de co-conception.

2.1.3. *Les neurosciences cognitives*

Le processus cognitif de conception est une capacité humaine complexe se caractérisant par de nombreuses compétences notamment celle résidant dans la transformation d'un problème vague en une solution. Les concepteurs sont face à cette activité constamment alors que les processus mentaux qui la sous-tendent sont encore mal connus. La recherche en conception a permis de modéliser ces processus et l'intégration récente d'études en neuro-imagerie nous permettant de mieux comprendre les fonctions exécutives impliquées dans la conception. Ainsi, nous allons explorer dans ce paragraphe les perspectives de la recherche en neurosciences cognitives quant à l'activité de conception.

Les neurosciences cognitives étudient les liaisons neuronales constituant toute la matière permettant au processus cognitif de s'acheminer. Il s'agit d'une discipline complémentaire à celle de l'ergonomie cognitive et des sciences de l'ingénieur s'intéressant à la cognition dans la conception.

L'évolution des outils d'imagerie et l'existence de méthodes non-invasives commencent à faire l'objet d'intérêt pour comprendre le fonctionnement cognitif des concepteurs. Par exemple, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) (Goucher-Lambert et al., 2019 ; Hay et al., 2019), la magnétoencéphalographie (MEG), la spectroscopie dans l'infrarouge proche (NIRS) (Shealy & Gero, 2019) et l'électroencéphalographie (EEG) (Liu et al., 2018 ; Nguyen et al., 2018) ont fait leurs preuves pour l'identification de régions cérébrales et des réseaux neuronaux impliquant la créativité, la résolution de problèmes, la prise de décision ou encore la régulation de l'émotion (Dietrich, 2004). Bien que ces outils existent, très peu de recherches les utilisent du fait qu'elles ne soient pas toujours accessibles, que le coût d'utilisation de ces machines est non négligeable et que l'analyse des images demande une grande expertise de la part des opérateurs. Cependant, nous allons vous présenter quelques travaux de recherche ayant eu recours à ces outils pour étudier le vaste problème de la conception en mettant en évidence certaines régions du cerveau impliquées dans la conception. Ces travaux ont été répertoriés par Lazar en 2018.

Tout d'abord, des tâches de résolution de problème impliquant pour un individu de faire des plans, de programmer des sous-tâches, respecter un temps donné et respecter certaines règles ont été étudiées. Certaines études en psychologies ont montré que le cortex préfrontal était impliqué dans ce type de tâche et que la lésion de cette partie du cerveau entraînait des difficultés de résolution de problème. Par exemple, Goel et Grafman (2000) ont comparé la performance à une tâche d'architecture entre un professionnel ayant une lésion au niveau du cortex préfrontal droit et un professionnel ne présentant aucune lésion. Le patient lésé a passé significativement plus de temps à résoudre la tâche et les résultats étaient plus pauvres que le patient non lésé. Dans de nouvelles expérimentations, Goel et Vartanian (2005) ont confirmé leurs observations en montrant que le cortex préfrontal droit avait des fonctions vitales dans la génération d'idées et de nouvelles hypothèses. Une étude de 2010 menée par Gilbert et al., des individus étaient placés dans une IRMf alors qu'ils effectuaient une tâche de design d'intérieur.

Il s'agit d'une tâche de résolution de problème où les meubles devaient être bougés en respectant quelques contraintes. Les images de l'IRMf ont révélé que les zones du cerveau impliquées dans la structuration d'un problème étaient le cortex dorsolatéral préfrontal droit notamment lors de la planification de la tâche. Cette étude a aussi abouti à trouver des corrélations avec le Precuneus et le cortex frontal qui sont impliqués dans la constitution d'images mentales et la génération de représentations internes des informations.

Des recherches ont exploré les différences qui subsistaient d'un point de vue cognitif entre les designers experts et les novices (Cross, 2004 ; Kowatari et al., 2009). Les résultats montraient que les experts généraient plus de solutions créatives que les novices. Et ceux-ci présentaient des différences notamment au niveau cérébral. Les experts avaient beaucoup d'activations du cortex préfrontal droit contrairement aux novices qui avaient des activations bilatérales du cortex préfrontal, du cortex pariétal et du gyrus cingulaire. Les images ont révélé des activations du lobe temporal médial pendant la génération d'idée. En somme, ces études montrent l'implication de nombreuses zones du cerveau pendant l'activité de conception ayant des rôles d'imagerie mentale, de processus analogique, ou encore dans la mémoire sémantique et épisodique.

Pour finir, une étude réalisée par Ellamil et al. (2012) portant sur la conception de la couverture d'un livre a révélé que lors de la génération d'une idée, le lobe temporal médial (hippocampe et parahippocampe) s'activait alors que les zones préfrontales s'activaient lors de l'évaluation des idées.

Nous pouvons retenir de ces études très enrichissantes d'un point de vue neurologiques que :

- Le cortex préfrontal (notamment le droit) est primordial dans les tâches de résolution de problème, génération des idées et évaluation des idées
- Le lobe temporal médial est impliqué dans la génération des idées
- De nombreuses autres zones cérébrales sont nécessaires à la conception (cortex pariétal, gyrus cingulaire, precuneus)

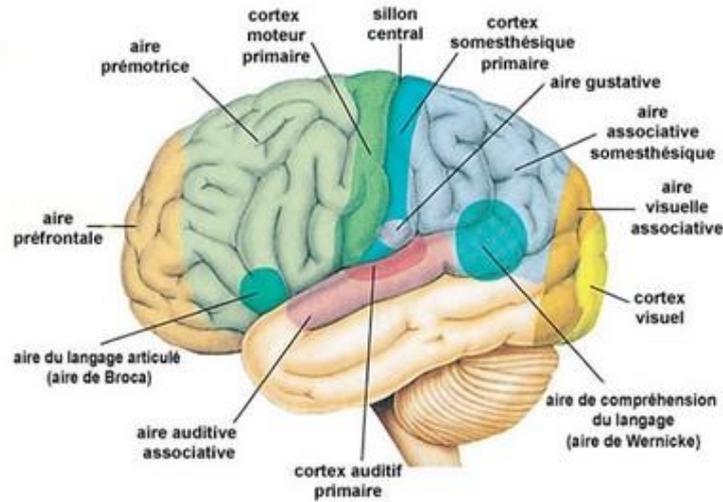


Figure 11: Régions corticales du cerveau humain

Ces études en neuro-imagerie nous apportent des connaissances en termes d'activations neuronales en relation avec les activités cognitives de conception. Ainsi, nous tenterons dans notre étude, de faire quelques liens entre nos résultats et cette discipline nouvelle au grand potentiel.

2.2. ... Aux gestes

La recherche en conception collaborative est riche de par la multitude de représentations externes qui peuvent être mobilisées (dessins, maquettes, prototypes, représentations 3D, graphiques et verbalisations). Dans un souci de comprendre ce qui se joue dans les interactions de manière générale, les gestes ont fait l'objet de beaucoup d'intérêt en raison de leur caractère naturel, intuitif et systématique dans le processus de communication humaine (McNeill, 1985). En effet, les gestes ont un caractère aidant dans la communication verbale. Par exemple, nous savons que faire un geste avec ses mains influence le contenu de la parole (Wolff & Gutstein, 1972) et permet une meilleure compréhension (Goldin-Meadow & Alibali, 2013). Fibigerova et Guidetti (2019) nous apprennent également que le geste accompagnant le discours allège la charge cognitive et ne requière pas nécessairement l'attention d'autrui.

Mais contrairement à l'activité cognitive, les gestes ont beaucoup moins fait l'objet d'intérêt dans l'étude des interactions en conception collaborative. Cependant, les premières études relatant l'usage des gestes ont mis en avant que les gestes facilitent la conceptualisation spatiale et aident à l'incarnation des situations par la simulation de certaines séquences d'actions (Tang, 1991 ; Bekker et al. 1995 ; Rauscher et al. 1996 ; Murphy, 2005). Cette dernière décennie, la recherche sur les gestes s'est focalisée, quant à elle, sur leurs rôles dans les interactions en groupe et sur la manière dont nous interagissons avec des objets 3D. Une étude réalisée par Kirk et Lewis (2017) a montré que les gestes aidaient les individus à réfléchir et à générer de nouvelles idées dans un contexte de résolution de problèmes. Aboutissant aux

mêmes types de conclusions, Cash et Maier (2016) ont observé les gestes naturels que les concepteurs utilisaient lorsqu'ils collaboraient au sein d'un groupe.

En se basant sur l'observation du *sketching* dans des environnements distribués, Eris (2014) suggère que les gestes de simulation ont une dimension communicationnelle et peuvent parfois représenter des idées ou des caractéristiques qui manquent aux représentations externes en question. Ainsi, les gestes de simulation peuvent exprimer des informations qui sont uniques au canal gestuel simplement parce qu'il n'y a pas d'autres moyens à disposition pour représenter la nouvelle caractéristique (qu'elle soit digitale ou tangible). Ce résultat a une haute importance dans notre travail de recherche car ce qu'Eris (2014) suppose c'est que, quel que soit le support, les gestes resteront présents. En outre, l'étude révèle également que les gestes mettent l'accent sur les idées qui sont créées alors même que les concepteurs sont en train de dessiner. Leurs utilisations, eux sont souvent focalisés sur l'action des concepteurs ce qui aide à construire une représentation commune en vérifiant la compréhension, en corrigeant les malentendus et en prévenant les désaccords. Nous supposons alors que le geste renforce également le discours et facilite la compréhension partagée quand l'objet est modifié pendant la session. Enfin, Eris (2014) a également introduit la notion de support de pensée kinesthésique par lequel le gestuel interprète et raisonne à travers l'activité physique qu'il exerce. Les gestes kinesthésiques ont été identifiés comme une catégorie de gestes qui exécutent une performance d'action, et leur exécution séquentielle a été observée pour représenter l'interaction entre un utilisateur et un produit. Si l'on considère que les séances de co-conception visent à générer des idées, le prototype peut être considéré comme un support de réflexion sur les solutions émises.

Par une analyse poussée des gestes en relation avec un modèle de processus de conception (FBS), Gero & Kannengiesser, (2004 ; Kannengiesser & Gero, 2019) ont constaté que les gestes survenaient à des périodes cruciales de la session comme l'évaluation de la solution ou l'élaboration d'une compréhension commune du problème. La mobilisation de plus en plus forte des représentations virtuelles en 3D a également suscité l'intérêt d'études récentes à ce sujet. Vuletic et al. (2018) ou encore Khan et al. (2019) ont abordé la question de l'utilisation des gestes pour la modélisation CAO 3D. Les résultats initiaux montraient que des concepteurs différents utilisaient des gestes similaires pour la même activité et que les interactions avec la représentation 3D ne différaient pas comparativement avec l'objet physique. Ces travaux récents nous informent sur la robustesse de l'emploi des gestes quels que soient la situation et le type de représentation mobilisé.

Afin de mener à bien ce type d'étude sur la mobilisation des gestes dans les sessions de conception collaborative, il nous est nécessaire de nous appuyer sur des classifications de gestes de la même manière que pour l'analyse de l'activité cognitive. A ce propos, nous avons connaissance de plusieurs classifications dont nous pouvons nous inspirer (NcNeill, 1992 ; Kendon, 1994 ; Bekker et al., 1995 ; Streeck, 2008 ; Visser, 2009 ; Eris et al., 2014 ; Kong P-H et al. (2015) ;

Cash & Maier, 2016). Parmi ces catégories de gestes, nous retrouvons systématiquement des gestes co-verbaux (les *gesticulations* ou "beats" qui sont des gestes discursifs, c'est-à-dire des gestes qui aident à structurer le discours ; les gestes *métaphoriques* et les gestes *iconiques*) ainsi que des gestes *déictiques* et de manipulation. Nous pouvons lister les diverses classifications trouvées dans la littérature comme ceci :

Mc Neill (1992)	Kendon (1994)	Bekker et al. (1995)	Streeck (2008)	Visser (2009)	Eris et al. (2014)	Kong P-H et al. (2015)	Cash & Maier (2016)
Iconique	Gesticulation	Kinesthésique	Modélisation	Représentation	Esquisser le contenu	Iconique	Réfléchissant
Métaphorique	Pantomime	Spatial	Délimitation	Organisation	Gestes pour mettre en œuvre le scénario	Métaphorique	Dirigé
Déictique	Emblème	Pointage	Dessin	Focalisation	Au contenu externe	Déictique	Iconique
Gesticulation	Iconique	Autre	Manipuler	Modulation	Gesticulation	Emblèmes	Métaphorique
	Métaphorique		Fabrication	Désambiguïsation		Gesticulation	Gesticulation
	Déictique		Façonnage			Non-identifiables	Déictique
	Déictique		Marquage				Cohérent
	Déictique abstrait		Auto-marquage				
			Modelage du monde				

Tableau 5: Classification des gestes proposées dans la littérature

Grâce aux études réalisées sur les gestes employés dans les réunions de conception tant au niveau du rôle des gestes que des classifications de gestes pour l'analyse de l'activité, celles-ci nous ouvrent le champ de recherche portant sur la relation entre gestes et activités. En effet, Davis (2016) conclut son étude en insistant sur l'importance de mener des recherches complémentaires sur le rôle des gestes en conception en définissant des relations entre les types de gestes et les activités menées. Dans notre cas, nous nous inscrivons tout à fait dans cette perspective et aborderons l'analyse des sessions de conception d'un point de vue multimodale.

3. L'étude des interactions en conception

Pour étudier l'activité de co-conception, nous nous intéressons d'une part aux activités individuelles menées (e.g. l'activité cognitive) mais aussi à l'activité collective comprenant les interactions entre les acteurs et les interactions avec les objets disponibles dans la scène. En effet, des interactions avec des représentations de conception, comme un prototype ou un autre type de représentation du design (numérique ou physique) sont possibles.

Ainsi, nous allons nous intéresser, dans les deux prochaines sections, au rôle de la nature de la représentation externe, c'est-à-dire, la nature du prototype. De plus, nous aborderons le concept d'objet intermédiaire qui met l'accent sur l'importance de l'artefact dans la conception.

3.1. L'impact de la nature de la représentation externe

Lorsque nous parlons de représentation, deux sens peuvent être attribués à ce terme :

- La représentation interne qui est une construction mentale du problème établie grâce aux connaissances antérieurs et aux éléments de contexte au regard de chaque situation singulière. Il s'agit également de l'image que l'on se fait de la réalité.
- La représentation externe, autrement appelée "représentation de conception", qui est une maquette, un dessin, un prototype représentant la solution intermédiaire en cours de discussion.

Dans cette section, nous porterons notre intérêt sur les représentations externes et leurs rôles.

Avant de nous attarder sur les études portant sur l'impact de la nature des représentations externes et leur facteur, nous souhaitons illustrer où se situe la représentation externe par rapport aux représentations internes, au contexte et à l'artefact (Figure 12).

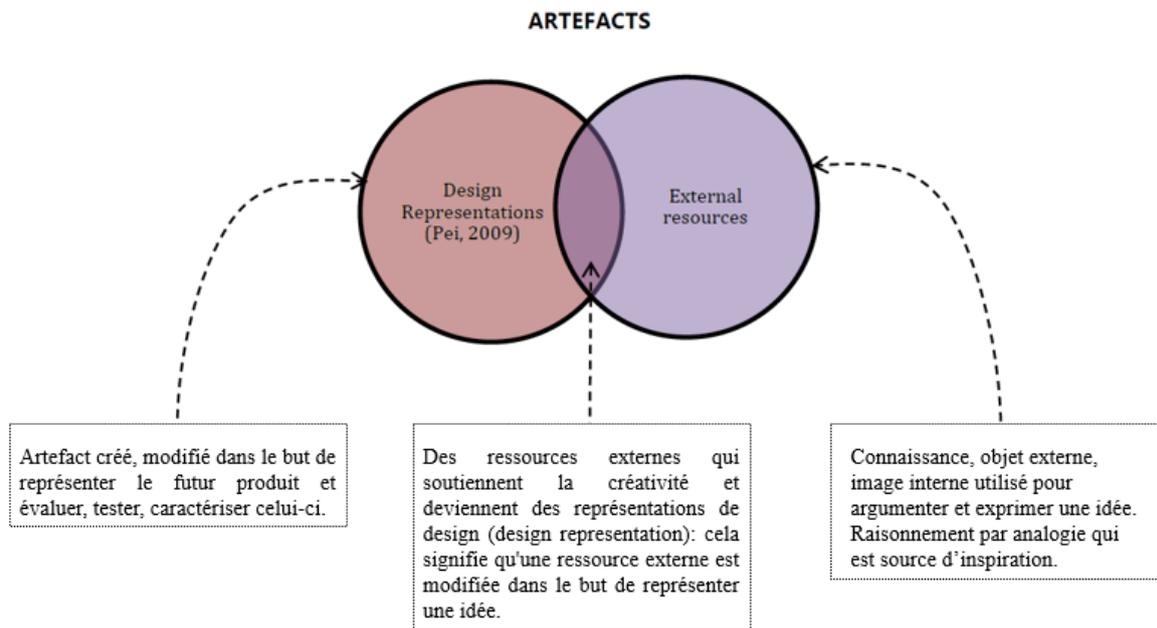


Figure 12: Notion de représentation de conception et de ressource externe (O'Hare et al., 2016)

Les représentations externes jouent un rôle important dans la conception (Oxman, 1997 ; Luck, 2014) parce qu'ils permettent à l'ensemble du groupe de développer une vision partagée de la solution proposée (Ozçelik Buskermolen & Terken, 2012) et facilitent la génération d'idées (Van Der Lugt, 2005 ; Häggman et al., 2015).

Selon Suwa et Tversky (1997), les représentations externes ne servent pas seulement comme des aides à la mémoire, mais elles facilitent aussi la résolution du problème et guident les inférences. Ce processus permet de synthétiser les informations à travers la simulation du résultat sur l'artefact aboutissant à la sélection des solutions via l'évaluation du problème en cours. Norman, en 1993, définit les représentations externes comme ayant une fonction d'artefact cognitif. Ce terme est employé car la représentation artefactuelle ont pour rôle d'amplifier les capacités de traitement de l'information des

différents acteurs de la conception par leur caractère instrumenté permettant l'intériorisation des différentes fonctions de l'objet par la mise en situation d'usage (Rabardel, 1995).

De Vries & Masclet (2010) se sont également intéressés aux fonctions de la représentation externe comme facteur d'externalisation de la pensée. Ceux-ci ont repris les fonctions des représentations externes évoquées par Duval (1995) :

- Objectivation : Les représentations externes permettent de prendre conscience de quelque chose en l'exprimant pour soi-même. Dans les processus de conception, les représentations partagées répondent au besoin d'enregistrer des informations aidant à un cheminement logique de la conception.
- La communication : Les représentations externes assurent la communication et l'échange d'informations entre les pairs.
- Calcul : Les représentations externes permettent d'effectuer des calculs qui seraient trop lourds à se représenter mentalement.

Bien que les représentations externes soient d'une aide incontestable, celles-ci introduisent aussi quelques défis pour les designers.

- Selon O'Hare et al. (2018), la construction de représentations externes doit aussi s'inscrire dans une réduction du coût et du temps alloué à la conception. Certains facteurs tels que le niveau de fidélité et la qualité d'exécution peuvent ralentir la production et augmenter son coût (Hallgrímsson, 2012). Le défi pour les concepteurs est de respecter un "principe économique du prototypage" où, Lim et al. (2008) définissent ce principe comme suit : "*le meilleur prototype est celui qui, de la manière la plus simple et la plus efficace, rend visibles et mesurables les possibilités et les limites d'une idée de conception*".
- Un autre défi relevé par O'Hare et al. (2018) est de sélectionner le bon type de représentation pour faciliter la génération d'idée et l'évaluation. La nature des représentations va de l'écrit aux maquettes 3D (Pei et al., 2011) en passant par deux modes majeurs utilisés au cours de la conversation : le geste et le dessin (Cash & Maier, 2016 ; Kavakli & Gero, 2001). La distinction entre geste et esquisse étant avérée (Cash & Maier, 2016), l'impact de ces deux modes de représentation sur le travail de conception reste sous-étudié (Babapour, 2016 ; Harkki et al., 2018). Cependant, une étude telle que celle de Häggman et al. (2015) nous informe que les concepteurs utilisant le prototype tangible qui était de la mousse généraient des idées plus rapidement que ceux utilisant la CAO. Robertson & Radcliffe (2009) avaient constaté en amont que l'utilisation de la CAO trop tôt dans le processus de conception pouvait conduire à des limitations de l'exploration de l'espace de conception et réduire les idées. Dans une autre étude, Hannah et al. (2012) ont voulu savoir quel était l'impact de la fidélité du prototype sur l'évaluation de la solution. Les résultats qu'ils ont obtenus montrent que les groupes d'étudiants

à qui l'on a présenté des prototypes de haute-fidélité étaient plus confiants dans leur évaluation de la solution. En conclusion, les représentations externes conçues rapidement, bon marché et de haute-fidélité sont les plus efficaces pour soutenir la convergence des idées.

- Le dernier défi identifié par O'Hare et al. (2018) est d'éviter la mauvaise interprétation. Les représentations de conception sont des représentations incomplètes et approximatives d'un produit final potentiel, ce qui peut conduire à des interprétations erronées par les parties prenantes. Par exemple, lors du test utilisateur d'une interface de téléphone mobile, Lim et al. (2006) ont constaté que la construction de maquettes de l'interface sur un écran de PC ou sur du papier, plutôt que sur un écran de téléphone mobile, entraînait des malentendus sur la façon dont l'interface devait être utilisée. Hudson et Mankoff (2006) suggèrent que l'un des défis de la conception d'interfaces utilisateur est que les concepteurs doivent souvent choisir entre des représentations de conception ressemblent visuellement au produit final ou fonctionnent comme le produit final. La séparation de ces deux aspects de la représentation "*donne lieu à un processus moins fluide et potentiellement plus lent*".

Pour conclure, toutes les études que nous venons de citer montrent l'importance de la représentation externe dans la conception et notamment de sa nature. Dans notre travail de recherche, nous sommes soumis à des situations de co-conception où les acteurs emploient des artefacts et proposent plusieurs solutions intermédiaires représentées sur l'artefact. Par conséquent, nous retiendrons de cet état-de-l'art sur le thème des représentations externe que la nature de notre artefact peut influencer le résultat de nos observations et de nos expérimentations que nous prendrons en considération.

3.2. Les objets intermédiaires

Très proche de ce que l'on a appelé dans la section précédente les représentations externes, le concept d'objet intermédiaire dont l'origine vient des travaux de Jeantet et Vinck (1995 ; 1998 ; 1999) désigne un artefact physique ou digital sur lequel les concepteurs s'appuient pour faire évoluer les solutions de conception. Ces auteurs ont proposé et discuté le concept d'"objet intermédiaire" (OI) comme un moyen de donner à ces objets/artefacts un statut approprié pour analyser et comprendre l'activité de conception. Ces OI ont trois caractéristiques principales : ils sont une représentation de l'objet à concevoir (moyen de rendre visible) ; ils sont impliqués dans un processus de traduction complexe (de la connaissance à sa cristallisation dans l'objet) ; ils agissent comme une médiation entre les différents acteurs (support des interactions). De plus, ces objets sont considérés comme "ouverts" (Boujut et Blanco, 2003) lorsqu'ils peuvent être modifiés par les concepteurs lors des réunions de conception ou "fermés" lorsqu'ils véhiculent des contenus non ambigus et figés.

Dans notre étude, nous allons utiliser deux types d'artefacts : des artefacts physiques et des artefacts mixtes, c'est-à-dire des artefacts physiques sur lesquels sont projetées des images virtuelles. Ainsi, nous pouvons qualifier les objets physiques comme fermés car non modifiables pendant la session de co-

conception. Il n'est possible aux concepteurs que de collaborer autour de l'artefact en le commentant ou en utilisant des gestes pour exprimer leur point de vue. Cependant, les objets mixtes quant à eux, peuvent être considérés comme des objets intermédiaires "ouverts", car le contenu numérique de ces objets peut être modifié en temps réel modifiant ainsi leur apparence instantanément. Cette caractéristique propre à l'objet mixte est tout l'intérêt de la technologie régissant la modification de la représentation visuelle car l'accès à une représentation externe commune se fait plus rapidement et sans ambiguïté. D'autres avantages à l'artefact mixte seront exposés dans la section 4.2 de cette première partie.

Dans notre étude, nous accorderons également beaucoup d'importance au caractère médiateur de l'artefact pendant les interactions car nous souhaitons recueillir des informations objectives sur la participation de chaque acteur.

4. Les outils numériques d'aide à la conception

4.1. Présentation générale des outils d'aide à la conception

Nous venons de voir que les représentations externes _ les artefacts _ sont un moyen de communication entre les designers et les non-designers d'une session de co-conception (Bodker, 1998 ; Cascini et al., 2020). Par conséquent, développer de nouvelles formes de représentations est un défi majeur de la recherche actuelle car assister la co-conception nécessite de faire face à des problèmes d'ajustement cognitif entre concepteurs, rendus plus complexes du fait de l'hétérogénéité des objectifs et des compétences (Darses, 2004). Compte-tenu de la complexité de ces situations, les individus sont obligés de mener une réflexion conjointe dans des environnements peu instrumentés. Ainsi, les besoins des concepteurs sont souvent partiellement satisfaits et l'efficacité du processus est affectée.

Avec cet objectif en tête de soutenir la collaboration, les chercheurs ont porté de l'intérêt aux nouvelles technologies de réalité virtuelle, réalité augmentée et réalité mixte en ayant pour hypothèses que ces outils pouvaient donner des types de représentations efficaces. En effet, ces technologies ont la capacité de donner des informations supplémentaires par leur potentiel de modification en temps réel, leur richesse et leur flexibilité tout en conservant la tangibilité de l'objet dans une échelle précise (Cascini et al., 2020). Une des premières études dans ce domaine est celle de Billingham et al. (2003). Ceux-ci ont réalisé une analyse des performances à une tâche de planification urbaine où les paires de concepteurs utilisaient divers outils de réalité augmentée. Ils ont constaté que les groupes mettaient plus de temps à accomplir la tâche avec la réalité augmentée qu'en face-à-face. Ceci serait dû au champ de vision limité par les écrans et les casques. Ainsi, ils recommandent d'utiliser des technologies non invasives permettant de conserver leur vue panoramique et de communiquer avec des gestes. Dix ans plus tard, Park et Moon (2013) ont identifié quelques problèmes récurrents avec les technologies de réalité augmentée lorsqu'elles sont utilisées dans les études d'évaluation de la solution. Parmi les difficultés rencontrées, nous retrouvons la dissimulation des mains qui rend l'interaction avec le prototype

compliquée. Porter et al. (2010) avaient notamment identifié que l'utilisation de dispositifs de réalité virtuelle ou augmentée qui nécessitent de porter un casque lourd et encombrant réduisant le champ de vision n'était pas toujours l'outil le plus approprié.

Afin de garantir la liberté des mains, de ne pas réduire le champ de vision avec un casque et maintenir la tangibilité du prototype, on utilise la technologie de réalité augmentée spatialisée (SAR) pour répondre à ces défis. Notamment, il s'agit de cette technologie qui est à la base de l'outil utilisé dans notre étude (la plateforme de réalité augmentée spatialisée SPARK) et dont nous allons vous exposer la littérature à son sujet dans le prochain paragraphe.

4.2. La Réalité Augmentée Spatialisée

La réalité augmentée spatialisée (SAR) est une technologie de l'information et de la communication (TIC) permettant la création, la visualisation, l'évaluation et la modification des solutions de conception dès les premières étapes du processus (Masclat et al. 2020).

La SAR est l'une des trois technologies de la catégorisation de la réalité augmentée de Bimber et Raskar (2005) (Figure 13). Cette catégorie est la seule qui ne nécessite aucune intervention de la part de l'observateur, qu'il s'agisse de tenir un dispositif ou de porter un équipement qui fournit la superposition.

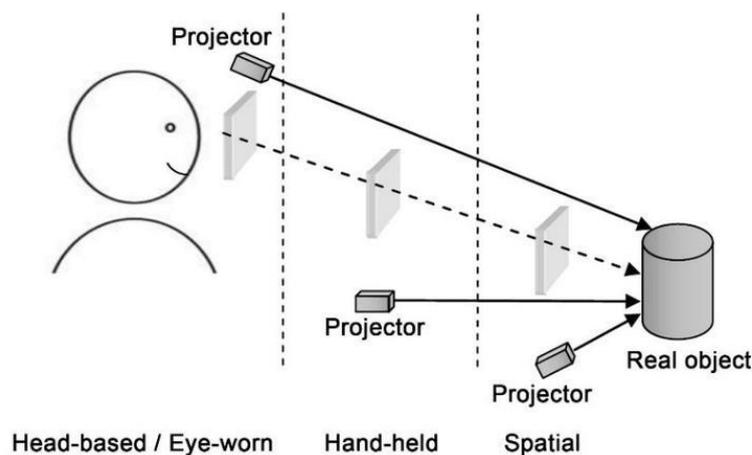


Figure 13: Catégorisation des technologies AR (Bimber & Raskar, 2005)

En effet, la SAR qui a été introduite par Raskar et al. (1998), est la projection d'un objet numérique virtuel sur un objet physique. Elle est également appelée "projection mapping" car on utilise des projecteurs pour afficher le contenu visuel sur le prototype (Figure 14 b). Ainsi, la visualisation SAR crée un objet mixte (Park et al. 2015) ayant l'apparence et la tangibilité d'un objet physique réel où seulement sa surface peut être modifiée par afficher un contenu numérique. De plus, une fonctionnalité de suivi (tracking) permet à l'objet mixte d'être manipulé facilement en maintenant le contenu visuel parfaitement projeté sur l'objet de la même manière qu'un objet réel bougeant dans l'espace. Cette

technologie permet aux concepteurs et aux utilisateurs de faire l'expérience d'un objet au plus proche de la réalité.



Figure 14: (a) *Objet physique vierge* (b) *Objet physique avec sa projection graphique*

Du point de vue des utilisateurs, le côté tangible de l'artefact leur permet de s'impliquer davantage dans l'activité de conception (Masclat et al. 2020) : ils sont en mesure d'exprimer leurs attentes et leurs sentiments sur la base d'un artefact qui les aide à illustrer leurs propos (Hannah et al. 2012). Du point de vue des concepteurs, cette technologie permet de modifier rapidement le contenu numérique et en temps réel en fonction des attentes des utilisateurs finaux. La technologie n'entrave pas le flux des interactions entre les parties prenantes, ce qui permet aux concepteurs de mieux contrôler le rythme des sessions de co-conception.

Ces dernières années, la SAR a fait l'objet de recherches dans plusieurs applications de l'ingénierie de conception et dans plusieurs étapes du processus afin de spécifier l'apport de cette technologie pour la conception (Giunta et al. 2019). Akaoka et al. (2010) ont introduit "*une nouvelle catégorie de futurs objets informatiques quotidiens dotés d'un habillage entièrement interactif*", les "DisplayObjects". Les DisplayObjects utilisent la technologie SAR pour projeter des graphiques et des éléments d'interface utilisateur sur des prototypes physiques. Les participants de cette étude ont apprécié l'approche interactive, pratique et la possibilité de modifier rapidement les éléments. Cependant, ils ont rencontré des problèmes de manipulation et ont trouvé difficile de créer de bons modèles numériques à partir de scans 3D (la procédure de "nettoyage" du modèle prenant beaucoup de temps). Parallèlement, Porter et al. (2010) ont fait des essais sur un système SAR qui incorpore le suivi des doigts pour une utilisation dans la phase de conception détaillée. Malgré quelques difficultés liées à l'action d'appuyer sur un bouton, de nombreux participants ont estimé que la SAR fournissait une bonne représentation visuelle du concept et 88 % des participants ont convenu que cette technologie serait utile comme outil de conception. Irlitti et von Itzstein (2013) ont, quant à eux, développé un " SARventor ", qui combine la

SAR avec trois autres outils tangibles d'interface utilisateur. Le système a été présenté à trois experts en architecture et en design industriel. Les défis relevés par les examinateurs sont l'absence d'une boîte à outils visible et l'incapacité de manipuler le volume (géométrie 3D). Malgré cela, les évaluateurs ont estimé qu'il y avait "... *des arguments solides pour que l'utilisation de [SARventor] comme outil de collaboration pour les sessions d'évaluation entre les concepteurs et les parties prenantes*". Une méthodologie créée par Verlinden (2014), la méthodologie "IAP-M" se veut être employée pour des fins d'examen de la conception se caractérisant par l'utilisation de prototypes interactifs de SAR. Les conclusions de son étude sont que la technologie SAR et la méthodologie IAP-M étaient utiles pour développer une compréhension partagée entre les acteurs et d'aider à l'identification précoce des erreurs et des défauts de la conception. D'autres études sur la technologie SAR en conception ont contribué à la spécification des aspects technologiques, notamment en souhaitant améliorer le rendu des couleurs (Menk & Koch, 2013 ; Park et al., 2015).

Bien que cette technologie ait été étudiée dans divers contextes et domaines, peu de recherches se sont intéressées à l'usage de la SAR dans des situations de co-conception incluant des designers et des non-designers (e.g. O'Hare et al., 2018 ; Ben Guefrech, 2020). La première a évalué l'impact de la technologie SAR sur la nouveauté et la qualité des idées émises comparativement à des situations de conception traditionnelles. Les résultats ont révélé que la SAR accroît la nouveauté et la qualité des idées bien qu'ils mettent en avant la complexité de la mise en place des sessions de co-conception. La seconde est un travail de thèse ayant montré que la réalité augmentée spatialisée est facilitatrice pour la contribution des utilisateurs finaux. Elle stimule la communication et augmente leur implication.

Ce dernier travail de thèse s'est inscrit dans le projet européen SPARK H2020 dont notre travail de recherche est également l'issue. Ainsi, nous allons vous présenter le projet SPARK dans la prochaine section, les partenaires industriels associés à ce projet et les premiers résultats obtenus qui nous ont permis d'aller explorer d'autres aspects n'ayant pas pu être exploités.

5. Le projet SPARK

5.1. Contexte et objectifs du projet SPARK

SPARK (Spatial Augmented Reality as a Key for co-creativity) est une plateforme de réalité augmentée spatialisée (SAR) née du projet européen H2020 homonyme. Ce projet de recherche mené en trois ans et ayant commencé en janvier 2016 a exploité le potentiel de la réalité augmentée spatialisée pour développer une plateforme TIC réactive afin de soutenir et de stimuler la pensée créative collaborative dans le processus de conception. L'objectif était de réduire les barrières linguistiques et l'écart de connaissances entre les acteurs de la conception possédant des personnalités et des expertises différentes et même venant de diverses disciplines (O'Hare et al., 2018). L'hypothèse principale sous-tendue par le projet est que les artefacts tangibles exercent une influence positive sur la co-conception. C'est pourquoi le projet souhaitait développer une plateforme SAR permettant aux objets tangibles et digitaux de

coexister dans le même environnement. Par conséquent, les membres du consortium ont supposé que la technologie SAR pût améliorer les capacités d'innovation des industries. Plus spécifiquement, la plateforme pourrait faciliter la génération d'idées, qui conduit à une évaluation plus rapide des solutions de conception dans un environnement de co-conception.

Du fait de l'implication de deux partenaires industriels (cf. § I.5.2), le projet s'est concentré sur les domaines de la conception de produits innovants et d'emballages. Ces domaines nécessitent un nombre important de prototypes physiques imprimés et réalisés. Par conséquent, l'inclusion d'une plateforme qui pourrait montrer les suggestions de produits finaux en temps réel réduirait le besoin de prototypes imprimés et permettrait de gagner du temps et de l'argent.

Une autre volonté du projet SPARK était d'intégrer les clients des agences de conception et/ou les utilisateurs finaux dans les premières phases du processus du fait de leur importance (Sanders & Stapper, 2014). Cet objectif peut être atteint grâce à l'application en temps réel des suggestions des clients. L'équipe de conception a donc la possibilité de tirer parti de la technologie de la réalité augmentée spatialisée pour recueillir facilement des réactions immédiates sur ce qu'elle propose et discute. Ils peuvent également limiter le nombre d'itérations de la conception du produit, ce qui améliore nettement le développement du projet.

La plateforme SPARK est basée sur un système de visualisation multi-projecteurs et d'un système de suivi (tracking) basé sur des caméras optiques infrarouges. Le concepteur utilise l'interface d'une tablette numérique pour procéder aux modifications, comme le montre la figure 15, ainsi qu'un écran de contrôle jouant le rôle de base de données qui gère les actifs numériques et permet le stockage des données issues de sessions.



Figure 15: L'interface SPARK sur la tablette et son prototype SAR

Afin de créer ce nouvel outil, des observations de sessions de co-conception et des analyses sur ces observations ont dues être faites. Ceci a mené les membres du consortium à identifier les caractéristiques

spécifiques du processus de co-créativité notamment des interactions entre participants et avec les artefacts :

- Un **client** peut interagir avec un **designer** SANS **objet**
- Un **designer** peut interagir avec un **client** SANS **objet**
- Un **client** peut interagir avec un **designer** A TRAVERS l'**objet**
- Un **designer** peut interagir avec un **client** A TRAVERS l'**objet**
- Un **designer** peut interagir avec un **objet**
- Un **client** peut interagir avec un **objet**
- Les **designers** peuvent interagir entre eux SANS **objet**
- Les **clients** peuvent interagir entre eux SANS **objet**

En plus des interactions, il y a eu un intérêt académique à évaluer l'efficacité des réunions en raison de leur importance. Les commentaires sur l'efficacité des réunions reflètent généralement quatre thèmes principaux : les personnes, l'organisation des réunions, les activités des réunions et les résultats des réunions (Geimer et al, 2012). En règle générale, l'efficacité des réunions est évaluée par l'examen de la relation entre les activités de la réunion et une combinaison de facteurs tels que l'atteinte des objectifs, la satisfaction des décisions, l'exécution des tâches, la qualité des relations, etc. (e.g. Nixon et Littlepage, 1992 ; Leach et al, 2009). Ces évaluations de l'efficacité des réunions basées sur les perceptions des participants ont été utilisées dans le projet SPARK suivant plusieurs mesures (Tableau 6).

Objectifs poursuivis	Mesures	Détails des mesures
Efficacité du processus de conception	Heures-homme passées sur le projet	Heures passées sur le projet
	Temps de gestion	Nombre de jours entre le début du projet et le lancement du produit
	Coût de développement total	Coûts directs encourus par l'agence de design
	Coût de production du prototype	Coût de préparation des représentations utilisées lors des séances
	Nombre d'itérations de conception	Nombre total de tentatives infructueuses de passer à une étape suivante
Qualité des productions et efficacité des sessions de créativité	Quantité d'idées	Quantité d'idées générées
	Qualité des idées	Nombre d'idées retenues en fin de session
	Variété des idées	Nombre d'entités différentes
	Nouveauté des idées	Moyenne des scores de nouveauté selon les experts
	Progression de la tâche	Progression des tâches = 3pts * (nombre de tâches de haute importance résolues ou créées) + 2pts * (nombre de tâches de moyenne importance résolues ou créées) + 1pt x (nombre de tâches de faible importance résolues ou créées)
	Efficacité de filtrage	$= \frac{\text{Nombre d'idées rejetées}}{\text{Nombre d'idées considérées} - \text{Nombre d'idées à conserver}}$
Efficacité des interactions entre participants et avec le prototype	Nature des interactions	Détails disponibles dans le paragraphe précédent
	Densité des interactions	
	Qui initie l'interaction	
	Usage de l'objet dans les interactions	

Tableau 6: Résumé des mesures faites lors du projet SPARK (O'Hare et al., 2016)

5.2. Vers une amélioration de la collaboration et de la créativité

Les sessions de co-conception sont définies dans le projet SPARK comme des réunions où les concepteurs travaillent avec leurs clients ou des utilisateurs finaux. Nous appelons *utilisateurs finaux* les personnes qui achètent les produits dans les magasins et *client* le représentant des entreprises qui fabriquent et vendent les produits. Étant donné que nous avons à faire aux deux types de collaboration, nous nous attacherons à bien faire la distinction. Le format typique d'une réunion est le suivant : 1) les concepteurs présentent leur travail et leurs propositions aux clients ou utilisateurs finaux, 2) les concepteurs recueillent les commentaires du client ou utilisateur final, 3) il y a une discussion commune sur les évolutions, les améliorations possibles de la proposition en cours. Au cours de ce processus, ils utilisent différents instruments tels que papier / stylo / crayon, captures d'écran, ordinateurs portables, projections, maquettes, catalogues de la marque, post-it pour évaluation, etc.

Deux agences de design ont été partenaires du projet SPARK.

- Artefice : société de conseil italienne spécialisée dans la conception de marque et le marketing. Les produits conçus par Artefice sont principalement du packaging pour l'industrie alimentaire
- Stimulo : agence de design catalane spécialisée dans la conception de produits innovants. Les produits conçus par Stimulo sont fabriqués pour tout type d'industrie de la petite start-up au grand groupe international.

Toutes les analyses menées pendant le projet SPARK ont été menées via une littérature qui s'est étendue de la conception au management en passant par le développement du produit en raison du large éventail d'activités pouvant être prises en charge par la plateforme SPARK. La figure ci-dessous illustre les domaines parcourus allant de sessions 100% créatives axées sur la génération d'idées à 100% sélectives dont le but est de filtrer les idées émises. Entre les deux, nous avons identifié des sessions de revue créative combinant des activités de génération et de révision.

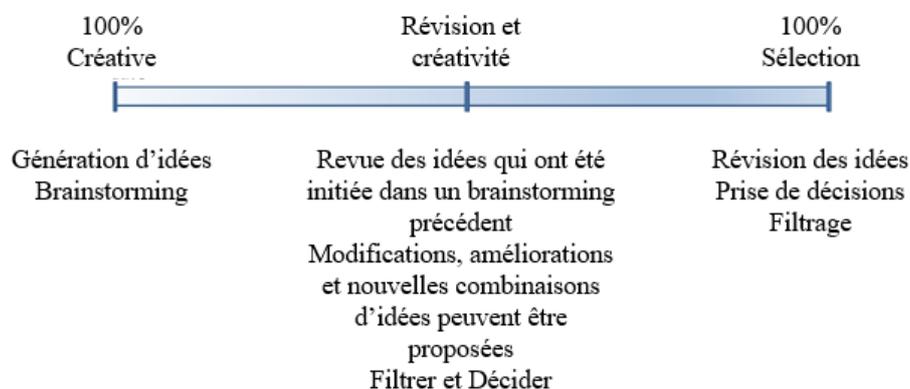


Figure 16: Type de sessions et d'activités qui peuvent être menées avec la plateforme SPARK (O'Hare et al., 2016)

Selon les deux types d'analyses faites par les membres du projet (l'analyse des interactions et l'analyse de la performance des sessions), plusieurs hypothèses ont été émises :

- La stimulation créative :

Le projet SPARK considère le prototype mixte de la plateforme de réalité augmentée spatialisée comme un stimulus (Ben Guefrech, 2020). Les éléments numériques projetés sur l'artefact physique permettent une interaction naturelle par le biais du prototype physique et peuvent modifier la pensée habituelle des concepteurs.

- Co-création et co-conception :

Le projet SPARK part du principe que la plate-forme SPARK facilitera les interactions entre les concepteurs et les clients, mais aussi l'interaction directe avec le prototype mixte. Cette facilitation aura une influence directe et améliorera la progression du processus de conception.

- Innovation sur le lieu de travail

Le projet SPARK part du principe que l'introduction de la plate-forme SPARK, améliorera la productivité du lieu de travail. En d'autres termes, si une entreprise décide d'équiper son propre espace de travail avec la plateforme SPARK, l'équipe de conception sera plus efficace. Ils continueront à travailler dans le même espace mais avec les fonctionnalités en plus de la technologie SAR. Cela aidera l'équipe de conception à présenter facilement les solutions discutées à leurs clients et à les faire participer à la tâche de conception.

- Innovation et implication du client

Le projet SPARK part du principe que l'intégration des clients dans le processus de conception garantira l'amélioration de leur expérience vis-à-vis de ces sessions. Par conséquent, la participation des clients (ou/et des utilisateurs finaux) dans la tâche de conception aboutira à un futur produit qui répondra plus précisément aux besoins des utilisateurs. La plateforme SPARK facilitera l'échange entre les acteurs de la conception et permettra une évaluation en temps-réel des idées proposées.

5.3. Stimulo : notre agence de design partenaire

Nous avons vu que deux agences de conception étaient partenaires du projet SPARK : Stimulo et Artefice. Les collaborations et l'expérience acquise du laboratoire G-SCOP nous ont amenés à nous rapprocher de l'activité de l'agence Stimulo (centrée sur le produit) plutôt qu'Artefice (centrée sur le packaging). C'est pourquoi nous avons sélectionné les observations faites avec cette entreprise pour effectuer nos analyses et que nous allons vous la présenter individuellement.

5.3.1. *Présentation de Stimulo*

Stimulo est une agence de design et d'innovation de produits (<https://stimulo.com/portfolio/spark/>). Stimulo aide les entreprises à croître en pensant, en créant et en développant des expériences produit convaincantes. Plus précisément, Stimulo aide les entreprises à :

- Identifier de nouvelles opportunités commerciales ;
- Créer des concepts utiles et réalisables ;
- Fournir des produits stimulants et aider le client tout au long des processus de production et de mise en œuvre.

Fondée en 2003 par trois associés, l'équipe est aujourd'hui composée de huit personnes spécialisées aux profils complémentaires tels que la stratégie, le marketing, le design et l'ingénierie. Stimulo est basé à Barcelone et à Guangzhou, en Chine. Stimulo dessert le marché mondial, avec des clients en Australie, en Turquie, en Chine, en Inde et en Espagne.

5.3.2. *Stratégie de l'agence*

Stimulo est une agence de conception de produits innovants focalisée sur les activités de développement de produit, d'ingénierie et d'industrialisation. Afin de compléter les compétences de l'équipe de l'agence, des partenaires les accompagnent dans les différents projets en apportant des compétences liées aux interactions avec l'outil digital ; l'expérience utilisateur (UX) ; l'interface utilisateur (UI) ; l'informatique. Le tout permet aux différents d'acteurs de mener un projet de conception de bout en bout, c'est-à-dire de l'identification des opportunités à l'implémentation de la solution sur le marché industriel.

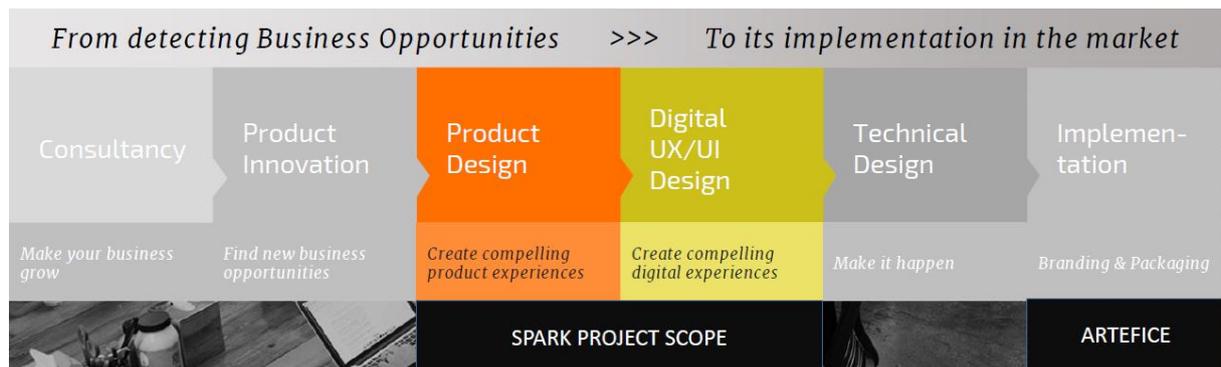


Figure 17: Représentation des étapes impliquant différents partenaires aux diverses compétences

5.3.3. Modèle de processus de conception adopté par l'agence



Figure 18: Modèle du processus de conception de l'agence Stimulo

➤ Product Design :

Description : Rassembler et analyser des informations pertinentes pour découvrir des informations et des opportunités qui inspireront les conceptions d'un point de vue stratégique, en tenant compte de trois dimensions principales : UTILISATEUR + TECHNOLOGIE + ENTREPRISE

Type de réunion : réunion initiale du client

Objectifs de la réunion : Rassemblez l'équipe de projet pour discuter du dossier de conception et assurer une compréhension commune des objectifs, de la portée et du calendrier du projet

Représentations de conception : aucune

Type de réunion : Compte rendu de conception stratégique

Objectifs de la réunion 2 : Une stratégie de positionnement est proposée et discutée avec le client. Des tableaux d'humeur sont utilisés pour présenter le langage de conception proposé à appliquer

Représentations de conception : stratégie de positionnement, tableaux d'humeur

➤ Design Approach :

Type de réunion : Compte rendu de conception stratégique

Objectifs de la réunion : Une stratégie de positionnement est proposée et discutée avec le client. Des tableaux d'humeur sont utilisés pour présenter le langage de conception proposé à appliquer. Définir les facteurs de succès du projet. Toutes les exigences de conception concernant les utilisateurs cibles et leurs demandes, les contraintes de l'entreprise et les technologies à utiliser.

Représentations de conception : stratégie de positionnement, tableaux d'humeur

➤ Design Lab :

Description : Phase créative au cours de laquelle les idées sont traduites en expériences de produit significatives afin de générer des propositions de conception intéressantes.

Type de réunion 1 : Sessions de co-working

Objectifs de la réunion 1 : Réunions régulières avec le client pour discuter de la gestion du projet et de la stratégie du produit.

Représentations de la conception 1 : Croquis en 2D, diagrammes de positionnement, images du contexte d'utilisation, représentations de la taille et du volume relatifs.

Type de réunion 2 : Séances de révision

Objectifs de la réunion 2 : Les concepts de conception sont présentés et discutés avec le client. Le client donne son avis et sélectionne les concepts à retenir (par exemple, de cinq à un).

Représentations de la conception 2 : Rendu 3D, surfaces 3D, maquettes (faites à la main ou imprimées en 3D), diagrammes de positionnement, images du contexte d'utilisation, représentations de la taille et du volume relatifs.

➤ ID Definition :

Description : Cette étape prend la solution de conception sélectionnée et la transforme en un design affiné. Son objectif principal est de mûrir, de polir et d'apporter les dernières retouches tout en veillant à ce que les exigences de production et les coûts indiqués dans le cahier des charges soient respectés.

Type de réunion 1 : Présentation de la solution

Description de la réunion 1 : Présenter les options de couleurs, de matériaux et de finitions. Confirmer que le concept se développe comme le souhaite le client

Représentations de la conception 1 : Rendu 3D, modèles en mousse, rapport sur le parcours de l'utilisateur, images du produit, présentation du point de vente.

Type de réunion 2 : Session de révision

Description de la réunion 2 : Confirmer les derniers détails et demander l'approbation pour passer à la phase suivante.

Représentations de la conception 2 : Modèle cosmétique, rendus 3D, modèles en mousse, rapport sur le parcours de l'utilisateur, images du produit.

➤ Technical Approach :

Description : Évaluation préliminaire de la faisabilité technique et du coût de fabrication du produit.

Type de réunion : Réunion avec le client

Description de la réunion : Présenter les conclusions de l'évaluation technique

Représentations de la conception : Dessins d'assemblage général, diagrammes de vues éclatées, nomenclatures, dessins de pièces.

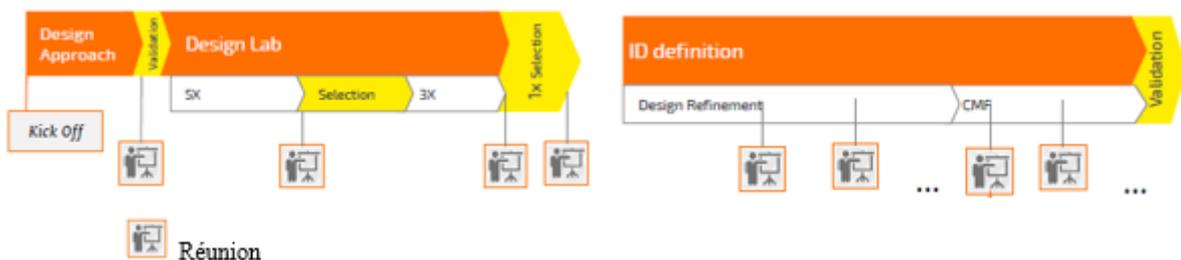


Figure 19: Processus de conception de l'agence Stimulo présentée temporellement

Parmi les cinq étapes du processus de conception de l'agence Stimulo présentées ci-dessus, une concerne particulièrement l'implémentation de la plateforme SPARK. Il s'agit de l'étape d'*ID Definition*. Cette

étape consiste à affiner la solution de conception et de discuter des aspects couleurs, matériels et finitions (CMF). La figure 20 présente en détail l'étape d'*ID Definition* fournit par Stimulo.

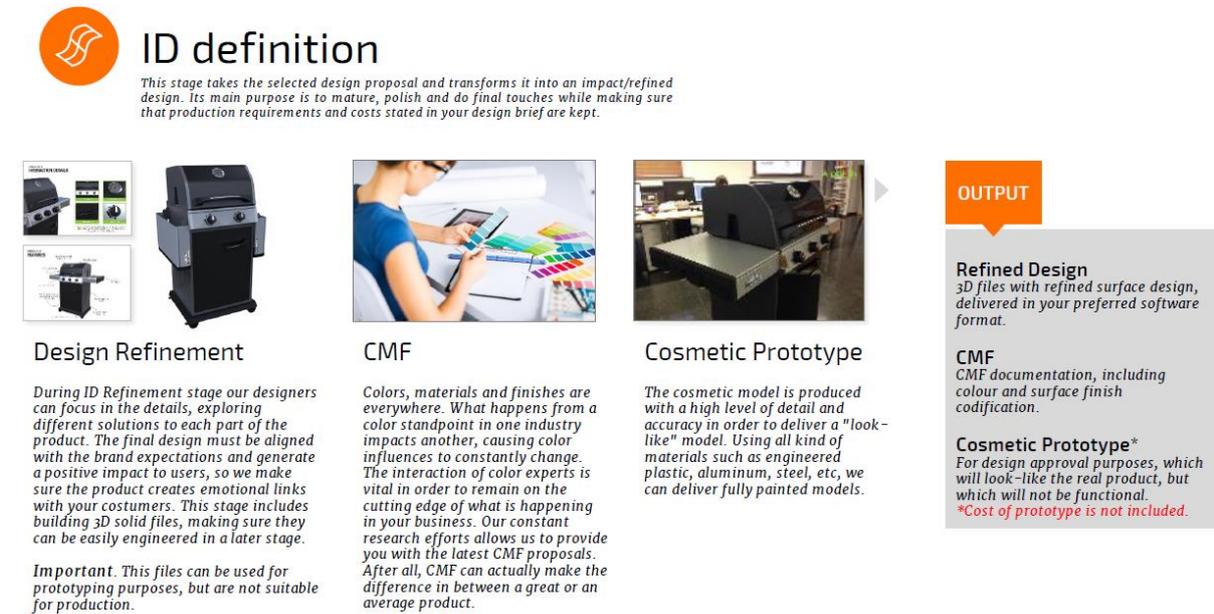


Figure 20: Plaquette de présentation de l'étape d'ID Definition fournit par l'agence Stimulo

6. Synthèse de l'état-de-l'art

Notre état-de-l'art se compose de plusieurs éléments que nous avons développé en détail : les modèles et théories du processus de conception ; l'activité de co-conception multimodale (constituée des fonctions cognitives et gestuelles) et la réalité augmentée spatialisée comme outil d'aide à la conception. Grâce au schéma ci-dessous (Figure 21), nous avons une représentation systémique de l'état-de-l'art partant du contexte du projet SPARK jusqu'aux différentes thématiques rencontrées dans la littérature nous montrant l'implication de chacune pour répondre à la problématique de recherche.

En complément de ce schéma, nous allons vous présenter notre raisonnement scientifique reprenant les idées principales de notre état-de-l'art.

Tout d'abord, notre proximité avec les industriels nous enseigne que l'implication des utilisateurs finaux dans les séances de conception est de plus en plus importante pour répondre au mieux à leurs besoins, accélérer la mise sur le marché des produits et réduire le risque d'échec commercial. Longtemps mis à part, les utilisateurs finaux ont vu leur rôle évoluer du statut de simple sujet à partenaire du processus de conception (Sanders & Stappers, 2014). Ceci est la définition-même des séances de co-conception : "C'est une session pré-arrangée qui implique des concepteurs et des personnes non formées à la conception, qui travaillent ensemble dans le cadre du processus de développement d'un produit."

(O'Hare et al., 2018). Cette implication tient son origine des méthodes agiles, du design thinking et du modèle en double diamant.

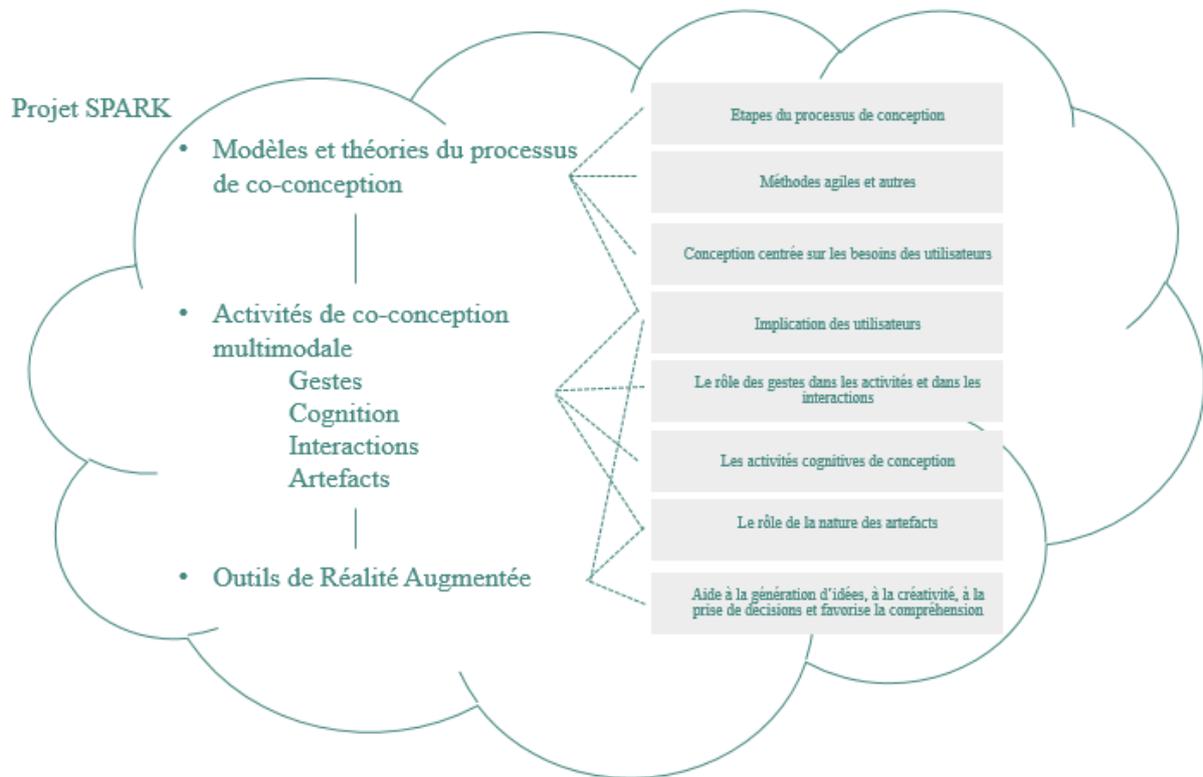


Figure 21: Représentation du déroulement de notre état-de-l'art avec les liens entre ses thématiques

Pour les raisons évoquées précédemment, les industriels impliquent de plus en plus les utilisateurs de leurs produits dans les différentes phases de conception mais cela induit de relever quelques défis notamment celui de la communication. En effet, les utilisateurs finaux n'étant pas des designers, il est peu probable qu'ils aient le même vocabulaire et la même expérience en conception. Cela peut entraîner des malentendus et des frustrations lorsque l'échange d'idées est inhibé par des problèmes de communication (Stracey & Eckert, 2003) et entravé par des problèmes de fidélité de la représentation artefactuelle (Hannah et al., 2012). Ainsi, les processus cognitifs des acteurs ne sont pas optimisés. Il est donc nécessaire de mettre au point de nouvelles méthodes et de nouveaux outils pour faciliter les interactions et pour permettre une transmission efficace des idées dans le cadre de sessions de co-conception. De plus, notre état-de-l'art nous a enseigné que, lors de ces interactions, les représentations externes intermédiaires jouent un rôle crucial dans l'établissement d'une représentation interne commune de la solution (Bodker, 1998). Par conséquent, les technologies de réalité augmentée (AR) et de réalité augmentée spatialisée (SAR) ont suscité un grand intérêt. Plus particulièrement, la réalité augmentée spatialisée offre la possibilité d'améliorer un prototype physique par la superposition d'images numériques directement visualisables sur la surface de l'objet. De plus, les solutions fournies

par le revêtement numérique peuvent être modifiées en temps réel. De ce fait, nous supposons que la technologie SAR est un outil efficace de représentation de la conception, car elle peut fournir de nombreux avantages en termes de richesse et de flexibilité par la projection des images virtuelles, tout en conservant les nombreux avantages importants des représentations physiques de la conception, tels que leur tangibilité et la représentation précise de l'échelle de l'objet.

Partie II : Objectifs, problématique et hypothèses

Sommaire

1. Identification des objectifs poursuivis.....	66
2. Problématique de recherche et hypothèses.....	67
2.1. Problématique.....	67
2.2. Hypothèses.....	68

1. Identification des objectifs poursuivis

L'état-de-l'art a montré les lacunes scientifiques encore présentes à ce jour à propos de l'analyse de l'activité de conception collaborative surtout du point de vue multimodale. En effet, la complexité de la prise en compte de toutes les modalités (regards, gestes et protocole verbal) a longuement freiné les avancées sur la caractérisation complète de l'activité de conception. Alors que la plupart des études abordent ces différentes modalités individuellement, nous souhaitons apporter aux recherches ayant abordé la multimodalité dans le passé (Oviatt, 1999 ; Détienne et al., 2006 ; Eris et al., 2014 ; Becattini et al., 2017 ; Ben Guefrache et al., 2017), de nouvelles connaissances sur les interactions gestuelles ; verbales et leurs relations en utilisant des méthodes quantitatives et qualitatives.

Nous avons constaté dans notre revue de la littérature que l'étude de la cognition dans la conception a été largement explorée à l'aide de méthodes qualitatives ou mixtes telles que l'analyse de protocole (Hay et al. 2017) ou encore l'étude de cas (e.g., Christensen & Schunn, 2007 ; Yilmaz & Seifert, 2011 ; Yilmaz et al. 2014) mais qu'il y a peu d'études employant d'autres méthodes ou théories (Cash, 2018). Par conséquent, un consensus est admis que des changements seraient nécessaires pour surmonter la stagnation des sujets et des méthodologies de recherche dont l'étude de l'activité de conception fait face (Dinar et al. 2015 ; Sio et al. 2015 ; Crilly & Cardoso 2017 ; Hay et al. 2017 ; Cash 2018 ; Hay et al, 2020 ; Cash & Maier, 2021). Dinar et al. (2015) et Hay et al. (2017) ont souligné l'importance d'inclure des approches quantitatives accompagnées d'hypothèses robustes pour élargir le répertoire de méthodes de recherche employées. C'est alors à la suite de ce constat que nous avons choisi de relever ce défi en implémentant des méthodes quantitatives à notre étude.

Alors que notre premier objectif va être d'apporter des connaissances sur l'activité multimodale de co-conception, le contexte du projet SPARK dans lequel nous nous inscrivons implique une prise en compte de l'évolution des pratiques avec l'arrivée des nouvelles technologies. Le développement et l'utilisation d'outils de réalité augmentée spatialisée comme la plateforme SPARK ont fait leur apparition dans les années 2000 (Raskar et al., 1998) et sont employés à un large domaine d'application (e.g., éducation, collaboration, médecine, navigation et automobile, ou encore l'étude des interactions) (Dey et al., 2018). L'influence d'une telle technologie a d'ores et déjà fait l'objet de recherches montrant la performance globale d'une session de co-conception par le biais de mesures sur la qualité des solutions et sur l'efficacité de la session (O'Hare et al., 2016). Cependant, peu de travaux ont été menés pour montrer les impacts de la technologie SAR sur l'activité de co-conception d'un point de vue cognitif et gestuel (e.g., Ben Guefrache et al., 2017). C'est pourquoi que nous allons tenter de répondre à ses manques en apportant de nouvelles connaissances sur l'influence de la technologie SAR sur l'activité multimodale de co-conception.



Figure 22: Synthèse des objectifs de recherche poursuivis

2. Problématique de recherche et hypothèses

2.1 Problématique

Notre constat est qu'il existe très peu d'études expliquant l'implication des fonctions cognitives et gestuelles dans l'analyse de l'activité de co-conception. De plus, il n'existe pas d'études s'intéressant à l'influence de la technologie SAR sur ces mêmes fonctions.

Une étude est donc nécessaire pour approfondir les connaissances liées à l'analyse de l'activité de co-conception et pour identifier les apports de cette technologie dans la phase de revue de la conception.

Peut-on caractériser l'activité multimodale de co-conception dans un environnement de Réalité Augmentée Spatialisée ?

Par conséquent, le périmètre de ce travail de thèse se situe à l'intersection de l'étude de la conception collaborative et des outils d'aide à la conception dans la phase de revue de la conception.

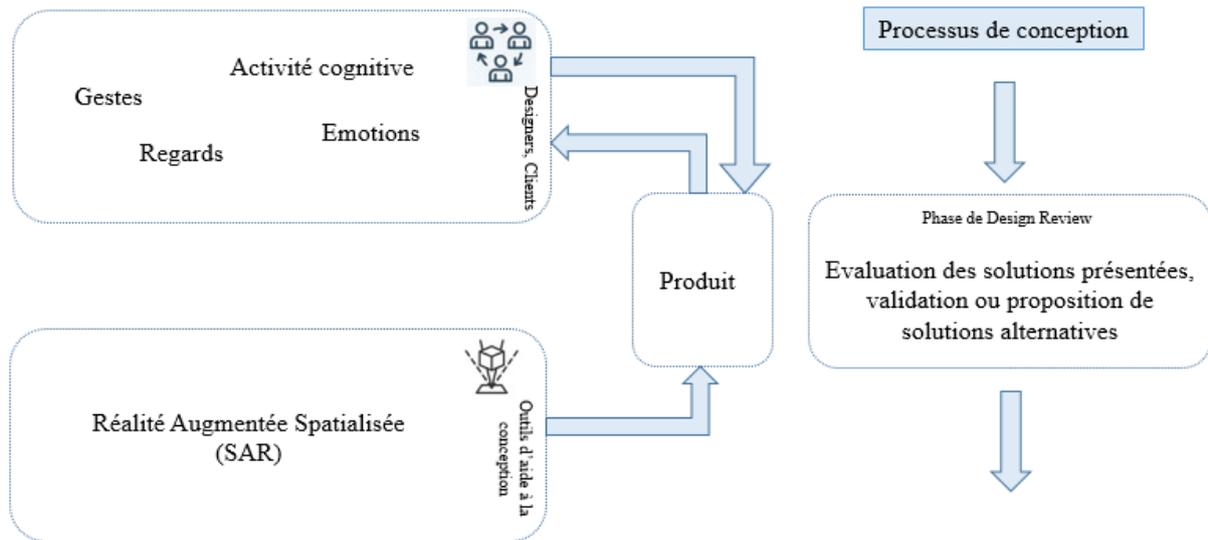


Figure 23: Périmètre de la thèse

2.2 Hypothèses

Les hypothèses que vous allez rencontrer dans ce document sont relatives à l'état d'avancement de la thèse. En effet, comme nous nous positionnons à la fin du projet SPARK nous souhaitons premièrement répondre aux hypothèses préliminaires du projet tout en utilisant notre propre méthodologie construite pour analyser en détails les activités cognitives et les gestes lors des sessions. Nous tenterons de répondre à ces premières hypothèses à l'issue de l'observation d'étude de cas sur le terrain [Partie IV]. Dans un second temps, nous redéfinirons nos hypothèses au regard des résultats obtenus lors des observations de sessions chez notre partenaire industriel. Ces hypothèses seront effectives pour la partie VI de ce document. Autrement dit, il s'agira des hypothèses auxquelles nous répondront dans la phase d'expérimentation en laboratoire.

Mais tout d'abord, rappelons les hypothèses préliminaires du projet SPARK (préalablement exposées dans la Partie I.5.2) :

- La plateforme SPARK facilite les échanges entre les designers et les clients / utilisateurs finaux.

On s'attend à ce que les résultats des observations menées chez notre partenaire industriel indiquent un plus fort taux d'interaction des clients / utilisateurs finaux dans les sessions utilisant la technologie SAR que dans les sessions traditionnelles de conception.

- La SAR modifie la pensée habituelle des concepteurs

Nous pensons que les activités cognitives et les gestes réalisés pendant les sessions de co-conception diffèrent selon que les acteurs se trouvent dans une situation traditionnelle ou avec la technologie SAR.

- La plateforme SPARK améliore l'interaction avec le prototype

Nous pensons que l'amélioration de l'interaction avec le prototype se caractérise par une augmentation des interactions avec celui-ci, c'est-à-dire que nous devrions observer plus de gestes de pointages ou de manipulation lui faisant référence comparativement à la condition standard.

- La plateforme SPARK améliore la productivité

Nous pensons que l'utilisation de la plateforme SPARK conduira à un plus grand nombre de générations d'idées et d'évaluation des solutions.

Partie III : Méthodologie

Sommaire

1. Choix des méthodes et cadre d'analyse.....	72
2. Création des grilles de codage des gestes et du protocole verbal.....	73
2.1. Notre classification des gestes dans la conception.....	74
2.2. Notre classification des activités cognitives de conception et des arguments.....	76
2.3. Le coding book.....	79
2.4. La validation des grilles de codage.....	82
2.5. Procédure de codage des sessions.....	83

1. Choix des méthodes et cadre d'analyse

Pour ce travail de thèse, nous avons choisi de suivre une méthodologie ergonomique car cette discipline scientifique nous paraissait appropriée à la compréhension des interactions entre les individus et les outils présents dans le système. Plus particulièrement, nous nous inscrivons dans le domaine de l'ergonomie cognitive où nous mettons l'humain au centre de nos préoccupations.

L'ergonomie est une discipline scientifique visant à adapter un produit ou une situation de travail pour son utilisateur. Le cognitif fait référence aux grandes fonctions exécutives, motrices et visuelles de l'humain (attention, inhibition, perception, mémoire, langage, mouvement, ...).

L'adoption de ce champ disciplinaire pour aborder l'étude des interactions dans un environnement de réalité augmentée spatialisée nous a donc convaincus par sa pertinence.

Plusieurs méthodes d'analyse de l'activité sont employées en ergonomie (Darses et de Montmollin, 2012). **L'analyse du travail réel** est la méthode optée par l'ergonomie de l'activité humaine en réalisant un diagnostic de l'écart entre les tâches prescrites (les tâches annoncées au départ) et les tâches effectives sur le terrain (les tâches observées au final). Pour cela, l'observation accompagnée d'enregistrement vidéo des comportements et verbalisations des sujets est adoptée. Le traitement de ces données est le plus souvent qualitatif. **L'analyse expérimentale en laboratoire** est adoptée pour l'analyse du facteur humain. Celle-ci s'accompagne d'observations et d'enregistrement faisant l'objet d'un traitement quantitatif cette fois. Pour finir, **les méthodes telles que les entretiens, les questionnaires et les tests** sont utilisés sont parfois employés afin de recueillir des données statistiques.

Dans notre étude, nous avons à disposition des séances de co-conception menées sur le terrain qui ont été filmées lors du projet européen SPARK. Afin de procéder à une première étape dans cette thèse en mode « rapport d'étonnement », nous avons choisi de nous positionner sur une observation des comportements et des verbalisations pour analyser l'activité de co-conception. Cette étape nous permettait, dans un premier temps, de répondre aux hypothèses préliminaires du projet SPARK et de nous laisser surprendre par d'éventuels phénomènes que nous irions analyser dans d'autres expérimentations menées à posteriori. Grâce à ces expérimentations en laboratoire, nous pourrions contrôler de nombreux biais nous assurant que l'effet observé est bien dû à la condition expérimentale. Les objectifs de ces séances de co-conception en laboratoire sont également de répondre à de nouvelles hypothèses plus fines issues des premières observations et de conclure à des résultats généralisables d'un point de vue statistique grâce à un nombre de sessions représentatif. Pour finir, nous utiliserons, à la suite des expérimentations en laboratoire, les questionnaires et les entretiens pour apporter des résultats venant du ressenti du participant contrairement aux autres analyses provenant du seul regard

de l'expérimentateur. Ces deux dernières méthodes nous permettront de recueillir des données quantitatives d'une part et qualitatives d'autre part.

La schématisation suivante nous apporte une meilleure lisibilité des méthodes choisies tout au long de ce travail de recherche.

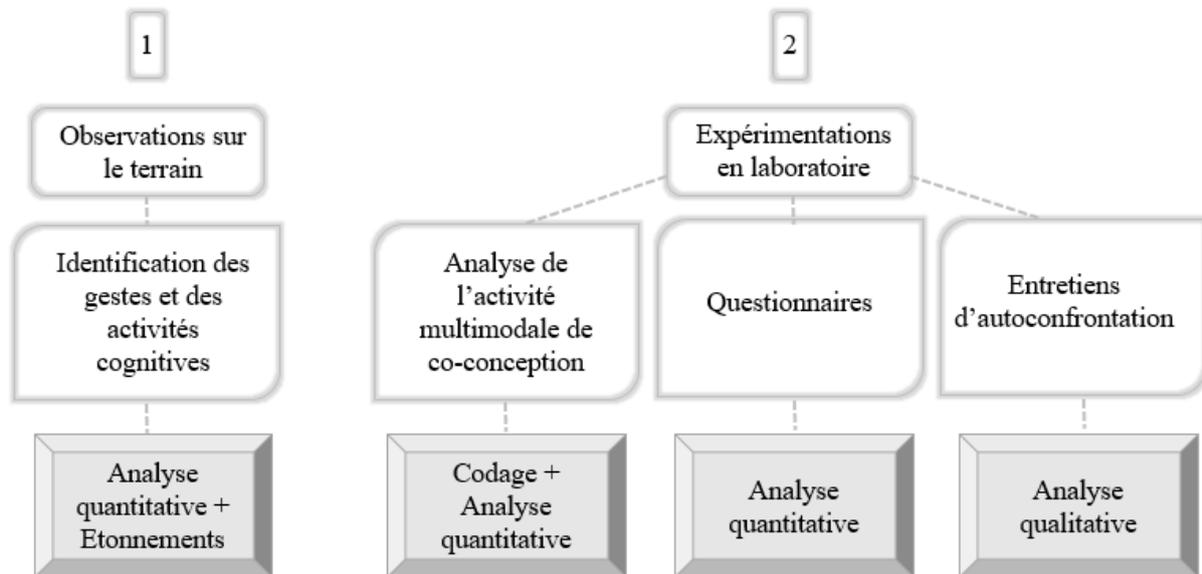


Figure 24: Synthèse des méthodes d'analyse utilisées dans cette étude

Pour procéder à notre observation sur le terrain, nous nous devons de savoir ce qu'il nous faudra observer car une observation sans préparation n'apporte guère d'informations. Notre intérêt portant sur les données comportementales et verbales des concepteurs et des utilisateurs, nous avons décidé de nous appuyer sur des travaux de chercheurs ayant élaboré des grilles de classifications de gestes et de protocole verbal. Nous nous sommes alors inspirés de ces travaux (cf. Partie I.2.1.1 et I.2.2) pour établir une première sélection de catégories utiles à notre étude. Nous allons vous en présenter le contenu dans les paragraphes suivants.

2. Création des grilles de codage des gestes et du protocole verbal

Nos objectifs de recherche étant d'une part, de caractériser l'activité de co-conception avec l'outil technologique SAR et d'autre part d'identifier les apports de cette dernière technologie dans la phase de revue de la conception, nous avons procédé à une analyse multimodale approfondie de l'activité appuyée par des études de cas sur le terrain avec des industriels, puis en laboratoire en se rapprochant au maximum des conditions de co-conception réelles. Notre démarche a tout d'abord consisté en une exploration de la littérature d'éventuelles grilles de classifications des gestes et des activités cognitives de conception déjà existantes (cf. Partie I.2.1.1) afin de constituer nos propres grilles de codage

essentielles à l'identification de l'activité multimodale de co-conception. Les deux prochains paragraphes sont dédiés à la présentation de ces classifications.

2.1. Notre classification des gestes dans la conception

Comme nous l'avons évoqué dans la section I.3., les interactions avec les artefacts lors des séances de conception ont été étudiées dans la littérature scientifique au moyen d'analyses du protocole basées sur l'analyse des verbalisations et/ou l'analyse des gestes associés aux verbalisations. Nous consacrerons cette section à l'analyse des interactions gestuelles.

L'observation et l'analyse des gestes et des artefacts pendant la pratique est un niveau d'investigation important pour comprendre les interactions dans les sessions de co-conception à travers la plateforme SPARK et finalement arriver à des mesures d'"intervention" qui permettraient de mesurer l'effet de la technologie SAR sur la participation des utilisateurs finaux ou des mesures d'"interaction" qui mesurent l'effet du prototype mixte sur la performance de la session. Notre cadre d'analyse que nous rappelons ici est basé sur la saisie de l'interaction gestuelle entre les participants et les matériaux de la session (y compris les prototypes physiques, numériques, etc.). Notre objectif est de souligner le rôle de la technologie SAR dans la modification de ces schémas d'interaction, ce qui, nous permettra d'avoir une meilleure connaissance du rôle de la représentation artefactuelle mixte dans la conception.

A cette fin, nous avons d'abord créé notre propre grille de codage des gestes basés sur trois éléments : le(s) client(s) ou les utilisateurs finaux (End-Users), le(s) concepteur(s) et le(s) artefact(s) utilisé(s) pour soutenir leurs interactions. Ainsi, les interactions possibles pendant une séance de co-conception sont représentées par la figure 25.

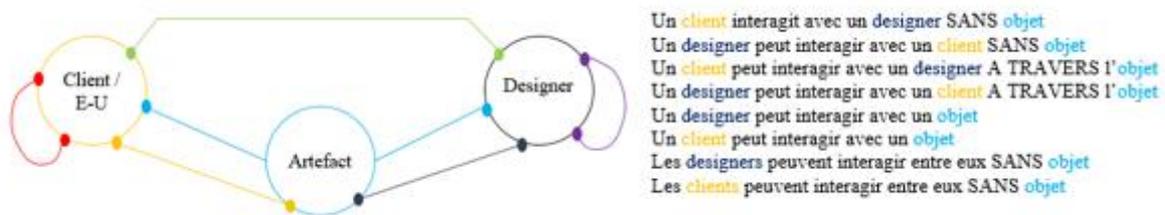


Figure 25: Cadre d'analyse des interactions gestuelles

Grâce à l'observation des premières sessions de co-conception dans le cadre du projet SPARK, nous avons constaté que plusieurs types de gestes étaient réalisés lors des différentes interactions décrites précédemment. Parmi les classifications de gestes existantes dans la littérature, celle de McNeill (2005) distinguant des dimensions de gestes se produisant pendant des réunions et des conversations a retenu notre attention :

- **Iconique** : Ces gestes simulent une forme, une fonction, la taille d'un objet ou d'une partie d'un objet tangible ou imaginaire en un geste en l'air de simulation. En d'autres termes, il s'agit d'un

geste de mimétisme de l'objet. Par exemple, actionner une manette non fonctionnelle pourrait être mimé en réalisant le geste d'appui sur le bouton ON sans en avoir les effets.

- **Métaphorique** : Dans un geste métaphorique, une signification abstraite est présentée comme si elle avait une forme et/ou occupait un espace. Il se réfère à des gestes qui montrent un contenu pictural pour communiquer une idée abstraite. Par exemple, lorsqu'un orateur dit : "*nous devons procéder pas à pas*", il fait un mouvement avec deux doigts d'une main pour imiter la montée des escaliers.
- **Déictique** : Le prototype du geste déictique est un "index" étendu, mais presque toutes les parties du corps extensibles ou les objets tenus peuvent être utilisés. Le geste déictique consiste à localiser des entités et des actions par un pointage dans l'espace.
- **Battements (Gesticulations)** : Appelés ainsi parce que la main semble battre le temps. En tant que formes, les battements sont de simples mouvements de haut en bas ou d'avant en arrière de la main, qui se concentrent de manière rythmique sur les pics prosodiques de la parole. Cette rythmicité a fait que les battements semblent purement liés à la parole. Cependant, ils ont également une fonction discursive, signalant le lieu temporel de quelque chose que le locuteur estime important par rapport au contexte plus large.

Un des objectifs de la thèse étant d'identifier le rôle des gestes dans la conception selon la nature de l'artefact (tangibile ou mixte), il nous a semblé important de distinguer les gestes déictiques selon le type de représentation pointé du doigt. Ainsi, notre classification est constituée de gestes de pointage ou de manipulation centrés sur l'artefact de trois natures différentes :

- **Tangible** : Un geste centré artefact codé "tangible" sera un geste de pointage ou de manipulation envers une maquette, un prototype, un produit ou une partie d'un produit matériel, un croquis, une image, un livre, etc ayant des propriétés physiques tangibles dans l'environnement de conception des designers et des clients.
- **Digital** : un geste centré artefact codé "digital" sera un geste de pointage ou de manipulation de matériel numérique comme un écran de télévision, une tablette portable, un ordinateur ou un téléphone.
- **Mixte** : un geste centré artefact codé "mixte" sera un geste de pointage ou de manipulation du prototype physique sur lequel est projeté une image. L'interaction avec un artefact mixte peut aussi s'agir de la manipulation de l'interface (tablette) à l'origine des modifications sur le prototype mixte.

Nous avons procédé à l'ajout d'une dernière catégorie parmi celles décrites ci-dessus pour signifier qu'une interaction se produit sans la manifestation de geste. Cette catégorie sera appelée "None" :

- **None** : une interaction verbale sera codée "none" ("aucun") lorsqu'aucun geste ne sera pas associé à l'interaction en cours. Notons qu'il est possible qu'une personne commence une

interaction verbale sans utiliser de gestes puis décide de faire un geste centré artefact ou non. Dans ce cas, l'interaction sera codée dans un premier temps "none", puis l'interaction sera découpée de sorte à coder une nouvelle occurrence comprenant dans un second temps le geste en question.

Pour résumer, notre grille de codage des gestes se synthétise par la représentation suivante :

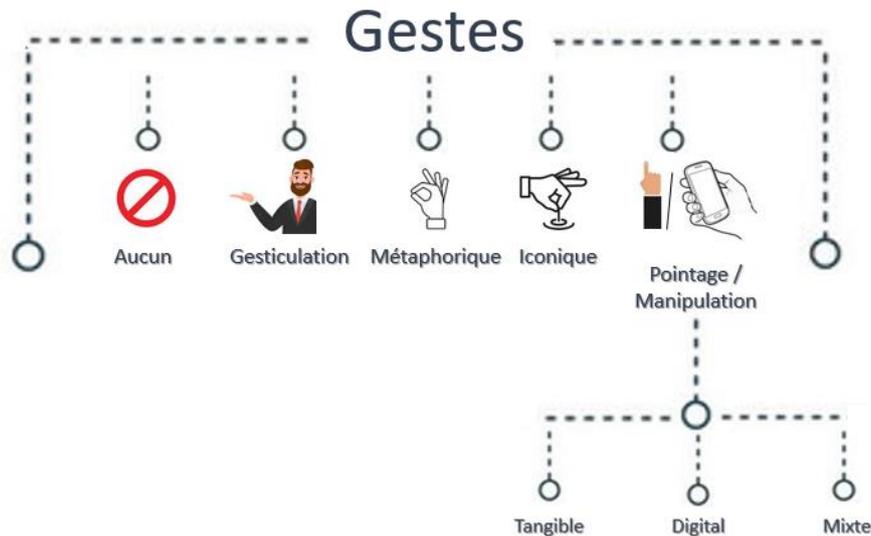


Figure 26: Classification des gestes

2.2. Notre classification des activités cognitives de conception et des arguments

Les interactions verbales entre les différents participants sont cruciales, car elles sont la seule source permettant de récolter des informations sur le contenu des solutions proposées par les designers et les clients et/ou utilisateurs lors d'une session de co-conception.

De la même manière que pour les gestes, tous les partenaires du projet SPARK ont réalisé une première observation d'une séance de co-conception dans l'objectif de cartographier et analyser les interactions verbales afin d'identifier les principaux contenus explorés et manipulés. En repérant les activités de conception et l'objet de ces activités dans des situations de conception traditionnelles, il nous était alors possible d'établir une grille de codage des activités que nous pourrions utiliser pour mesurer les effets de la technologie sur le comportement créatif des concepteurs et des clients.

Les schémas de codage à utiliser pour cette analyse prennent en compte deux facettes différentes qui caractérisent les dialogues entre les différents participants à la session de co-conception. Le premier codage est axé sur les processus cognitifs traitant les idées concernant l'évolution de la solution de conception associée au prototype. Les arguments constituent la deuxième facette du codage où ceux-ci caractérisent le contenu de la solution de conception en termes d'éléments et de paramètres faisant l'objet de l'activité cognitive.

- Activité cognitive : action effectuée par l'acteur qui intervient
- Argument : entité informationnelle sur laquelle l'action est exercée

La définition de ces caractéristiques a été obtenue par un processus itératif d'observation et de validation du système de codage lors du visionnage des premières séances de co-conception réalisées dans le contexte du projet SPARK. De plus, notre méthode de codage des interactions verbales s'est inspirée des travaux de Darses et al., (2001) ainsi que des travaux de D'Astous et al., (2004).

Ainsi, nous obtenons les catégories d'activités cognitives de conception suivantes :

- **Générer** [GEN] : Proposition d'une nouvelle idée (solution) dans la discussion.
- **Informer** [INFO] : Fournir de nouvelles informations sur le sujet en cours de discussion / exprimer des connaissances. Ces informations sont factuelles et ne font pas l'objet de quelque interprétation ou supposition.
- **Justifier** [JUST] : Argumenter, se justifier ou expliquer son raisonnement vis-à-vis de son choix ou de sa proposition de solution.
- **Interpréter** [INT] : Expression d'une représentation interne (opinion ; point de vue ; préférence) du sujet de discussion en question. Les représentations internes sont personnelles et subjectives. L'expression de cette représentation se fait via des phrases du type " *Je crois que ...* ", " *Je pense que ...* ", " *Peut-être ...* ".
- **Évaluer** [EVAL] : Jugement de la valeur du sujet. L'évaluation peut être positive, négative ou neutre.
- **Simuler** [SIM] : Action de simuler l'usage du produit dans un contexte réel d'utilisation. Cette activité passe par de la mise en situation et de l'imagination de scénarios.
- **Accepter** [ACC] : Validation d'une idée à propos d'un argument donné lors de la session de co-conception. Exprimer un accord avec son/ses interlocuteur(s).
- **Rejeter** [REJ] : Rejet ou abandon d'une idée à propos d'un argument donné lors de la session de co-conception. Exprimer un désaccord avec son/ses interlocuteur(s).
- **Compréhension** ou synchronisation cognitive [COMP] : Acteur signifiant à son et ses interlocuteurs qu'il a compris le message lui étant adressé : "*hum hum* " "*Ah Ah*" ou demandant une clarification sur un aspect de la discussion. Du point de vue de Darses (2004), nous avons vu que la synchronisation cognitive se réalise au travers de trois autres activités cognitives : **l'établissement d'un référentiel commun, l'intégration des points de vue et la décision collective**. Dans notre étude, la technologie SAR est un dispositif développé pour permettre aux concepteurs et aux utilisations finaux d'avoir une représentation interne commune. De plus, les décisions collectives se font sous forme de validation ou de rejet qui sont distingués de la synchronisation cognitive dans notre étude. C'est pourquoi nous avons choisi de ne présenter que l'activité de compréhension faisant référence à l'intégration des points de vue selon Darses (2004) comme activité raccourcie de la synchronisation cognitive longuement étudiée et

présentée dans la première partie de cette thèse. Bien sûr la représentation externe et la prise de décision collective sont des éléments essentiels à la compréhension de chacun quant au problème.

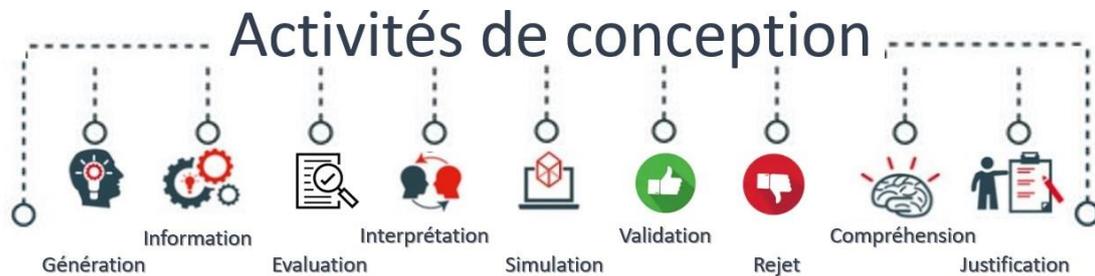


Figure 27: Classification des activités cognitives de conception

L'identification de certains arguments dans le projet SPARK a révélé certains items comme pertinents pour notre étude notamment les items concernant les caractéristiques du produit. En effet, le consortium avait élaboré une classification des items présents dans les interactions verbales en nombre en terme de contenu de la solution de conception. Ces items étaient, par exemple, le texte, l'image, le logo, la couleur, la forme, la texture, une partie de l'entité, l'entité dans son ensemble, la taille ou encore le matériau. Seulement, les sessions de co-conception menées avec le partenaire industriel du projet ont révélé que les clients des produits n'interagissaient pas uniquement sur ces dernières problématiques. Le fonctionnement, l'usage et le coût étaient, par exemple, des éléments argumentatifs en faveur de la validation ou non de la solution proposée. Ainsi, au regard de la grille de classification générée dans le projet ainsi que le contenu des sessions de co-conception, nous avons choisi de conserver les arguments suivants à notre classification :

- **Caractéristiques du produit** [PC] : Action réalisée autour d'une ou de plusieurs caractéristiques du produit (texture, couleur, taille, position, logo, look, texte, matériau, forme).
- **Fonction** [FUNC] : Action réalisée autour de la fonction et/ou de l'objectif d'utilisation d'un élément de l'artefact ou de l'artefact dans son ensemble. (Le "A quoi ça sert ?")
- **Élément de l'artefact** [PART] : Action réalisée autour d'un élément qui compose l'artefact (ex : LED ; tenseur ; anse ; ...) mais dont le centre d'intérêt principal n'est pas une caractéristique de l'artefact en question.
- **Artefact dans son ensemble** [WHO] : Action réalisée autour de l'artefact dans son ensemble.
- **Opération** [OP] : Action réalisée autour du fonctionnement du produit (le "comment ça marche ?")
- **Processus de conception** [DP] : Action réalisée autour de la gestion de la session de co-conception. Déroulement de la session / suivi de projet / management de projet.

- **Autre** [OTH] : Dans "autre" peuvent être répertoriés les autres caractéristiques de l'artefact ne figurant pas ci-dessus ou tout type d'action se référant à autre chose qui ne remplit pas les critères d'inclusion dans une des catégories précédentes.

Suite à l'élaboration de ces trois différentes classifications et grâce à l'expérience des collaborateurs scientifiques et chercheurs du projet SPARK, nous avons constitué un livre de codage détaillant les règles que devront suivre les codeurs dans le but de réduire les incompréhensions et les différences de codage dues aux interprétations de chacun.

2.3. Le coding book

Nous avons établi un coding book ayant pour objectif de créer un consensus sur le choix du code à attribuer aux gestes, aux activités et arguments identifiés pendant les interactions.

- o Identifier les **interactions** collaboratives

Quelques critères nous permettent d'identifier une interaction faisant l'objet d'un codage pour notre étude :

- La discussion porte sur la réunion de co-conception
- La discussion est au sujet de l'objet à concevoir
- Il y a au moins une personne à laquelle s'adresse le discours

Comment identifie-t-on ces interactions pour effectuer le codage ?

- Lorsque quelqu'un initie une interaction (en parlant ou en montrant quelque chose), il y a une forte probabilité qu'il soit sur le point (ou ait l'intention) d'initier une interaction collaborative.
- Si deux interactions coexistent, l'interaction collaborative codée est celle qui implique le plus grand nombre de personnes. Concrètement, deux participants regardent l'artefact mixte et en même temps un autre participant écrit sur son bloc-notes. Dans ce cas, l'interaction collaborative est celle avec l'artefact mixte ; l'interaction secondaire avec le bloc-notes n'est pas prise en compte.
- Lorsque l'interaction collaborative est difficile à identifier (notamment en session avec un grand nombre de participants), il convient de considérer le rôle des acteurs (leader de la session par exemple). Un autre critère pourrait nous aider à identifier l'interaction collaborative : repérer l'acteur qui a la possibilité de modifier le produit.
- Lorsque différents acteurs parlent en même temps, nous privilégions le client (ou l'utilisateur). En raison de la nature des sessions, où les concepteurs dirigent naturellement la réunion, nous privilégions les interactions des clients et des utilisateurs dans l'amélioration de la dimension collaborative de la session.

- Identifier quel **acteur** est en train d'initier une interaction

Identifier quel acteur initie l'interaction est un objet important de la recherche. Nous ne considérons que l'acteur qui initie l'interaction ; nous ne prêtons pas attention aux destinataires même si le destinataire est nécessaire pour avoir une interaction collaborative.

Concrètement, nous identifions qui parle ou qui pointe quelque chose. Notez que la plupart du temps, le fait de pointer quelque chose se produira simultanément avec le discours.

- Identifier les **changements d'occurrence**
 - Dès qu'il y a un changement d'acteur dans la prise de parole (tours de parole)
 - Dès qu'il y a un changement de geste dans l'intervention d'un même acteur
 - Dès qu'il y a un changement d'activité cognitive de conception mobilisé par l'acteur dans une même interaction
 - Dès qu'il y a un changement d'argument sous-tendant l'activité de conception dans une même interaction
 - Le codage du protocole verbal du client ou de l'utilisateur prime sur le designer en cas d'intervention simultanée.
- Identifier le **geste** qui soutient l'interaction

Différents types de gestes sont codés : tangibles, digitaux, mixtes, iconiques, métaphoriques et gesticulations.

Lorsqu'un acteur interagit sans la mobilisation de geste, nous codons "none" (traduction de "aucun" en anglais) car aucun geste n'est au cœur de l'interaction. Pourtant, l'acteur qui initie l'interaction sera codé. Concrètement, les participants se parlent et se regardent sans aucun soutien (aucune désignation d'artefact, aucun artefact dans les mains ni aucune simulation de l'artefact avec des gestes).

S'il y a des gestes réalisés alors tous ceux-ci sont codés à partir de l'instant où une interaction verbale survient et qu'un geste est associé à cette interaction. Un geste est alors codé en fonction de la catégorie qui lui est attribuée. Tout geste non associé à une interaction verbale n'est pas codé.

De plus, un participant initiant une interaction verbale peut utiliser des gestes de catégories différentes. Tous ces différents gestes seront codés jusqu'à ce que l'intervention de ce participant se termine.

Dans le cas de deux interventions de personnes différentes, le client aura la primauté sur le designer. Ainsi, les interactions gestuelles du client seront codées et non celles du designer. Cette priorité s'achève quand le client termine son intervention et que le designer continue d'interagir.

- Identifier l'**activité cognitive** associée à l'intervention de l'acteur en question

Différentes activités cognitives sont codées : Le génération d'idée, l'information, l'évaluation, l'interprétation, la validation, le rejet, la simulation du contexte d'usage, la compréhension et la justification de la solution proposée.

Une fois l'acteur et le type de geste identifié, le codeur se base sur le contenu du protocole verbal pour savoir de quelle activité cognitive de conception l'interaction fait elle l'objet. Toutes les interactions verbales sont associées à une activité de cette classification et toutes les interventions verbales, même de type "oui" ; "hum" ; "Ok", ... sont codées.

Néanmoins, au cours de l'interaction d'un même acteur, celui-ci peut, par exemple, proposer une idée puis justifier sa proposition d'idée par des exemples. Comme pour les gestes, un participant peut alors utiliser plusieurs catégories d'activités différentes en une seule interaction. Toutes ces activités successives seront alors codées jusqu'à ce que l'intervention de ce participant se termine.

La règle de la primauté prévaut aussi pour le codage des activités cognitives.

- Identifier l'**argument** associé à l'intervention de l'acteur

Différents arguments sont codés : le processus de conception (DP), les particularités du produit (PC), une partie du produit (PART), le produit dans son ensemble (WHO), la fonctionnalité (FUNC), l'opérationnalité (OP) et autre (OTH).

Le codage de l'argument est la dernière entité du codage de l'interaction verbale engagée par un participant. Alors que nous avons identifié qui parle, en faisant quel geste et mobilisant quelle activité cognitive de conception, l'argument complète le codage de l'interaction.

Comme pour les gestes et les activités, un participant peut très bien en cours d'interaction décider de changer d'arguments en parlant par exemple de la partie du produit puis d'une de ces caractéristiques. Tous les arguments successifs seront codés jusqu'à ce que le participant achève son intervention.

- **Règles** de codage

Afin d'éviter toute ambiguïté de codage et doutes vis-à-vis des différents codeurs, quelques règles ont été instaurées dont quelques exemples sont cités ci-dessous.

Règle 4 : Si les participants abordent un sujet s'éloignant du sujet en question et qui n'argumente par en faveur d'une solution au produit, le passage concerné ne sera pas codé.

Règle 9 : Lorsque quelqu'un parle, puis s'arrête, puis parle à nouveau, nous ne codons pas une autre fois cette interaction. Nous considérons qu'il s'agit de la même interaction que la précédente (si le geste, l'activité cognitive et l'argument sont identiques évidemment, sinon une autre occurrence doit être écrite).

Règle 11 : Lorsqu'un problème technique se produit pendant la session, nous suspendons le codage jusqu'à ce que l'incident soit résolu.

2.4. La validation des grilles de codage

Tout le travail d'établissement des diverses classifications et du coding book nous a permis de définir un cadre laissant le moins de place possible à l'interprétation des chercheurs.

Néanmoins, afin de s'assurer que ces grilles de codage sont robustes et fiables pour l'analyse des sessions de co-conception, nous avons procédé à plusieurs phases de test de fiabilité inter-codeurs.

En premier, nous avons réalisé un test de fiabilité inter-codeur sur trois segments de 5 minutes des sessions test issues du projet SPARK où nous nous sommes focalisés sur l'ensemble des classifications. Ce test a été réalisé dans le premier "work package" impliquant les industriels partenaires du projet. Quatre codeurs différents ont été mobilisés dans cette étape.

Session	Codeur 1	Codeur 2	Perreault and Leigh (1989) <i>Ir</i>	Cohen's Kappa (1960)
Standard Extract A.	MP	LB	0.8266	0.6546
Standard Extract B.	MP	MT	0.9493	0.7517
SAR	MP	EM	0.9118	0.7220

Tableau 7: Tests de fiabilité inter-codeurs initiaux

< 0	Pauvre
0 - 0,20	Léger
0,21 - 0,40	Honnête
0,41 - 0,60	Modéré
0,61 - 0,80	Important
0,81 - 1,00	Presque parfait

Tableau 8: Interprétation des scores du Cohen's Kappa (acceptable à partir de 0.61)

Les résultats obtenus sur les tests du Cohen's Kappa et de Perreault et Leigh nous indiquent que la classification est robuste (fort degré d'accord > 0.61), ce qui nous permet de valider la méthode et de

procéder au codage intégral des 6 sessions de co-conception menées chez les partenaires du projet SPARK dans la phase observatoire (Partie IV).

Les seconds tests de fiabilité inter-codeurs ont été réalisés durant la phase expérimentale menée en laboratoire (Partie IV). Cette étape a mobilisé trois codeurs sur deux segments de 5 minutes d'une de ces sessions. Contrairement au test réalisé dans la première étape, nous avons réalisé des tests de Cohen's Kappa sur chacune des classifications car la grille de codage des arguments méritait d'être vérifiée à nouveau d'autant plus qu'une année s'était écoulée entre la première phase d'observation et la phase d'expérimentation en laboratoire.

Session	Coder 1	Coder 2	Cohen's Kappa_ Gestes	Cohen's Kappa_ Activités	Cohen's Kappa_ Arguments
Standard Session 11	MP	CB	0.6795	0.5971	0.5955
Standard Session 11	MP	AB	0.6162	0.5867	0.6064
SAR Session 11	MP	CB	0.6536	0.6023	0.6732
SAR Session 11	MP	AB	0.5879	0.4290	0.5672

Tableau 9: Tests de fiabilité inter-codeurs de la seconde phase expérimentale

Les résultats aux tests de Cohen's Kappa dans cette deuxième phase expérimentale sont modérément à substantiellement validés et nous permettent ainsi de valider un degré d'accord entre les codeurs relativement bon.

2.5. Procédure de codage des sessions

Nous avons abordé dans les précédentes sections le long cheminement nous ayant mené jusqu'à l'élaboration de nos grilles de codage et leur validation dans le but d'analyser les sessions de co-conception menées tantôt sur le terrain tantôt en laboratoire. Les lieux, les produits, les participants et les dispositifs d'enregistrement des sessions étaient différents dans les deux phases qui constituent cette thèse. Nous aborderons alors les détails concernant les participants et la récolte des données dans les méthodologies respectives des deux études de cas présentées plus loin dans ce manuscrit (Partie IV et VI).

Dans ce paragraphe, nous allons nous focaliser sur la méthodologie commune aux deux situations expérimentales :

- La transcription du protocole verbal
- La segmentation du protocole sur la base des enregistrements vidéo et audio

- La transcription du protocole verbal

Après le recueil de la vidéo et de l'audio de chaque session de co-conception, l'une des premières missions à effectuer après le vignettage des vidéos (assemblage des caméras sur une même vidéo) est de transcrire tout le contenu du discours des différents participants. Cette étape étant très coûteuse en temps, nous l'avons délégué à un traducteur et transcripteur professionnel.

A la suite de cela et de la segmentation du protocole que nous allons décrire dans le prochain paragraphe, il nous sera possible d'attribuer le codage de chaque occurrence à un extrait du protocole verbal. Cette transcription est une aide considérable dans l'attribution des activités cognitives et des arguments associés à l'occurrence en cours de codage.

- La segmentation du protocole

La segmentation du protocole verbal est étroitement liée au codage. En effet, nous avons vu dans la constitution des différentes grilles de classification que les interactions (tours de parole) sont découpées par occurrence selon si le participant continue son intervention en mobilisant plusieurs gestes, activités cognitives et/ou arguments différents. Dans le cas où le participant effectuerait une intervention orale mobilisant un seul geste, une seule activité et un seul argument, il n'y aurait donc qu'une seule occurrence correspondant à son intervention. Au contraire si un participant mobilise plusieurs gestes, activités ou arguments, le nombre d'occurrences issues de son intervention sera égal au nombre de fois qu'il y a un changement de modalité d'interaction.

Prenons l'exemple suivant :

Time	Actor	Gesture	Activity	Argument	Transcription
00:12:01					
00:12:02	Designer	None	INFO	OTH	Let me check the prices for a while. Maybe
00:12:03					
00:12:04	Designer	None	INFO	DP	Well the prices are all here, but we can go over the prices later.
00:12:05					
00:12:06					
00:12:07					
00:12:08	Designer	None	COMP	DP	Ok
00:12:09					
00:12:10					
00:12:11					
00:12:12	Designer	Tangible	INFO	PART	Well, the first one as we said was the body of the grill,
00:12:13	Designer	Tangible	GEN	PART	then the second one could be the fat tray,
00:12:14	Designer	Tangible	INFO	PART	we were talking about how to solve the fat tray system
00:12:15	Designer	Tangible	JUST	PART	because there is the fat tray, and then there is the collector,

Figure 28: Segmentation du protocole verbal

Dans cet extrait issu d'une session de co-conception avec un partenaire industriel, nous pouvons voir que le designer prend la parole à 12 :12 en pointant l'artefact tangible du doigt. Seulement, cette

interaction ne fait pas l'objet d'une seule activité cognitive mobilisée (INFO, GEN, INFO puis JUST), alors une seule et même interaction a dû être divisée en quatre occurrences différentes.

Partie IV : Observation d'études de cas chez notre partenaire industriel

Sommaire

1. Introduction des observations sur le terrain.....	88
2. Cadre expérimental et méthodologique.....	89
2.1. Définition des observations.....	89
2.1.1. <i>Présentation des produits en cours de conception.....</i>	<i>89</i>
2.1.2. <i>Présentation des participants.....</i>	<i>93</i>
2.1.3. <i>Synthèse de présentation des observations.....</i>	<i>93</i>
2.2. Configuration des salles d'observation.....	94
2.3. Matériel d'enregistrement audio et vidéo.....	95
2.4. Présentation des tâches de conception.....	95
2.5. Protocole d'observation.....	96
3. Résultats.....	96
3.1. La réalité augmentée spatialisée facilite les interactions entre les designers et les non-designers.....	97
3.2. La réalité augmentée spatialisée modifie le processus cognitif habituel des concepteurs..	99
3.2.1. <i>Le taux des différentes modalités d'activités cognitives diffère selon la condition de co-conception.....</i>	<i>99</i>
3.2.2. <i>La nature de l'argumentation diffère selon la condition de co-conception.....</i>	<i>103</i>
3.2.3. <i>Les modalités de gestes employées diffèrent selon la condition de co-conception.....</i>	<i>107</i>
3.3. La réalité augmentée spatialisée améliore l'interaction avec le prototype.....	111
3.4. La réalité augmentée spatialisée améliore la productivité des acteurs pendant les sessions de co-conception.....	113
3.5. Etonnements rencontrés lors de l'analyse des observations.....	115
4. Discussion générale des résultats de la phase d'observation.....	117

1. Introduction des observations sur le terrain

Notre étude s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec une agence de design produit (présentée en Partie I.6.2) dont certains produits en cours de conception ont fait l'objet de nos études de cas.

Ce que nous appelons "étude de cas" est une séance de co-conception où les designers travaillent avec leurs clients ou utilisateurs finaux et où nous utilisons ces séances pour faire une analyse de leurs pratiques dans un but défini. De plus, nous rappelons que nous appelons utilisateurs finaux, les personnes qui achètent les produits dans les commerces et les utilisent alors que les clients sont les représentants de l'entreprise qui commercialise le produit.

L'objectif général de cette première partie de thèse est d'identifier l'activité de conception de produits sur le terrain en observant les activités cognitives de conception dans les différents environnements (Standard et SAR) et de caractériser les gestes issus des interactions entre les diverses parties prenantes. En partant de l'observation de séances de co-conception sur le terrain, nous cherchons à développer une compréhension approfondie de la nature de la co-conception afin d'utiliser ces connaissances pour :

- Une caractérisation des types d'interaction entre les participants et avec les artefacts
- Une évaluation de l'importance de la nature de la représentation (tangibile vs mixte)
- Une identification des avantages de l'utilisation de la technologie SAR

Dans le cadre de cette thèse, au plus près des pratiques réelles de l'industrie, nous avons observé six séances de co-conception de notre partenaire industriel qui ont impliqué l'équipe de conception et leurs clients ou utilisateurs finaux. Notons que la majorité des sessions comptant des clients, nous ne ferons pas de distinction entre ces deux rôles et généraliserons l'implication des clients et des utilisateurs finaux au terme "client". En effet, nous ne comptons que deux sessions où notre partenaire industriel était en présence d'utilisateurs finaux et non de clients. La majorité du contenu des interventions était relative à l'usage du produit et à son comportement dans un environnement d'usage externe. Nous avons donc fait l'hypothèse que, dans ce cas-là, la distinction client utilisateur n'était pas significative. Ainsi, d'un point de vue praticité du codage, nous avons employé le terme "client" au même titre que le terme "utilisateur" **dans cette partie.**

Nous avons sélectionné des projets industriels en cours à partir du porte-folio de l'entreprise et à partir de critères nous permettant d'avoir des situations comparables (complexité du produit, produit business to client, phase de conception portant sur le choix des matériaux et des finitions). Ces observations ont été menées pour permettre des comparaisons entre les sessions de co-conception utilisant différents types de technologie de représentation de conception : la technologie SAR et les représentations de conception conventionnelles (situation standard notée Std).

La section suivante présente la définition des études de cas qui composent cette première partie de thèse et décrit les exigences relatives à celles-ci. Six sessions mobilisant cinq produits différents seront présentées. Ces sessions présentent aussi des conditions expérimentales différentes : trois d'entre-elles sont réalisées dans les conditions conventionnelles de conception et trois autres sont réalisées dans un environnement de réalité augmentée spatialisée (SAR).

2. Cadre d'observation et méthodologie

Dans cette première partie des résultats de la thèse, nous avons observé six sessions de co-conception impliquant des designers et non-designers. Durant ces sessions, différents produits sont étudiés, mobilisant des clients et des designers et où plusieurs outils sont utilisés tels que le papier/crayon, capture d'écran, ordinateur portable, slides, maquettes, catalogue, post-it, etc. Nous procéderons à la présentation des différents projets dans la section suivante.

2.1. Définition des observations

Grâce à notre inscription dans le projet SPARK, nous avons eu l'opportunité d'observer des sessions de co-conception de notre partenaire industriel directement dans ses locaux en présence de leurs clients. Cependant, deux sessions se sont déroulées dans les locaux du laboratoire G-SCOP où les designers de l'agence Stimulo ont souhaité aller à la rencontre d'utilisateurs finaux.

Pour chacune de ces sessions, différents produits étaient au cœur des discussions.

2.1.1. Présentation des produits en cours de conception

➤ Viuhoo :

Le produit Viuhoo est un appareil de communication et une balise d'urgence pour une utilisation dans les endroits reculés (Figure 29). L'appareil est capable d'envoyer et de recevoir des messages même quand la couverture du réseau n'est pas disponible, via les satellites, et permet d'activer un signal de détresse tout en envoyant et recevant des messages où que vous soyez. Ce service a été intégré dans un appareil compact, robuste et attractif en respectant toute l'expérience utilisateur pour la conception.

Ce produit était au centre de l'attention lors de deux sessions : la Standard A et la Standard C. Lors de la session Standard A, les designers de l'agence étaient en présence du client direct alors que dans la session Standard C, les designers étaient en présence d'utilisateurs finaux sélectionnés pour leur intérêt potentiel sur le produit. Ainsi, nous comptons deux sessions de co-conception impliquant ce produit mais avec des acteurs différents et à des moments différents du processus de conception : la session Standard A est une séance qui s'est déroulée plusieurs mois avant la session Standard C.



Figure 29: L'appareil de géolocalisation Viuho

➤ Fervor :

A la suite de nombreux projets réussis, l'entreprise australienne de barbecues s'est lancée dans la création d'une nouvelle marque : Fervor, définissant une série de barbecues au gaz avec ses accessoires. Au stade de l'observation de la séance de co-conception, les designers en sont à la définition de l'"ADN du produit" qui doivent l'appliquer aux nouveaux items. Ce barbecue faisait l'objet de la session Standard B.



Figure 30: Le barbecue Fervor

➤ ESTELL:

Estell, un produit développé par l'entreprise WaveControl, est un appareil de mesure, de surveillance et d'évaluation de l'exposition humaine aux champs électromagnétiques. Il peut détecter et alarmer l'utilisateur s'il se trouve à un niveau de rayonnement dangereux. Il dispose d'un système de rétroaction sensorielle multiple avec un seuil de déclenchement qui couvre les alarmes sonores, visibles et vibratoires pour une sécurité maximale.

Cette séance arrive en fin de projet où la vérification de la conception finale à travers plusieurs prototypes est effectuée. Cependant, les designers ont souhaité tester l'effet des différentes couleurs sur le produit et recueillir les réactions des utilisateurs finaux sur ce produit avant présentation au client. Ce projet fait l'objet de la discussion de la session SAR A.



Figure 31: ESTELL

➤ LISN :

Le projet LISN (Line Impedance Stabilisation Network) dont le client est une start-up (EMZER), est un projet de développement d'un produit permettant d'évaluer la conformité avec la réglementation et contribuant à éliminer les interférences générées par les équipements.

Une première phase du projet avait été menée avec l'agence de design dont ont émergé des propositions de conception susceptibles de répondre aux exigences du projet qui comprenait des exigences concernant :

- ✓ L'ergonomie ;
- ✓ La facilité d'utilisation ;
- ✓ L'esthétique et la forme ;
- ✓ L'architecture de l'assemblage, le montage et le dimensionnement.

À partir des deux propositions de conception initiales, les designers ont élaboré une proposition. Au cours de cette session, les designers devaient valider avec le client la meilleure configuration des actifs afin d'améliorer la convivialité. De plus, la session s'est concentrée sur l'affinement de la conception de l'avant et de l'arrière du produit en tenant compte à la fois des exigences techniques et esthétiques.

La session a été structurée comme suit :

1. Présentation du prototype final pour le corps principal.
2. Session de co-création : utilisation et combinaison de tous les éléments graphiques préparés pour la solution afin d'élaborer des versions potentielles et de définir les prochaines étapes de l'élaboration du produit.

LISN est un produit présenté lors de la sessions SAR B qui s'est entièrement déroulée en utilisant la plateforme de réalité augmentée spatialisée SPARK dans les locaux de l'entreprise.



Figure 32: LISN

➤ NEOSONIC:

NEOSONIC est le premier dispositif de dépistage non-invasif de la méningite infantile. Ce dispositif développé par l'entreprise New Born Solutions utilise un système d'ingénierie de précision, utilisant des ultrasons à haute fréquence pour quantifier les globules blancs de manière non-invasive dans le liquide céphalorachidien sous la fontanelle du nourrisson (région de la tête où se trouvent les os pas encore formés).

L'agence de design commençant à passer du processus traditionnel de conception de "cascades" à une méthodologie plus "agile", notamment dans les collaborations avec les start-ups, ils ont alors proposé de vérifier et de valider le MVP (produit viable minimum) en utilisant un prototype de base.

La session était structurée comme suit :

1. Présentation des propositions d'actifs au client, avec recueil des réactions, impressions et des commentaires.
2. Définition, avec le client, de la meilleure proposition à élaborer.
3. Session de co-création : utilisation et combinaison de tous les éléments graphiques préparés pour la session afin d'élaborer des versions potentielles et de définir les prochaines étapes possibles.

Cet appareil était présenté lors de la dernière session, SAR C.



Figure 33: NEOSONIC

2.1.2. Présentation des participants

Les acteurs que nous avons rencontrés pendant cette phase d'observation sont, d'une part, deux designers de l'agence de conception Stimulo. Ces designers sont restés les mêmes dans l'ensemble des sessions auxquelles nous avons assisté. Ces designers sont deux hommes ayant tous deux une quarante d'années avec une grande expérience dans leur profession (environ quinze ans d'expérience). L'un d'eux est notamment le co-fondateur de l'agence. D'autre part, les clients étaient eux aussi des hommes d'une tranche d'âge de 35-55 ans. Quant aux utilisateurs finaux, ils étaient au nombre de trois dans les deux sessions effectuées à Grenoble. Une femme et deux hommes constituaient chacune d'elles dont la moyenne d'âge était d'environ 30 ans.

2.1.3. Synthèse de présentation des observations

Agence						
Phase de conception						
Localisation	Barcelone		Grenoble		Barcelone	
Condition expérimentale	Standard A	Standard B	Standard C	SAR A	SAR B	SAR C
Participants	2 designers 2 clients	2 designers 2 clients	2 designers 3 utilisateurs finaux	2 designers 3 utilisateurs finaux	2 designer 2 clients (EMZER)	2 designer 2 clients (NEW BORN SOLUTIONS)
Langue	Espagnol		Anglais		Espagnol	
Durée	1h22	1h35	40 mn	58 mn	42 mn	35 mn
Produit	Appareil de géolocalisation	Barbecue	VIUHO	ESTELL	LISN	NEOSONICS
Matériel	Écran ; bloc-notes ; ordinateurs ; plusieurs prototypes physiques	Barbecues ; ordinateur ; smart phone ; ordinateur portable ; photos	Maquette physique ; écran ; ordinateur ; nuancier de couleurs ; photographies	Plate-forme et représentation SAR ; ordinateur ; portable	Plate-forme et représentation SAR ; écran ; ordinateur portable ; smartphone	Plateforme et représentation SAR ; écran ; poupée ; ordinateur portable ; smartphone
Objectifs des réunions	Revue des idées explorées lors de la réunion précédente. Ces idées ont été mises en œuvre sur les prototypes et présentées au client. L'accent est mis sur les aspects liés aux matériaux et aux couleurs.	Examen des idées discutées concernant le client cible, le coût et les possibilités de montage. Plusieurs parties du barbecue sont discutées et affichées pour que les participants puissent les manipuler et les comparer avec d'autres barbecues réels.	Définition des couleurs, des matériaux et des finitions pour chaque utilisation spécifique. Définition de la localisation de la LED et des lumières.	Définition des couleurs, des matériaux et des finitions de l'outil. Définition de l'emplacement de la LED, des lumières, des haut-parleurs et du logo.	Présentation du prototype final avec le client. Proposition d'alternatives ergonomiques, esthétiques, de forme, de taille, d'assemblage et d'utilisation pour le réseau de stabilisation.	Présentation des différentes propositions au client : recueillir les commentaires et impressions. Définir ensemble la meilleure solution à développer pour le système de dépistage de la méningite infantile.

Tableau 10: Synthèse de présentation des observations

2.2. Configuration des salles d'observation

Les sessions de co-conception auxquelles nous avons assistées se sont déroulées dans trois salles différentes : Une salle pour les sessions Standard A et B ; une salle pour les sessions Standard C et SAR A ; une salle pour les sessions SAR B et C. Dans cette section, nous allons vous présenter les aménagements des différentes salles d'observations. La figure 34 présente le plan de salle de l'agence Stimulo dans les phases amont du projet. La figure 35 présente le plan de la salle au laboratoire G-SCOP où des utilisateurs finaux étaient invités à participer. Enfin, la figure 36 présente le plan de salle de l'agence Stimulo dans un deuxième temps du projet SPARK.

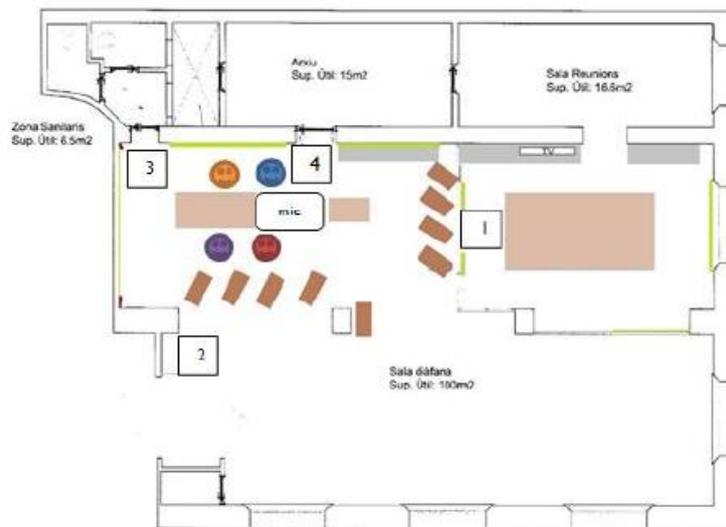


Figure 34 : Disposition de la salle accueillant les sessions Standard A et B

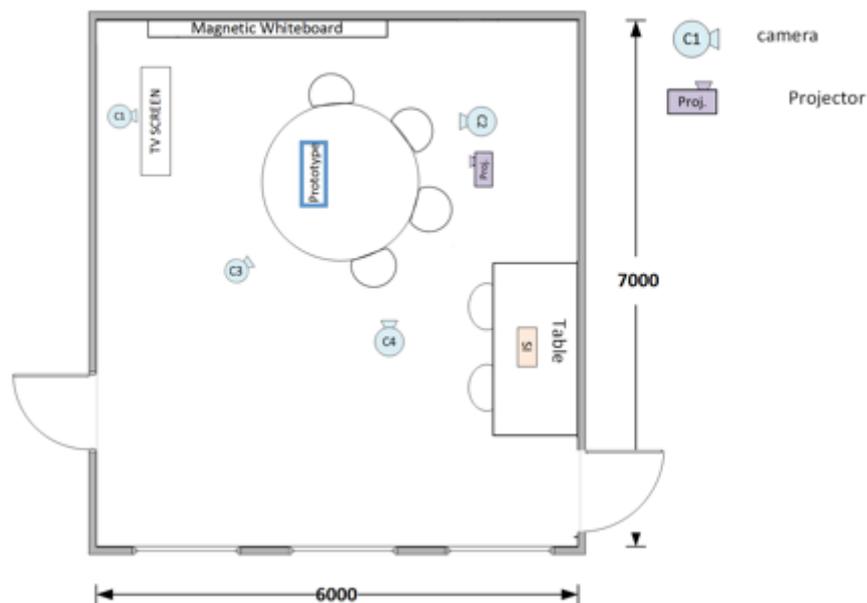


Figure 35: Disposition de la salle accueillant les sessions Standard C et SAR A

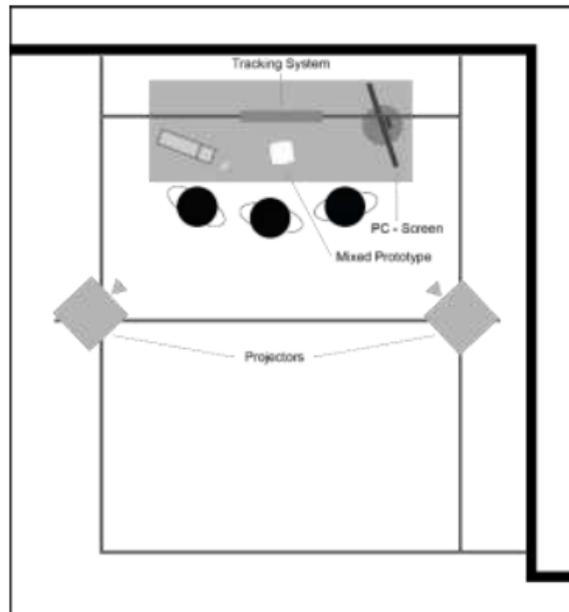


Figure 36: Disposition de la salle accueillant les sessions SAR B et C

2.3. Matériel d'enregistrements audio et vidéo

Le processus d'enregistrement vidéo nécessite un équipement spécifique. La scène est enregistrée avec quatre caméras haute résolution, fixées sur des trépieds professionnels ou sur la structure métallique couvrant l'ensemble de la scène et prenant en compte les besoins spécifiques de la session. Des câbles tirés dans le faux plafond relient les caméras à la régie. D'ici, les vidéos sont encodées sur un logiciel spécifique permettant le vignettage des quatre flux vidéo sur la même vidéo ainsi que la synchronisation de l'audio avec l'image. Cette disposition de la captation des sessions est grandement facilitatrice pour la poursuite de l'analyse des séances de conception.

En ce qui concerne l'audio, nous fournissons à chaque participant un microphone VHF personnel, ce qui est essentiel pour capturer un enregistrement audio de qualité suffisante pour l'analyse vocale ultérieure. Un microphone d'ambiance est également disponible pour couvrir l'ensemble de la salle.

2.4. Présentation des tâches de conception

Par le biais de discussions avec les partenaires industriels, nous convenons de la tâche de conception à accomplir au cours des sessions expérimentales en tenant compte des exigences suivantes :

- Tâches pouvant être accomplies en une session de 35 à 90 minutes,
- Tâches qui sont liées à la phase d'*ID Definition* du processus de conception. Cela garantit que les objectifs et les contenus de la tâche de conception sont comparables (génération d'idées, évaluation du concept, prise de décision, etc.)
- Tâches qui impliquent un objet de complexité comparable.

La phase de conception portant sur l'étape d'ID Definition selon Stimulo, les tâches de conception attribuées aux produits portaient sur le choix des matériaux, des couleurs et des finitions des produits.

2.5. Protocole d'observation

Pour chacune des sessions que nous avons observées, nous avons suivis le protocole d'observation suivant :

- 1- Mise en place du matériel : Avant le début de la session, l'équipe de recherche installe le matériel d'observation.
- 2- Information des participants : Les clients et utilisateurs finaux ont été informés de notre présence et invités à signer le consentement à participer à l'étude (Annexe I).
- 3- Observation et enregistrement des réunions : Pendant les sessions, l'équipe d'observation assiste aux interactions à l'écart des acteurs mais dans la même pièce. Une autre équipe enregistre la réunion dans une autre pièce.
- 4- Post-traitement et stockage des données (y compris la synchronisation, le formatage, etc.)
- 5- Re visionnage des sessions et analyse.

Tous les éléments de contexte présentant les environnements dans lesquels l'observation des séances de conception était possible viennent de vous être présentés. Grâce au recueil de ces six sessions et sur la base des grilles de classification exposées en Partie II de ce manuscrit, nous allons pouvoir vous présenter et discuter les résultats issus de cette première partie de travail de thèse.

3. Résultats

Cette première étape de la thèse, reposant sur des observations sur le terrain, vise à apporter des éléments de compréhension sur l'implication des clients dans la phase de revue de la conception dite d'*ID Definition* selon Stimulo. Sur la base des hypothèses du projet SPARK, nous supposons les quatre hypothèses répertoriées dans le tableau suivant.

<i>Hypothèses théoriques</i>	<i>Hypothèses opérationnelles</i>
H1 - SPARK facilite les échanges entre les designers et les non-designers	Le nombre d'interaction des non-designers est supérieur à celui des designers dans une condition d'utilisation de la plateforme SPARK
H2 - SPARK modifie la pensée habituelle des concepteurs	Les gestes, les activités cognitives et les arguments sont différents dans une condition d'utilisation de la plateforme SPARK
H3 - SPARK améliore les interactions avec le prototype présent dans la scène	Les gestes centrés sur l'artefact (pointage + manipulation) sont beaucoup plus nombreux dans une condition d'utilisation de la plateforme SPARK

H4 - SPARK améliore la performance de la phase de revue de la conception	Les acteurs génèrent et évaluent plus d'idées et prennent plus de décisions (valident ou rejettent)
--	---

Tableau 11: Hypothèses théoriques et opérationnelles de la phase d'observation

Afin de vérifier ces hypothèses préliminaires, nous allons tenter de fournir des résultats quantitatifs sur la base du codage des tours de paroles (occurrences) que nous avons présentés dans la partie II.

Lors de notre étude, nous avons été confrontés à la complexité du traitement des données nominales. En effet, nos grilles de codage sont constituées de catégories que nous avons attribuées à un protocole verbal issu du recueil des vidéos. Ces données n'étant pas continues, nous les avons comptabilisées en leur attribuant un effectif. Mais cette procédure nous limite dans l'utilisation de tests statistiques afin d'identifier des différences significatives ou des corrélations entre les variables quelles que soient les modalités. Une possibilité pour nous d'analyser statistiquement ces données était d'effectuer des tests du χ^2 Goodness of fit ou du χ^2 d'indépendance pour conclure à une différence significative ainsi que le test résiduel du χ^2 de Pearson pour l'analyse des corrélations. Chaque test statistique utilisé tout au long de ce manuscrit est expliqué en Annexe II.

3.1. La réalité augmentée spatialisée facilite les interactions entre les designers et les non-designers

Grâce à l'association de l'aspect tangible et de la digitalisation, une des hypothèses les plus forte du projet SPARK était que cette technologie de réalité augmentée spatialisée faciliterait les interactions entre les designers et les non-designers (H1).

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons procédé au codage des six sessions présentées précédemment dans le tableau 12. Le codage de ces sessions terminé, nous avons simplement procédé à la comptabilisation du nombre d'occurrences initiées par les clients d'une part, et par les designers d'autre part. Au total, nous avons recueilli 4091 occurrences. La répartition des interactions entre les clients et les designers s'établit de la façon suivante :

Proportions - Acteur		
Level	Count	Proportion
Client	2098	0.513
Designer	1993	0.487

χ^2 Goodness of Fit		
χ^2	df	p
2.74	1	0.098

Tableau 12: Répartition des occurrences clients vs designers et test statistique

Nous voyons qu'en moyenne, les occurrences associées à l'intervention d'un client représentent 51,3% des cas contre 48,7% pour les designers. Ceci nous indique qu'il y a une légère tendance en faveur d'un nombre d'interventions des clients plus important, toutes conditions confondues. Seulement, pour vérifier la significativité de ce que nous avançons, nous avons procédé à un test statistique du χ^2 Goodness of fit.

L'hypothèse nulle relative à ce test, c'est-à-dire l'hypothèse statistique que nous souhaitons vérifier est que le taux d'intervention des clients est égal au taux d'intervention des designers.

Soit H_0 (l'hypothèse nulle) : Le taux d'intervention des clients est égal au taux d'intervention des designers.

A l'issue du test, nous ne rejetterons pas l'hypothèse nulle si la p.value est supérieure ou égale à 0,05.

Les résultats nous indiquent que la différence du nombre d'occurrences entre les clients et les designers n'est pas significative ($\chi^2 (1) = 2.74, p = 0.098$). Cela signifie que nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que les clients ont plus interagi que les designers dans les séances de co-conception que nous avons observé. Autrement dit, ce test nous indique que le taux d'intervention des clients est des designers n'est pas différent.

Cependant, le test établi ne nous permet pas de savoir si l'utilisation de la technologie SAR a un effet sur le taux d'intervention des clients. Pour cela, nous avons procédé de la même manière en ajoutant la condition expérimentale comme variable indépendante. A nouveau, les résultats n'indiquent pas que le taux d'intervention des clients est significativement différent que celui des designers en condition SAR par rapport à la condition Standard ($\chi^2 (1) = 0.0845, p = 0.771$) (Tableau 13).

Tableau de contingence

Acteur	Condition		Total
	SAR	Standard	
Client	739	1359	2098
Designer	693	1300	1993
Total	1434	2660	4091

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	0.0845	1	0.771
N	4091		

Tableau 13: Significativité des interventions clients / designers selon la condition expérimentale

- Au regard de ces résultats, nous ne pouvons pas conclure que la plateforme SPARK facilite l'intervention des clients pendant une réunion de co-conception.

3.2. La réalité augmentée spatialisée modifie les processus cognitifs des concepteurs

Si on ne peut montrer que la condition a une influence sur le taux d'interactions, on peut faire l'hypothèse (H2) que celle-ci a une influence sur les activités cognitives des acteurs, sur les arguments qu'ils emploient ainsi que sur les gestes réalisés.

Premièrement, nous allons vérifier si les activités cognitives des acteurs sont employées de manière identique dans les deux situations de conception. Deuxièmement, nous vérifierons si les arguments associés à ces activités cognitives ne présentent pas de différence entre les deux situations. Pour finir, nous analyserons si toutes les modalités de gestes sont employées uniformément quelle que soit la nature de la session.

3.2.1. Le taux des différentes modalités d'activités cognitives diffère selon la situation de co-conception

Si nous observons dans un premier temps les activités cognitives que nous avons identifiées dans ces sessions, nous nous apercevons qu'elles sont toutes employées mais non uniformément (Tableau 14 et 15).

Tout d'abord, si l'on s'intéresse aux sessions de la condition Standard, l'activité la plus représentée dans ces sessions est l'activité d'information (INFO : 34%) suivie par l'activité de compréhension (COMP : 14,2%). Les autres activités se répartissent entre 7 et 9% des interactions sauf le rejet des idées (REJ) qui semble être l'activité la moins réalisée dans les interactions avec 1,9% (Tableau 14).

Proportions - Activité		
Level	Count	Proportion
ACC	232	0.0874
COMP	378	0.1424
EVAL	226	0.0852
GEN	205	0.0772
INFO	902	0.3399
INT	217	0.0818
JUST	254	0.0957
REJ	49	0.0185
SIM	191	0.0720

Tableau 14: Répartition des activités cognitives dans les sessions Standard

Dans la condition SAR (Tableau 15), nous retrouvons cette même tendance de l'activité d'information (INFO) à être la plus représentative dans les interactions (40%). Tandis que les autres activités cognitives diffèrent sensiblement par rapport à la condition Standard. L'activité de compréhension (COMP) est par exemple moins représentée que dans les sessions standard (8% en SAR contre 14,2% en Standard) alors que nous voyons une augmentation de la proportion d'activité de génération (GEN) (10,5% en SAR contre 7,7% en Standard) et de validation des idées (ACC) (11,3% en SAR contre 8,7% en Standard).

Proportions - Activité		
Level	Count	Proportion
ACC	162	0.1130
COMP	115	0.0802
EVAL	103	0.0718
GEN	150	0.1046
INFO	573	0.3996
INT	80	0.0558
JUST	116	0.0809
REJ	33	0.0230
SIM	102	0.0711

Tableau 15: Répartition des activités cognitives dans les sessions SAR

En conclusion de la comparaison de ces deux tableaux, il semblerait que les acteurs ont davantage recours aux activités de compréhension dans les sessions Standard. En revanche, il semblerait que les sujets génèrent plus d'idées, donnent plus d'informations et valident plus d'idées dans les sessions de la condition SAR.

Pour confirmer les tendances que nous venons d'observer, nous avons procédé à un test du χ^2 d'indépendance. En réalisant ce test, nous souhaitons savoir si la nature de la condition de réalisation de la séance de co-conception a un effet sur la mobilisation des différentes modalités d'activités cognitives. Les résultats disponibles dans le tableau 16 nous indiquent que la condition a un effet sur les activités cognitives mobilisées ($\chi^2(9) = 68.7, p < 0.001$). En partant de l'hypothèse nulle que le nombre d'activités cognitives ne diffère pas selon la condition, ce test nous indique qu'au contraire, certaines modalités d'activités cognitives sont surreprésentées ou sous-représentées en fonction de la condition dans laquelle se situent les acteurs. Pour connaître plus en détail les modalités d'activités cognitives concernées par cet effet, nous devons comparer les effectifs observés et les effectifs attendus dans le tableau de contingence (Tableau 16) puis nous procéderons à un test de corrélation activité par activité.

Tableau de contingence

Activité		Condition		Total
		SAR	Standard	
ACC	Observé	162	232	394
	Attendu	138.01	255.99	394.00
COMP	Observé	115	378	493
	Attendu	172.68	320.32	493.00
EVAL	Observé	103	226	329
	Attendu	115.24	213.76	329.00
GEN	Observé	150	205	355
	Attendu	124.35	230.65	355.00
INFO	Observé	573	902	1475
	Attendu	517.70	960.30	1478.00
INT	Observé	80	217	297
	Attendu	104.03	192.97	297.00
JUST	Observé	116	254	370
	Attendu	129.60	240.40	370.00
REJ	Observé	33	49	82
	Attendu	28.72	53.28	82.00
SIM	Observé	102	191	293
	Attendu	102.63	190.37	293.00
Total		1434	2657	4091

χ^2 Tests			
	Value	df	p
χ^2	68.7	9	< .001
N	4091		

Tableau 16: Effet de la condition expérimentale sur les activités cognitives dans la phase d'observation

Par exemple, l'activité de validation des idées (ACC) compte 162 occurrences en condition SAR alors que nous nous attendions à en trouver 138 proportionnellement au nombre total d'occurrences. Ainsi, nous pouvons dire que la condition SAR compte un plus grand nombre de validations que dans la condition Standard. Il en est de même pour la génération d'idées (GEN) et l'activité d'information (INFO). Au contraire, nous remarquons que l'activité de compréhension (COMP) compte 378 occurrences en condition Standard contre 320 attendues au départ. L'activité de compréhension semble donc être davantage présente dans une situation de conception traditionnelle. Quant aux autres activités,

nous ne pouvons pas dire que la différence entre l'effectif observé et l'effectif attendu soit grande donc nous ne concluons pas à une différence du taux de celles-ci en fonction de la condition.

Pour vérifier notre hypothèse selon laquelle la technologie SAR modifie la pensée habituelle des concepteurs, nous allons procéder à une dernière analyse. Cette fois, nous allons comparer la mobilisation des activités cognitives selon le rôle de l'acteur dans les deux conditions.

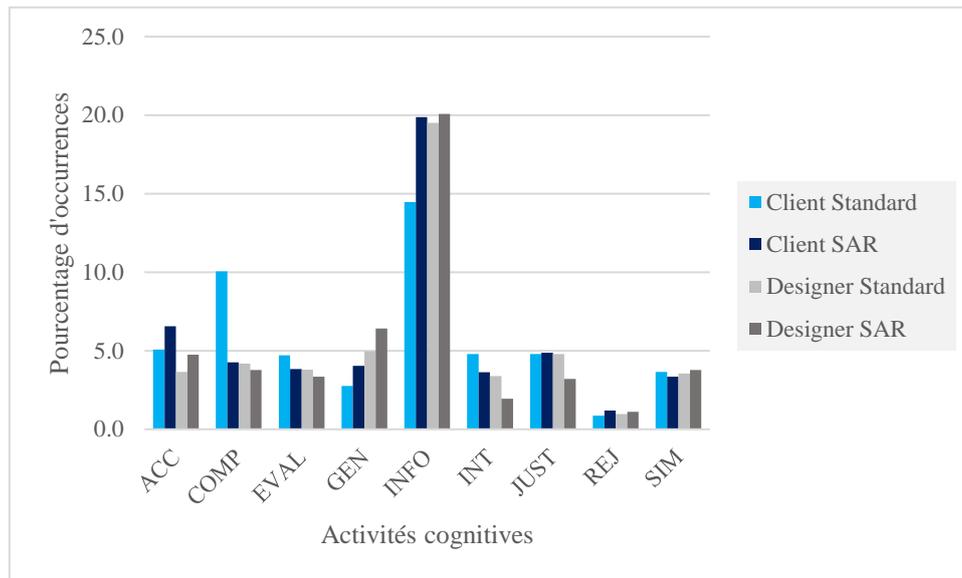


Figure 37: Proportion d'activités cognitives selon le rôle de l'acteur et la condition

La représentation graphique ci-dessus indique les pourcentages d'occurrences des clients (en bleu) et des designers (en gris). Les couleurs claires indiquent la condition Standard (bleu clair et gris clair), tandis que les couleurs foncées indiquent la condition SAR. Ce que nous comparons dans ce graphique sont les pourcentages d'occurrences des acteurs avec la condition de co-conception. Autrement dit, nous comparons les couleurs bleues entre elles et les couleurs grises entre elles. Ainsi, en visualisant les résultats, nous remarquons qu'il peut y avoir de grosses différences entre les conditions. Par exemple, l'activité de compréhension des clients (COMP) est beaucoup plus importante en condition Standard qu'en condition SAR. Au contraire, les clients mobilisant l'activité d'information (INFO) sont moins nombreux en condition Standard qu'en condition SAR. Visuellement, nous voyons qu'il existe quelques légères différences comme celles que nous venons d'évoquer. Cependant, nous voyons aussi que dans nombreux cas, les activités cognitives employées par les designers ne diffèrent pas drastiquement entre les conditions (COMP ; EVAL ; INFO ; REJ ; SIM). Pour conclure sur ce graphique, nous avons identifié que certaines activités cognitives étaient beaucoup plus mobilisées dans une condition que dans l'autre, notamment chez les clients. Cependant, ces cas étant rares, il nous est difficile de dire que la technologie SAR modifie l'ensemble des activités cognitives des clients et des designers.

En conclusion de cette section, nous pouvons dire que la technologie SAR a un effet sur la mobilisation de certaines activités cognitives car :

- Le test du χ^2 d'indépendance nous indique qu'il y a un effet de la condition sur les activités cognitives ($\chi^2(9) = 68.7, p < 0.001$).
- Les effets de la nature de la condition sont visibles sur l'activité de compréhension (COMP) qui est beaucoup plus présente dans la condition Standard ; et sur les activités de validation (ACC), de génération (GEN), et d'information (INFO) qui sont beaucoup plus présentes dans la condition SAR.
- L'effet de la condition sur l'activité de compréhension est valable pour les clients seulement. Les designers mobilisent l'activité de compréhension de manière homogène dans les deux conditions.
- Nous ne remarquons pas d'effet de la condition sur les activités générées par les designers.

3.2.2. La nature de l'argumentation diffère selon la situation de co-conception

En complément des activités cognitives, les arguments associés au discours des sujets ont également été codés sur la base de la classification que nous avons proposée.

Les différentes modalités d'arguments ont été comptabilisées afin d'aboutir aux tableaux répartissant proportionnellement toutes les modalités d'arguments.

Ainsi, la condition Standard nous révèle une proportion importante d'arguments portant sur les caractéristiques du produit (PC) (Tableau 17). En effet, 34,8% des interactions traitent des couleurs, matériaux et finitions du produit. Ensuite, les autres arguments sont représentés à hauteur de 11 à 16% des interactions sauf pour l'opérationnalité (OP) et le produit dans son ensemble (WHO) qui ne comptent que 5% des interactions chacune.

Proportions - Arguments

Level	Count	Proportion
DP	429	0.1616
FUNC	367	0.1383
OP	136	0.0512
OTH	362	0.1364
PART	305	0.1149
PC	924	0.3482
WHO	131	0.0494

Tableau 17: Répartition des arguments dans les sessions Standard

La répartition des arguments dans les sessions SAR (Tableau 18) nous indique les mêmes rangs de proportions que ceux que nous venons de voir dans les sessions Standard. Les particularités du produit représentent toujours majoritairement les arguments annoncés lors des interactions (42,1%) alors que les autres arguments représentent entre 11 et 14% des interactions sauf pour l'opérationnalité et le produit dans son ensemble, dans cette condition encore.

Level	Count	Proportion
DP	158	0.1102
FUNC	197	0.1374
OP	80	0.0558
OTH	186	0.1297
PART	176	0.1227
PC	603	0.4205
WHO	34	0.0237

Tableau 18: Répartition des arguments dans les sessions SAR

En somme, la comparaison des données brutes dans les deux conditions nous indique que nous sommes sur les mêmes répartitions des arguments pendant les interactions. Cependant, nous avons effectué un test du χ^2 d'indépendance pour vérifier cela. Les résultats au test nous indiquent que les arguments utilisés dans les sessions ne sont pas répartis de manière homogène entre les deux conditions (χ^2 (6) =46.4, $p < 0.001$). Il y a donc un effet de la nature de la condition sur les arguments donnés par les acteurs. Par exemple, les particularités du produit (PC), c'est-à-dire, les couleurs, matériaux et finitions, sont davantage discutées en sessions SAR qu'en condition Standard. Au contraire, le processus de conception (DP) et le produit dans son ensemble (WHO) semblent davantage au cœur de la conversation dans les sessions Standard que dans les sessions SAR. Ces résultats sont accessibles dans le tableau suivant :

Tableau de contingence

Argument		Condition		Total
		SAR	Standard	
DP	Observé	158	430	588
	Attendu	206.0	382	588
FUNC	Observé	197	368	565
	Attendu	197.9	367	565
OP	Observé	80	136	216
	Attendu	75.7	140	216
OTH	Observé	186	362	548
	Attendu	191.9	356	548

Tableau de contingence

Argument		Condition		
		SAR	Standard	Total
PART	Observé	175	307	482
	Attendu	169.2	314	482
PC	Observé	603	924	1527
	Attendu	535.6	993	1527
WHO	Observé	34	131	165
	Attendu	57.8	107	165
Total		1434	2657	4091

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	46.4	6	< .001
N	4091		

Tableau 19: Effet de la condition expérimentale sur les arguments dans la phase d'observation

Afin de compléter notre analyse sur l'emploi des différentes modalités d'arguments pendant les séances de co-conception, nous allons voir à présent si le rôle de l'acteur est impliqué dans cette différence que l'on vient d'observer entre les deux conditions.

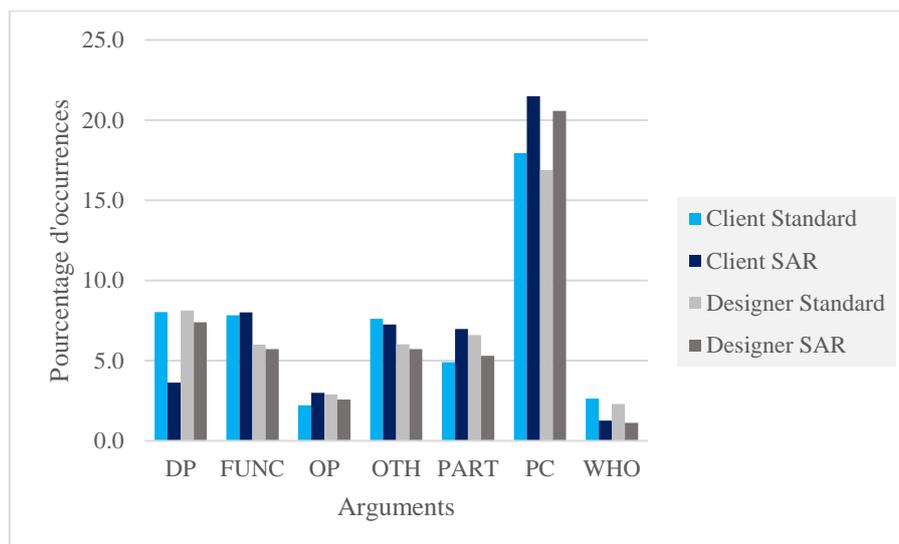


Figure 38: Proportion d'arguments selon le rôle de l'acteur et la condition

De la même manière que dans le paragraphe précédent, la lecture du graphique se fait en comparant la condition Standard à la condition SAR pour chacune des modalités d'arguments présentées. Pour certaines modalités telles que la fonctionnalité (FUNC), l'opérationnalité (OP), autre (OTH) et les parties du produit (PART), nous ne visualisons pas de différences majeures entre les conditions quel que soit le rôle de l'acteur. De plus, pour la modalité d'argument *Design Process* (DP), nous ne remarquons pas non plus de différences entre les conditions quand cet argument est émis par les designers. Cela signifie que les designers font autant référence au processus de conception du produit dans les deux conditions. En revanche, nous remarquons que l'argumentation diffère selon la condition s'il s'agit de design process (DP) (seulement pour les clients), des caractéristiques du produit (PC) ou du produit dans son ensemble (WHO). En effet, les clients font beaucoup moins référence au processus de conception dans la condition SAR que dans la condition Standard. Les caractéristiques du produit (PC), quant à elles, sont beaucoup plus présentes dans les sessions SAR pour les clients et pour les designers. Pour finir, les clients et les designers parlent moins du produit dans son ensemble dans la condition SAR. Ainsi, à travers cette représentation graphique de la répartition des arguments employés par les acteurs en fonction de la condition expérimentale, nous apprenons que les arguments tels que les caractéristiques du produit sont préférés dans des sessions mobilisant l'outil de réalité augmentée spatialisée.

En conclusion de cette section, nous pouvons dire que la technologie SAR a un effet sur les arguments employés car :

- Le test du χ^2 d'indépendance nous indique qu'il y a un effet de la condition sur les arguments ($\chi^2(6) = 46.4, p < 0.001$).
- Les effets de la nature de la condition sont visibles sur l'argument portant sur les caractéristiques du produit (PC) qui est beaucoup plus présente dans la condition SAR ; et sur les arguments portant sur le processus de conception (DP), et le produit dans son ensemble (WHO) qui sont beaucoup plus présentes dans la condition Standard.
- L'effet de la condition sur la modalité de processus de conception (DP) n'est valable que pour les clients. Les designers semblent argumenter sur le processus de conception du produit de manière identique quelle que soit la nature de la session.
- L'effet de la condition sur les caractéristiques du produit (PC) et sur le produit dans son ensemble (WHO) sont visibles aussi bien pour les clients que pour les designers.

3.2.3. Les modalités de gestes employés diffèrent selon la situation de co-conception

La troisième composante que nous analysons pour répondre à notre hypothèse est la gestuelle. Tout d'abord, tous les gestes que nous avons classés dans notre grille de codage ont été employés. Les différents gestes observés pendant les six sessions de co-conception ont été comptabilisés, aboutissant aux résultats consultables dans les tableaux 20 et 21. Pour une simplification de l'interprétation de nos résultats, nous emploierons le terme de "*gestes centrés artefact*" pour parler des gestes de pointage et de manipulation du prototype (Tangible ou Mixte selon la nature de la condition). De plus, des objets digitaux présents dans la scène sur lesquels sont effectués des gestes centrés artefact sont aussi codés de la sorte. Ainsi les gestes centrés artefact comptabilisent les gestes Tangible + Mixte + Digitaux. Par la suite, nous emploierons aussi le terme de "*gestes en l'air*" pour englober les gestes en l'air de type gesticulations, iconiques et métaphoriques.

Dans l'ensemble des trois sessions Standard, nous pouvons voir que 54,4 % (37,8 + 16,6) des gestes sont des gestes centrés artefacts (Tableau 20). Parmi ceux-là, les gestes tournés vers le prototype tangible représentent 37,8% des interactions. De plus, parmi l'ensemble des interactions identifiées, nous comptabilisons 23,8% d'interactions qui ne sont pas accompagnées de gestes. Autrement dit, seulement 21,6% des interactions sont accompagnées de gestes en l'air dont 13,2% sont des gesticulations.

Proportions - Gestes		
Level	Count	Proportion
Digital	442	0.1665
Gesticulation	350	0.1319
Iconique	169	0.0637
Métaphorique	58	0.0219
None	631	0.2378
Tangible	1004	0.3783

Tableau 20: Répartition des gestes dans les sessions Standard

Dans l'ensemble des trois sessions SAR, nous pouvons voir que 52,5% (1,2 + 49,8 + 1,5) des interactions sont représentées par des gestes centrés artefact (Tableau 21). Parmi ceux-là, les gestes orientés vers le prototype mixte représentent 49,8% des interactions. En comparant uniquement les gestes tournés vers l'artefact tangible (condition Standard) et l'artefact mixte (condition SAR), nous constatons qu'il y a une proportion de gestes "*mixtes*" beaucoup plus importante que de gestes "*tangibles*" (49,8% en condition SAR contre 37,8% en condition Standard). Les interactions non accompagnées de gestes (None) constituent, quant à elles, 20,2% des interactions contre 23,8% dans les sessions Standard. Ce résultat nous incite à penser que les acteurs ont tendance à faire plus de gestes (toutes modalités confondues) dans les sessions mobilisant la technologie SAR que dans les sessions Standard. Pour finir,

les gestes en l'air de type gesticulations, gestes iconiques et métaphoriques représentent 27,3% des gestes réalisés dans les sessions. Ce score est supérieur dans les sessions SAR. Nous pouvons en conclure d'après ces résultats que les sessions SAR tendraient à inciter davantage les acteurs à faire des gestes en l'air.

Level	Count	Proportion
Digital	17	0.0119
Gesticulation	217	0.1513
Iconique	131	0.0914
Métaphorique	44	0.0307
Mixte	714	0.4979
None	289	0.2015
Tangible	22	0.0153

Tableau 21: Répartition des gestes dans les sessions SAR

En somme, la comparaison des données brutes nous indique que les acteurs mobilisent des gestes en proportion non équivalente entre les deux conditions. Afin de confirmer les tendances que nous avons observées dans les tableaux 20 et 21, nous avons effectué un test du χ^2 d'indépendance nous indiquant le degré de significativité de nos résultats. Le résultat obtenu à ce test montre que la condition a un effet sur les gestes utilisés par les acteurs lorsqu'ils interviennent ($\chi^2(6) = 2030, p < 0.001$). Au regard du tableau de contingence ci-dessous, nous avons confirmation que les acteurs font plus d'interactions sans gestes dans les sessions Standard que dans les sessions SAR (None observé > None attendu en condition Standard). De plus, ils semblent faire plus de gesticulations, de gestes iconiques et de gestes métaphoriques dans les sessions SAR que dans les sessions Standard (observé SAR > attendu SAR). Quant aux gestes centrés artefact, la nature même de la condition de déroulement des sessions induit la présence ou non de l'artefact mixte et/ou tangible dans la scène. En effet, pendant une session où l'outil technologique SAR est utilisé, l'artefact disponible pour les acteurs sera un artefact mixte tandis que lors d'une session traditionnelle, cela sera l'artefact tangible disponible dans la scène. L'observation marquée de gestes tournés vers l'artefact mixte dans les sessions SAR ou de gestes "*tangibles*" dans les sessions Standard est donc systématique.

Tableau de contingence

Gestes		Condition		Total
		SAR	Standard	
Digital	Observé	17	442	459
	Attendu	160.8	298.2	459
Gesticulation	Observé	217	350	567
	Attendu	199.7	367.3	567
Iconique	Observé	131	169	300
	Attendu	105.1	194.9	300
Métaphorique	Observé	44	58	102
	Attendu	35.7	66.3	102
Mixte	Observé	714	0	714
	Attendu	250.1	463.9	714
None	Observé	289	634	923
	Attendu	323.3	599.7	923
Tangible	Observé	22	1004	1026
	Attendu	359.4	666.6	1026
Total		1434	2657	4091

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	2030	6	< .001
N	4091		

Tableau 22: Effet de la condition expérimentale sur les gestes réalisés dans la phase d'observation

Pour finir, nous allons comparer les différents types de gestes employés selon le rôle de l'acteur dans les deux conditions. Ainsi, nous verrons si le rôle de l'acteur est impliqué dans les différences observées dans les résultats proposés par le tableau 22.

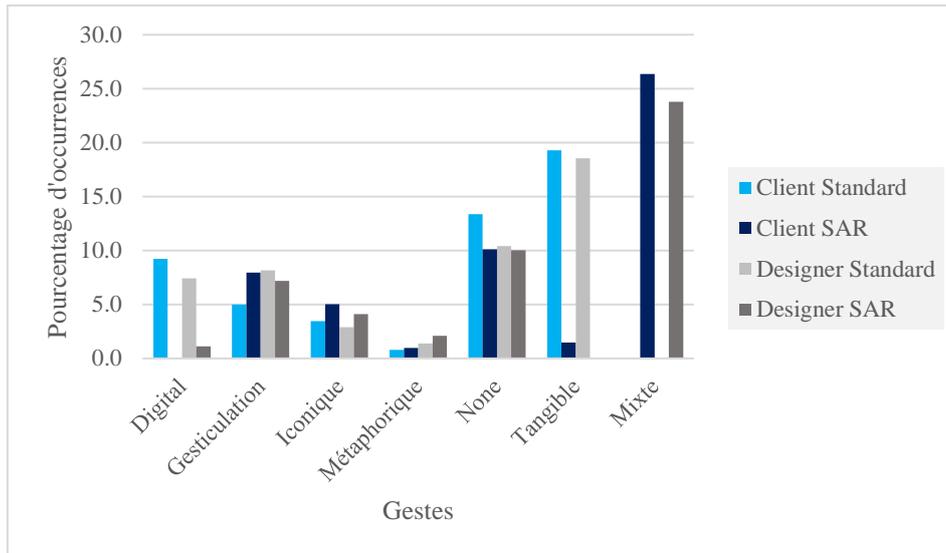


Figure 39: Proportion de gestes selon le rôle de l'acteur et la condition

Pour chaque type de gestes présenté dans la représentation graphique ci-dessus (Figure 39), nous remarquons des différences majeures entre les conditions où le rôle de l'acteur semble avoir peu d'impact sur le résultat. Seule la modalité "gesticulation" et "none" représentent visuellement le résultat obtenu dans le tableau 22. En effet, le pourcentage de gesticulations réalisées par les clients dans les sessions Standard est plus faible que dans les sessions SAR tandis que les designers font des gesticulations à des proportions sensiblement équivalentes entre les conditions. Alors que nous avons comptabilisé 21,6 % de gestes en l'air dans la condition Standard contre 27,3% dans les sessions SAR, nous pouvons dire que cette différence s'explique notamment par la moins forte utilisation de gesticulations de la part des clients en condition Standard. Les interactions non accompagnées de gestes (None), sont, quant à elles, homogènes sauf pour les clients en condition Standard. En effet, ces derniers semblent interagir avec les autres acteurs en ayant moins recours aux gestes qu'en condition SAR. A nouveau, nous pouvons expliquer la différence entre les deux conditions du fait d'un plus grand nombre d'interactions des clients non accompagnées de gestes dans les sessions Standard.

En conclusion de cette section, nous pouvons dire que la technologie SAR a un effet sur les gestes réalisés car :

- Le test du χ^2 d'indépendance nous indique qu'il y a un effet de la condition sur les gestes ($\chi^2(6) = 2030, p < 0.001$).
- Il y a, proportionnellement, plus de gestes centrés sur l'artefact mixte (49,7%) que de gestes centrés sur l'artefact tangible (37,8%).
Nous observons plus d'interactions sans gestes (None) dans les sessions Standard que dans les sessions SAR. Au contraire, nous observons plus de gestes en l'air (gesticulations, gestes iconiques et métaphoriques) dans les sessions SAR.
- L'effet de la condition sur la modalité de geste *none* est due au fait que les clients interagissent davantage sans gestes dans les sessions Standard que dans les sessions SAR. De plus, l'effet de la condition sur les gestes en l'air s'explique en partie grâce aux clients qui font moins de gesticulations dans les sessions Standard.

Chaque variable que nous prenons en compte dans notre étude a révélé un résultat au test du χ^2 nous informant que la nature de la condition de réalisation des sessions de co-conception avait un effet sur celles-ci. En effet, certaines activités cognitives, certains arguments et certains gestes sont beaucoup plus représentés dans l'une ou l'autre des conditions. Ainsi, tous les tests réalisés sur l'ensemble des trois variables étudiées nous indiquent que la technologie SAR modifie l'activité multimodale des acteurs de la conception.

3.3. La réalité augmentée spatialisée améliore l'interaction avec le prototype

Une des hypothèses centrales du projet SPARK était que la technologie SAR permettrait d'améliorer les interactions avec le prototype du fait de la combinaison de la tangibilité et du numérique (H3). Par conséquent, nous devrions observer une augmentation du nombre d'interactions avec le prototype mixte dans les sessions SAR.

Pour cela, nous allons reprendre les analyses réalisées dans la section précédente. En effet, nous venons de voir que les acteurs réalisaient 49,8% des interactions gestuelles avec le prototype mixte contre 37,8% avec le prototype tangible. Ces résultats peuvent aussi être représentés de la manière suivante (Figures 40 a et b) :

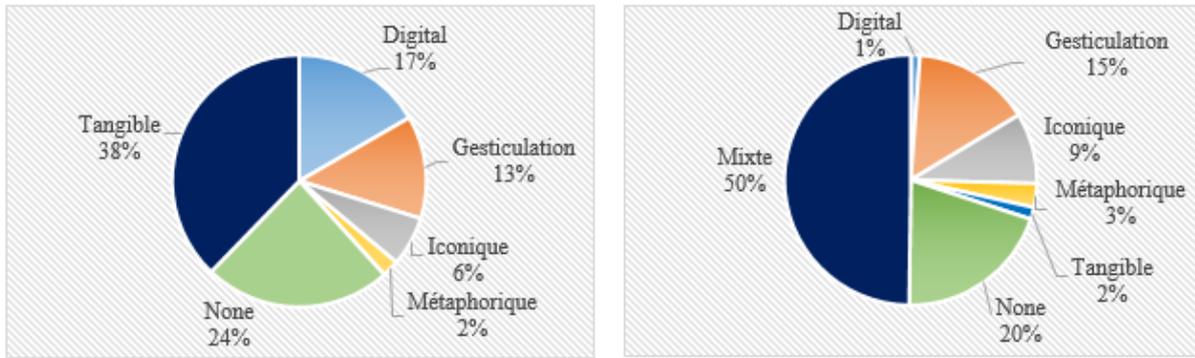


Figure 40 a et b: Pourcentage d'interactions avec l'objet tangible (a) et avec l'objet mixte (b)

Au regard des figures ci-dessus, nous observons bien un effet de la condition sur les interactions effectuées avec le prototype.

Compte tenu de notre faible échantillon et que nous avons des données nominales, nous ne pouvons pas nous baser sur un autre test statistique que celui réalisé dans la section précédente (Tableau 22). En effet, la réalisation du test t de Student a révélé un non-respect de l'égalité des variances, paramètre obligatoire à la réalisation du test (Tableau 23).

Independent Samples T-Test		Statistic	df	p
Effectif	Student's t	-0.257 ^a	2.00	0.589
	Mann-Whitney U	1.00		0.833

Note. H_a Mixte > Tangible

^a Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the assumption of equal variances

Tableau 23: Test t de Student vérifiant l'augmentation d'interactions avec l'artefact mixte

Par conséquent, du fait des résultats que nous avons au test du χ^2 ($\chi^2(6) = 2030, p < 0.001$), nous pouvons dire uniquement que les gestes employés sont différents selon la condition et qu'il semblerait que les gestes centrés sur l'artefact mixte sont plus nombreux que les gestes centrés sur l'artefact tangible (Figure 40 a et b).

➤ Nous pouvons conclure des résultats que nous venons d'obtenir qu'il semblerait que la technologie SAR facilite bien les interactions avec le prototype. Ceci est identifié par un nombre plus important d'interactions avec l'artefact mixte pendant les sessions de co-conception en condition SAR.

3.4. La réalité augmentée spatialisée améliore la productivité des acteurs pendant les sessions de co-conception

En supposant que la technologie SAR améliore la productivité, nous pensons que cela se manifesterait par une augmentation du nombre d'idées générées, une évaluation facilitée et une meilleure prise de décision (H4). Ainsi, nous nous attendons à observer plus de génération d'idées (GEN), d'évaluation (EVAL), de validation (ACC) et de rejet (REJ) dans les sessions utilisant la plateforme SPARK. De plus, s'agissant de sessions de co-conception portant sur la définition des couleurs, matériaux et finitions sur produit, nous nous attendons à retrouver plus d'arguments portant sur les caractéristiques du produit (PC) en condition SAR qu'en condition Standard.

Afin de vérifier notre hypothèse, nous allons reprendre les données analysées dans la section IV.3.2. A travers le tableau 24, nous voyons que l'activité de validation et de génération des idées sont supérieures à ce qui était attendu dans la condition SAR. Cela nous incite à dire que ces deux activités sont donc bien facilitées par la technologie.

Tableau de contingence

Activité		Condition		Total
		SAR	Standard	
ACC	Observé	162	232	394
	Attendu	138.01	255.99	394.00
EVAL	Observé	103	226	329
	Attendu	115.24	213.76	329.00
GEN	Observé	150	205	355
	Attendu	124.35	230.65	355.00
REJ	Observé	33	49	82
	Attendu	28.72	53.28	82.00
Total		1434	2657	4091

Tableau 24: Tableau de contingence présentant l'effet de la plateforme SPARK sur les activités ACC ; EVAL ; GEN et REJ

Pour confirmer cela, nous avons procédé à un test du χ^2 résiduel de Pearson qui nous permet de savoir si l'échantillon observé est corrélé avec la variable dont nous étudions l'effet, ici la condition. Ce test présenté en Annexe II donne des résultats interprétables pour des valeurs du résidu supérieures à 2 ou inférieures à -2. Si la valeur du résidu est inférieure à -2 (rouge), alors il y a une sous-représentation du geste dans l'activité qui lui est associée : les effectifs sont significativement plus faibles que ceux attendus sous l'hypothèse d'indépendance. Ceci signifie que les deux modalités sont corrélées négativement entre elles : si l'une survient alors l'autre aura des chances non nulles de ne pas survenir. A l'inverse, si le résidu est supérieur à 2 (vert), il y a surreprésentation de la modalité de geste dans

l'activité. Ceci signifie que ces deux modalités sont corrélées positivement entre elles et que si l'une survient alors l'autre aura une probabilité non nulle de survenir également. Enfin, si le résidu est compris entre -2 et 2, il n'y a pas d'écart à l'indépendance significatif et donc, nous ne pouvons pas tirer de conclusions sur le résultat. Le tableau 25 confirme ce que nous avons observé dans le tableau de contingence, à savoir que les activités de validation et de génération d'idées sont, en effet, plus nombreuses dans la condition SAR que dans la condition Standard. En ce qui concerne l'activité d'évaluation et de rejet des idées, les valeurs résiduelles ne montrent aucune significativité.

	SAR	Standard
ACC	2.03	-1.49
EVAL	-1.15	0.84
GEN	2.29	-1.68
REJ	0.79	-0.58

Tableau 25: Résultats du χ^2 résiduel réalisé entre les activités ACC ; EVAL ; GEN ; REJ et la condition dans la phase d'observation

Quant aux arguments portant sur les caractéristiques du produit, nous voyons dans le tableau 26 que cette modalité est surreprésentée dans la condition SAR par rapport à la condition Standard. Cela nous incite à croire que la technologie favorise bien l'argumentation envers les couleurs, matériaux et finitions du produit.

Tableau de contingence

Argument		Condition		Total
		SAR	Standard	
PC	Observé	603	924	1527
	Attendu	535.6	993	1527
Total		1434	2657	4091

Tableau 26: Tableau de contingence présentant l'effet de la plateforme SPARK sur l'argument PC

Le résultat au χ^2 résiduel confirme cela avec un score de corrélation positif entre PC et la condition SAR (Tableau 27).

	SAR	Standard
PC	2.93	-2.15

Tableau 27: Résultats du χ^2 résiduel réalisé entre l'argument PC et la condition dans la phase d'observation

- Nous pouvons conclure que, d'après les résultats que nous venons d'obtenir, il semblerait que la technologie SAR améliore la productivité des acteurs dans les sessions de co-conception pour les activités de génération et de validation des idées. De plus, cette technologie favorise l'argumentation portant sur les caractéristiques du produit.

3.5. Etonnements rencontrés lors de l'analyse des observations

Alors que nous venons de répondre aux hypothèses initiales du projet SPARK, nous souhaitons aborder, dans cette section, des éléments inattendus que nous avons remarqués pendant les observations. Pendant les séances de co-conception, nous avons remarqué que les acteurs réalisaient des gestes iconiques pour simuler l'action du produit. Comme nous avons défini la simulation (SIM) comme une activité cognitive où les acteurs sont en train de s'imaginer le contexte d'usage du produit, nous nous demandons si cette activité cognitive est corrélée avec la réalisation du geste iconique.

Pour cela, nous avons réalisé un test du χ^2 résiduel de Pearson entre les activités cognitives et les gestes dans les deux conditions.

	ACC	COMP	EVAL	GEN	INFO	INT	JUST	REJ	SIM
Digital	0.54	1.77	1.04	1.17	-2.38	3.97	-1.28	2.39	-4.22
Gesticulation	-3.54	-4.79	-0.88	-0.01	2.02	0.63	2.33	-0.58	4.15
Iconique	-2.28	-4.29	-0.37	1.09	-1.38	-2.37	-0.29	-1.2	14.29
Métaphorique	-1.81	-2.53	-0.42	-0.7	2.77	0.12	0.62	-1.03	0.4
None	4.29	3.92	-0.51	-3.11	0.31	-1.75	-1.98	1.27	-3.62
Tangible	-0.3	0.92	0.49	1.41	0.04	-0.67	1.01	-1.52	-2.74

Tableau 28: Tableau de corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions Standard

	ACC	COMP	EVAL	GEN	INFO	INT	JUST	REJ	SIM
Digital	-1.39	-1.17	-0.2	1.67	0.08	-0.97	-0.32	-0.63	2.54
Gesticulation	-3.94	-2.73	0.36	-0.15	2.72	-0.03	1.06	-2.23	1.42
Iconique	-3.07	-2.62	0.52	-1.54	0.23	-1.96	1.05	-0.58	8.41
Métaphorique	-1.33	-0.28	-0.65	-1.21	0.58	0.99	-0.83	-0.01	2.75
None	1.81	3.7	1.59	-2.77	-0.32	-0.53	-0.91	0.14	-2.33
Mixte	2.71	0.76	-1.3	2.7	-1.38	0.82	-0.23	1.62	-4.32

Tableau 29: Tableau de corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions SAR

Les deux tableaux ci-dessus nous indiquent plusieurs résultats.

Premièrement, nous remarquons plusieurs corrélations positives très significatives dans les deux conditions (en vert). De plus, certaines de ces corrélations positives sont systématiques quelle que soit

la condition. Ceci est effectivement le cas entre les gestes iconiques et l'activité de simulation (SIM) dont nous avons remarqué cette association (14.29 en Standard et 8.41 en SAR). Ensuite, nous voyons aussi que les gesticulations sont corrélées positivement avec l'activité d'information (INFO) (2.02 en Standard et 2.72 en SAR). Pour finir, il y a une corrélation positive entre l'activité de génération (GEN) et *none* (aucun geste).

Pour aller plus loin dans cette analyse, nous remarquons des corrélations allant dans le même sens dans les deux conditions où celles-ci ne sont parfois pas significatives. Par exemple, la gesticulation et la justification (JUST) sont corrélés positivement dans les deux conditions mais ce résultat est significatif seulement dans la condition Standard. D'autre part, nous avons la modalité *none* qui est corrélée avec la validation d'une solution (ACC). Ce résultat est également significatif uniquement dans la condition Standard. Pour finir, les gestes centrés artefact (tangible en Standard et mixte en SAR) semblent être employés dans l'activité de génération d'idées (GEN) mais ce résultat n'est significatif que dans la condition SAR.

Pour finir, les tableaux nous permettent d'identifier des associations de gestes et d'activités ayant des sens opposés selon la condition expérimentale. Pour ce type de corrélations, nous imaginons que la condition expérimentale influe sur l'activité de conception et les gestes employés dans les interactions. Cependant, nous identifions ces résultats uniquement sur les gestes de pointage et de manipulation d'artefact digitaux. En effet, Digital - INFO et Digital - SIM, sont corrélés négativement dans la condition Standard alors que le sens de la corrélation est positif en condition SAR. Digital - INT ainsi que Digital - REJ sont corrélés négativement en condition Standard alors qu'ils sont corrélés positivement en condition SAR. Ainsi, nous inférons que la condition a une influence du geste digital sur les activités.

Pour conclure aux corrélations faites entre les gestes et les activités cognitives selon la condition, nous remarquons que :

- Les gestes iconiques et l'activité de simulation sont fortement corrélés positivement quelle que soit la condition.
- D'autres activités cognitives sont corrélées avec des gestes. C'est le cas des gesticulations et de l'activité d'information ou encore de *none* avec la génération d'idées.
- Certaines activités cognitives sont corrélées positivement avec des gestes dans une condition alors qu'elles sont corrélées négativement dans l'autre condition. Ainsi, pour celles-ci, la nature de la condition a un effet sur la mobilisation des gestes en fonction du discours de acteurs.

4. Discussion générale des résultats de la phase d'observation

Notre travail de recherche s'est tout d'abord porté sur l'observation de six séances de co-conception chez notre partenaire industriel. Grâce à ces observations, nous avons pu répondre aux hypothèses initiales du projet SPARK et nous nous sommes laissé étonner par d'autres résultats non attendus.

✓ H1 :

Tout d'abord, nous avons émis l'hypothèse que la technologie SAR réduirait les barrières entre les designers et les clients en facilitant les interactions. Ceci se manifesterait avec une plus grande proportion d'interactions de la part des clients dans la condition SAR que dans la condition Standard. Cependant, l'analyse quantitative faites sur les données recueillies n'a pas montré de différence significative entre la condition Standard et la condition SAR. Autrement dit, les clients interagissent autant dans l'une que dans l'autre des conditions.

Les clients n'interagissent pas plus dans la condition SAR que dans la condition Standard

✓ H2 :

Notre seconde hypothèse supposait que la technologie SAR modifiait les processus cognitifs des acteurs. En faisant cette hypothèse, nous avons regardé l'emploi des gestes, des activités cognitives et des arguments dans les sessions SAR comparativement aux sessions Standard. Nos résultats ont montré qu'il y avait bien certains changements notables dans les interactions entre les acteurs. Par exemple, ceux-ci ont employés plus de gestes en l'air dans les sessions SAR. De plus, nous avons remarqué qu'il y avait un plus grand nombre de génération d'idées, de validations et d'information données dans les sessions SAR.

La technologie SAR modifie l'activité de conception traditionnelle des acteurs

✓ H3 :

L'hypothèse selon laquelle la plateforme SPARK améliore l'interaction avec le prototype a été vérifiée en identifiant une plus forte proportion de gestes centrés sur l'artefact mixte contrairement aux gestes centrés sur l'artefact tangible.

La technologie SAR facilite les interactions avec l'artefact

✓ H4 :

Pour finir, notre dernière hypothèse était que la plateforme SPARK améliorerait la productivité en incitant la génération d'idées, l'évaluation, la validation et le rejet des idées ainsi qu'en favorisant la production d'arguments envers les particularités du produit. Cette hypothèse a été

partiellement validée car nous n'avons pas remarqué de différence significative entre les conditions pour les activités d'évaluation et de rejet des idées.

La technologie SAR améliore partiellement la productivité des sessions dans la phase de revue de la conception

Cette phase d'observation nous a permis d'entrevoir de nouvelles perspectives dans notre étude en remarquant que certains gestes survenaient de manière systématique avec le discours. Une première analyse de corrélation nous informait, par exemple, que les gestes iconiques étaient corrélés positivement avec l'activité de simulation du contexte d'usage du produit. Par conséquent, une nouvelle hypothèse va être explorée prochainement : "L'analyse des sessions de co-conception révèle des associations de modalités de gestes et d'activités cognitives quasi systématiques". En plus d'apparaître à des moments opportuns dans le discours, nous voyons que certains gestes sont davantage employés dans les sessions SAR (les gestes iconiques, métaphoriques et les gesticulations). Cependant, ne nous étant pas entretenu avec les concepteurs, nous ne savons pas encore pour quelles raisons les acteurs font des gestes et quelles sont leurs intentions quand ils en font.

Compte-tenu de ces nouvelles perspectives, nous avons décidé de mener une phase expérimentale en laboratoire où nous pourrions répliquer en plus grand nombre les sessions et où il serait plus simple de contrôler certains biais. En effet, pour tirer des conclusions fiables quant à l'activité multimodale de co-conception, il nous faut un plus grand nombre de sessions (le seuil minimal pour un échantillon représentatif étant de 30 participants). De plus, des expérimentations en laboratoire nous permettront de mieux contrôler les biais et de pouvoir, ainsi, procéder à des comparaisons entre les sessions qui ne sont pas réalisables si nous avons trop de différences entre elles. Pendant les observations, par exemple, les produits au cœur des sessions étaient différents. Les clients et les utilisateurs finaux étaient aussi différents et les locaux dans lesquels se sont déroulées les séances aussi. Certaines sessions ont duré 35 minutes tandis que d'autres pouvaient durer jusqu'à trois fois plus longtemps. Pour certaines des sessions, nous avons connu des failles informatiques qui ont obligé les acteurs à continuer quelques minutes les discussions sans l'outil SAR fonctionnel.

Par conséquent, grâce à cette seconde phase expérimentale, nous espérons apporter des éléments de compréhension des mécanismes de co-créativité plus précis avec un nombre de sessions représentatif.

En menant des expérimentations en laboratoire, nos enjeux sont :

- ✓ De reproduire quasiment à l'identique des séances de co-conception telles que nous les avons observées sur le terrain
- ✓ De contrôler les conditions de déroulement des sessions
- ✓ D'avoir un échantillon représentatif des sessions
- ✓ De confirmer nos résultats issus des hypothèses préliminaires
- ✓ De répondre à de nouvelles hypothèses

- ✓ De comprendre le rôle des gestes dans les interactions entre acteurs

Avant que nous présentions le cadre expérimental et les résultats des sessions menées au sein du laboratoire, nous allons prendre le temps de redéfinir les hypothèses auxquelles nous tenterons de répondre.

Partie V : Redéfinition des hypothèses de recherche

Sommaire

- 1. Hypothèse 5 : L'analyse de sessions de conception collaborative révèle des associations de modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments quasi systématiques.....121**
 - 2. Hypothèse 6 : La technologie SAR a un impact sur l'activité multimodale de conception..... 121**
 - 2.1 Sous-hypothèse 1 : La technologie SAR facilite les interventions des clients pendant la phase de revue de la conception.....122
 - 2.2 Sous-hypothèse 2 : La technologie SAR facilite la génération d'idées sur les caractéristiques du produit et permet leur validation.....122
 - 3. Hypothèse 7 : Les gestes sont une aide à la compréhension.....123**
 - 3.1 Sous-hypothèse 1 : Les participants aux séances de co-conception mobilisent moins de gestes en présence de la technologie SAR.....123
 - 3.2 Sous-hypothèse 2 : Pour pallier aux difficultés de communication, les acteurs utilisent des gestes en l'air de type iconique, métaphorique et les gesticulations.....124
-

Grâce aux résultats obtenus dans la phase d'observations, nous allons ajouter de nouvelles hypothèses à celles initialement émises pendant le projet SPARK.

1. Hypothèse 5 : L'analyse de sessions de conception collaborative révèle des associations de modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments quasi systématiques

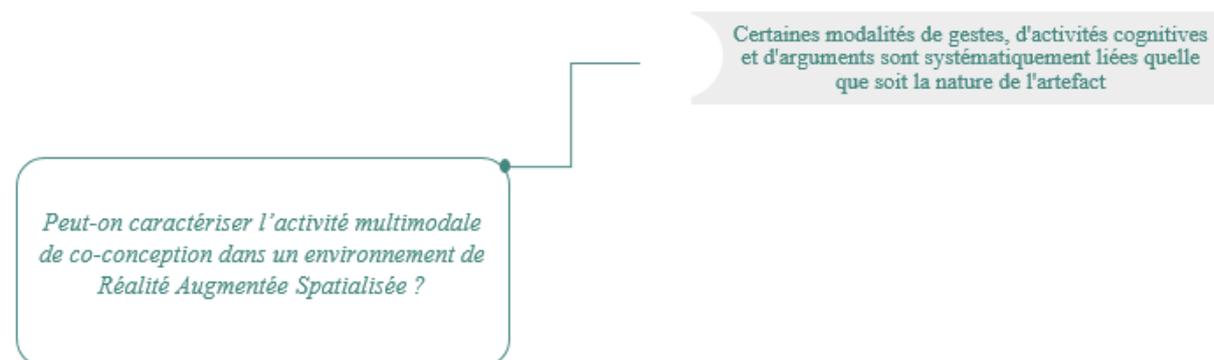
Nous pensons que l'activité de conception est constituée d'actions systématiques et essentielles pour progresser dans le processus de conception.

Dans les études traitant de l'activité de conception, les actions de gérer la réunion, générer des idées, évaluer, justifier, valider, rejeter, informer, sont énoncées dans chacune d'elles et semblent faire consensus dans la communauté scientifique (D'Astous et al., 2004 ; Darses et al., 2001 ; Détienné et al., 2006). Ainsi, nous imaginons que les diverses classifications élaborées sont transposables d'une condition expérimentale à l'autre et que la tendance d'emploi des différentes modalités de gestes, d'activités et d'arguments est identifiable dans une situation traditionnelle de conception comme dans un environnement de réalité augmentée spatialisée.

De plus, notre étonnement quant à la corrélation des gestes iconiques avec l'activité de simulation nous a informé que d'autres modalités de gestes pouvaient aussi être associées à des activités.

Par conséquent, nous nous attendons à retrouver des corrélations dans les deux conditions entre

- ✓ Les activités cognitives et les gestes
- ✓ Les arguments et les gestes
- ✓ Les activités cognitives et les arguments

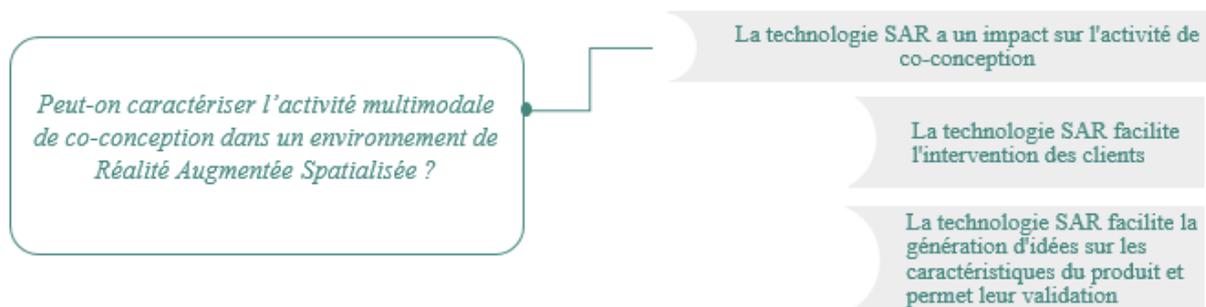


2. Hypothèse 6 : La technologie SAR a un impact sur l'activité multimodale de conception

La phase d'observation nous a montré que certaines activités de co-conception sont plus représentées dans une condition que dans l'autre. Ainsi, nous pensons que la technologie de réalité augmentée

spécialisée apporterait des avantages à son utilisation grâce à la tangibilité de l'artefact et grâce à la disponibilité de la représentation en temps-réel. En effet, cette technologie non-invasive (sans casque ni lunettes) a été créée car l'observation de séances de conception a abouti à une attente forte des publiques non-experts, notamment les industriels, à faciliter leurs interactions avec les non-designers en exprimant la nécessité d'avoir la présence du prototype physique dans la scène (Ware & Rose 1999 ; Marshall et al., 2009 ; Olson et al., 2011).

Cette technologie apporterait donc des améliorations dans certaines actions spécifiques.



2.1 Sous-hypothèse 1 : La technologie SAR facilite les interventions des clients pendant la phase de revue de la conception

Les designers, en tant que professionnels de la conception, ont des aptitudes cognitives expertes menant à une grande faculté de créativité et de raisonnement par analogie. Alors que les designers travaillent en étroite collaboration avec leurs clients directs et les utilisateurs finaux des produits qu'ils conçoivent, cette expertise peut parfois s'avérer être un obstacle à la communication menant à des incompréhensions et à des difficultés dans la prise de décision (Stacey and Eckert, 2003)

Cependant, les interactions semblent être facilitées par la nature de l'artefact (Bodker, 1998). Par conséquent, développer de nouvelles représentations de conception pouvant être un support de communication entre les designers et les non-designers était une voie évidente à explorer pour abolir la barrière de communication (Cascini et al., 2020).

La plateforme de réalité augmentée spatialisée ayant été créée à partir de ce constat, nous faisons l'hypothèse que cet outil faciliterait les interactions entre les participants par une plus grande proportion d'intervention des clients / utilisateurs finaux (non-designers) lors des séances de co-conception utilisant cette technologie.

2.2 Sous-hypothèse 2 : La technologie SAR facilite la génération d'idées sur les caractéristiques du produit et permet leur validation

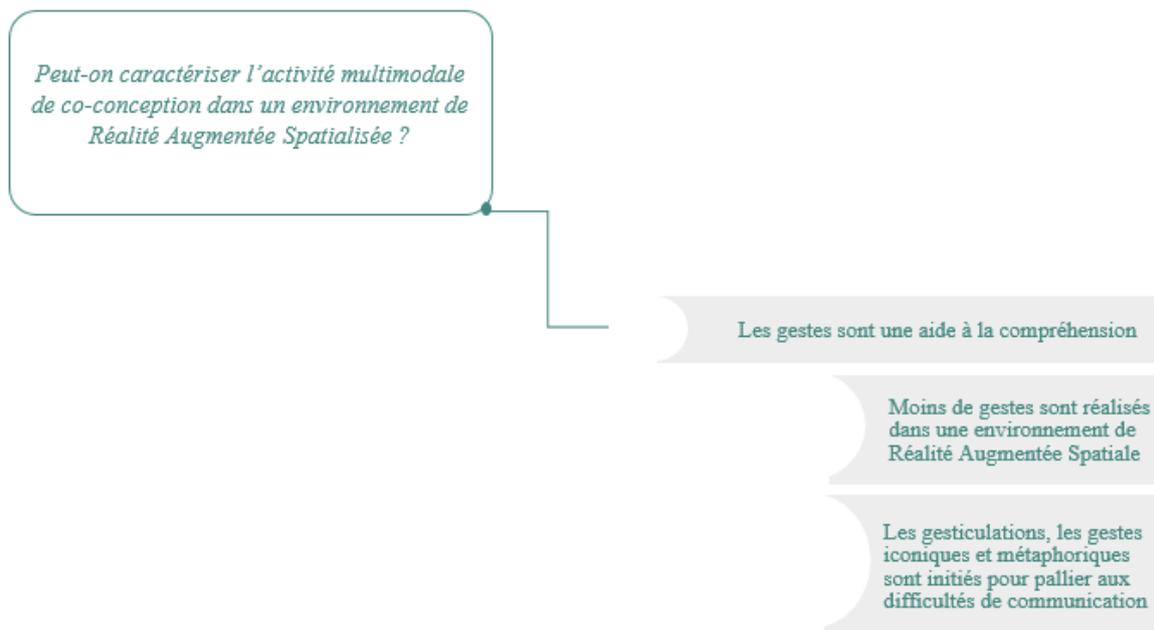
La phase d'observation de sessions de co-conception sur le terrain nous a appris que la proportion d'activité cognitive de génération d'idées serait plus importante en présence de la technologie SAR que

sans. L'activité cognitive de validation des idées serait également bien supérieure dans la condition employant la réalité augmentée spatialisée. Ce constat issu des premières observations de sessions menées pendant le projet SPARK est confirmé par plusieurs études affirmant que cette technologie favoriserait la créativité des différentes parties prenantes (Cascini et al., 2020). De plus, l'argument portant sur les couleurs, matériaux et finitions du produit (PC) a été identifié comme étant beaucoup plus représenté dans les sessions SAR.

Ainsi, notre deuxième sous-hypothèse montrant l'impact de la technologie SAR sur l'activité multimodale de co-conception est que cette plateforme faciliterait la génération d'idées sur les caractéristiques du produit et permet de faciliter la validation de celles-ci.

3. Hypothèse 7 : Les gestes sont une aide à la compréhension

Nous avons remarqué dans la première phase d'observation que les acteurs faisaient des gestes accompagnant leurs interactions verbales dans les deux situations de conception observées (Standard et SAR). Des recherches étudiant le rôle des gestes dans la communication ont montré que ceux-ci sont facilitateurs pour la compréhension des interlocuteurs (Driskell & Radtke, 2003 ; Visser, 2010 ; Cash & Maier, 2016). Cependant, si certains gestes sont parfois réalisés, il s'avère que c'est parce qu'ils viennent pallier un manque dans la communication. La disponibilité d'une représentation physique pouvant être modifiée en temps-réel serait une solution pour surmonter ce manque et donc réduire la nécessité des acteurs à recourir à des gestes. Ces deux derniers points feront l'objet de deux sous-hypothèses présentées ci-dessous.



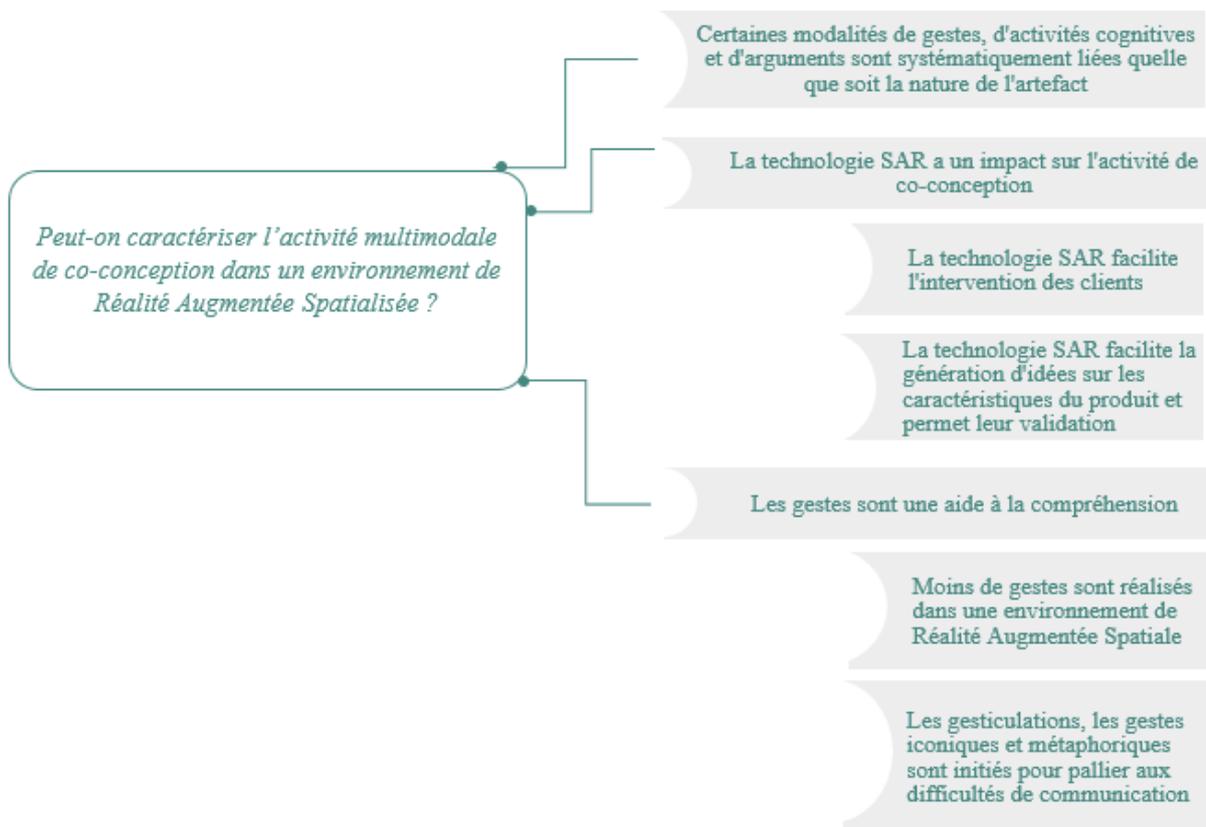
3.1 Sous-hypothèse 1 : Les participants aux séances de co-conception mobilisent moins de gestes en présence de la technologie SAR

L'étude des gestes dans la conception a moins fait l'objet de recherches que l'analyse du protocole verbal ou encore du dessin (*sketching*). Cependant, des chercheuses comme Mewburn (2009) ou Visser (2010) se sont intéressées aux gestes utilisés par les concepteurs dans le domaine architectural. Notamment, Mewburn a montré dans son travail de thèse que les concepteurs se servent des gestes comme d'un moyen supplémentaire d'explorer des éléments impossibles à exprimer par des croquis ou sous forme verbale. Davis (2016) a également montré dans son étude que plus les individus étaient engagés dans des activités de dessin moins ils avaient recours aux gestes ; l'activité de dessin était un moyen de représenter la solution visuellement. La technologie SAR étant développée dans l'objectif de fournir une représentation visuelle en temps-réel sur le résultat final, nous émettons alors l'hypothèse que les concepteurs et les utilisateurs auraient tendance à avoir moins besoin de recourir aux gestes grâce à cet outil.

3.2 Sous-hypothèse 2 : Pour pallier les difficultés de communication, les acteurs utilisent des gestes en l'air de type iconique, métaphorique et les gesticulations

Tandis que certaines études montrent que le geste de pointage a un rôle de focalisation de l'attention (Heiser et al. 2004, Donovan et al. 2011), les études portant sur les gestes abstraits de type métaphorique, iconique ou les gesticulations en l'air nommées "*beats*" par McNeill (1992) montrent que ces types de gestes sont aidant pour communiquer des solutions (Davis, 2016). McNeill (1992) avait préalablement affirmé que les gestes métaphoriques, par exemple, créaient des images abstraites essentielles pour la génération de solutions et la communication entre les pairs. Ces études tendent à nous faire penser que les gestes en l'air jouent un rôle facilitateur dans les interactions verbales.

Résumé de la problématique et hypothèses :



Partie VI : Expérimentations en laboratoire

Sommaire

1. Introduction des expérimentations.....	129
2. Cadre expérimental et méthodologie.....	130
2.1 Prérequis et critères de sélection de l'étude de cas.....	130
2.1.1 <i>Sélection du projet.....</i>	131
2.1.2 <i>Sélection du produit.....</i>	131
2.1.3 <i>Sélection des participants.....</i>	131
2.2 Définition de l'étude de cas.....	132
2.2.1 <i>Condition expérimentale standard.....</i>	133
2.2.2 <i>Condition expérimentale SAR.....</i>	133
2.3 Protocole expérimental.....	134
2.3.1 <i>Organisation de la procédure expérimentale.....</i>	134
2.3.2 <i>Configuration de la salle expérimentale.....</i>	135
2.3.3 <i>Equipement d'enregistrement vidéo et audio.....</i>	136
2.3.4 <i>Description des participants.....</i>	137
2.3.5 <i>Présentation de la tâche de conception.....</i>	137
3. Validation de la reproductibilité des sessions en laboratoire.....	138
4. Résultats.....	139
4.1 Certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments sont systématiquement liées quelle que soit la nature de l'artefact.....	139
4.1.1 <i>Il existe des corrélations entre certaines modalités de gestes et d'activités cognitives.....</i>	140
4.1.2 <i>Il existe des corrélations entre certaines modalités de gestes et d'arguments.....</i>	142
4.1.3 <i>Il existe des corrélations entre certaines modalités d'activités cognitives et d'arguments.....</i>	144
4.2 La Réalité Augmentée Spatialisée a un impact sur l'activité multimodale de co-conception.....	146
4.2.1 <i>La technologie SAR facilite l'intervention des utilisateurs finaux.....</i>	146
4.2.2 <i>La technologie SAR facilite la génération d'idées portant sur les caractéristiques du produit et leur validation.....</i>	148
4.3 Les gestes sont une aide à la compréhension.....	153
4.3.1 <i>Moins de gestes sont réalisés dans un environnement SAR.....</i>	153

4.3.2	<i>Les gestes iconiques, métaphoriques et les gesticulations sont initiés pour pallier les difficultés de communication.....</i>	157
5.	Les entretiens d'auto-confrontation.....	157
5.1	Origines et principes de base de l'entretien d'auto-confrontation.....	157
5.2	Analyse des entretiens.....	158
5.2.1	<i>L'intention des gestes : de l'implicite vers l'explicite.....</i>	158
5.2.2	<i>Recueil des impressions sur les sessions et sur la technologie SAR.....</i>	161
6.	Questionnaires.....	163
6.1	Questionnaire de la designer.....	163
6.1.1	<i>Construction du questionnaire de la designer.....</i>	163
6.1.2	<i>Résultats des questionnaires de la designer.....</i>	164
6.2	Questionnaire des utilisateurs.....	165
6.2.1	<i>Construction du questionnaire des utilisateurs.....</i>	166
6.2.2	<i>Résultats des questionnaires des utilisateurs.....</i>	168
6.3	Conclusion générale des questionnaires.....	171

1. Introduction des expérimentations

Lors de la première étape de la thèse, nous avons procédé à des observations de l'activité de co-conception en pratique afin de répondre à nos hypothèses préliminaires issues du projet SPARK.

Cette étape a permis de révéler de grandes similitudes entre les activités identifiées lors des séances impliquant la plateforme SPARK et celles identifiées dans les séances plus conventionnelles. Cependant, quelques différences sont à considérer. Par exemple, les acteurs généreraient plus d'idées avec la réalité augmentée spatialisée, menant à des validations immédiates sur les couleurs et finitions du produit grâce à la disponibilité de la représentation visuelle en temps-réel.

De plus, nous avons identifié des liens entre les canaux de communication employés. Certains gestes, notamment les gestes iconiques, apparaissent conjointement avec l'activité de simulation portant sur l'action du produit. Les gestes centrés artefact, quant à eux, représentent plus de la moitié des interactions gestuelles tandis qu'ils semblent survenir préférentiellement dans les sessions SAR avec un nombre plus important de gestes de pointage et de manipulation de l'artefact mixte.

Ces observations nous apportent de l'étonnement par rapport aux points que nous venons de mentionner, à savoir :

- ✓ Les différences de proportion de certaines modalités d'activité de conception entre les conditions expérimentales
- ✓ L'atout de cette technologie pour générer des idées portant sur les aspects esthétiques du produit et les valider
- ✓ L'importance des gestes dans la communication

Ces différents aspects identifiés, il nous était, cependant, difficile de conclure avec certitude sur les rôles des différents gestes dans l'activité ainsi que sur les avantages à l'utilisation de la réalité augmentée spatialisée avec seulement six séances de travail analysées.

C'est pourquoi, nous avons voulu réaliser une expérimentation à plus grande échelle d'une séance de co-conception que nous avons répliquée plusieurs fois. Ces séances auraient pour objectif de conclure à nos observations de manière robuste. Ainsi, nous avons sélectionné un scénario issu de l'un de nos partenaires industriels dans lequel nous pouvions contrôler la plupart des paramètres expérimentaux. En contrôlant les biais tels que la diversité des produits en cours de conception, le nombre de participants, la langue parlée, la durée des sessions ou encore le rôle du client / utilisateur final, il nous serait possible de procéder à une comparaison fiable entre les conditions. De plus, nos précédents résultats se basant uniquement sur l'interprétation du chercheur (l'analyse issue du codage) et sur des résultats quantitatifs,

nous souhaitons recueillir les impressions des participants sur le déroulement des séances. Pour cela, nous avons effectué des entretiens avec chaque participant à la fin des sessions où nous nous sommes basés sur la technique de l'auto-confrontation pour faire expliciter les individus sur leurs comportements ; leur perception du rôle des gestes et le rôle de la nature de l'artefact. Nous aborderons plus en détails les entretiens dans la section 5 de cette même partie.

Par ailleurs, nous avons l'opportunité de questionner les participants sur leur perception du déroulement des sessions de co-conception du point de vue de la qualité de la collaboration et de la performance globale des sessions. L'élaboration des questionnaires et leur analyse seront présentées dans la section 6 de cette même partie.

Les analyses que nous souhaitons réaliser dans cette partie sont résumées dans le schéma ci-dessous.

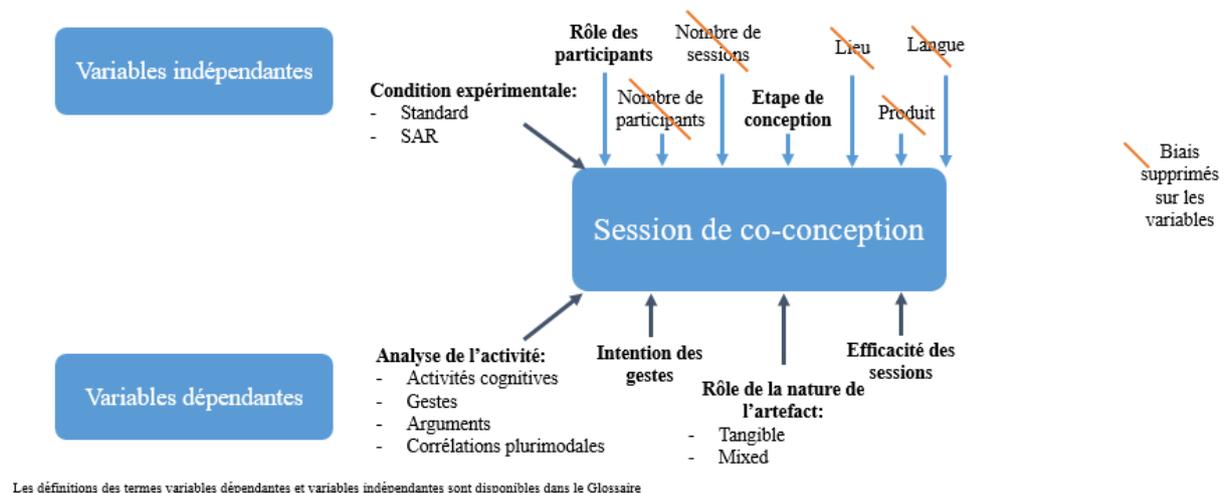


Figure 41: Variables étudiées dans les études de cas en laboratoire

2. Cadre expérimental et méthodologie

2.1. Prérequis et critères de sélection de l'étude de cas

Dans le cadre de la première partie de thèse, les sessions de co-conception ont été menées dans les locaux des partenaires industriels du projet et à Grenoble. Nous avons défini six études de cas comme étant six sessions de co-conception enregistrées et documentées où les concepteurs travaillaient avec leurs clients directs ou avec des utilisateurs finaux dans des lieux différents.

La création des séances de co-conception en laboratoire suscite que nous nous collions au déroulement d'une "vraie" séance de co-conception. Celle-ci commence généralement par une présentation du travail et des propositions des designers aux clients, puis les designers recueillent les commentaires du client et, enfin, il y a une discussion commune sur les évolutions, les améliorations possibles de la proposition en cours. Ces types de sessions font partie des pratiques de travail normales des partenaires industriels

et se déroulent à plusieurs moments de leur processus de conception standard. La création de ces sessions suscite également que nous respections le processus de conception de l'agence de design partenaire (cf. I.6.).

Un prérequis essentiel à l'analyse des données est leur saisie. L'analyse fine du protocole verbale et des gestes nécessitant un travail à postériori, la saisie des données était cruciale, c'est pourquoi nous devons utiliser des caméras sur trépied et des microphones pour les principaux acteurs de la session ainsi qu'un enregistrement du son ambiant. L'expérimentatrice en charge du déroulement des expériences étaient aussi présente dans la pièce pour relever des informations jugées importantes.

Dans cette seconde partie de thèse, nous avons souhaité reproduire les conditions de déroulement des sessions de co-conception "réelles" qui ont été capturées lors des premières observations dans un environnement de laboratoire plus contrôlé. Conformément à notre objectif de reproduire une "vraie" session de co-conception, nous avons choisi de sélectionner une étude de cas que nous connaissions : la session Standard C. Notre défi se devait d'être aussi proche que possible de la réalité en termes de tâches, d'acteurs et de prototype, afin de minimiser les différences. Les critères qui ont été utilisés pour sélectionner cette étude de cas sont énoncés dans les prochaines sous-parties.

2.1.1. Sélection du projet

Pour s'assurer que notre étude de cas est réaliste et que les participants sont aussi motivés pour participer aux sessions qu'ils le seraient pour une session normale, l'étude de cas devait être basée sur un projet réel et d'actualité, sur lequel travaille notre partenaire industriel.

2.1.2. Sélection du produit

Plusieurs produits ont été utilisés pour la première étude. Tous avaient une cohérence en termes de :

- complexité du produit
- phase du projet (définition des couleurs et finitions)
- caractère innovant du produit

Nous avons choisi de suivre la même cohérence dans notre étude de cas en laboratoire et de reproduire l'une des situations déjà vécue initialement. Parmi les six produits étudiés précédemment, un seul nous était mis à disposition par l'agence de conception. Il s'agit du produit Viuhö utilisé dans les sessions Standard A et C. De plus, ayant des connaissances beaucoup plus approfondies sur l'usage du projet, l'avancement du projet et les objectifs sous-tendus, notre choix s'est naturellement porté vers ce produit pour réaliser notre étude de cas.

2.1.3. Sélection des participants

Tout d'abord, notre souhait étant de rester au plus proche de la situation réelle, nous avons fait appel à une designer professionnelle familiarisée avec les séances de co-conception de type brainstorming. Des

entretiens en amont se sont déroulés avec elle pour l'informer du produit sur lequel nous allions travailler et des tâches à aborder pendant les sessions avec les utilisateurs. Ainsi, par une exploration des produits existants similaires à Viuhu (benchmark), des solutions ressorties des étapes antérieures du projet et de l'appropriation des caractéristiques du produit, la designer a acquis l'expertise nécessaire au déroulement des sessions.

Ne pouvant répliquer cette situation plusieurs fois avec le client de notre partenaire, nous avons focalisé notre recherche de participants sur des utilisateurs potentiels de ce produit, quel que soit leur âge, genre ou catégorie socio-professionnelle. En effet, nous souhaitons avoir des personnes avant tout pratiquantes de sports de montagne ou de mer qui avaient un attrait pour l'utilisation d'un appareil de géolocalisation.

Toujours dans un souci de garder une cohérence entre les sessions, nous souhaitons avoir pour chacune d'elles un nombre constant de participants : la designer et deux utilisateurs. Ainsi, contrairement à la partie IV qui comprenait essentiellement les clients directs des entreprises, nous aurons ici la présence d'utilisateurs finaux uniquement.

2.2. Définition de l'étude de cas

Afin d'établir un consensus sur l'activité multimodale de co-conception et de procéder à une comparaison des situations expérimentales, nous avons établi une procédure que devait suivre chaque groupe.

Chaque groupe est constitué de notre designer et de deux utilisateurs finaux sélectionnés pour leur intérêt sur le produit. Les tâches que la designer a abordées avec les participants sont identiques :

- ✓ Benchmark en marketing
- ✓ Ergonomie du produit
- ✓ Couleur des différentes parties de l'objet (face avant / arrière et boutons)
- ✓ Emplacement et accessoirisation du produit selon les usages
- ✓ Bouton d'activation des secours
- ✓ Matériaux
- ✓ Logo
- ✓ Batterie
- ✓ Retours visuels et sonores d'activation

La designer avait pour rôle d'aborder ces différents points dans tous les groupes. Avoir des tâches identiques nous permettrait ainsi de faire émerger des corrélations entre les modalités d'activités, de gestes et d'arguments sur un ensemble de sessions dont les paramètres ne changeaient pas.

De plus, souhaitant savoir si la technologie de réalité augmentée spatialisée a une influence sur les interactions verbales et gestuelles des participants, nous avons mis en place deux conditions expérimentales :

- ✓ Condition standard
- ✓ Condition SAR

Chacun des groupes passait par les deux conditions expérimentales afin de ne pas avoir de biais lié au changement de participant. Le détail du déroulement de la seconde phase expérimentale est accessible dans le tableau 30.

	Première partie de la session	Deuxième partie de la session
Groupe 1	Standard	SAR
Groupe 2	SAR	Standard
Groupe 3	Standard	SAR
...
Groupe 22	SAR	Standard

Tableau 30: Distribution des groupes et des conditions

Dans notre procédure de recrutement des utilisateurs, nous avons pu atteindre au total 44 participants, soit 22 groupes qui constituaient les 22 sessions de co-conception. Quant aux conditions expérimentales standard ou SAR, nous allons les présenter en détail dans les séquences suivantes.

2.2.1. Condition expérimentale standard

Cette condition vise à reproduire les caractéristiques des sessions par rapport à la pratique traditionnelle de notre partenaire industriel. Par conséquent, nous créerons les conditions des sessions de conception qui sont actuellement réalisées dans leurs locaux (cf. Partie I.6.). Ces sessions seront de nature similaire à celles qui ont été observées dans la première partie de notre étude. Cependant, comme nous reproduirons la situation dans notre laboratoire, certains paramètres seront affectés. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer : la configuration de la salle, le nombre de participants ou la durée des sessions qui seront contrôlés. De plus, nous situons cette recherche en pleine pandémie de Covid 19. Ceci nous a contraints à réduire le nombre de participants autour d'une table à trois maximum ainsi que la mise en place d'un protocole sanitaire très stricte par la désinfection régulière du matériel ainsi que le port d'une visière de protection.

Le matériel utilisé lors de cette condition était le même dans chaque groupe, à savoir :

- ✓ Un exemplaire du produit non fonctionnel
- ✓ Un benchmark des appareils similaires existants sur le marché
- ✓ Un nuancier de couleurs

2.2.2. Condition expérimentale SAR

Cette condition expérimentale utilise la plateforme de réalité augmentée spatialisée SPARK qui a été développée dans l'objectif de faciliter le brainstorming et la revue des idées dans les sessions co-

créatives de conception. Lors des sessions qui utilisent cette plateforme, nous tenons à ce que la pratique soit identique que dans la condition standard et donc, au plus près de la réalité du terrain. Pour cela, nous avons mis à disposition le matériel suivant dans cette condition :

- ✓ Le modèle 3D du produit + constellation permettant le tracking de l'objet
- ✓ Une tablette représentant l'interface de la plateforme SPARK
- ✓ Un benchmark sur une feuille de papier au format A3 des appareils similaires existants sur le marché

Dans le but d'améliorer la fidélité des couleurs projetées sur le produit, les lumières principales étaient éteintes et un plafonnier régulant la chaleur de la luminosité était utilisé.

Cette condition expérimentale a nécessité une préparation en amont du matériel. Les données numériques d'une part : l'objet 3D, la calibration de la plateforme, l'implémentation des textures, images et logos dans l'interface. Le matériel physique d'autre part, avec la préparation du prototype physique (impression 3D), la peinture en blanc de cet objet et la constellation.

2.3. Protocole expérimental

2.3.1. Organisation de la procédure expérimentale

L'intégralité des 22 expériences se sont déroulées dans les locaux de Grenoble INP durant 5 semaines. Les seuls changements encourus sont ceux de la présence ou de l'absence d'utilisation de la plateforme, soit la nature de la condition expérimentale.

La procédure expérimentale a été conduite selon les étapes suivantes :

- ✓ Familiarisation de notre designer au fonctionnement de la plateforme.
- ✓ Installation du matériel de captation vidéo (3 caméras reliées au système de production vidéo TriCaster, installé dans la régie) et audio (microphones reliés à la table d'enregistrement multipistes Tascam, installée dans la régie).
- ✓ Sessions test avec des membres du laboratoire.
- ✓ Recrutement des participants. Le recrutement s'est réalisé auprès du personnel du laboratoire, d'étudiants de la ville de Grenoble, de membres du Club Alpin Français, sur le réseau social LinkedIn, ou par des connaissances de randonneurs alpins.
- ✓ Avant de démarrer les séances, nous avons demandé aux participants de remplir un formulaire de consentement pour l'enregistrement et l'exploitation des données à des fins scientifiques (Annexe 3).
- ✓ La première étape consistait en une présentation du projet, du produit et des objectifs de la séance devant un écran de télévision où l'expérimentatrice faisait défiler quelques diapositives illustratives.

- ✓ Vingt premières minutes de séance étaient initiées en condition Standard ou SAR selon les groupes (cf. Tableau 30). Les groupes impairs commençaient par la condition Standard tandis que les groupes pairs commençaient par la condition SAR.
- ✓ Au bout de vingt minutes de séance de conception collaborative, la designer invitait les utilisateurs à changer de condition expérimentale tout en poursuivant les objectifs qu'ils s'étaient donnés.
- ✓ A la fin des quarante minutes de brainstorming et revue des idées sur l'appareil, chaque participant devait remplir un questionnaire d'évaluation de la collaboration. La designer évaluait le groupe en question et les utilisateurs finaux évaluaient l'aisance des interactions selon la condition expérimentale (Annexe 5).
- ✓ L'un après l'autre, les utilisateurs finaux étaient invités à passer un entretien d'auto-confrontation filmé dans la régie de la salle expérimentale afin de questionner les intentions relatives à l'emploi des gestes pendant les interactions.

Le schéma suivant présente les points essentiels de la procédure expérimentale.

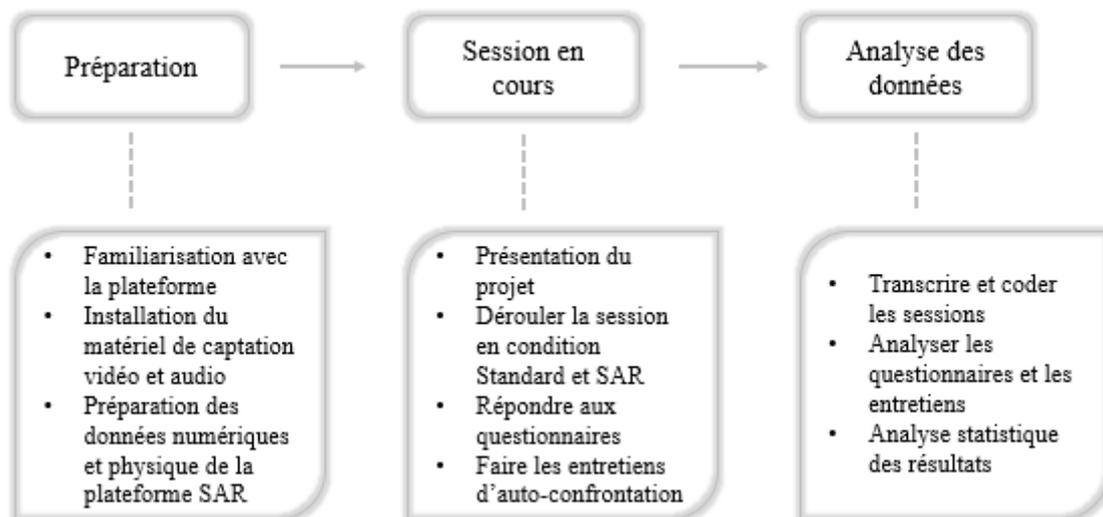


Figure 42: Procédure expérimentale et collecte des données

2.3.2. Configuration de la salle expérimentale

Afin de rassembler toutes les informations et d'enregistrer toutes les activités de conception impliquées pendant les sessions, nous avons utilisé plusieurs approches de recherche complémentaires : l'une basée sur les questionnaires, une seconde sur les entretiens et une dernière sur l'analyse vidéo. Dans cette section, nous décrirons l'aménagement de la salle qui a été utilisée pour les expériences et dans la sous-section suivante, nous fournirons des détails sur les équipements utilisés pour l'acquisition vidéo et audio.

La figure 43 présente le plan de salle d'expérimentation, la disposition des participants et l'équipement disponible (télévision, tableau blanc, matériel lourd...). Notons que cette configuration a été maintenue telle quelle pendant toute la durée des expériences.

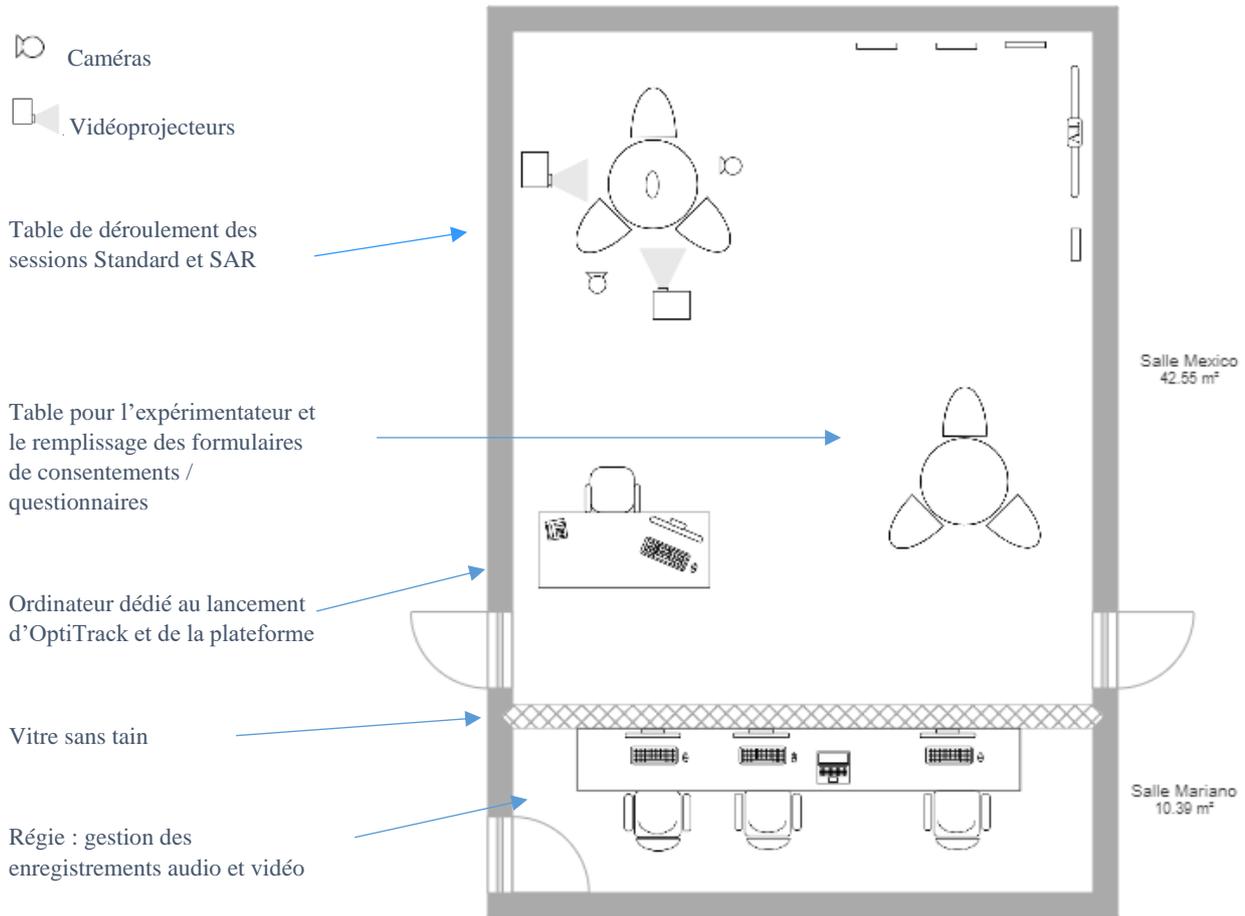


Figure 43: Configuration de la salle expérimentale

2.3.3. Équipement d'enregistrement vidéo et audio

Le processus d'enregistrement vidéo nécessite un équipement spécifique. La scène est enregistrée avec trois caméras haute résolution, fixées sur des trépieds professionnels ou sur la structure métallique, couvrant l'ensemble de la scène et prenant en compte les besoins spécifiques de la séance. Suite à l'installation des caméras, les câbles ont été tirés dans le faux plafond jusqu'à la régie où se trouve le système d'enregistrement des images. Le logiciel exploité pour se faire est TriCaster. Ce logiciel permet d'avoir sur un même écran le vignettage des trois caméras et de superposer l'image avec la bande audio.

En ce qui concerne l'audio, nous fournissons à chaque participant un microphone personnel, ce qui est essentiel pour capter un enregistrement audio de qualité suffisante pour l'analyse sémantique ultérieure.

Les trois pistes audios sont reliées au système d'exploitation Tascam permettant aux techniciens présents dans la régie d'avoir le retour audio de la scène. Par la suite, l'enregistrement des trois pistes a été synchronisé avec la vidéo.

2.3.4. *Description des participants*

Notre panel de participants est constitué d'une designer professionnelle âgée de 46 ans dont la pratique s'exerce depuis plus de 15 ans et de 44 utilisateurs finaux âgés de 18 à 71 ans. Afin de recruter nos participants, nous avons publié plusieurs annonces sur les réseaux sociaux et dans le Club Alpin Français de Grenoble. Notre seul critère de sélection des participants était leur intérêt pour les sports de montagne et/ou de mer et leur attrait envers l'usage d'un appareil de géolocalisation dans les sports qu'ils pratiquent. Nous avons accueilli 36 hommes et 8 femmes dont la moyenne d'âge est de 32,9 ans. 5 d'entre eux ne possédaient pas la nationalité française mais parlaient français couramment.

Parmi les professions des utilisateurs, nous retrouvons :

- ✓ 19 étudiants de plusieurs disciplines : biotechnologie, génie industriel, mathématiques, physique, psychologie
- ✓ 11 professionnels du monde de la recherche : Maître de conférences ou Professeur
- ✓ 6 ingénieurs
- ✓ 1 chargé de développement de projets
- ✓ 1 ergonomiste
- ✓ 1 adjoint de direction SI
- ✓ 1 employé de service
- ✓ 1 consultant
- ✓ 3 retraités

Sur le formulaire de renseignements, nous leur demandions également leur niveau de familiarisation avec les nouvelles technologies de type réalité augmentée, réalité virtuelle et réalité mixte. Les réponses allaient de 1 : Jamais vu ni utilisé, à 4 : Expert. La moyenne obtenue pour nos utilisateurs est de 2,05 et neuf participants sur quarante-quatre seulement n'ont jamais vu ni utilisé une de ces technologies. Cela signifie que la majorité d'entre eux ont déjà été confrontés à ces technologies une fois dans le passé.

2.3.5. *Présentation de la tâche de conception*

D'après les sessions observées sur le terrain dans notre première partie d'étude, nous souhaitons garder les mêmes tâches de conception qui étaient en cours sur l'appareil Viuhö. Celles-ci ont déjà été évoquées dans le point 2.2 de cette même partie.

La designer avait pour rôle de veiller à ce que chacune de ces tâches soit abordée dans tous les groupes. Pour ne pas avoir un effet du type de produit utilisé, nous avons choisi de concentrer cette phase expérimentale uniquement sur l'appareil de géolocalisation Viuhö (présenté en Partie IV.2.1.1.). L'ordre

dans lequel les tâches étaient effectuées n'avait pas d'importance et nous avons laissé la designer mener les sessions par-elle-même.

Nous rappelons que tous les groupes passaient dans les deux conditions expérimentales : 20 minutes en condition Standard et 20 minutes en condition SAR. Afin de ne pas être confronté à un effet d'ordre des conditions, nous avons alterné les groupes commençant par l'une et l'autre des conditions. Bien sûr, nous avons vérifié cela par un test qui a montré qu'il n'y avait, en effet, pas de conséquence de commencer par la condition Standard ou par la condition SAR sur le déroulement des sessions ($\chi^2 (1) = 4.09 \times 10^{-4}$, $p=0.984$) (Tableau 62, Annexe 4).

Si nous résumons les principales variables de notre expérience, nous constatons que notre principale variable de contrôle (également appelée variable indépendante) est la condition expérimentale. Tous les groupes adoptent les deux conditions expérimentales durant 20 minutes chacune. Afin de minimiser les biais expérimentaux, nous avons décidé de garder la même designer, le même produit, les mêmes tâches de conception et le même nombre de participants à chaque session. De plus, pour une comparaison fiable des conditions expérimentales, nous avons pris le soin de ne pas faire commencer tous les groupes par la condition standard. Ainsi, nous espérons minimiser l'effet d'ordre des conditions dans notre analyse de l'activité multimodale de conception.

3. Validation de la reproductibilité des sessions en laboratoire

Pour cette seconde phase expérimentale, nous nous sommes basés sur le coding book et les grilles de codage établies préalablement (Partie II). Les classifications ayant subi des tests de fiabilité inter-codeurs présentés dans la méthodologie (Partie II), nous nous fions aux résultats de ces tests afin de valider la robustesse du codage. Cependant, comme nous avons souhaité reproduire une séance de co-conception au plus proche de la pratique réelle, nous avons procédé à une comparaison des deux situations expérimentales (observations vs en laboratoire) afin de s'assurer que les séances reproduites en laboratoire ne diffèrent pas de la pratique sur le terrain.

Un test du χ^2 nous indique que la distribution des activités cognitives entre les sessions sur le terrain et les sessions en laboratoire ne montre pas de différences significatives ($\chi^2 (8) = 3.48$, $p=0.9$) (Tableau 63 disponible en Annexe 4). Par conséquent, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle, ce qui signifie que le dispositif expérimental que nous avons mis en place n'affecte pas l'activité de conception réelle du point de vue cognitif (Figure 44).

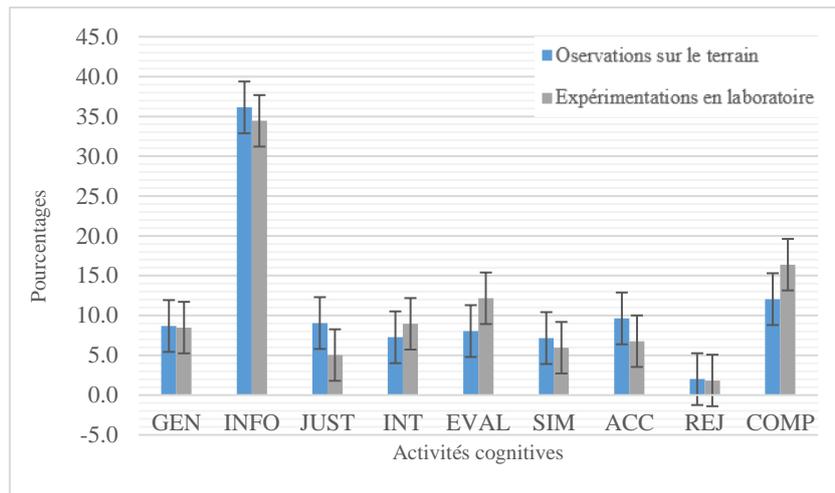


Figure 44: Distribution des activités cognitives selon les observations en entreprise ou en laboratoire

4. Résultats

Nous proposons de présenter les résultats issus de l'analyse des expérimentations en suivant les hypothèses redéfinies à la suite des observations sur le terrain.

Dans un premier temps, nous tenterons de savoir s'il existe bien des corrélations entre certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments quelle que soit la condition expérimentale dans laquelle les sessions se déroulent (H5). Deuxièmement, nous approfondirons nos résultats de la Partie IV en explorant l'influence de la technologie SAR sur les activités multimodales de co-conception (H6). Nous saurons, avec un échantillon plus important, si cette technologie facilite l'intervention des utilisateurs. De plus, nous tenterons de confirmer que les acteurs génèrent plus d'idées sur les couleurs, matériaux et finitions, et procèdent à davantage de validations de ces solutions dans la condition SAR. Troisièmement, du fait de l'utilisation récurrente des gestes pendant les interactions verbales, nous pensons que ces gestes sont une aide à la compréhension entre les pairs (H7). Pour vérifier cette hypothèse, nous évaluerons la variation de quantité de gestes réalisés dans les sessions où la plateforme SPARK est utilisée. D'autre part, nous tenterons de savoir si les gestes iconiques, les gestes métaphoriques et les gesticulations sont initiés pour pallier des difficultés de communication en recueillant leurs intentions dans les entretiens d'auto-confrontation.

4.1. Certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments sont systématiquement liées quelle que soit la nature de l'artefact (H5)

Dans cette section, nous allons vous présenter les résultats des analyses de corrélations réalisées sur les différentes variables, à savoir les gestes, les activités cognitives et les arguments.

L'objectif de ces analyses est d'identifier d'éventuelles relations entre les gestes, les activités cognitives et les arguments lorsque les acteurs interagissent autour du produit en cours de conception. Nous nous demandons les raisons qui ont poussé les sujets à faire ces gestes et avec quel type d'action les font-ils ?

Ces gestes sont-ils associés à des activités cognitives ou des arguments du discours en particulier de telle sorte que le geste semble indispensable lors des interactions ? De plus, comme l'hypothèse initiale du projet SPARK était que la représentation commune disponible sur l'artefact réduirait les barrières entre les concepteurs et les clients, nous avons souhaité analyser l'emploi des artefacts, c'est-à-dire si les sujets font référence à ces artefacts et quelles sont les activités cognitives et les arguments énoncés lors de ces interactions. Autrement dit, les gestes de pointage et de manipulation de l'artefact tangible et de l'artefact mixte sont-ils employés préférentiellement avec des activités cognitives spécifiques ?

Pour répondre à nos interrogations, nous avons procédé, dans un premier temps à une analyse interactionnelle des gestes et des activités cognitives. Cette analyse devrait nous permettre d'identifier des tendances d'activité et de savoir si le prototype tangible ou mixte aide à l'émergence de ces activités. Les deuxièmes et troisièmes paragraphes quant à eux, seront dédiés respectivement à l'analyse interactionnelle des gestes et des arguments puis à celle des activités cognitives et des arguments.

4.1.1. Il existe des corrélations entre certaines modalités de gestes et d'activités cognitives

Toujours confrontés à notre choix restreint de tests statistiques dû au caractère nominal des données issues de notre codage, nous avons procédé au test résiduel du χ^2 de Pearson et non à un test plus traditionnel tel que celui de Spearman pour l'analyse des corrélations.

Nous avons tout d'abord procédé à ce test en souhaitant identifier les corrélations potentielles entre les gestes et les activités cognitives générées lors des sessions de co-conception menées en laboratoire. Les résultats de ce test sont consultables dans les tableaux 31 et 32. Vous trouverez, pour rappel, l'interprétation des valeurs résiduelles dans l'Annexe 2 et dans la Partie IV.3.4.

	ACC	COMP	EVAL	GEN	INFO	INT	JUST	REJ	SIM
Digital	-1.15	-1.81	-0.94	-0.34	1.86	-0.61	2.93	0.97	-1.1
Gesticulation	-8.74	-17.57	-2.95	0.95	12.48	3.52	4.19	-0.78	3.37
Iconique	-6.21	-10.26	-0.23	6.79	-6.73	-3.91	-1.06	-2.01	39.38
Métaphorique	-4.86	-8.09	-1.72	2.97	5.51	-1.24	-0.48	-1.44	7.14
None	10.22	28.87	-6.72	-9.21	-8.35	-3.44	-3.89	2.41	-11.97
Tangible	0.11	-10.42	10.31	5.23	0.58	3.27	1.44	-0.7	-9.72

Tableau 31: *Corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions Standard*

	ACC	COMP	EVAL	GEN	INFO	INT	JUST	REJ	SIM
Digital	-1.2	-1.98	-1.88	-1.65	4.34	0.53	-0.81	1.4	-1.61
Gesticulation	-9.25	-16.36	-0.11	1.44	10.62	3.86	5.45	-1.94	1.63
Iconique	-5.38	-9.89	-1.77	3.2	-6.09	-4.28	-0.92	-0.86	42.14
Métaphorique	-4.88	-7.24	-2.53	1.25	8.08	-3.4	-0.14	-1.47	5.16
None	9.63	19.98	-0.3	-11.23	-6.75	-1.77	-2.43	2.06	-9.42
Mixte	2.61	-0.47	3.14	7.97	-3.8	2.88	-0.53	0.61	-11.28

Tableau 32: *Corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions SAR*

Les deux tableaux 31 et 32 fournissent le degré de significativité de corrélation entre les gestes et les activités cognitives issues des interactions entre les acteurs dans les deux conditions expérimentales.

Nous pouvons observer plusieurs choses dans ces deux tableaux :

- ✓ Certaines corrélations positives de gestes et d'activités cognitives sont significatives dans les deux conditions expérimentales. Ces corrélations sont identifiables par leur couleur verte. Par exemple, nous remarquons que les gestes iconiques et l'activité de simulation sont corrélés positivement entre eux (39,38 en Standard et 42,14 en SAR). Il s'agit des plus fortes corrélations que nous identifions. De plus, les gestes iconiques sont aussi corrélés positivement avec la génération d'idée. Les gestes en l'air de type gesticulations sont corrélés positivement avec l'activité d'information, l'interprétation et la justification. Les gestes métaphoriques sont corrélés positivement avec l'activité d'information et la simulation. Les gestes centrés artefact (Tangible en condition Standard et Mixte en condition SAR) sont corrélés positivement avec les activités d'évaluation, de génération et d'interprétation. Pour finir, les interactions ne mobilisant pas de gestes (None) sont corrélées positivement avec les activités de compréhension, de validation et de rejet des idées proposées.
- ✓ Certaines corrélations positives de gestes et d'activités cognitives sont significatives dans une seule des deux conditions expérimentales mais la corrélation non significative se trouve néanmoins dans le même sens de corrélation (positive également). Par exemple, nous voyons que les gestes de pointage et de manipulation d'objets digitaux sont corrélés positivement avec l'activité d'information significativement en condition SAR et non en condition Standard. Par ailleurs, les gesticulations sont corrélées positivement avec l'activité de simulation significativement en condition Standard et non en condition SAR. Les gestes métaphoriques sont corrélés positivement avec la génération d'idées de manière significative en condition Standard alors que ça n'est pas significatif en condition SAR. Pour finir, les gestes centrés artefacts de type tangible et mixte sont corrélés avec la validation d'idée en condition SAR et celle-ci n'est significative que dans cette condition.
- ✓ Certaines corrélations de gestes et d'activités cognitives sont négatives dans une condition expérimentale puis se retrouvent positives dans l'autre condition et inversement. Ici, nous voyons que les gestes de pointage ou de manipulation de l'artefact mixte sont corrélés négativement avec l'activité d'information en condition SAR alors que cette corrélation est positive en condition Standard mais non significative (-3.08 contre 0.58).

En conclusion de l'analyse des corrélations entre les gestes et les activités cognitives mobilisées lors de séances de conception collaboratives, nous pouvons dire que :

- Les gestes iconiques sont corrélés positivement avec l'activité de simulation et l'activité de génération d'idées dans les deux conditions expérimentales.
- Les gesticulations sont corrélées positivement avec les activités d'information, d'interprétation et de justification dans les deux conditions expérimentales.
- Les gestes métaphoriques sont corrélés positivement avec les activités d'information et de simulation.
- Les gestes centrés sur l'artefact tangible (en condition Standard) et les gestes centrés sur l'artefact mixte (en condition SAR) sont corrélés positivement avec la génération d'idée, l'évaluation et l'interprétation.
- Les interactions sans gestes sont corrélées positivement avec la compréhension, la validation et le rejet des idées.

4.1.2. *Il existe des corrélations entre certaines modalités de gestes et d'arguments*

Dans cette section, nous allons procéder à la même analyse des corrélations que celle réalisée précédemment en nous basant sur les associations de modalités de gestes et d'arguments cette fois. Les résultats des tests du χ^2 résiduel de Pearson sont disponibles dans les deux tableaux suivants (Tableau 33 et 34).

	DP	FUNC	OP	OTH	PART	PC	WHO
Digital	6.16	0.34	-1.19	-0.2	-1.07	-1.19	0.81
Gesticulation	3	5.72	-5.33	6.18	-5.23	-4.49	-1.83
Iconique	-3.77	-6.7	25.9	-7.99	5.91	-2.14	-1.76
Métaphorique	-2.39	-0.19	-3.75	5.25	1.11	-3.37	-0.32
None	-1.58	3.19	-4.69	8.38	-3.45	-4.96	-1.76
Tangible	1.47	-4.77	-1.21	-11.96	4.78	11	4.16

Tableau 33: *Corrélation des gestes et des arguments en condition Standard*

	DP	FUNC	OP	OTH	PART	PC	WHO
Digital	7.79	-1.91	-0.32	-0.09	-1.41	0.06	-0.35
Gesticulation	-0.7	4.93	-3.3	6.34	-3.59	-4.79	0.46
Iconique	-4.61	-5.93	30.26	-7.53	5.04	-5.96	4.47
Métaphorique	-2.82	4.68	-3.23	3.36	0.51	-2.53	-2.74
None	-3.6	2.89	-3.51	10.72	-3.07	-5.68	-0.41
Mixte	4.52	-4.27	-5.48	-16.45	5.17	15	-3.47

Tableau 34: *Corrélation des gestes et des arguments en condition SAR*

Nous allons considérer les trois catégories de résultats possibles, c'est-à-dire les corrélations significatives dans les deux conditions expérimentales, les corrélations significatives dans une seule condition mais dans le même sens dans l'autre condition ainsi que les corrélations ayant des sens contraires. Nous considérons ces choix de catégories pour montrer les relations entre les gestes et les arguments qui sont systématiques quelle que soit la condition expérimentale et celles qui ne le sont pas et pouvant être d'ailleurs inverses. Cela nous montre les relations qui sont inchangées par la technologie et celles qui le sont.

- ✓ Dans le premier cas, nous remarquons que la plus forte corrélation positive entre les gestes et les arguments est celle des gestes iconiques avec l'opérationnalité du produit. En effet, dans les deux conditions expérimentales, nous retrouvons des scores d'association très élevés de l'ordre de 25,9 en condition Standard et de 30,26 en condition SAR. La seconde corrélation la plus forte est négative et se trouve entre les gestes centrés artefact (Tangible en Standard et Mixte en SAR) où nous voyons que les acteurs réalisent significativement moins de gestes lorsqu'ils avancent des arguments *autres* souvent liés au contexte d'usage, à la pratique de divers sports et du coût. Ensuite, s'en suivent une série de corrélations de gestes et d'arguments significatifs dans les deux conditions, à savoir : Digital*DP, Gesticulation*FUNC, Gesticulation*OTH, Iconique*PART, Métaphorique*OTH, None*FUNC, None*OTH, Mixte/Tangible*PART, Mixte/Tangible*PC.

(Le signe "*" signifie la relation entre les deux items)

- ✓ Dans le second cas, une seule corrélation est identifiée. Il s'agit des gestes centrés artefact avec l'argument relatif au processus de conception (DP). En effet, en condition SAR, les gestes *mixtes* sont corrélés positivement et de manière significative avec les arguments de processus de conception tandis que les gestes Tangible en condition Standard ne sont pas corrélés significativement. Cependant, cette dernière est dans le même sens de corrélation.
- ✓ Dans le dernier cas, en ne prenant en compte que les corrélations significatives, c'est-à-dire en deçà de -2 et au-delà de +2, un résultat nous interpelle. Lorsque les acteurs ont des arguments portant sur le produit dans son ensemble (WHO), les gestes effectués font référence à l'objet dans la condition Standard. Ceci est caractérisé par des gestes de pointage et de manipulation du produit (Tangible = 4,16). En revanche, dans la condition SAR, les acteurs ne font pas de gestes centrés sur l'artefact (-3,47). Si nous prenons en compte une seule corrélation significative entre les deux conditions, nous relevons tout de même des résultats contraires. Par exemple, les gesticulations et les arguments portant sur le processus de conception (DP) sont corrélés positivement en condition Standard alors qu'ils sont négativement corrélés avec la technologie SAR. Les gestes iconiques et le produit dans son ensemble (WHO), ainsi que les gestes métaphoriques et la fonctionnalité du produit (FUNC) sont également corrélés positivement entre eux dans la condition SAR alors que le sens change en condition Standard.

Ainsi, pour les quatre résultats que nous venons de relever, nous pouvons dire que l'outil technologique modifie le besoin en geste pour exprimer un argument sur le processus de conception, sur le produit dans son ensemble ou sur sa fonctionnalité.

Pour résumer les résultats que nous venons d'observer concernant les corrélations de gestes avec les arguments, nous pouvons dire que :

- Plusieurs associations de gestes et d'arguments ont été identifiées. Celles qui sont significatives dans les deux conditions expérimentales et qui suivent le même sens de positivité sont : Iconique*OP, Digital*DP, Gesticulation*FUNC, Gesticulation*OTH, Iconique*PART, Métaphorique*OTH, None*FUNC, None*OTH, Mixte/Tangible*PART, Mixte/Tangible*PC. Une corrélation significativement négative dans les deux conditions expérimentales a également été relevée : Mixte/Tangible*OTH
- Un résultat nous a surpris par rapport au sens de corrélation étant positif en condition Standard mais négatif en condition SAR, et ceci de manière significative. Il s'agit de Mixte/Tangible*WHO. De plus, les corrélations de Gesticulation*DP, Iconique*WHO et Métaphorique*FUNC ont des sens de corrélations qui diffèrent selon la nature de la session mais où un seul des deux résidus est significatif.

4.1.3. Il existe des corrélations entre certaines modalités d'activités cognitives et d'arguments

Dans cette section, nous allons aborder la dernière analyse interactionnelle, celle des arguments avec les activités cognitives de co-conception. De la même manière que dans les deux précédents paragraphes, nous allons vous présenter les résultats au test résiduel du χ^2 de Pearson qui vont nous permettre de comprendre quels arguments sont mobilisés pendant chaque activité.

	DP	FUNC	OP	OTH	PART	PC	WHO
ACC	-1.08	-0.31	-1.81	-2.01	3.55	1.75	-1.06
COMP	-4.68	2.11	1.67	-1.1	1.35	0.38	-2.14
EVAL	-3.95	-2.51	1.04	-10.9	0.58	12.82	2.55
GEN	-2.61	-2.31	-4.44	-12.92	17.14	6.94	-1.27
INFO	9.56	5.18	-5.02	10.62	-7.56	-10.66	0
INT	-2.33	-2.6	-1.98	-6.73	-1.29	9.1	5.36
JUST	1.2	1.03	-2.99	6.96	-2.11	-5.11	-0.79
REJ	0.06	-1.21	-1.19	-3.05	2.17	2.21	1.76
SIM	-4.03	-6.59	20.34	11.37	-4.7	-10.25	-4.47

Tableau 35: *Corrélation des activités cognitives et des arguments en condition Standard*

	DP	FUNC	OP	OTH	PART	PC	WHO
ACC	-1.73	0.14	0.43	-4.92	-0.77	5.45	-1.99
COMP	-4.1	0.99	0.72	-0.89	2.14	0.34	-1.21
EVAL	-5.57	-3.74	-0.09	-8.72	-0.72	10.49	1.8
GEN	-3.11	-6.06	-5.4	-13.4	8.98	13.5	-2.52
INFO	12.34	7.12	-4.61	11.04	-4.56	-12.96	0.78
INT	-2.36	-1.72	-3.64	-6.54	-0.13	6.49	4.02
JUST	-1.3	3.44	-1.16	7.63	-2.06	-5.24	-1.82
REJ	-0.84	-1.63	-3.19	-1.75	6.66	0.87	-1.53
SIM	-4.31	-5.82	23.92	12.39	-4.13	-11.74	0.62

Tableau 36: Corrélation des activités cognitives et des arguments en condition SAR

Les trois catégories de corrélations que nous jugeons importantes d'analyser sont à nouveau décrites sur la base des coefficients de corrélation disponibles dans les deux tableaux précédents.

- ✓ Premièrement, nous nous intéressons aux corrélations significatives et ayant des sens de corrélation identiques entre les deux conditions expérimentales. La plus forte corrélation positive entre les deux catégories de modalités est l'argument d'opérationnalité du produit (OP) avec l'activité de simulation (SIM). Les scores de ces corrélations sont de 20,34 en condition Standard et de 23,92 en session SAR. En plus d'être corrélée avec l'opérationnalité du produit, l'activité de simulation est aussi corrélée avec des arguments *autres* (OTH). Ensuite, nous remarquons que nous avons des gros scores de corrélation positive entre les arguments relatifs aux parties du produit (PART) et aux caractéristiques du produit (PC) avec la génération d'idées (GEN). Ces scores compris entre 6,94 et 17,14 dans les deux conditions expérimentales nous indiquent que les sessions portent effectivement sur la génération d'idées sur les couleurs et finitions du produit. Un autre score important de corrélation est celui entre les caractéristiques du produit (PC) et l'évaluation (12,82 en Standard et 10,49 en SAR). En effet, en plus d'être dans des sessions où l'on incite l'émergence d'idées, la designer demande l'évaluation des idées issues de phases antérieures de la conception. Les scores de corrélation nous indiquent également que l'activité d'information (INFO) est corrélée avec les arguments concernant le processus de conception (DP), la fonctionnalité du produit (FUNC) et les arguments autres (OTH). L'interprétation (INT) est aussi corrélée positivement avec les caractéristiques du produit (PC) et le produit dans son ensemble (WHO). Nous voyons que pour se justifier (JUST), les acteurs emploient des arguments autres (OTH) souvent relatifs au contexte d'usage. Quand un acteur rejette une solution, il s'agit de manière significative d'arguments portant sur les caractéristiques du produit (PC).
- ✓ Quelques exemples de corrélations significatives dans une seule des conditions sont disponibles. Parmi ceux-là, nous trouvons l'activité d'acceptation (ACC) avec les particularités du produit

(PC) ; l'activité de compréhension (COMP) et les fonctionnalités du produit (FUNC) ainsi que l'activité de justification (JUST) avec les fonctionnalités du produit (FUNC).

- ✓ Nous pouvons identifier deux résultats contraires selon les conditions Standard ou SAR. Le premier porte sur la corrélation de l'activité de validation des idées (ACC) avec les parties du produit (PART). En condition standard, la corrélation est positive et significative avec un score de 3,55 alors que la corrélation est négative mais non significative en SAR avec un score de -0,77. Ceci nous informe que les parties prenantes ont davantage tendance à valider les idées relatives aux parties du produit en condition Standard qu'en condition SAR. La seconde porte sur la corrélation de l'activité de simulation (SIM) avec le produit dans son ensemble (WHO). La corrélation est négative et significative en condition Standard alors que la corrélation devient positive bien que non significative en condition SAR (-4,47 contre 0,62). Ces scores nous indiquent que la technologie SAR incite à davantage simuler le contexte d'usage du produit dans son ensemble qu'en condition Standard.

Nous pouvons résumer les résultats des corrélations entre les activités cognitives et les gestes en suivant plusieurs points.

- Les corrélations positives et significatives dans l'ensemble des conditions expérimentales sont : SIM*OP, SIM*OTH, GEN*PC, GEN*PART, EVAL*PC, INFO*DP, INFO*FUNC, INFO*OTH, INT*PC, INT*WHO, JUST*OTH, REJ*PC
- Les corrélations qui s'opposent entre les conditions expérimentales sont : ACC*PART et SIM*WHO

4.2. La réalité augmentée spatialisée a un impact sur l'activité multimodale de co-conception

4.2.1. La technologie SAR facilite l'intervention des utilisateurs finaux

Le codage des protocoles verbaux des 22 groupes (donc 44 sessions toutes conditions confondues) a révélé un total de 22009 occurrences. 53% des interactions sont menées par les utilisateurs finaux (Tableau 37). De plus, au regard du résultat au test du χ^2 Goodness of Fit, cette répartition des interactions entre les acteurs est significative ($\chi^2(1) = 75.5, p < 0.001$) (Tableau 37). Cela signifie que les utilisateurs interagissent plus que la designer dans l'intégralité des 44 sessions.

Proportions - Acteur

Level	Count	Proportion
Utilisateurs	11649	0.529
Designer	10360	0.471

Proportions - Acteur

Level	Count	Proportion
-------	-------	------------

χ^2 Goodness of Fit

χ^2	df	p
75.5	1	< .001

Tableau 37: Distribution des interactions selon le type d'acteur

En revanche, au regard des résultats du χ^2 d'indépendance disponible en tableau 38, nous remarquons également que les utilisateurs interagissent plus en condition Standard qu'en condition SAR (χ^2 (1) = 11.8, $p < 0.001$). Cependant, ces résultats sont à interpréter avec prudence car le test de corrélation de Pearson ne montre pas de corrélation significative entre le type d'acteur et la condition expérimentale (Tableau 39). *Pour rappel, des corrélations sont significatives (négatives ou positives) lorsque les valeurs de corrélations sont au-delà de 2 en valeur absolue.*

Tableau de contingence

Acteur	Condition		Total
	SAR	Standard	
Utilisateurs	5543	6106	11649
Designer	5170	5190	10360
Total	10713	11296	22009

χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	11.8	1	< .001
N	22009		

Tableau 38: Distribution des interactions selon le rôle du sujet et la condition expérimentale

	SAR	Standard
Utilisateurs	-1.69	1.64
Designer	1.79	-1.74

Tableau 39: Corrélation du type d'acteur et de la condition expérimentale

- Les différents résultats nous indiquent que la condition expérimentale a un effet sur le nombre d'interactions des utilisateurs. Ceux-ci interagissent plus en condition Standard qu'en condition SAR. Cette conclusion est à l'encontre de notre hypothèse qui prédisait un nombre plus important d'interactions de la part des utilisateurs quand ils utilisent la plateforme SPARK. Ces résultats contredisent aussi ceux obtenus lors de la phase d'observation qui ne montraient pas de différences significatives entre le nombre d'interactions en condition Standard et en condition SAR quel que soit le rôle de l'acteur.

4.2.2. La technologie SAR facilite la génération d'idées portant sur les caractéristiques du produit et leur validation

Dans cette section, nous allons vous présenter les résultats issus du codage des activités cognitives réalisées pendant les sessions de co-conception en laboratoire. En effet, pour pouvoir répondre à notre hypothèse que les acteurs génèrent et valident plus d'idées pendant les sessions SAR, nous devons procéder à l'analyse des proportions de chaque activité cognitive répertoriée. Les valeurs brutes sont consultables dans le tableau 40 a et b.

Tout d'abord, nous remarquons que l'activité d'information (INFO) est celle qui est la plus représentée dans les deux conditions expérimentales avec 35,2% et 33,6% des interactions la mobilisant. A la suite de l'information se classent les activités de compréhension (COMP) et d'évaluation (EVAL) à hauteur de 16% à 12% respectivement. Pour ces trois activités cognitives, nous ne remarquons pas de différences notables entre la condition Standard (Tableau 40 a) et la condition SAR (Tableau 40 b).

Cependant, d'autres proportions d'activités cognitives ne semblent pas équivalentes entre les deux conditions expérimentales. Il s'agit, par exemple, de la génération d'idées. En effet, celle-ci est mobilisée dans 7% des interactions dans la condition Standard alors qu'elle augmente à 10% en condition SAR.

Afin de vérifier ces observations, nous avons effectué un test du χ^2 d'indépendance (tableau 41) et un test de corrélation (tableau 42).

Proportions - Activity			Proportions - Activity		
Level	Count	Proportion	Level	Count	Proportion
ACC	749	0.0663	ACC	741	0.0692
COMP	1846	0.1634	COMP	1759	0.1642
EVAL	1405	0.1244	EVAL	1271	0.1186
GEN	794	0.0703	GEN	1072	0.1001
INFO	3981	0.3524	INFO	3599	0.3359
INT	1029	0.0911	INT	941	0.0878
JUST	581	0.0514	JUST	526	0.0491
REJ	222	0.0197	REJ	183	0.0171
SIM	689	0.0610	SIM	621	0.0580

Tableau 40 (a et b): Distribution des différentes modalités d'activités cognitives en condition Standard (a) et SAR (b)

Tableau de contingence

Activité		Condition		
		SAR	Standard	Total
ACC	Observé	741	749	1490
	Attendu	725	765	1490
COMP	Observé	1759	1846	3605
	Attendu	1755	1850	3605
EVAL	Observé	1271	1405	2676
	Attendu	1303	1373	2676
GEN	Observé	1072	794	1866
	Attendu	908	958	1866
INFO	Observé	3599	3981	7580
	Attendu	3690	3890	7580
INT	Observé	941	1029	1970
	Attendu	959	1011	1970
JUST	Observé	526	581	1107
	Attendu	539	568	1107
REJ	Observé	183	222	405
	Attendu	197	208	405
SIM	Observé	621	689	1310
	Attendu	638	672	1310
Total		10713	11296	22009

χ^2 Tests

Value	df	p
-------	----	---

Tableau de contingence

Activité	Condition		
	SAR	Standard	Total
χ^2	68.1	8	< .001
N	22009		

Tableau 41: Résultats du χ^2 d'indépendance et répartition des activités cognitives selon la condition expérimentale

Les résultats au test du χ^2 nous indique que les activités cognitives mobilisées ne sont pas indépendantes entre les conditions Standard et SAR ($\chi^2 (8) = 68.1, p < 0.001$). Cela signifie que nous avons dénombré plus d'activités cognitives de certaines catégories dans l'une ou l'autre des conditions expérimentales. Cependant, le test du χ^2 nous délivre seulement ce résultat sans préciser quelles modalités particulières sont davantage représentées dans chacune des conditions expérimentales. C'est pourquoi nous avons réalisé un test du χ^2 résiduel de Pearson (Tableau 42). Le résultat de ce test nous indique une seule corrélation significative. Il s'agit de celle de l'activité de génération d'idée avec la condition SAR. En effet, cette corrélation est la seule figurant au-dessus du seuil de 2 fixé pour atteindre un résultat significatif. Ainsi, d'après ce test, il semblerait qu'il y ait significativement plus de génération d'idées dans les sessions SAR que dans les sessions Standard.

	SAR	Standard
ACC	0.55	-0.54
COMP	0.11	-0.11
EVAL	-0.87	0.84
GEN	5.46	-5.31
INFO	-1.5	1.46
INT	-0.57	0.56
JUST	-0.55	0.53
REJ	-1	0.98
SIM	-0.67	0.66

Tableau 42: Corrélation des activités cognitives avec la condition expérimentale

Nous venons de voir que la condition SAR engendre plus de générations d'idées. Cependant, nous ne savons pas si ce phénomène s'applique aussi bien aux designers qu'aux utilisateurs. Pour le savoir, nous avons réalisé un nouveau test du χ^2 entre les activités cognitives et le rôle de l'acteur (Tableau 43). Le tableau de contingence associé au résultat du test est disponible en annexe (Tableau 64, Annexe 4). Le résultat de ce test nous indique que le rôle de l'acteur a un effet sur les activités cognitives mobilisées pendant les séances de co-conception ($\chi^2 (8) = 1668, p < 0.001$).

χ^2 Tests			
	Value	df	p
χ^2	1668	8	< .001
N	22009		

Tableau 43: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des activités cognitives selon le rôle de l'acteur

En comparant les pourcentages d'occurrences d'activités des utilisateurs (en bleu) et de la designer (en gris) (Figure 45), nous remarquons que le type de condition entraîne des conséquences sur l'activité d'information (INFO). En effet, en condition Standard, les utilisateurs semblent donner plus d'informations qu'en condition SAR. Quant à la génération d'idées (GEN), la représentation graphique montre qu'il y a plus de génération d'idées en condition SAR mais que ce phénomène s'observe aussi bien du côté des utilisateurs que du côté de la designer.

Cette représentation graphique nous apporte quelques étonnements. Nous pouvons voir que l'activité de compréhension est largement réalisée par la designer comparativement aux utilisateurs. En revanche, les utilisateurs semblent recourir aux activités de validation, d'évaluation et de justification de façon préférentielle. Grâce à ce résultat, nous savons que les acteurs ne font pas le même type d'activité selon le rôle qu'ils ont dans la session.

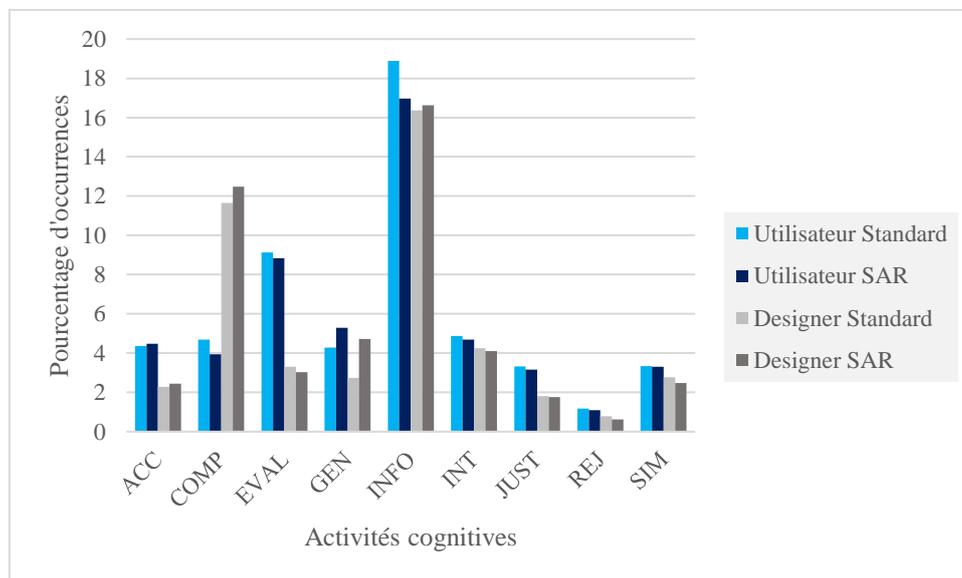


Figure 45: Proportion d'activités cognitives selon le rôle de l'acteur et le type de condition

Dans la phase d'observation, nous avons remarqué qu'un plus grand nombre d'arguments portant sur les caractéristiques du produit (PC) était représenté dans les sessions employant la plateforme SPARK. Nous allons tenter de savoir si cette tendance se confirme dans nos sessions menées en laboratoire.

Une analyse descriptive des arguments nous indique que trois catégories d'arguments prédominent : les caractéristiques du produit (PC), la fonctionnalité du produit (FUNC) et la catégorie *autre* (OTH) (Tableau 44 a et b). De plus, en comparant les deux conditions expérimentales, nous remarquons qu'il y a une plus grande proportion d'arguments en faveur des caractéristiques du produit dans la condition SAR (35%) que dans la condition Standard (22,7%). Au contraire, les arguments *autres* sont davantage représentés dans la condition Standard (27,4%) que dans la condition SAR (20,6%).

Proportions - Argument			Proportions - Argument		
Level	Count	Proportion	Level	Count	Proportion
DP	298	0.0264	DP	355	0.0331
FUNC	1902	0.1684	FUNC	1684	0.1572
OP	801	0.0709	OP	596	0.0556
OTH	3096	0.2741	OTH	2211	0.2064
PART	1574	0.1393	PART	1245	0.1162
PC	2559	0.2265	PC	3747	0.3498
WHO	1066	0.0944	WHO	875	0.0817

Tableau 44 (a et b) : Proportion des différentes modalités d'arguments en condition Standard (a) et SAR (b)

En effectuant un test du χ^2 , nous arrivons aux mêmes conclusions que pour les activités cognitives, à savoir que les arguments employés dans la condition Standard diffèrent de ceux employés en condition SAR ($\chi^2(6) = 462, p < 0.001$) (Tableau 65, Annexe 4). Plus précisément, le test du χ^2 résiduel de Pearson nous confirme qu'il existe une corrélation entre les caractéristiques du produit (PC) et la condition SAR (Tableau 45) ainsi qu'une corrélation de l'argument *autre* (OTH) avec la condition Standard. Le tableau entier des valeurs résiduels au test de Pearson sont disponible dans le Tableau 66 de l'annexe 4.

	SAR	Standard
OTH	-7.33	7.13
PC	12.23	-11.91

Tableau 45: Corrélation des arguments avec la condition expérimentale

Notre hypothèse selon laquelle "la technologie SAR facilite la génération d'idées portant sur les caractéristiques du produit et permet leur validation" est partiellement confirmée car :

- Le test du χ^2 d'indépendance réalisé sur les activités cognitives nous indique qu'il y a un effet de la condition sur celles-ci ($\chi^2(8) = 68.1, p < 0.001$).
- Le χ^2 résiduel indique une corrélation positive entre la génération d'idée (GEN) et la condition SAR tandis que la corrélation entre la validation et la condition SAR n'est pas significative.
- Les utilisateurs valident plus d'idées que la designer. Cette activité est donc préférée aux utilisateurs.
- La génération d'idée est une activité mobilisée par les utilisateurs et la designer sans effet du rôle de l'acteur.
- Les résultats nous apportent quelques étonnements : les activités d'évaluation (EVAL), de validation (ACC) et de justification (JUST) sont préférentiellement faites par les utilisateurs. En revanche, l'activité de compréhension (COMP) est faite préférentiellement par la designer.
- Le test du χ^2 d'indépendance réalisé sur les arguments nous indique qu'il y a un effet de la condition sur celles-ci ($\chi^2(6) = 462, p < 0.001$).
- Le χ^2 résiduel indique une corrélation positive entre les caractéristiques du produit (PC) et la condition SAR ainsi qu'une corrélation positive entre les arguments *autres* (OTH) et la condition Standard.

4.3. Les gestes sont une aide à la compréhension

Lors de l'étape d'observation des séances de co-conception chez notre partenaire industriel, nous avons été surpris de constater que de nombreux gestes étaient constitutifs de l'activité des acteurs. Nous nous interrogeons donc sur leur caractère facilitateur et indispensable au discours des designers et des non-designers. Dans les deux prochaines sous-sections, nous vérifierons les hypothèses (H7) selon lesquelles "Moins de gestes sont réalisés dans un environnement SAR" puis que "Les gesticulations, les gestes iconiques et les gestes métaphoriques sont réalisés pour pallier des difficultés de communication".

4.3.1. Moins de gestes sont réalisés dans un environnement SAR

Tout d'abord, si nous regardons les proportions de gestes mobilisés (Tableaux 46 a et b) nous identifions deux catégories qui représentent 70% des interactions : les gestes centrés artefact et la catégorie aucun geste (*None*). Les gestes centrés artefact sont constitués de gestes digitaux, tangibles et mixtes. Parmi ces gestes, nous n'avons pas identifié de gestes *mixtes* dans les sessions Standard ni de gestes *tangibles* dans les sessions SAR. De plus, parmi l'ensemble des gestes centrés artefacts codés, seule 0,84% de ceux-ci sont des gestes digitaux. Cela signifie que les pourcentages de gestes centrés artefacts

disponibles dans les tableaux 46 (a et b) sont sensiblement ceux des gestes tournés vers l'artefact principal (tangible en condition Standard et mixte en condition SAR).

Les 30% de gestes restants sont des gestes en l'air de type gesticulation, gestes iconiques et métaphoriques. Sur ces trois catégories de gestes et en comparaison des conditions Standard et SAR, nous voyons que les proportions sont équivalentes. Autrement dit, les interactions entre les acteurs connaissent une proportion de gestes en l'air identique entre les conditions. Ainsi, nous pouvons dire que la technologie n'a pas d'impact sur la mobilisation des gestes en l'air. En revanche, au regard des proportions des gestes centrés artefact, nous remarquons que ces types de gestes sont proportionnellement plus nombreux en condition SAR qu'en condition Standard (37,7% contre 32,6%). De plus, la proportion d'interactions verbales se faisant sans accompagnement de gestes (*None*) est de 38,2% en condition Standard contre 33,3% en condition SAR. Par conséquent, nous pouvons dire que la technologie tend à faciliter les interactions avec les artefacts en réduisant les interactions sans gestes.

Proportions - Gestes			Proportions - Gestes		
Level	Count	Proportion	Level	Count	Proportion
Artefact centric	3679	0.3257	Artefact centric	4034	0.3766
Gesticulation	2140	0.1894	Gesticulation	2012	0.1878
Iconique	750	0.0664	Iconique	701	0.0654
Métaphorique	413	0.0366	Métaphorique	400	0.0373
None	4314	0.3819	None	3566	0.3329

Tableaux 46 (a et b) : Proportion de gestes en condition Standard (a) et en condition SAR (b)

Nous pouvons justifier nos conclusions précédentes avec le test du χ^2 d'indépendance présenté ci-dessous (Tableau 47) et avec les résultats au test de corrélations de Pearson (Tableau 48). Premièrement, le test du χ^2 d'indépendance nous indique que les gestes employés dans les deux conditions expérimentales sont significativement différents ($\chi^2(4) = 77.8$, $p < 0.001$). Les effectifs observés des catégories de gestes en l'air sont très proches et ceci quelle que soit la condition expérimentale. Par conséquent, la différence observée entre les conditions expérimentales n'est pas due à ces catégories de gestes. En revanche, une différence est remarquée entre les effectifs observés et attendus des catégories *artefact centric* et *none*. Les gestes centrés artefact sont beaucoup plus représentés dans les sessions SAR par rapport à ce qui était attendu. Au contraire, les interactions sans gestes sont, quant à elles, beaucoup plus représentées dans les sessions Standard.

Tableau de contingence

Geste		Condition		Total
		SAR	Standard	
Artefact centric	Observé	4034	3679	7713
	Attendu	3754	3959	7713
Gesticulation	Observé	2012	2140	4152
	Attendu	2021	2131	4152
Iconique	Observé	701	750	1451
	Attendu	706	745	1451
Métaphorique	Observé	400	413	813
	Attendu	396	417	813
None	Observé	3566	4314	7880
	Attendu	3836	4044	7880
Total	Observé	10713	11296	22009
	Attendu	10713	11296	22009

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	77.8	4	< .001
N	22009		

Tableau 47: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des gestes selon la condition expérimentale

Cette différence entre les effectifs observés et attendus se confirme avec le test du χ^2 résiduel de Pearson (Tableau 48). En effet, nous voyons qu'il y a une surreprésentation des gestes centrés artefact en condition SAR avec un score résiduel de $4.56 > 2$ tandis que nous remarquons également une surreprésentation des interactions sans gestes dans la condition Standard avec un score de $4.25 > 2$.

	SAR	Standard
Artefact centric	4.56	-4.44
Gesticulation	-0.19	0.19
Iconique	-0.19	0.19
Métaphorique	0.22	-0.21
None	-4.36	4.25

Tableau 48: Corrélacion des gestes avec la condition expérimentale

Non seulement les gestes diffèrent selon la condition expérimentale mais leur emploi semble aussi diverger selon le type d'acteur ($\chi^2(4) = 386, p < 0.001$) (Tableau 49 ; et Tableau 67 en Annexe 4). La représentation graphique disponible en figure 46 montre que le pourcentage de gestes diffère pour la designer entre les conditions. Par exemple, nous voyons que la designer fait beaucoup moins de gestes

centrés sur l'artefact dans la condition Standard que dans la condition SAR. Au contraire, elle semble interagir davantage sans gestes en condition Standard. Cela nous laisse penser qu'au lieu de réaliser des gestes de pointage ou de manipulation de l'artefact tangible, la designer mobilise des activités où elle se réfère peu au produit et interagit sans avoir besoin de faire des gestes.

χ^2 Tests			
	Value	df	p
χ^2	386	4	< .001
N	22009		

Tableau 49: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des gestes selon le rôle de l'acteur

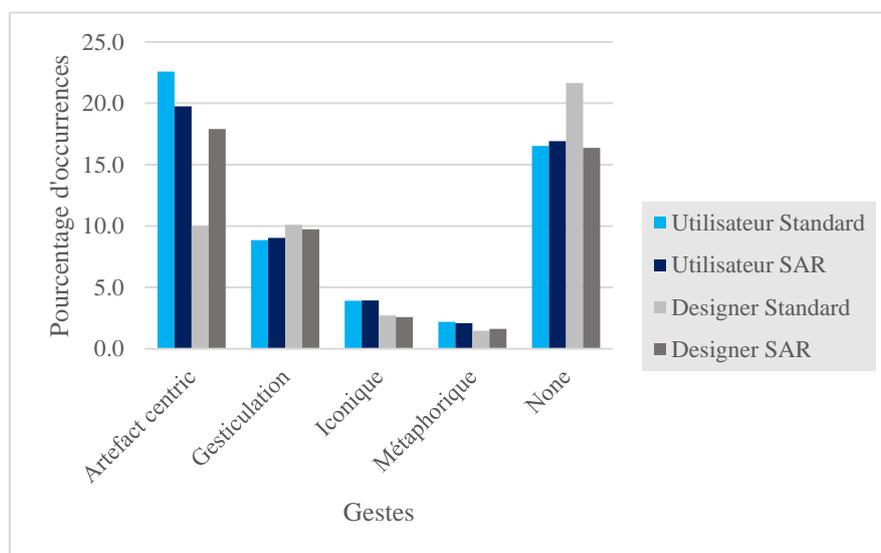


Figure 46: Proportion de gestes selon le rôle de l'acteur et le type de condition

Notre hypothèse selon laquelle "moins de gestes sont réalisés dans un environnement SAR" n'est pas validée car :

- Le test du χ^2 d'indépendance réalisé sur les gestes nous indique qu'il y a un effet de la condition sur ceux-ci ($\chi^2(4) = 77.8, p < 0.001$).
- Le nombre d'interactions non accompagnées de gestes est plus important en condition Standard qu'en condition SAR. Nous avons 38,2% des interactions sans gestes en condition Standard contre 33,3% en condition SAR. Ceci s'explique par une plus grande proportion d'interactions sans gestes réalisée par la designer dans les sessions Standard.
- Le χ^2 résiduel indique une corrélation positive entre le geste *None* et la condition Standard.

4.3.2. Les gestes iconiques, métaphoriques et les gesticulations sont initiés pour pallier les difficultés de communication

Contrairement aux hypothèses émises jusque-là, celle-ci a un aspect qualitatif dont il est difficile de conclure par l'analyse statistique. Afin de savoir si les gestes en l'air jouent un rôle facilitateur dans la communication, nous nous sommes appuyés sur des entretiens d'auto-confrontation avec l'ensemble des 44 utilisateurs. La présentation et la description des résultats étant conséquente, nous présenterons le contenu des entretiens dans la section suivante qui lui est dédiée.

5. Entretiens d'auto-confrontation

5.1. Origines et principes de base de l'entretien d'auto-confrontation

Pour aborder la suite de notre recherche, nous allons poursuivre l'analyse de l'activité de co-conception en utilisant une technique issue de l'ergonomie. Pour Ria, "*l'ergonomie étudie l'activité professionnelle dans ses conditions naturelles d'accomplissement*" (2008) et tend vers deux objectifs :

- ✓ Améliorer les conditions de travail des sujets sans impacter à la baisse leur niveau de productivité.
- ✓ Comprendre les sujets dans leur activité cognitive pour réaliser la tâche.

En ce qui concerne notre étude, nous souhaitons nous focaliser sur ce deuxième point et poursuivre notre compréhension de l'activité cognitive des sujets pendant une tâche de conception. Notamment, nous souhaitons apporter un éclairage sur le rôle des gestes pendant les interactions entre les parties prenantes. En effet, les analyses réalisées grâce au codage des différentes modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments nous ont appris que certains gestes sont privilégiés à d'autres selon le type d'activité qui est mené. Cependant, les gestes sont implicites et à moins d'interroger les acteurs sur ce qu'ils font, nous n'aurions pas pu avoir accès à leur représentation mentale (non observable) de ce qu'apporte les gestes pendant les sessions de co-conception. C'est pourquoi nous avons souhaité accéder à cette partie non observable de l'activité en interrogeant les utilisateurs finaux individuellement à la fin des sessions.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la technique de l'entretien d'auto-confrontation issu de travaux en psychologie. Nous situons l'origine de l'auto-confrontation dans le domaine de l'éducation, au début des années 50, où Bloom la nommait "rappel stimulé" (*stimulated recall*) puis Nielsen créait l'expression d'auto-confrontation (*self-confrontation*) (Guérin *et al.*, 2004). La méthode sera ensuite reprise dans les analyses ergonomiques du travail sous forme d'auto-confrontation simple (Theureau et Jeffroy, 1994) ou d'auto-confrontation croisée (Clot, 1999).

Cette technique d'entretien s'appuie sur un principe très simple émis par Theureau en 2004 : "*pour pouvoir accéder à cette partie non observable, il est nécessaire que le professionnel commente son activité au moment précis auquel se déroule l'action*". Pour cela, nous avons mis en place un dispositif

dans la salle de régie où nous pouvions accueillir les participants et les mettre face à la vidéo de leur séance de conception pour procéder à l'entretien. Des moments identifiés par l'expérimentatrice lors des sessions sont alors visionnés par le participant où ils se voient réalisant l'action à expliciter. Notre objectif était alors de leur demander quelle était leur **intention** quand ils ont réalisé le geste visionné. Nous allons vous présenter, dans la séquence suivante, notre argumentaire en référence à des extraits d'entretiens pertinents relatant les rôles des gestes dans les interactions d'une part et le rôle de la technologie SAR d'autre part.

5.2. Analyse des entretiens

Nos entretiens abordent deux thématiques différentes :

- ✓ L'intention des gestes réalisés par les utilisateurs
- ✓ Les impressions des participants quant aux apports de la technologie de réalité augmentée spatialisée

La première thématique vise à répondre, en partie, à notre hypothèse selon laquelle les gestes en l'air sont une aide à la communication pour les utilisateurs qui les réalisent. Cette thématique se base sur la technique de l'entretien d'auto-confrontation présentée ci-dessus puis la seconde thématique est plus classique en procédant à un simple entretien de type Question-Réponse.

5.2.1. L'intention des gestes : de l'implicite vers l'explicite

Lors des entretiens d'auto-confrontation avec les utilisateurs, chaque séquence identifiée par l'expérimentatrice pendant les sessions était visionnée par le participant. Ces séquences étaient constituées d'une interaction verbale accompagnée d'un ou plusieurs gestes en l'air de type iconique ou métaphorique. En poursuivant notre souci de comprendre quels sont les rôles de ces gestes dans les interactions, nous avons demandé aux utilisateurs quelle était l'intention du geste réalisé lors de cette séquence ?

Parmi les réponses que nous avons obtenues, nous avons plusieurs individus qui nous ont dit réaliser des gestes iconiques afin de **capter l'attention** des personnes à qui ils s'adressaient. L'un d'eux disait d'ailleurs clairement que "*Quelqu'un qui ne bouge pas c'est très ennuyeux à regarder.*" Un second répondait à notre question sur l'intention de son geste en disant : "*Capter l'attention ! Voir et faire des gestes rendent le discours plus vivant.*" En effet, les gestes rendent les situations plus attractives et favorisent une meilleure écoute car cela prend de l'espace dans la scène (Poulhalec, 2017).

La seconde raison pour laquelle les utilisateurs ont réalisé des gestes iconiques pendant les séances de co-conception est qu'ils étaient en train de **s'imaginer la situation d'usage du produit** et représentaient visuellement ce qu'ils visualisaient. Pour illustrer cela, voici quelques réponses de la part de nos participants : "*Je me vois un peu dans le contexte et je me rends compte que je n'y arrive pas, j'espère y arriver mais je n'y arrive pas.*" ; "*Je voulais tester parce que dans sa tête c'est difficile d'imaginer, je*

l'essai, je l'imagine sur le bras donc je le place directement tout en y réfléchissant et en ayant la sensation. Je testais" ; "Je voulais montrer la situation dans laquelle on peut se retrouver et la difficulté de manipulation". Par ces réponses, nous voyons que le geste a un rôle très important dans la réflexion que portent les utilisateurs au moment où ils s'expriment. Non seulement ils essaient de transmettre leurs idées à l'oral mais la situation d'utilisation du produit les renvoie aussi à leurs propres expériences. Ainsi, les utilisateurs se projettent dans le passé ou dans le futur en vivant l'expérience d'utilisation du produit et donc gesticulent comme s'ils étaient dans une situation réelle.

La troisième raison avancée par les participants quant au rôle des gestes iconiques est **qu'ils appuient le propos**. Très simplement, l'un d'eux nous dit : *"Souligner le propos et s'éviter de longues phrases"*. En effet, en faisant des gestes iconiques, les participants multiplient les canaux de communication et peuvent ainsi remplacer des mots par certaines actions ou symboles qui sont communément admis dans notre société.

Relativement proche de la raison précédente, les utilisateurs disent apporter de l'**insistance** à leur discours en réalisant des gestes. Par exemple, nous avons recueilli les arguments suivants : *"Quand je fais plusieurs fois c'est que je confirme ce que je dis, c'est une forme d'insistance et montrer que c'est important" ; "J'étais persuadé que ce que je disais était pertinent donc j'avais envie de convaincre, j'insiste plusieurs fois" ; "J'imposais un peu mon idée, c'est une forme d'insistance"*. Au regard de ces propos, nous voyons que les participants souhaitent, en quelques sortes, convaincre l'auditoire en montrant par des gestes la réalisation de l'action. Ainsi, en simulant la situation et en exécutant parfois plusieurs fois le même geste, ils apportent un argument supplémentaire au propos afin de convaincre les autres individus présents.

La cinquième raison de réalisation des gestes iconiques est que ceux-ci **aident à réfléchir**. Dans un but de faire mûrir une idée pour soi ou pour les autres, les participants apprécient faire des gestes. Cela les aide pour se remémorer ce qui a été dit et pour avoir un regard critique sur les solutions : *"Je fais des gestes pour moi mais j'aime aussi quand les autres en font car ça me permet de mémoriser" ; "Ça m'aide à réfléchir, je me projette dans l'utilisation"*.

En réalisant des gestes, les individus ont la sensation que **leur message est plus compréhensible** par l'auditoire. Les gestes iconiques sont donc une aide pour eux-mêmes par leur capacité illustrative les aidant à mener leur réflexion mais sont également un moyen pour les autres de comprendre plus facilement le message transmis : *"J'ai l'impression de mieux faire passer mes idées avec des gestes. Doublé avec une illustration visuelle on réduit les risques que l'autre personne parte dans une autre interprétation de ce que je dis"*.

Pour finir, la septième raison évoquée par les participants nous informe que les gestes sont un moyen de **retrouver ses mots** ou que quelqu'un d'autre les trouvent pour nous. En effet, nombreux sont les individus nous ayant dit qu'à certains moments ils souhaitaient s'exprimer à propos d'un certain sujet sans savoir comment l'exprimer car ils n'avaient pas le terme exact en tête. Par exemple, un utilisateur

a mimé, à un moment donné, le geste circulaire que l'on réalise pour allumer une lampe torche dynamo. Celui-ci mime le geste à deux reprises pendant quelques secondes sans exprimer le mot qui est associé à ce geste. En faisant cela, cet utilisateur tente de transmettre son idée et espère qu'une autre personne comprendra ce qu'il souhaite dire en retrouvant le terme correspond au geste réalisé : *"Ce n'était pas exactement la dynamo que je voulais dire. Je cherchais le mot manivelle. Le geste a permis la compréhension car tout le monde a compris. Quand on n'arrive pas à dire le mot, on le mime"*. De plus, quand les participants n'ont pas accès au mot qui leur manque, ils anticipent la production langagière de ce mot en espérant que la réalisation du geste leur fasse retrouver le terme approprié. Cette idée a été exprimée comme ceci : *"Je cherche mon mot. Ça me revient après avoir fait le geste"*. ; *"Je cherche encore mon mot du coup je fais le geste par anticipation"*.

En résumé, les utilisateurs interrogés ont mentionné que les gestes en l'air de type iconiques ont pour rôle de :

- Capter l'attention
- Visualiser, illustrer, imaginer ou s'imaginer dans la situation
- Appuyer le propos
- Insister
- Aider à réfléchir
- Aider à se faire comprendre des autres
- Retrouver ses mots ou que quelqu'un d'autre les retrouve pour nous

Dans les hypothèses initiales du projet SPARK, nous pensions que les gestes étaient réalisés afin de combler le manque d'informations disponibles sur la représentation physique de l'objet. Grâce au recueil de ces entretiens, nous nous apercevons que les gestes ne sont pas réalisés dans ce but. Effectués inconsciemment, les utilisateurs nous ont rapporté le caractère essentiel des gestes dans les interactions où ils permettent d'économiser des mots, de multiplier les moyens de transmettre une idée, de structurer le discours et où ils montrent une forme d'implication dans la conversation.

"Donner un caractère analogique que je représente avec une barre progressive" (parle du geste métaphorique)

"Le geste économise les mots, on sait qu'on s'est compris en un geste et 3 mots. Ça permet d'insister sans être lourd, avec plusieurs sens, de donner de la précision. De rendre les choses un peu plus concrètes aussi, ça permet de renforcer le message".

"Les gestes permettent de mieux représenter ce que je dis, à structurer mes idées. Consciemment, je ne perçois pas que les autres font des gestes."

"Je fais beaucoup de gestes quand je suis impliqué dans un sujet, j'y mets plus de formes avec le corps, avec les mains."

"Les gestes sont essentiels. Je ne peux pas imaginer être sûr de mon explication sans l'avoir représentée visuellement. Je suis rassuré quand je représente les choses dans l'espace."

"Représenter visuellement par le geste pour décharger la mémoire à court terme ; mimer ; structurer le discours"

Ainsi, même avec une représentation qui change en temps-réel, les participants continuent de faire des gestes pour les raisons que nous venons d'évoquer et non parce que la solution finale n'est pas représentée en temps-réel. Les gestes sont donc une aide à la communication pour les individus qui les réalisent et une aide à la compréhension pour ceux qui les visualisent.

Pour aller encore plus loin dans nos explications, nous savons que les activités cognitives de génération (GEN) et de simulation (SIM) sont corrélées aux gestes iconiques. Par conséquent, les entretiens nous laissent penser que les gestes iconiques sont un support à l'imagination et à l'externalisation qui elles-mêmes sont facilitantes dans la réalisation de ces deux activités.

5.2.2. Recueil des impressions sur les sessions de co-conception et de l'apport de la plateforme SPARK

A la fin des entretiens d'auto-confrontation, nous avons demandé aux utilisateurs quel était leur sentiment par rapport à la technologie SAR. Cette question leur était posée de manière tout à fait ouverte afin de recueillir leur impression en complément des analyses de données que nous avons réalisé sur le codage des sessions.

Les réponses que nous avons obtenues sont répertoriées en Annexe 4.

Les citations répertoriées nous apprennent plusieurs choses. D'une part, la technologie SAR a suscité beaucoup de curiosité chez les participants. Nombreux étaient ceux qui ont été attiré par la nouveauté et par le système de tracking de l'objet 3D. La plupart ont cependant jugé cette technologie comme un atout supplémentaire mais non comme une nécessité pour discuter des idées proposées. L'apport principal de cette plateforme serait pour les **aspects esthétiques** du produit alors que les utilisateurs pensent que pour discuter des fonctionnalités du produit, une condition standard avec le prototype tangible est préférable. L'utilisation d'une telle plateforme serait donc utile dans les **étapes très avancées de développement du produit**. En effet, plusieurs utilisateurs ont eu le sentiment que d'avoir la représentation visuelle des changements apportés au produit permettait de mieux **comprendre et de visualiser le résultat final**. Ainsi, tous trouvent que les deux conditions expérimentales étaient très **complémentaires**.

Ces remarques nous incitent à nous rapprocher de l'analyse des arguments et des activités cognitives faite dans la partie IV. Premièrement, l'analyse des arguments nous avait appris que les participants utilisaient significativement plus d'arguments portant sur les caractéristiques du produit (PC) dans la condition SAR tandis que les arguments portant sur l'opérationnalité du produit (OP) et les arguments *autres* souvent liés au contexte d'usage (OTH) étaient significativement plus représentés dans la condition Standard. Deuxièmement, au regard des résultats de l'activité cognitive de compréhension (COMP), nous n'avons pas identifié de différence significative entre les conditions. Le sentiment des utilisateurs que la plateforme facilite la compréhension n'est pas en accord avec les données

quantitatives collectées mais nous considérons avec beaucoup d'attention le ressenti des participants à ce sujet. Ainsi, les résultats des analyses vues au préalable et les remarques de nos utilisateurs sont concordants pour les arguments émis. Cela apporte un réel poids au résultat que nous avançons selon lequel la technologie de réalité augmentée spatialisée est performante pour discuter des aspects esthétiques du produit mais pas de son utilisation.

Certains utilisateurs nous ont rapporté le fait que la constellation sur l'objet mixte freinait la manipulation du produit. Par exemple, l'un d'eux nous dit "*Je n'osais pas encore attraper le prototype avec la constellation*". De plus, la designer était la seule à avoir la main sur l'interface car cela nécessite un temps de formation que nous ne pouvions pas attribuer à l'ensemble des participants. Ceci a fait l'objet de remarques de quelques utilisateurs qui auraient aimé pouvoir agir directement sur le produit afin de démontrer directement leurs idées.

Des remarques sur la maturité de la technologie ont aussi été exprimées. En effet, la netteté de l'image n'est parfois pas totale et le système n'utilise que des images qui ont été préalablement enregistrées dans le système d'exploitation. Cela ne permet pas une liberté totale pour la création car cela impose l'utilisation des ressources déjà existantes.

En termes d'interaction entre les individus, tous les participants s'accordent pour dire que la présence ou l'absence de la technologie SAR n'a pas d'influence. Il est vrai que, d'après les résultats statistiques, les interactions récoltées quantitativement ne différaient pas en fonction de la condition expérimentale. Les utilisateurs interagissaient significativement plus que la designer et aucune corrélation n'était faite entre le nombre d'interactions des utilisateurs et la condition expérimentale.

En conclusion de cette partie traitant des entretiens d'auto-confrontation, nous pouvons dire que :

- Les gestes iconiques permettent de capter l'attention ; de visualiser, imaginer, illustrer ; d'appuyer le propos ; d'insister ; d'aider à la réflexion ; d'aider à se faire comprendre des autres et de retrouver ses mots ou que les autres les trouvent à notre place.
- Les gestes centrés artefacts sont une aide pour l'auditoire tandis que les gestes en l'air sont une aide pour la personne en train de parler.
- La technologie n'a pas d'impact sur l'activité de co-conception globale. Au contraire, c'est un atout supplémentaire dans le choix des finitions du produit. En revanche, pour la définition des fonctionnalités du produit, une condition Standard est préférable.
- La représentation visuelle permet de visualiser le résultat quasi instantanément mais ne réduit pas la nécessité de faire des gestes.

6. Questionnaires

Afin de poursuivre nos objectifs de caractérisation de l'activité multimodale de conception et d'identification des impacts de la technologie SAR, nous avons souhaité recueillir le ressenti des participants quant à la collaboration engagée pendant les séances auxquelles ils avaient participé. L'analyse des questionnaires nous permettrait d'identifier les critères de collaboration et de déroulement des sessions ayant été bien évalués par les utilisateurs.

En effet, les analyses menées dans la partie VI.4. étaient issues du codage de l'expérimentatrice, c'est pourquoi il nous a semblé important de collecter des informations issues des participants eux-mêmes. Pour cela, nous avons décidé de poursuivre les séances de co-conception avec un questionnaire et un entretien individuel. Un questionnaire était fourni à chaque participant à la fin de la seconde séance de co-conception. Les utilisateurs remplissaient un questionnaire d'évaluation de la collaboration tandis que la designer remplissait un questionnaire évaluant la performance du groupe dans les deux conditions expérimentales.

Ces questionnaires ont été créés sur la base du questionnaire d'évaluation de la collaboration de Burkhardt et al. (2009), lui-même issu de la méthode Spada (2005) développée pour recueillir le point de vue des participants sur la qualité des interactions pendant les sessions.

Nous allons vous présenter dans les paragraphes suivants notre méthodologie de construction des questionnaires ainsi que les résultats associés à ces questionnaires.

6.1. Questionnaire de la designer

6.1.1. Construction du questionnaire de la designer

Comme évoqué en introduction, les questionnaires que nous avons proposés à la designer à la fin du passage de chaque groupe sont partiellement issus du questionnaire d'évaluation de la collaboration proposé par Burkhardt et ses collaborateurs en 2009 (Burkhardt et al., 2009). Le questionnaire élaboré pour la designer est différent de celui des utilisateurs car nous souhaitons interroger la qualité de la collaboration selon la condition expérimentale. La designer étant présente avec les vingt-deux groupes, le questionnaire aurait été très redondant et les réponses sensiblement similaires d'un groupe à l'autre. Alors, nous avons focalisé la construction de notre questionnaire davantage sur l'évaluation du groupe en lui-même selon la condition expérimentale. Par conséquent, quelques dimensions et indicateurs du questionnaire initial ont été modifiés pour être en adéquation avec notre étude et les objectifs poursuivis. Ainsi, les critères retenus pour construire notre questionnaire à destination de la designer étaient :

Dimensions	Définitions	Indicateurs
1. Solution de conception discutée	Il évalue les idées proposées par les utilisateurs	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adéquation des idées avec les objectifs de la tâche ✓ Qualité des idées proposées ✓ Originalité des idées proposées ✓ Qualité de l'argumentation ✓ Pertinence des idées par rapport aux objectifs fixés
2. Collaboration entre les pairs	Il évalue l'équilibre de contribution des utilisateurs et la performance globale du groupe	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Performance du groupe ✓ Compréhension entre les pairs ✓ Contribution de chacun ✓ Dynamique de groupe
3. Fluidité des interactions avec les artefacts	Il évalue la facilité d'interaction et de manipulation avec les artefacts	✓ Aisance d'utilisation du matériel mis à disposition
4. Orientation individuelle de la tâche	Il évalue l'implication personnelle de la designer et son niveau de satisfaction quant au groupe d'utilisateurs	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implication personnelle pendant les sessions ✓ Niveau de satisfaction des séances de co-conception

Tableau 50: Dimensions et indicateurs constituant le questionnaire de la designer

La designer répondait aux affirmations sur une échelle de Likert en 5 points allant de 1 : très mauvais-e à 5 : très bon-ne. La designer devait répondre aux questions dans les deux conditions expérimentales, Standard et SAR. Les scores ont ensuite été comptabilisés et les moyennes des scores dans les conditions Standard et SAR étaient comparées.

6.1.2. Résultats du questionnaire de la designer

Avant de procéder à l'analyse des résultats des questionnaires de la designer, nous avons vérifié la fiabilité de notre questionnaire avec le test appelé Alpha de Cronbach (Annexe 2). Ce test permet de mesurer la cohérence interne du questionnaire en nous indiquant que les scores obtenus correspondent bien à ce que nous souhaitons mesurer et non un facteur extérieur à nos mesures. Pour valider la cohérence interne du questionnaire, le score de l'alpha de Cronbach doit être supérieur à 0.7. En ce qui concerne le questionnaire de la designer, nous avons obtenu un score de 0.856 (Tableau 51). Nous pouvons donc valider la construction de notre questionnaire et procéder à l'extraction des résultats.

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.856

Tableau 51: Score de l'alpha de Cronbach pour le questionnaire de la designer

Pour l'analyse des résultats aux questionnaires, nous avons tout d'abord procédé à une analyse descriptive des scores puis réalisé un test du χ^2 sur chaque indicateur qui constituent les questions posées à la designer. Ainsi, nous pourrions savoir si la designer pense que les groupes ont une meilleure qualité de collaboration dans une des conditions.

Descriptives

	Condition	Adéquation	Aisance	Compréhension	Contribution	Dynamique	Implication	Originalité	Performance	Pertinence	Qualité argumentation	Qualité idées	Satisfaction
N	SAR	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	Std	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Moyenne	SAR	4.68	4.32	5.00	4.77	4.73	4.91	4.64	4.59	4.73	4.82	4.77	4.59
	Std	4.64	4.86	5.00	4.77	4.68	4.77	4.36	4.59	4.55	4.77	4.64	4.59
Médiane	SAR	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Std	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Min	SAR	4	2	5	3	3	4	3	2	3	4	4	3
	Std	3	3	5	3	3	3	3	2	3	3	3	3
Max	SAR	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Std	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	SAR	0.590	0.732	NaN	0.417	0.489	0.332	0.645	0.589	0.556	0.474	0.522	0.647
	Std	0.645	0.333	NaN	0.417	0.551	0.496	0.768	0.589	0.684	0.496	0.645	0.647
Shapiro-Wilk p	SAR	< .001	< .001	NaN	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
	Std	< .001	< .001	NaN	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001

Tableau 52: Résultats descriptifs des questionnaires de la designer

Les moyennes des scores sur l'échelle de Likert sont toutes supérieures à 4, c'est-à-dire que la designer a évalué tous les indicateurs de notre questionnaire avec un niveau global très bon. Le plus bas score que nous identifions est celui de l'aisance avec le matériel mis à disposition dans les sessions SAR. En effet, ce score moyen est de 4,32 contre 4,86 en condition Standard. Cela nous laisse penser que la designer a eu plus de difficultés à manipuler l'interface de la plateforme SAR que les outils traditionnels de conception tels que le nuancier ou la maquette physique du produit. Cependant, un test du χ^2 réalisé sur le critère d'aisance de manipulation du matériel a montré que la différence entre les deux conditions expérimentales n'était pas significative ($\chi^2 (1) = 713$, $p=0.398$). Cela signifie que l'aisance de manipulation des outils mis à disposition ne diffère pas significativement selon la présence ou l'absence de l'outil technologie SAR. Ce résultat se rapproche de ce que nous avons pu observer en analysant les relations entre les variables où nous remarquons que de nombreuses corrélations de gestes, d'activités cognitives et d'arguments ne différaient pas selon la condition expérimentale.

Le score le plus haut est maximal (5) dans la question relative à la compréhension entre les pairs. Selon la designer, la compréhension entre les pairs était très bonne quelle que soit la condition expérimentale dans laquelle se trouvaient les participants. Si nous regardons les scores minimum et maximum attribués par la designer, nous remarquons que celle-ci a noté des sessions à un score de 2 dans les critères d'aisance et de performance des sessions. Plus précisément, la designer s'est sentie moins à l'aise dans l'utilisation des outils mis à disposition dans le groupe 6 avec un score de 2/5 en SAR et de 3/5 en Standard (*les scores bruts sont disponibles en Tableau 68 de l'annexe 4*). De plus, la designer a jugé le groupe 10 comme étant moins performant que les autres groupes quelle que soit la condition expérimentale. Le score attribué était de 2/5, autrement dit, cela correspond à une appréciation "mauvaise" de la performance de ce groupe selon la designer. Cependant, les scores attribués dans les autres critères sont tous supérieurs à 3. Donc nous décidons de maintenir le groupe 10 dans l'étude.

A part ces deux scores inférieurs aux autres, nous ne remarquons pas de groupe qui puisse être écarté de notre analyse du fait de scores aberrants par rapport à l'ensemble des autres groupes.

Des tests du χ^2 ont été réalisés sur tous les indicateurs du questionnaire de la designer afin de savoir si celle-ci estime qu'il y a une influence de la technologie sur chacun des critères étudiés. Tous les tests ont donné des résultats non significatifs (Tableau 53). Nous pouvons donc affirmer que les critères testés sont indépendants de la technologie selon la designer. En d'autres termes, la designer n'a pas jugé que la technologie SAR influence la collaboration et le déroulement des séances de co-conception.

Indicateurs	χ^2	p
Adéquation	0.00488	0.944
Aisance	0.713	0.398
Compréhension	0.00	1.000
Contribution	0.00	1.000
Dynamique	0.00483	0.945
Implication	0.0423	0.837
Originalité	0.182	0.670
Performance	0.00	1.000
Pertinence	0.0784	0.779
Qualité de l'argumentation	0.00474	0.945
Qualité des idées	0.0435	0.835
Satisfaction	0.00	1.000

Tableau 53: Résultats des tests du χ^2 mesurant l'effet de la condition sur les indicateurs du questionnaire de la designer

6.2. Questionnaire des utilisateurs

6.2.1. Construction du questionnaire des utilisateurs

Simultanément à la designer, les utilisateurs ont rempli un questionnaire d'évaluation de la collaboration et des sessions de co-conception à la suite de celles-ci. Comme expliqué précédemment, nous avons construit les questionnaires des utilisateurs afin d'évaluer la qualité de la collaboration selon la condition expérimentale. A cela, nous avons intégré des indicateurs évaluant le rôle de la nature de la représentation physique (tangible ou mixte) sur les différentes activités cognitives que nous étudions. Ces questionnaires se caractérisent par exemple par la formulation suivante : "Le matériel mis à disposition vous a facilité la génération de nouvelles idées (1_pas du tout d'accord 5_parfaitement d'accord)".

Tous les critères retenus pour la construction du questionnaire à destination des utilisateurs sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Dimensions	Définitions	Indicateurs
1. Solution de conception discutée	Il évalue les idées proposées par les utilisateurs	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualité des idées proposées ✓ Qualité de l'argumentation ✓ Originalité des idées proposées ✓ Pertinence des idées par rapport aux objectifs fixés
2. Collaboration entre les pairs	Il évalue l'équilibre de contribution des utilisateurs et la performance globale du groupe	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compréhension entre les pairs ✓ Contribution de chacun ✓ Dynamique de groupe
3. Rôle des artefacts dans les interactions	Il évalue la facilité d'interaction et de manipulation avec les artefacts ainsi que le rôle de la nature de l'artefact pendant les interactions	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aisance d'utilisation du matériel mis à disposition ✓ Le matériel mis à disposition a permis de générer des idées ✓ Le matériel mis à disposition permet de fournir des compléments d'information ✓ Le matériel mis à disposition permet d'argumenter ✓ Le matériel mis à disposition permet de se faire comprendre des autres ✓ Le matériel mis à disposition permet de s'imaginer dans une situation d'usage du produit ✓ Le matériel mis à disposition permet d'évaluer facilement les solutions proposées
4. Orientation individuelle de la tâche	Il évalue l'implication personnelle de l'utilisateur et son niveau de satisfaction quant au groupe	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implication personnelle pendant les sessions ✓ Niveau de satisfaction des séances de co-conception

Tableau 54: Dimensions et indicateurs constituant le questionnaire des utilisateurs

Les utilisateurs devaient répondre aux questions sur une échelle de Likert en 5 points allant de 1 : très mauvais-e (ou pas du tout d'accord) à 5 : très bon-ne (ou parfaitement d'accord). Chacune d'elles étaient posées dans les deux conditions expérimentales. Les scores étaient ensuite comptabilisés et comparés entre les sessions Standard et SAR dont nous allons vous présenter les résultats dans la section suivante.

6.2.2. *Résultats du questionnaire des utilisateurs*

A l'instar du questionnaire de la designer, le questionnaire des utilisateurs a subi un test de fiabilité s'assurant de la cohérence entre les questions et que le résultat obtenu était bien dû à notre variable indépendante (la condition expérimentale) et non à un facteur extérieur. Le test de l'Alpha de Cronbach obtient un score de 0.845 alors que le seuil minimal de validation est de 0.7. Nous pouvons alors valider notre questionnaire et procéder à leur analyse.

Scale Reliability Statistics	
Cronbach's α	
scale	0.845

Tableau 55: Score de l'alpha de Cronbach pour le questionnaire des utilisateurs

Tout d'abord, l'ensemble des questionnaires des utilisateurs ont fait l'objet d'une analyse descriptive dont les résultats sont synthétisés dans le tableau 56.

Les moyennes que l'on observe pour chaque question sont supérieures à 3, ce score correspondant à une évaluation modérée à très bonne de l'affirmation énoncée. Tout comme la designer, les utilisateurs ont évalué positivement les sessions auxquelles ils ont participé. La plus basse moyenne que nous identifions est celle relative au matériel mis à disposition pour évaluer les solutions proposées dans la condition Standard. En effet, ce score de 3.48 signifie que le prototype physique, le nuancier et les images permettent moyennement d'évaluer les idées proposées. Ce score passe à 4.09 dans la condition SAR. Ainsi, il semblerait que les utilisateurs estiment que le prototype mixte est plus facilitateur que le prototype physique pour évaluer les idées. Cependant, nous avons réalisé un test du χ^2 sur cet indicateur pour voir si la différence observée entre les deux conditions est significative. Au seuil $\alpha=0.05$, nous ne pouvons pas conclure qu'il existe une différence significative entre les conditions. Autrement dit, ce que nous avons identifié dans les statistiques descriptives est une tendance qui n'est pas assez nette pour pouvoir dire que le prototype mixte est significativement plus facilitateur que le prototype tangible pour évaluer les idées émises ($\chi^2(1) = 2.19, p = 0.139$).

Partie VI : Expérimentations en laboratoire

	N		Moyenne		Médiane		Min		Max		Shapiro-Wilk W		Shapiro-Wilk p	
	SAR	Std	SAR	Std	SAR	Std	SAR	Std	SAR	Std	SAR	Std	SAR	Std
Condition														
Aisance	44	44	3.93	4.45	4	5	2	3	5	5	0.842	0.691	< .001	< .001
Argument	44	44	4.43	4.32	5	4	3	3	5	5	0.741	0.773	< .001	< .001
Compréhension	44	44	4.57	4.61	5	5	3	3	5	5	0.64	0.655	< .001	< .001
Contribution	44	44	4.59	4.59	5	5	3	3	5	5	0.67	0.659	< .001	< .001
Dynamique	44	44	4.59	4.7	5	5	3	3	5	5	0.659	0.593	< .001	< .001
Implication	44	44	4.34	4.48	4	5	3	3	5	5	0.766	0.725	< .001	< .001
Matos. COMP	44	44	4.3	4.14	5	4	1	1	5	5	0.745	0.796	< .001	< .001
Matos. EVAL	44	44	4.09	3.48	4	4	1	1	5	5	0.815	0.892	< .001	< .001
Matos. GEN	44	44	4.09	3.8	4	4	2	1	5	5	0.824	0.857	< .001	< .001
Matos. INFO	44	44	4.05	3.75	4	4	1	1	5	5	0.819	0.869	< .001	< .001
Matos. JUST	44	44	4.09	3.93	4	4	1	2	5	5	0.779	0.852	< .001	< .001
Matos. SIM	44	44	3.84	3.95	4	4	1	1	5	5	0.848	0.83	< .001	< .001
Originalité	44	44	4.11	3.93	4	4	2	2	5	5	0.812	0.853	< .001	< .001
Pertinence	44	44	4.23	4.23	4	4	3	2	5	5	0.76	0.788	< .001	< .001
Qualité. idée	44	44	4.41	4.3	4	4	3	3	5	5	0.745	0.779	< .001	< .001
Satisfaction	44	44	4.8	4.84	5	5	3	3	5	5	0.454	0.42	< .001	< .001

Tableau 56: Résultats descriptifs des questionnaires des utilisateurs

Les moyennes les plus hautes ont été attribuées par les utilisateurs au critère de la satisfaction vis-à-vis de leur participation à l'expérimentation. Ces scores sont de 4.80 et 4.84 respectivement dans les

conditions SAR et Standard. Les utilisateurs montrent autant de satisfaction aux deux conditions expérimentales qu'ils ont vécues.

Si nous regardons les scores maximum et minimum attribués par les utilisateurs, nous remarquons que les scores maximums sont de 5 dans l'intégralité des 16 questions qui leur étaient posées. Quant aux scores minimums, nous remarquons que la note de 1 sur l'échelle de Likert (Très mauvais ou Pas du tout d'accord) a été attribué dans les questions relatives à l'évaluation du matériel mis à disposition pour accomplir les activités cognitives étudiées (Compréhension, Evaluation, Génération, Information, Justification, Simulation). Plus précisément, seulement 1 à 3 utilisateurs sur 44 ont attribué ce score pour chacun de ces critères et il s'agissait de participants différents à chaque fois. Ces scores étant exceptionnels par rapport à l'ensemble des réponses données, il nous est difficile de conclure au caractère facilitateur ou inhibiteur de la nature de l'artefact dans les activités cognitives de conception. Aucun utilisateur n'a donné de score aberrant dans les questionnaires donc tous les participants ont été retenus pour notre étude. Les scores bruts des questionnaires des utilisateurs sont disponibles en tableau 69 de l'annexe 4.

Des tests du χ^2 ont été réalisés sur chacun des indicateurs afin de savoir si les utilisateurs estiment qu'il y a une influence de la technologie sur chacun des indicateurs étudiés. Tous les tests ont donné des résultats non significatifs (Tableau 57). Nous pouvons donc affirmer que les critères testés sont indépendants de la technologie. En d'autres termes, les utilisateurs n'ont pas jugé que la technologie SAR influence le déroulement des séances ni la mobilisation des activités cognitives de conception.

Indicateurs	χ^2	p
Aisance	1.43	0.231
Compréhension	0.00990	0.921
Contribution	0.00	1.000
Dynamique	0.0611	0.805
Implication	0.0928	0.761
Matos. COMP	0.132	0.716
Matos. EVAL	2.19	0.139
Matos. GEN	0.487	0.485
Matos. INFO	0.493	0.483
Matos. JUST	0.139	0.709
Matos. SIM	0.0729	0.787
Originalité	0.181	0.671
Pertinence	0.00	1.000
Qualité de l'argumentation	0.0649	0.799
Qualité des idées	0.0653	0.798
Satisfaction	0.00943	0.923

Tableau 57: Résultats des tests du χ^2 mesurant l'effet de la condition sur les indicateurs du questionnaire des utilisateurs

6.3. Conclusion générale des questionnaires

Nous venons de vous présenter les résultats des questionnaires de la designer et des utilisateurs. Ces questionnaires avaient pour but d'apporter un autre point de vue sur les sessions de co-conception que celui du chercheur. Les indicateurs qui constituaient les questions nous ont apporté un éclairage sur la perception des participants à collaborer et à réaliser les tâches proposées par la designer. Les questions étaient posées selon le type de condition de sorte à pouvoir les comparer. Pour finir, le but était aussi de comprendre si les usages de la technologie SAR évoquaient des éléments qui auraient pu permettre de comprendre les relations entre les activités cognitives et les gestes et d'avoir le point de vue des participants quant à leur participation dans les sessions. Ce dernier point nous renvoie à l'hypothèse selon laquelle la technologie SAR améliore l'intervention des clients / utilisateurs.

Les résultats des questionnaires de la designer ont révélé des scores moyens assez hauts montrant une bonne collaboration et un bon déroulement global des sessions de co-conception. De plus, la comparaison de ces scores selon la condition expérimentale n'a révélé aucune différence significative. La designer n'a donc pas trouvé que la condition expérimentale avait un impact sur les indicateurs étudiés.

Concernant les résultats des questionnaires des utilisateurs, ils ont révélé des scores moyens assez hauts également avec une très grande satisfaction de leur participation aux expérimentations. Les moyennes des scores de chaque indicateur n'ont pas démontré de différence significative entre les conditions. Les utilisateurs n'ont donc pas non plus trouvé que la technologie SAR exerçait une influence sur la collaboration ni sur l'activité de conception.

Si l'on met en parallèle les réponses des utilisateurs et de la designer, nous avons globalement une homogénéité des réponses qui tendent vers un bon ressenti des sessions et une bonne évaluation de la collaboration pendant celles-ci.

En somme, les résultats des questionnaires permettent d'apporter un complément de réponse à l'hypothèse évoquée dans la partie IV.4.2.1. où nous voyons à nouveau que la technologie ne favorise pas l'intervention des clients / utilisateurs car ceux-ci l'ont évalué de manière quasi identique à la condition standard.

Discussion générale des résultats et conclusion

1. Étayage et argumentation des résultats

Cette thèse de doctorat a été réalisée à la suite d'un projet de recherche européen (SPARK H2020) portant sur la conception d'une plateforme de réalité augmentée spatialisée (SAR) dont les objectifs étaient de :

- faciliter l'émergence des idées créatives
- et de promouvoir l'implication des utilisateurs finaux dans le processus de conception.

Cette technologie est née du constat que les caractéristiques de la représentation physique du produit ont un impact sur la performance des sessions de co-conception. Ainsi, grâce à la littérature, les partenaires académiques du projet ont identifié l'importance de la tangibilité de la représentation tout en souhaitant implémenter la possibilité de changement en temps-réel sur cette même représentation. Cependant, est-ce que cette technologie répond aux défis initiaux du projet ?

Pour y répondre, nous avons étudié l'activité de co-conception d'un point de vue multimodal dans deux conditions de déroulement des réunions (Standard et SAR) et dans deux phases successives de ces travaux de thèse : une phase d'observation de six sessions chez notre partenaire industriel et une phase expérimentale de quarante-quatre sessions au sein du laboratoire.

Ces différentes phases de la thèse nous ont permis de voir que :

- certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments semblent systématiquement liées entre elles
- la technologie SAR a une influence sur certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments
- les interactions entre les acteurs sont fréquemment constituées de gestes et que, par conséquent, leur rôle est important dans les interactions collaboratives.

C'est à partir des résultats obtenus dans les parties IV et VI que nous souhaitons apporter notre argumentation.

- **Étayage et argumentation de l'hypothèse 5** : Certaines modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments sont systématiquement liées quelle que soit la nature de la session.

A partir des résultats des tests de corrélation, nous pouvons nous référer au graphique ci-dessous pour voir quelles sont les corrélations entre les différentes modalités. Les relations les plus fortement

significatives dans les tests du χ^2 résiduel de Pearson sont représentées par des traits en gras. Notons également que les corrélations que nous avons représentées ci-dessous ont été constatées dans les deux conditions expérimentales.

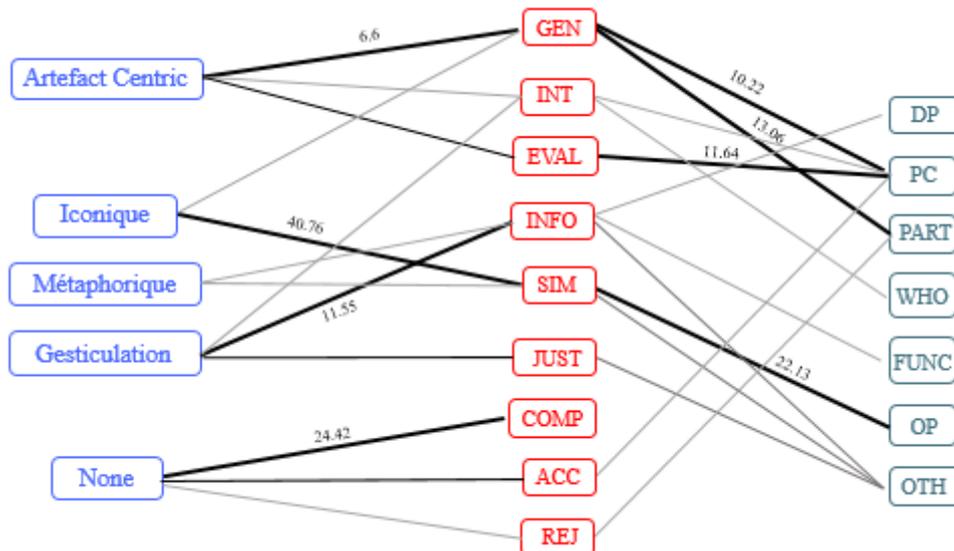


Figure 47: Synthèse des corrélations positives de gestes, d'activités cognitives et d'arguments

De nombreuses études ont avancé que le numérique et l'organisation en mode projet modifie l'activité de conception (e.g. Brassac, 2003 ; Darses, 2009). Cependant, en montrant dans notre étude des relations statistiquement fortes entre les gestes, les activités cognitives et les arguments quelle que soit la nature de l'artefact, nous arrivons à une conclusion en partielle contradiction avec celle de nos confrères. En effet, observer que les corrélations vont dans le même sens en situation standard et en situation SAR montre que nous ne révolutionnons pas l'activité de conception du point de vue cognitif avec cette technologie. En revanche, les individus font preuve de résilience en adaptant leurs activités à cet outil d'aide à la conception.

Au regard de ces résultats, nous apprenons notamment beaucoup de choses sur l'activité de conception. Avant toute chose, ce schéma nous montre que l'activité n'est pas univoque. Aucune relation n'a été observée dans 100% des cas mais ces résultats sont des corrélations statistiques significatives qu'il est possible d'interpréter.

- Premièrement, les gestes **iconiques** _ mimant l'action exercée sur le produit _ sont fortement corrélés positivement avec l'activité cognitive de **simulation** (SIM) et avec l'argument d'**opérationnalité** du produit (la manière dont il fonctionne) (OP).

Lorsqu'un acteur imagine, dans son discours, le contexte d'usage du produit, celui-ci fera plus fréquemment un geste iconique imitant l'action du produit dans son contexte. Pour apporter une

illustration à ce phénomène, voici deux extraits de deux sessions où nous voyons une succession d'activités de simulation et de gestes iconiques associés.

00:13:14	Utilisateur	Iconique	INFO	OTH	les gens ont tendance à être curieux, ce n'est pas qu'ils le fassent une fois,
00:13:15	Utilisateur	Iconique	SIM	OP	mais ils continuent à l'ouvrir et à le refermer...
[...]					
00:13:24	Designer	Gesticulation	SIM	OP	Non, mais nous utiliserons le fil que nous avons mentionné,
00:13:25	Designer	Iconique	SIM	OP	de sorte que lorsque vous l'avez tourné d'un tour et demi, il fait comme "clec", ce qui signifie "attention".

Tableau 58: Extrait d'une séance en condition standard montrant le lien entre Simulation et gestes iconiques

00:09:46	Utilisateur 1	None	GEN	FUNC	Du coup, peut-être un système de fixation
00:09:47					
00:09:48					
00:09:49	Utilisateur 1	Iconique	SIM	FUNC	de type airbag
00:09:50					
00:09:51	Designer	None	COMP	FUNC	Ouais...
00:09:52	Utilisateur 1	Iconique	SIM	FUNC	sur l'avant du sac à dos
00:09:52	Designer	None	COMP	FUNC	ouais
00:09:53	Utilisateur 1	Mixte	GEN	PC	du coup tu peux designer un bouton qui est plus gros
00:09:54					
00:09:55					
00:09:56	Designer	Mixte	COMP	PC	ok
00:09:57	Utilisateur 1	Mixte	GEN	PC	carré
00:09:58	Utilisateur 1	Iconique	SIM	OP	que tu viens appuyer
00:09:58	Utilisateur 2	None	ACC	PC	Oui
00:09:59	Utilisateur 1	Iconique	INFO	OP	avec la paume
00:09:59	Designer	Mixte	COMP	OP	d'accord
00:10:00					
00:10:01	Client 1	Iconique	SIM	OP	pour venir écraser le bouton.

Tableau 59: Extrait d'une séance en condition SAR montrant le lien entre Simulation et gestes iconiques

Dans le premier extrait, nous voyons que l'utilisateur mentionne dans son discours le comportement d'ouverture et de fermeture du produit. Ce comportement est accompagné d'un geste iconique qui simule l'action du produit à être ouvert ou fermé. Par la suite, la designer ajoute en complément que l'objet fait un bruit similaire à "clec" qu'elle accompagne également d'un geste de la main représentant le quart de tour dont elle fait référence. Ces activités interviennent car l'objet est dans un niveau de prototypage ne permettant pas l'action réelle du produit et nécessitant la simulation de son action par l'accompagnement de gestes explicitant son comportement. De la même manière, nous voyons dans le deuxième extrait que l'utilisateur

Il simule le positionnement de l'appareil sur la bretelle de son sac à dos virtuel et mime l'action d'appuyer sur le bouton pour appeler les secours. Tout ceci est le fruit d'une argumentation autour de sa proposition d'idée de créer un gros bouton au milieu de l'appareil qui faciliterait le déclenchement de l'appel.

Ce qui est très intéressant dans ces résultats, c'est que la technologie SAR ne pallie pas ce besoin de simuler l'usage du produit pendant les réunions de co-conception. Les utilisateurs et les designers ont toujours recours à ce type de mise en situation et de simulation de l'action de l'objet qu'ils aient affaire à un prototype réel ou mixte.

De plus, exprimer l'opérationnalité du produit est très important car cela permet d'intégrer davantage l'utilisateur. Pour toute amélioration de la plateforme SPARK ou le développement de nouveaux outils d'aide à la conception, il sera important de prendre en considération ce paramètre. Notamment, si nous imaginons une interface offrant la possibilité de simuler les comportements de l'objet, peut-être pourrions-nous nous attendre à ce que les individus fassent moins de gestes de mimétisme desdits comportements.

- Deuxièmement, les **gesticulations** accompagnant le discours sont fortement corrélées avec les activités **d'information et de justification** (respectivement INFO et JUST) où le cœur du discours porte principalement sur des arguments *autres* (OTH). Comme l'ont dit plusieurs participants à notre étude, les gesticulations permettent de représenter le problème et, par conséquent, le contexte d'usage du produit. Ainsi, il n'est pas surprenant de retrouver une corrélation des arguments *autres* liés au contexte d'usage avec cette modalité de gestes. Bien que les tâches principales de conception sur le produit portent sur la définition de la couleur et du choix des finitions, le processus de conception est itératif et les éléments de contexte pouvant apparaître dans des étapes en amont de la revue de la conception sont encore discutés. De plus, impliquer des utilisateurs lors de cette étape induit nécessairement l'utilisation qu'ils font de cet objet. Par conséquent, il apparaît important d'amener des éléments de contexte dans les environnements de co-conception.
- Troisièmement, les gestes **centrés sur l'artefact**, c'est-à-dire les gestes de pointage et de manipulation de l'artefact sont fortement corrélés à des activités de **génération** d'idées (GEN), **d'évaluation** (EVAL) et **d'interprétation** (INT). Les arguments associés à cette corrélation portent significativement sur les **caractéristiques du produit** (PC). Nous pouvons illustrer ces effets par la succession d'échanges (Tableau 60) et par la photographie ci-dessous (Figure 48).

00:12:14					
00:12:15	Client	Mixed	GEN	PART	Ou alors un bouton
00:12:16					
00:12:17	Client	Mixed	GEN	PART	mais c'est vrai que d'avoir quelque chose comme un loquet
00:12:17	Client	Mixed	INFO	OP	qu'on tire ou qu'on tourne
00:12:18	Client	Mixed	GEN	PC	avec un indicateur
00:12:19	Client	Mixed	INT	OP	Ca fait qu'une fois qu'on l'a placé, on voit que c'est fait et on se pose plus la question. L'appareil est actionné
00:12:20					
00:12:21					
00:12:22	Designer	None	COMP	PART	D'accord

Tableau 60: Extrait d'une séance de co-conception montrant le lien entre la génération d'idées et le geste centré artefact



Figure 48: Illustration d'un geste centré artefact lors de la génération d'une idée

Du fait que la tâche porte sur la définition des couleurs et des finitions du produit, il est logique de retrouver ici une relation entre la génération d'idées et l'argument PC. En revanche, nous ignorions que ces activités étaient soutenues par des gestes centrés artefact. Ce résultat nous indique l'importance de la présence de l'objet physique dans la scène afin d'y faire référence à différents moments opportuns. En effet, générer une solution ou l'évaluer sous-entend avoir intégré les critères et les paramètres définissant les objectifs à atteindre et proposer des solutions à partir de cela et de l'état d'avancement du produit. Cela implique que le dispositif soit adapté à la nature des caractéristiques du produit en cours de discussion. Ici, ces caractéristiques sont visuelles (couleurs, formes, etc.) et la technologie SAR permet de les représenter. En revanche, une caractéristique sonore telle que le "clic" mentionné précédemment, ne peut donner lieu à une interaction avec l'artefact car le dispositif ne permet pas cette manifestation. Ainsi, les sons et les actions du produit sont mimés par des gestes iconiques.

- Quatrièmement, la corrélation de l'activité de compréhension (COMP) avec *None* s'explique par les nombreux moments où la designer manifeste qu'elle a bien intégré le point de vue de celui qui parle. Typiquement, son intervention (Tableaux 59 et 60) est représentative de ce qui

est codé régulièrement comme une interaction [None / COMP]. Ainsi, les acteurs qui sont dans une démarche de clarification d'un concept ou de compréhension du discours (COMP) n'ont pas recours à des gestes pour s'exprimer.

En nous appuyant sur le support vidéo, nous avons re visionné ce type de séquence en regardant ce qu'il se passait précisément. Bien que l'acteur puisse avoir l'objet dans les mains ou regarder l'objet quelques secondes auparavant, le fait de se synchroniser cognitivement suscite l'approbation de l'acteur à qui s'adresse le discours. Pour cela, ils ont besoin de se regarder. Nous observons donc que les regards sont importants dans la synchronisation cognitive et que cela justifie le fait qu'ils n'emploient préférentiellement pas de gestes dans cette activité pour ne pas interférer avec ce comportement. Par ailleurs, cela disqualifie les interfaces basées sur les casques de réalité virtuelle ou d'autres dispositifs d'immersion qui suppriment les regards directs.

Mais une autre explication neurobiologique peut être avancée.

En 1861, Paul Broca découvrait qu'une lésion au niveau de l'hémisphère frontal gauche empêchait la production langagière. Dix ans plus tard, son confrère Carl Wernicke mettait en évidence une autre région impliquée dans la compréhension du langage : la partie postérieure du lobe temporal gauche. Ces deux zones ont adopté les noms d'aire de Broca et de Wernicke en leur hommage. La localisation de l'aire de Broca se trouve très proche de l'aire motrice et, grâce à l'imagerie, nous savons que lorsqu'une aire s'active, les aires corticales voisines peuvent s'activer également (e.g. Watkins et al., 2003). D'ailleurs, la production langagière engendre l'articulation et donc l'activation de l'aire motrice que l'on remarque par la synchronisation des séquences motrices du mouvement de la bouche avec la production de gestes co-verbaux (Bernardis & Gentilucci, 2006), que l'on a appelé gesticulations dans notre étude. Ainsi, nous pouvons expliquer la présence de gestes pendant le discours par cette synchronisation de ces deux canaux de communications. En revanche, l'aire de Wernicke se trouve plus en arrière du lobe temporal gauche où l'aire motrice n'est pas voisine. La complexité du système neuronal ne nous permet pas de dire avec certitude que cet éloignement des deux zones corticales pourrait expliquer la corrélation de l'activité de compréhension (COMP) avec la modalité *aucun* geste. Cependant, nous pourrions évoquer ce point comme une nouvelle perspective de recherche à considérer dans le futur.

Concernant les activités de prise de décision, c'est-à-dire la validation et le rejet des idées, celles-ci n'ont pas besoin de l'appui de gestes ni de l'artefact pour être communiquées. Tout le processus d'argumentation et d'évaluation s'étant déroulé en amont, ces activités permettent d'acter une décision d'où le fait que nous ne retrouvons pas de gestes associés à ces activités.

En nous rapprochant de travaux réalisés antérieurement, nous savons que l’articulation de la composante verbale et gestuelle avait été étudiée par Détienne et al., (2006). Ces derniers avaient pour hypothèse que le dessin (écriture-graphe) correspondrait à des activités de génération de solutions (GEN). Selon eux, l’action de montrer correspondrait à de l’interprétation (INT) et de l’information/explicitation (INFO). Le mouvement dans l’espace, quant à lui, (délimitation 3D) correspondrait à des simulations. Si nous mettons en parallèle nos résultats et ceux de cette étude, nous sommes en accord sur le fait que les gestes de délimitation dans l’espace _ correspondant à des gestes iconiques _ sont associés à une activité de simulation. A défaut de croquis, si nous transposons le dessin avec la représentation visuelle de l’artefact alors nous sommes également d’accord pour dire que la manipulation de la représentation est associée à de la génération d’idées. Quant au reste, nous semblons être en désaccord sur l’action de montrer qui, pour nous, n’est pas associée à de l’interprétation ni à de l’information. Ces activités semblent plutôt associées à des gesticulations dans notre cas. Mettre ces études en parallèle nous apprend qu’il existe des similitudes comme des différences dans les corrélations trouvées. Ces points de divergence peuvent sans doute s’expliquer par des situations de conception qui diffèrent (architecture vs conception de produits innovants) et par une analyse de Détienne et al., (2006) s’étant portée sur peu de réunions. Nous proposerons un exemple d’étude à mener dans les perspectives pour apporter des réponses à ces écarts.

Bien que nous venions d’apporter des explications aux corrélations positives principales de cette étude, des informations importantes peuvent être extraites également des corrélations significativement négatives. Les corrélations négatives indiquent que deux modalités varient en sens inverse, c’est-à-dire, lorsque l’une est mobilisée, l’autre ne l’est pas.

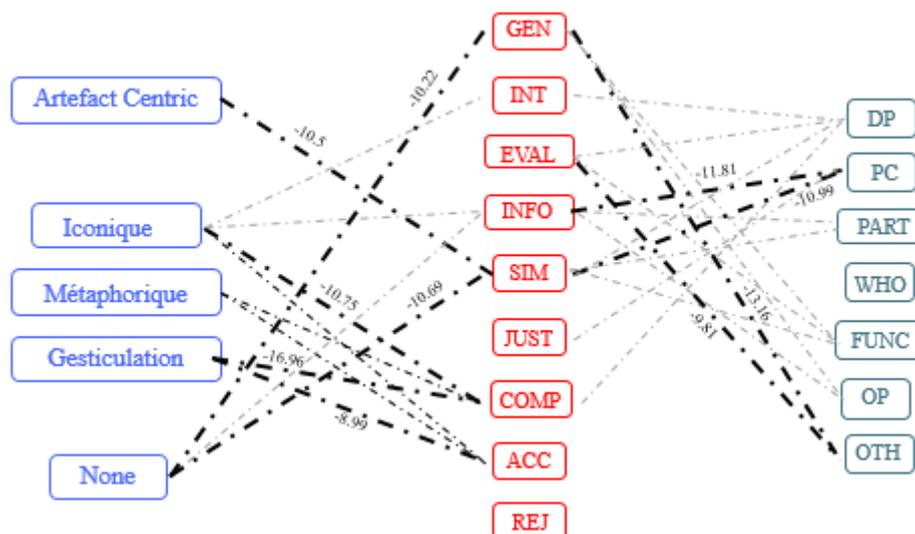


Figure 49: Synthèse des corrélations négatives de gestes, d'activités cognitives et d'arguments

Parmi celles-ci, nous avons les activités de génération d’idées (GEN) et d’évaluation (EVAL) avec l’argument *autre* (OTH). Ici encore, cette non-relation est logique étant donné les explications que nous

avons apportées précédemment. En effet, les éléments de contexte n'ont aucun lien avec la génération d'idée car les utilisateurs ne génèrent pas des idées sur le contexte d'usage mais sur les finitions du produit. Ceci est une conséquence de la tâche attribuée à ces sessions. De la même manière, ce qui était évalué était les solutions émises et non la situation d'usage, d'où le fait que nous ayons une corrélation négative entre OTH et EVAL. Toujours en nous intéressant à la génération d'idée (GEN), une forte corrélation négative la relie à la modalité *aucun geste* (None). D'après ce résultat et les résultats sur les corrélations positives, l'activité de génération d'idée se réalise de préférence avec des gestes, d'autant plus si ces gestes sont centrés sur l'artefact. En somme, pour générer une idée, il est rare de trouver des situations où les acteurs ne font aucun geste.

Une particularité des résultats sur l'activité de simulation est que nous avons retrouvé une très forte relation entre les gestes iconiques et celle-ci. Ceci a pour conséquence que les corrélations négatives se retrouvent dans la modalité de gestes centrés artefacts aussi bien que dans la modalité *aucun geste*. Nous jugeons que l'interprétation de ce résultat doit être abordée avec prudence tant un lien fort positif peut se répercuter sur un lien fort négatif d'autre part s'il n'est pas dilué sur plusieurs relations. Ainsi, nous retiendrons de l'activité de simulation que c'est une activité sollicitant préférentiellement des gestes en l'air, d'autant plus s'il s'agit de gestes de mimétisme de l'action de l'artefact.

Ensuite, nous avons les activités de validation (ACC) et de compréhension (COMP) qui ne sont pas réalisées en association avec des gestes en l'air (iconique, métaphorique et gesticulation). Précédemment, nous avons identifié que ces deux activités étaient préférentiellement réalisées sans gestes. Ce nouveau résultat nous apprend que non seulement la compréhension et la validation ne passent pas par des gestes mais qu'en plus, si elles devaient être associées à des gestes ceux-ci seraient en référence à l'artefact et non des gestes en l'air. Cela nous donne une graduation des préférences de comportements gestuels adoptés par les utilisateurs et les concepteurs pendant une activité décisionnelle et une activité de compréhension d'autrui.

Pour finir, nous retrouvons une corrélation négative entre les caractéristiques du produit (PC) et les activités de simulation (SIM) et d'information (INFO). Nous interprétons la corrélation négative de la simulation et des caractéristiques du produit par la complexité d'imaginer cognitivement une couleur ou un matériau. Avoir la représentation sous les yeux mobilise effectivement beaucoup moins de ressources mentales. En revanche, la corrélation négative des caractéristiques du produit et de l'information est surprenante. Cela sous-entendrait que les individus ne fournissent pas d'informations supplémentaires sur les couleurs et les finitions du produit et préfèrent évaluer ces solutions. Il est vrai qu'une couleur, par exemple, n'a pas besoin de beaucoup de compléments d'information autres que "*foncé*"; "*brillant*" ou "*mate*". Encore cette fois, la tâche de définition des paramètres esthétiques du produit ont orienté l'activité vers une génération d'idées, une évaluation et une décision expliquant que les acteurs se soient moins focalisés sur l'activité d'information.

➤ **Etayage et argumentation de l'hypothèse 6** : La technologie SAR a un impact sur l'activité de co-conception

Comme nous venons de le voir, l'activité de conception n'est pas dégradée par la technologie SAR. Autrement dit, l'activité cognitive de co-conception n'apparaît pas modifiée par la situation SAR. Celle-ci ne perturbe pas l'expérience utilisateur standard et pourtant, nous observons que les deux situations expérimentales semblent facilitatrices sur les deux aspects suivants :

- Une situation standard facilite l'expression d'éléments de contexte et n'a pas recours aux gestes.
- Une situation de conception avec l'outil SAR facilite la génération d'idées créatives, incite à exposer des arguments portant sur des aspects de couleurs, finitions et choix des matériaux, et encourage la manipulation ou le pointage de l'artefact mixte.

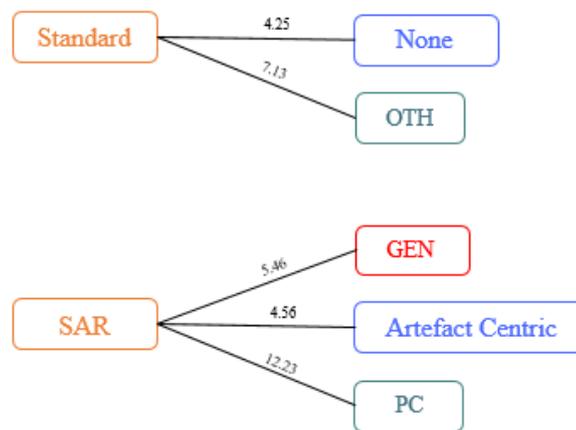


Figure 50: Synthèse de l'influence des conditions de conception sur les gestes, les activités cognitives et les arguments

De plus, d'après les résultats des tests, les activités cognitives mobilisées sont différentes selon le rôle de l'acteur. En effet, les utilisateurs étant au centre de la conception et dont nous sollicitons l'imagination lors de ces séances, les actions de la designer étaient alors de susciter l'imagination des utilisateurs afin qu'ils évaluent les solutions existantes et proposent des solutions alternatives. Ce résultat est un indicateur de notre volonté d'intégrer toujours plus les utilisateurs finaux dans le processus de conception. En facilitant l'émergence d'idées créatives par un temps de brainstorming, nous recueillons nécessairement un nombre conséquent d'idées faisant l'objet d'une évaluation et d'une justification où il est possible de trouver des propositions d'idées alternatives à celles émises au départ. Ces activités sont possibles grâce à une démarche de conception collaborative proche des méthodes de design thinking où l'utilisateur est au centre des préoccupations et où l'environnement est créé pour faciliter l'émergence d'idées innovantes.

L'analyse détaillée des arguments employés a, quant à elle, abouti à l'identification de trois arguments majeurs dans les sessions de revue de la conception. L'analyse des statistiques descriptives nous informe que les caractéristiques du produit (PC), la fonctionnalité du produit (FUNC) et les arguments *autres* (OTH) représentent 70% des arguments utilisés. Nous pouvons expliquer leur emploi par la nature des séances de co-conception d'une part et par la nature du produit d'autre part.

En effet, les séances de co-conception avaient pour but de discuter du produit existant Viuho et de faire évoluer le produit vers une utilisation en montagne. Son utilisation était alors modifiée dans sa fonctionnalité aussi. C'est pourquoi les utilisateurs ont passé beaucoup de temps à discuter des aspects fonctionnels de l'appareil pour que son usage soit pertinent dans un contexte alpin. De plus, les aspects esthétiques faisaient l'objet de tâches que devaient aborder la designer avec les utilisateurs. L'emploi d'arguments portant sur les caractéristiques du produit est alors justifié par les tâches induites par la session. Pour finir, la catégorie d'arguments *autre* était aussi beaucoup mobilisée. Ceci s'explique par le fait que les utilisateurs se référaient à de nombreuses reprises aux potentiels accidents, aux sports pratiqués, à des anecdotes ou au coût du produit. Ces dernières thématiques ne figurant pas dans une catégorie spécifique car faisant appel à des paramètres extérieurs au produit, ils étaient classés dans *autre*. Cependant, tous ces arguments étaient d'une haute importance pour la justification des idées proposées et pour mener un bon raisonnement dans le choix des finitions du produit. Au moment de la réalisation de la grille de codage des arguments, c'est-à-dire au moment des observations chez les industriels, nous n'avons pas identifié le besoin des utilisateurs finaux à se référer au contexte d'usage du produit. En effet, ces sessions menées avec les clients portaient davantage sur le coût des matériaux que sur l'activité sportive pratiquée pour faire un choix en faveur d'une ou de plusieurs solutions. Ainsi, nous savons que les points de vue des clients et des utilisateurs diffèrent et, par conséquent, les arguments portés en faveur d'une solution aussi. Par la suite, nous pourrions imaginer, dans les perspectives académiques, une évolution de la grille de codage des arguments pour répondre à ce besoin.

L'analyse des gestes a, quant à elle, révélé une plus forte mobilisation des gestes centrés sur l'artefact dans les sessions SAR que dans les sessions Standard (Tableau 48).

Au regard de ce que nous venons d'expliquer, une condition standard favorise une argumentation sur le contexte d'usage où le recours à l'artefact n'est pas avéré. Au contraire, la définition des aspects esthétiques du produit nécessite d'avoir un prototype ou une maquette qu'il est possible de faire évoluer rapidement. Ainsi, les deux conditions expérimentales se prêtent préférentiellement à des activités différentes mobilisant des gestes différents.

Selon les objectifs des concepteurs dans les industries, ces paramètres peuvent être pris en considération.

➤ **Etayage et argumentation de l'hypothèse 7 : Les gestes sont une aide à la compréhension**

Pour répondre à notre dernière interrogation qui est "est-ce que les gestes sont une aide à la compréhension ?", nous avons identifié les sujets mentionnant régulièrement le geste comme un moyen de transmettre un message plus aisément. Ainsi, les gestes ne sont pas seulement une aide à la compréhension mais ce sont aussi une aide à la communication d'un message dans le but qu'il soit compréhensible. En cela, les individus réalisent des gestes dans le but, par exemple, d'appuyer leurs propos ; d'illustrer le discours ou encore de retrouver leurs mots. En effet, des études portant sur les gestes ont montré que ceux-ci ne sont pas seulement réalisés pour se faire comprendre mais aussi pour faciliter notre production langagière (Iverson et Goldin-Meadow, 2005).

Au regard de nos résultats, 30 à 50% des interactions sont représentées par des gestes centrés artefact et 30% sont des gestes en l'air (iconiques, métaphoriques et gesticulations). Cela signifie que l'activité de co-conception nécessite la manipulation de l'artefact et que les gestes en l'air sont constitutifs des interactions entre les différents acteurs. De plus, quel que soit le rôle de l'acteur, tous font des gestes en l'air et des gestes centrés artefact. Les gestes sont ainsi mobilisés par tous les acteurs et la tangibilité de l'artefact représente une caractéristique importante de la conception. Ceci se remarque par la préférence des utilisateurs finaux envers les gestes de manipulation et de pointage de l'artefact (tangible ou mixte). Par conséquent, nous pouvons dire que, pour une bonne participation des utilisateurs finaux dans les séances de co-conception, il est nécessaire de laisser la place aux gestes de toutes natures et que l'artefact physique doit être présent dans la scène de conception. Ceci est grandement facilité par l'emploi de technologies SAR par opposition aux technologies immersives.

Eris et al. (2014) avaient déjà observé que les sujets réalisaient des gestes quel que soit le support des représentations. Par la suite, ceux-ci nous apprenaient même que le prototype est un support de réflexion sur les solutions émises (Cardoso et al., 2016). En prenant en considération nos résultats, nous pouvons dire que nos conclusions sont en accord avec les travaux que nous venons de citer sur le rôle de l'artefact dans les interactions entre designers et non-designer.

Concernant les interactions verbales non accompagnées de gestes, celles-ci représentent environ 20% des interactions dans les observations chez notre partenaire industriel puis environ 35% dans la phase expérimentale. Au regard d'autres recherches sur l'implication des gestes dans le discours comme celle de Cash & Maier (2016), nous observons que les interactions verbales non accompagnées de gestes sont autour de 25%. En effet, ces derniers ont observé 81,7% de gestes réalisés simultanément avec la parole, soit 18,3% de cas où il n'y avait aucun geste pour accompagner le discours. Ces résultats sont relativement proches de ceux que nous avons observé dans la phase d'observation.

Une hypothèse émise pendant le projet SPARK prédisait que les gestes étaient réalisés lorsque les parties prenantes devaient combler des lacunes sur la représentation physique de l'artefact. Ainsi, grâce à la

technologie SAR, les représentations physiques pouvant être modifiées en temps-réel, les acteurs auraient moins besoin de mobiliser des gestes du fait d'avoir pallié les lacunes de la représentation. Cependant, nos résultats montrent que la proportion de gestes en l'air est inchangée entre les deux conditions expérimentales et que les gestes centrés artefact sont plus nombreux en présence de la technologie SAR. Les gestes semblent alors bien constitutifs de l'activité de conception. De plus, nous avons remarqué que les interactions non accompagnées de gestes (none) sont significativement plus importantes en condition Standard qu'en condition SAR. La technologie ne réduirait donc pas le recours aux gestes, au contraire. Nous pouvons donc nous demander si les gestes ne sont pas au contraire un indicateur de bonne collaboration et non un indice de lacune sur la représentation physique qu'il faudrait combler ?

Selon les entretiens recueillis après les séances de co-conception, les gestes sont une aide à la communication et à la compréhension. Tantôt, un participant exprime que *"le geste me permet de m'exprimer plus facilement. C'est une aide pour moi."* Tantôt, une autre dit *"Je suis gênée dans ma manière d'exprimer si je ne fais pas de gestes. Je les fais pour que ça soit plus clair pour l'autre _ pour transmettre mon message."* Plus particulièrement, chaque catégorie de gestes a un objectif plus précis. Les gestes de type pointage ou manipulation de l'artefact ont pour rôle de montrer à l'auditoire ce sur quoi le discours est porté. Ces gestes sont importants car ils ont aussi pour rôle de focaliser l'attention sur le détail pointé du doigt (Donovan et al., 2011). Les gestes en l'air, notamment les gestes iconiques sont, quant à eux, des gestes permettant de simuler, d'imaginer et d'illustrer le propos et apportant des éléments de contexte nécessaires à la compréhension. Dans son étude, David (2016) a remarqué que les designers utilisaient les gestes comme un moyen d'étendre leurs discours et sont un moyen de communication et de résolution de problème. L'usage du geste et notamment des gestes de mimétisme aident à visualiser les idées conceptuelles selon lui. Rittel (1987) expliquait également comment les concepteurs utilisent les outils tels que les dessins, les diagrammes et les gestes comme média pour supporter la pensée créative. La compréhension du rôle du geste et de comment sont manipulés les artefacts est un résultat important dans notre étude. Cela permet de mieux comprendre le raisonnement des concepteurs et des utilisateurs en décrivant comment ils utilisent le geste en relation avec les activités cognitives employées.

2. Discussion au sujet de notre démarche expérimentale

Les objectifs de cette thèse étaient d'une part, d'analyser de manière multimodale l'activité de co-conception des designers et des clients / utilisateurs et d'autre part, de comprendre quelle était l'influence de l'utilisation de la technologie SAR sur ces activités. Pour cela, nous avons construit une méthodologie

sur la base de travaux antérieurs ayant adopté leurs propres catégorisations du protocole verbal et des gestes.

La construction de la méthode et des classifications au regard des sessions de co-conception auxquelles nous étions confrontées a requis de nombreux changements où le codage a été testé sur plusieurs fragments de sessions. Une attention particulière a été portée à la définition des modalités de gestes, d'activités cognitives et d'arguments ainsi que la définition des règles de codages pour ne pas laisser de place à l'interprétation du codeur. Sans cela, la comparaison des sessions et des conditions expérimentales aurait été difficile.

Ayant été appliquée sur une cinquantaine de sessions de co-conception d'un produit innovant, cette méthodologie n'a cependant pas été testée dans un nombre important de situations. En effet, nous étions dans un contexte de conception collaborative d'objets innovants avec une seule agence de design.

De plus, un inconvénient à son utilisation est présent. Le codage s'effectue en post-session sur la base des vidéos et des transcriptions du protocole verbal. Qu'il s'agisse de la transcription, du découpage des tours de paroles en occurrences et du codage de chacune des variables, cela est très consommateur de temps et ne permet pas toujours de faire des analyses sur un nombre important de réunions. Afin de surmonter cette difficulté, les équipes du projet SPARK de Grenoble se sont penchées sur des systèmes de codage en temps-réel grâce au développement d'une interface graphique sur tablette. Ce logiciel, que nous avons appelé *Observer*, permettait de recueillir les gestes effectués par les acteurs en adressant un codeur par participant présent en réunion. Les codeurs cliquaient instantanément sur la modalité dont ils avaient jugé qu'elle était associée au discours. Grâce à quelques comparaisons de ce codage avec celui effectué à posteriori, nous avons remarqué qu'il pouvait y avoir des décalages et des oublis dus à la rapidité de déroulement des sessions (Masclat et al., 2020). De plus, cet outil permettait de coder uniquement les gestes. Notre ambition ayant alors évolué vers une analyse des activités cognitives et des arguments en addition aux comportements gestuels, cet outil demandait alors une trop grande mobilisation de personnel pour coder instantanément toutes les interactions. C'est pourquoi nous avons choisi de procéder à une analyse post hoc via les vidéos et laissant ce logiciel de côté.

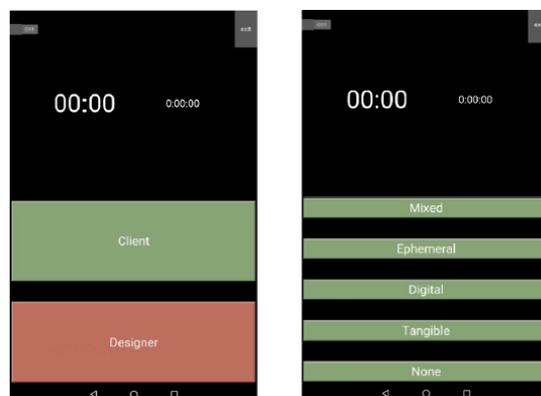


Figure 51: Interface d'Observer pour le codage des acteurs (à gauche) et des gestes (à droite)

Du fait de notre positionnement en fin de projet européen impliquant des partenaires industriels, nous avons eu l'opportunité de commencer des analyses de l'activité directement sur le terrain. Ces observations nous ont permis d'être au plus proche de la pratique et de tester notre méthodologie. Mais pour conclure à une influence de la technologie SAR sur l'activité de co-conception, une expérimentation en laboratoire était nécessaire. Parmi ses avantages, nous retrouvons une réduction des biais due à l'élimination de paramètres fluctuants tels que la langue, les produits, les personnes, les salles et la durée des sessions. De plus, les expérimentations nous ont permis le déroulement d'un grand nombre de sessions. Les inconvénients, quant à eux, sont que nous ne sommes pas en contact direct avec le client du produit et que nous avons fait des analyses sur une seule situation. Bien que chaque choix méthodologique apporte son lot d'avantages et d'inconvénients, le fait d'avoir réalisé à la fois des observations en situation réelle et des expérimentations en laboratoire nous permet d'avoir une représentation globale de l'activité multimodale en ayant pris le soin de nous rapprocher au maximum de la pratique réelle des concepteurs.

Du point de vue des utilisateurs et de la designer, ceux-ci nous ont manifesté beaucoup de satisfaction quant au déroulement des sessions. Les participants étaient à la fois intrigués par cette technologie et à la fois très impliqués du fait du développement concret de l'appareil de géolocalisation. Cette attirance vers la nouveauté de l'outil technologique peut néanmoins induire un biais : celui de se focaliser dessus. Nous avons, en effet, remarqué que le nombre d'interactions centrées sur l'artefact mixte étaient supérieures aux interactions centrées sur l'artefact tangible. Nous pouvons alors nous demander si cette différence peut s'expliquer par le caractère nouveau de la plateforme ou si cela est réellement dû aux caractéristiques tangibles et digitales du prototype incitant à une plus forte interaction avec cet artefact. Mais nous savons aussi que les changements en temps réel répondent aux nouvelles attentes des designers qui sont d'effectuer un prototypage rapide en vue d'évaluer les solutions proposées dans un laps de temps très court. Ainsi, les utilisateurs ont mis en avant, dans les entretiens, l'atout de cette technologie pour le choix des finitions.

3. Préconisations et perspectives de recherche

En prenant en considération les résultats évoqués et les retours des utilisateurs pendant les entretiens, nous souhaitons apporter quelques préconisations d'emploi de la technologie de réalité augmentée spatialisée. Premièrement, cette technologie non-invasive permet la reproduction d'un scénario de co-conception sans avoir de lunettes ou de manettes pouvant atténuer le réalisme des séances ou pouvant altérer la qualité de la collaboration. Ainsi, cette technologie répond aux attentes de plus en plus nombreuses des industriels d'intégrer les utilisateurs dans les différentes étapes du processus de conception. Dans les phases avancées de la conception où les designers souhaitent sélectionner les idées

évoquées dans des réunions antérieures ou générer des idées alternatives, la technologie SAR semble un outil approprié et facilitateur des activités cognitives d'évaluation et de génération d'idées portant sur les couleurs et finitions du produit. En revanche, pour les aspects d'usage et de fonctionnalité du produit, un prototype tangible semble beaucoup plus approprié ainsi que la présence d'éléments ou objets pouvant se référer au contexte. D'après les entretiens avec les utilisateurs, ceux-ci préfèrent une mise en situation avec le matériel adéquat comme un sac à dos dans notre étude de cas. Par conséquent, nous préconisons aux industriels de préférer les environnements de réalité augmentée spatialisée quand les discussions portent sur des aspects esthétiques du produit.

En termes de perspectives technologiques, la plateforme SPARK nécessite un travail d'amélioration du rendu des couleurs, de calibration et de superposition d'images qui, parfois, sont floues et ne permettent pas une reproduction à l'identique entre ce que la tablette représente et ce qui est projeté sur l'objet. Les utilisateurs sont limités dans leur créativité par l'usage des *assets* implémentés dans l'interface en amont de la séance. Une perspective intéressante serait de pouvoir ajouter une fonctionnalité de recherche internet dans une banque de données d'images ou une fonction *dessin* qui permettrait de ne pas limiter la créativité. Ceci fait l'objet des attentes des industriels qui souhaitent une technologie robuste et offrant des possibilités encore plus grandes. Une autre évolution possible serait d'imaginer une interface graphique où le prototype n'est pas représenté sur la tablette. Les solutions sélectionnées sur l'interface seraient visibles uniquement sur le produit et, par conséquent, l'attention serait d'autant plus portée sur l'artefact.

A l'intersection entre les attentes des industriels et de la recherche académique, nous notons que l'utilisation de la plateforme SPARK demande tout de même une part non négligeable de formation sur la manipulation de l'interface graphique afin d'utiliser toutes les fonctionnalités. Une personne non formée à cet outil ne pourra pas avoir la main sur les changements à opérer sur le produit. En effet dans notre étude, une demi-journée avait été attribuée à la formation de notre designer à la manipulation de l'interface. Cette étape est coûteuse en temps et ne nous permettait pas de former tous les participants. Par conséquent, cette contrainte ne permettait pas de laisser la tablette à disposition des utilisateurs qui, eux, n'étaient pas formés à l'utiliser. En perspective, il serait intéressant de voir si la possibilité de laisser la tablette aux utilisateurs incite encore plus à la génération d'idées créatives. Pour cela, nous pourrions former des utilisateurs à l'utilisation de l'interface graphique puis coderions et analyserions les interactions en les comparant avec les résultats de notre étude actuelle. Cependant, en réalisant ce type d'expérience, nous pouvons nous attendre à ce que les utilisateurs fassent moins de gestes que ce que nous venons d'observer. En effet, en s'engageant dans les activités de modifications des aspects esthétiques du produit par leurs propres moyens, ceux-ci devraient moins s'impliquer dans d'autres activités telles que les gesticulations et la simulation du contexte d'usage. Davis (2016) avait notamment remarqué cela en observant que plus les individus dessinaient moins ils gesticulaient et inversement.

Sur le plan académique, ce travail de thèse ouvre le champ de l'analyse de l'activité multimodale de co-conception. L'identification d'association de gestes avec certaines activités cognitives et arguments nous laisse entendre que les chercheurs doivent tenir compte de la nature de la technologie si l'objectif est de favoriser la manipulation de l'artefact. La technologie de type SAR, comme dans cette étude, serait facilitante. De plus, quelle que soit la condition expérimentale, nous avons remarqué que près de 75% des interactions verbales étaient accompagnées de gestes. Implémenter une technologie invasive ne permettant pas la réalisation de gestes pourrait être néfaste pour la collaboration.

Nous avons réalisé cette analyse sur un produit innovant particulier et dans une phase de conception relevant du "brainstorming" et de la génération d'idées alternatives (phase de revue de la conception ou d'*ID Definition* selon Stimulo). D'autres études impliquant d'autres types de produits pendant des phases de conception différentes seraient intéressantes. Notamment, au regard de notre argumentation sur la mise en parallèle de nos travaux avec ceux de Détienne et al. (2006), une étude intéressante pourrait être menée dans différentes situations et domaines d'application. Par exemple, créer des réunions de co-conception de produits innovants versus des réunions d'architecture permettrait de savoir si les divergences observées entre les deux études sont dues à la situation ou à la méthodologie de codage. Ainsi, il serait possible d'identifier en quoi certaines activités et certains gestes sont caractéristiques d'un domaine d'application.

Au début de cette discussion générale, nous avons mentionné des perspectives d'évolution de la classification des arguments. En effet, la catégorie *autre* regroupant un nombre important d'éléments de contexte et d'usage du produit en pratique, il serait pertinent de créer une catégorie supplémentaire à cette grille. Celle-ci pourrait s'appeler USE et engloberait tous les aspects portants sur la mise en situation d'utilisation. Cependant, garder une catégorie *autre* nous paraît pertinent pour répondre à la multitude d'informations disponibles et aux diverses expériences de chaque individu.

Pour finir, des études récentes comme celles de Cash (2018) ; Hay et al., (2020) ou Cash & Maier (2021) rapportaient que l'étude de la conception mériterait que l'on implémente de nouvelles méthodes innovantes issues d'autres disciplines pour apporter de nouvelles connaissances. La neuro-imagerie est un exemple d'outil qui nous permettrait de mettre en parallèle des résultats portant sur l'activité de conception et des résultats portant sur la localisation neurophysiologique des aires corticales activées pendant la réalisation de ces actions. Tel que nous avons commencé à le proposer précédemment, une étude intéressante à réaliser pourrait porter sur l'identification de l'activation de l'aire motrice en fonction de l'activité cognitive générée pendant la conception d'un produit. Ainsi, il serait possible d'apporter de nouvelles explications au fait que les individus ne réalisent pas de gestes pendant une activité de compréhension et, plus largement, de synchronisation cognitive.

4. Conclusion

Pour conclure ce travail de recherche, nous avons étudié l'activité de co-conception du point de vue des gestes et du discours afin d'extraire des connaissances sur les relations entre les différentes variables et d'avoir une représentation de ce qu'est l'activité multimodale de co-conception.

Grâce à cette étude, nous avons pu extraire les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'une plateforme de réalité augmentée spatialisée dans la phase de revue de la conception.

Nous avons démontré que des liens entre les gestes et les activités cognitives perduraient bien que les concepteurs et les utilisateurs étaient dans un environnement SAR. De plus, nous avons montré que cette technologie était facilitante pour générer des idées portant sur les critères de finitions et d'esthétisme du produit ainsi qu'elle incitait à la manipulation de l'artefact physique.

Grâce aux entretiens et aux questionnaires établis, nous savons que :

- Cette technologie est très complémentaire des méthodes classiques
- Les gestes réalisés sont constitutifs de la collaboration et que les outils d'aide à la conception doivent être conçus au regard de ce résultat
- L'aisance et la manipulation de la plateforme sont perfectibles
- Le contexte d'usage du produit est un paramètre important pour intégrer les fonctionnalités nécessaires.

Sur la base des résultats de nos travaux et en tenant compte de l'importance d'intégrer les utilisateurs finaux dans le processus de conception, nous encourageons d'autres études à continuer à explorer les atouts de la technologie de Réalité Augmentée Spatialisée pour créer des situations de co-conception facilitante et performante. Du point de vue des connaissances sur l'analyse de l'activité de co-conception, des recherches devraient être menées dans l'objectif d'élargir les connaissances relatives à cette activité en considérant les fonctions neurobiologiques pour expliquer certains phénomènes, notamment les relations existantes entre les comportements gestuels et les fonctions cognitives.

Glossaire

Assets : Les assets sont un anglicisme désignant des ressources numériques disponibles pour créer l'objet en réalité augmentée spatialisée. Ces ressources peuvent être des objets 3D ou des images.

Co-conception : Activité de conception impliquant, à différents niveaux, les clients, les utilisateurs finaux et les autres parties prenantes dans le processus de conception.

Client : Le client est la personne (ou la société) qui achète la prestation de service au designer de la conception du produit qu'il va revendre aux utilisateurs.

CSCW : *Computer-Supported Cooperative Work* est une science qui étudie comment un groupe travaille et s'intéressant à l'usage des technologies pour assister le travail.

Processus de conception : Le processus de conception constitue toutes les étapes de conception d'un produit. Cela passe par la définition du besoin, l'élaboration d'un cahier des charges, le développement de l'idée, le choix des solutions, la création d'une maquette ou d'un prototype, tester et évaluer le prototype, valider ou proposer des solutions alternatives, reconcevoir, valider et produire.

Prototype mixte : Fusion d'un prototype physique et virtuel qui coexistent en temps-réel dans le même environnement.

Réalité Augmentée Spatialisée (SAR) : La réalité augmentée spatialisée désigne une technologie de projection d'images virtuelles sur un prototype physique.

Utilisateur (final) : L'utilisateur final est celui qui emploie le produit directement. Il s'agit de l'individu qui paiera le service ou l'objet dans la chaîne de consommation.

Variable dépendante : La variable dépendante (VD) correspond à la mesure de la réponse du participant. Cette réponse peut être la performance à une tâche, le nombre d'erreurs commises, les réponses à un questionnaire, l'occurrence ou la non-occurrence d'un comportement, un temps de réponse, une opinion... Dans notre étude, nous avons quantifier les différentes modalités d'activités cognitives, d'arguments et de gestes ; nous avons recueilli l'intention des gestes ; nous avons identifié le rôle de la nature de l'artefact et mesuré l'efficacité des sessions.

Variable indépendante : Une variable indépendante est une caractéristique de l'individu (ex : homme vs femme), de l'environnement physique ou social (ex: couleur des murs), de la tâche (difficile vs facile, familière vs non familière), ou des stimuli présentés (ex: ambigus vs non ambigus; subliminal vs supra liminal) qui est manipulée par le chercheur dans le but de contrôler ou d'analyser son impact sur le comportement, l'état mental ou le processus mental étudié. Dans notre étude, les variables indépendantes étaient la condition expérimentale (Standard vs SAR) et le rôle du participant (Designer vs Utilisateur/Client).

Bibliographie

Agile Manifesto, 2001, www.agilemanifesto.org

Akaoka, E., Ginn, T., & Vertegaal, R. (2010). DisplayObjects: Prototyping Functional Physical Interfaces on 3D Styrofoam, Paper or Cardboard Models, *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '10*, pp. 49-56. <https://doi.org/10.1145/1709886.1709897>

Amalberti, R., Falzon, P., Rogalski, J., & Samurcay, R. (1992). *Communication et coordination dans les cockpits automatisés*. Rapport intermédiaire DGAC, CNAM, Paris VIII.

Azuma, R., Baillet, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>

Babapour, M. (2016). Roles of externalisation activities in the design process. *Swedish Design Research Journal*, 11(1), 34.

Baddeley, A. (1990). *Human Memory, theory and practice*. New York, Lawrence Erlbaum.

Becattini, N., Masclet, C., Ben-Guefrache, F., Prudhomme, G., Cascini, G., & Dekoninck, E. (2017). Characterisation of a co-creative design session through the analysis of multi-modal interactions. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 8(DS87-8), 479–488.

Bekker, M. M., Olson, J. S., & Olson, G. M. (1995). Analysis of gestures in face-to-face design teams provides guidance for how to use groupware in design. In *DIS '95 proceedings of the 1st conference on designing interactive systems: Processes, practices, methods, & techniques* (pp. 157e166). New York, US: ACM.

Ben Guefrache, F., Becattini, N., Masclet, C., & Prudhomme, G. (2017). Multi-modal interactions analysis to characterise co-creative design session. *15e Colloque National AIP-Primeca*, La Plagne, France.

Ben Guefrech, F. (2020). *Analysis of the integration of a Spatial Augmented Reality platform in a context of collaborative design involving end-users*. Thèse de doctorat : Université Grenoble Alpes.

Benabid, Y. (2014). *Contribution à l'amélioration du processus de conception des produits innovants: Développements d'outils d'aide au choix des processus*. Thèse de doctorat: ENSAM, Paris.

Bernardis, P., & Gentilucci, M. (2006). Speech and gesture share the same communication system. *Neuropsychologia* 44, 178-190. DOI : [10.1016/j.neuropsychologia.2005.05.007](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.05.007)

Billinghurst, M., Belcher, D., Gupta, A., & Kiyokawa, K. (2003). Communication Behaviors in Colocated Collaborative AR Interfaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 16 No. 3, pp. 395–423. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1603_2

Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds*, A K Peters, Wellesley.

Blessing, L.T.M. (1993). A process-based approach to computer supported engineering design. Paper presented at *International Conference on Engineering Design (ICED'93)*, The Hague, The Netherlands.

Blinn, J.-F. (1982). A generalization of algebraic surface drawing. *ACM Transactions on Graphics* 1 (3):235-256.

- Bodker, S. (1998). Understanding Representation in Design. *Human-Computer Interaction*, Vol. 13 No. 2, pp.107–125. https://doi.org/10.1207/s15327051hci1302_1
- Bosinco, P., Rejneri, N., & Massabo, A. (2006). Touch and design (T'ND) a European funded project. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design*, 17-19 Nov. 2006, Hangzhou, China. <http://doi.org/10.1109/CAIDCD.2006.329399>
- Bouchard, C., Omhover, J.-F., Mougnot, C., Aoussat, A., & Westerman, S. (2008). TRENDS: A content-based information retrieval system for designers. *Proceedings of the 3rd International Conference on Design Computing and Cognition*. Atlanta, USA.
- Boujut, J.-F., & Blanco, E. (2003). Intermediary objects as a means to foster co-operation in engineering design. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, pp.205-219, Springer.
- Brassac, C., & Grégori, N. (2003). Etude clinique d'une activité collaborative : la conception d'un artefact. *Le travail humain*, 66 (2), 101-127.
- Bricogne-Cuignières, M. (2015). *Méthode agile pour la conception collaborative multidisciplinaire de systèmes intégrés: application à la mécatronique*. Thèse de doctorat : Université de Technologie de Compiègne.
- Bucciarelli, L.L. (1988). Engineering design process. In: F. Dubinkas (Ed.), *Making time: culture, time and organization in high technology*, Temple University Press, Philadelphia, PA, 1988, pp. 92-122
- Bucciarelli, L.L. (1994). Designing Engineers. *European Journal of Engineering Education*, 20(3), 385–386. <https://doi.org/10.1080/03043799508928289>.
- Burkhardt, J.-M., Détienne, F., Hebert, A.-M., Perron, L., Safin, S., & Leclercq, P. (2009). An approach to assess the quality of collaboration in technology-mediated design situations. *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics ECCE 2009*, 30 September - 2 October 2009, Otaniemi, Helsinki.
- Cardoso, C., Badke-Schaub, P. & Eris, O. (2016). Inflection moments in design discourse: How questions drive problem framing during idea generation. *Design Studies*, 46, 59-78.
- Cascini, G., O'Hare, J., Dekoninck, E., Becattini, N., Boujut, J. F., Ben Guefrache, F., Carli, I., Caruso, G., Giunta, L., & Morosi, F. (2020). Exploring the use of AR technology for co-creative product and packaging design. *Computers in Industry*, 123, 103308. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103308>
- Cash, P. (2018). Developing theory-driven design research. *Design Studies*, 56(May), 84-119.
- Cash, P., & Maier, A. (2016). Prototyping with your hands: the many roles of gesture in the communication of design concepts. *Journal of Engineering Design*, 27(1-3), 118-145. <https://doi.org/10.1080/09544828.2015.1126702>
- Cash, P., & Maier, A. (2021). Understanding representation: Contrasting gesture and sketching in design through dual-process theory. *Design Studies*, 73, [100992]. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.100992>.
- Cassier, J. (2010). *Argumentation et conception collaborative de produits industriels*. Thèse de doctorat: INP, Grenoble.
- Chakrabarti, A., & Blessing, L. (2015). A review of theories and models of design. *Journal of the Indian Institute of Science*, 95(4):325–340.
- Chamberlain, S., Sharp, H., & Maiden, N. (2006). Towards a framework for integrating agile development and user-centered design. *Extreme programming and agile processes in software engineering*, Oulu, 2006, pp 143-153.

- Chartier, J. (2007). *Développement de pratiques collaboratives à distance en ingénierie de produit*. Thèse de doctorat: INP, Grenoble.
- Christensen, B. T., & Schunn, C. D. (2007). The relationship of analogical distance to analogical function and preinventive structure: the case of engineering design. *Memory & Cognition* 35, 29–38; doi:10.3758/BF03195939.
- Clarkson, J., & Eckert, C.M. (2010). *Design process improvement: a review of current practice*, Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-061-0>
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*, Paris, P.U.F., 247 p. DOI: [10.3917/puf.clot.2006.01](https://doi.org/10.3917/puf.clot.2006.01)
- Collignon, A. & Schöpfel, J. (2016). Méthodologie de gestion agile d'un projet. Scrum – les principes de base. *I2D - Information, données & documents*, 2(2), 12-15. <https://doi.org/10.3917/i2d.162.0012>
- Crilly, N., & Cardoso, C. (2017). Where next for research on fixation, inspiration and creativity in design? *Design Studies*, 50, 1–38; doi:10.1016/J.DESTUD.2017.02.001.
- Cross, N. (1986). Understanding design: the lessons of design methodology. *Design Methods and Theories*, 20(2), 409-438.
- Cross, N. (2000). *Engineering design methods strategies for product design*. Wiley, Chichester.
- Cross, N. (2004). Expertise in design: an overview. *Design Studies*, 25(5), 427–441.
- Cross, N., Christiaans, H., & Dorst, K. (1996). *Analyzing Design Activity*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 1996.
- D'Astous, P., Détienne, F., Visser, W., & Robillard, P. N. (2004). Changing our view on design evaluation meetings methodology: a study of software technical review meetings. *Design Studies*, 25(6), 625-655. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2003.12.002>
- Darses, F. (1997). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec le processus cognitif de conception. In P. Bossard, C. Changevrièr, & P. Leclair (Eds.), *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 39-55). Paris: Economica.
- Darses, F. (2002). A cognitive analysis of collective decision-making in the participatory design process. *Proceedings of the Participatory Design Conference*, (June), 23–25.
- Darses, F. (2004). *Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique*. Document de synthèse en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Paris V – René Descartes, Paris.
- Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le travail humain*, 72 (1), 43-59.
- Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., & Visser, W. (2001). *COMET. A method for analysing collective design processes*. Rapport de recherche de l'INRIA, No. 4258.
- Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2001). Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. *Actes des Journées d'Etude en Psychologie Ergonomique – EPIQUE*, 11-20. Disponible sur le site : <http://www.sop.inria.fr/acacia/gtpe/Actes-epique-2001-article-darses.pdf>.
- Darses, F., & Falzon, P. (1996). La conception collective: une approche de l'ergonomie cognitive. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds). *Coopération et Conception*. Toulouse : Octarès.
- Darses, F., Falzon, P., & Béguin, P. (1996). Collective design processes. *Proceeding of COOP 96, Second International Conference on the Design of Cooperative Systems*. Juan-les-Pins, 12-14 Juin. Sophia-Antipolis: INRIA.

- Darses, F. & de Montmollin, M. (2012). *L'ergonomie*. Paris: La Découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.darse.2012.01>
- Davis, B. (2016). Gesture, creativity and design. In *ICDC2016: The 4th international conference on design creativity* (pp. 1-13), Atlanta, GA, USA.
- De Vries, E., & Masclet, C. (2010). Shared representations: dyactic and triactic perspectives in work and training. *coop'10*, May 2010, Aix en Provence, France. pp.253-263.
- Dekoninck, E.A., O'Hare, J., Giunta, L., Masclet, C., & Cascini, G. (2018), Exploring ways to speed up the application of metrics to assess co-creative design sessions, *Proceedings of the Fifth International Conference on Design Creativity*, The Design Society, Bath.
- Détienne, F. (2002). *Software design-cognitive aspects*. Ed. Springer, London.
- Détienne, F., Boujut, J.-F., & Hohmann, B. (2004). Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering Design Situation. In F. Darses, R. Dieng, C. Simone, & M. Zacklad (Eds.), *Cooperative systems design* (pp. 83-98). IOS Press.
- Détienne, F., Martin, G., & Lavigne, E. (2005). Viewpoints in co-design: a field study in concurrent engineering. *Design Studies*. Vol. 26, n°3, 2005, p.215-241.
- Détienne, F., Visser, W., & Tabary, R. (2006). Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative, *Psychologie de l'interaction, L'Harmattan*, 2006, Langage et cognition : Contraintes pragmatiques, pp. 283-307.
- Dey, A., Billingham, M., Linderman, R.W., & Swan, J.E. (2018). A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014. *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 5 No. April. <http://doi.org/10.3389/frobt.2018.00037>
- Dinar, M., Shah, J. J., Cagan, J., Leifer, L., Linsey, J., Smith, S. M., & Hernandez, N. V. (2015). Empirical studies of designer thinking: past, present, and future. *Journal of Mechanical Design* 137, 1–13; doi:10.1115/1.4029025.
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1011–1026. <https://doi.org/10.3758/BF03196731>.
- Donovan, J., Heinemann, T., Matthews, B., & Buur, J. (2011). Getting the point: The role of gesture in mapping intersubjectivity in a design activity. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 25:221-235.
- Dorst, K. (2012). The Nature of Design Thinking. *Design Thinking Research Symposium 8* (pp. 131–139).
- Driskell, J. E., & Radtke, P. H. (2003). The effect of gesture on speech production and comprehension. *Human Factors* 45, 3 (2003), 445–454.
- Dunlosky, J., & Metcalfe, J. (2009). *Metacognition*. Beverly Hills, CA: SAGE, 2009.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Bern: Peter Lang.
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R. & Lowe, A. (2002). *Management Research – An Introduction*. London: Sage Publications.
- Eckert, C.M., & Boujut, J.-F. (2003). The Role of Objects in Design Co-Operation: Communication through Physical or Virtual Objects. *Computer Supported Cooperative Work*, 103(3), 239–248. <https://doi.org/10.1023/A>
- Eckert, C.M., & Clarkson, P.J. (2010). Planning development processes for complex products, *Research in Engineering Design*, Vol. 21 No. 3, pp. 153-171. <https://doi.org/10.1007/s00163-009-0079-0>

- Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M., & Christoff, K. (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *NeuroImage*, 59(2), 1783–1794. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.008>.
- Eris, O., Martelaro, N., & Badke-Schaub, P. (2014). A comparative analysis of multimodal communication during design sketching in co-located and distributed environments. *Design Studies*, 35(6), 559–592. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.04.002>
- Extreme Programming: a gentle introduction, <http://www.extremeprogramming.org/>, dernier accès 7 septembre 2009
- Falzon, P. (2005). Ergonomie, conception et développement. *Conférence introductive, 40^{ème} Congrès de la SELF*, Saint-Denis, La Réunion, 21-23 septembre 2005.
- Fibigerova, K., & Guidetti, M. (In Press). Structure of French expression of motion: Gesture-speech relation, between-language comparison and developmental perspective. M. Aurnague; D. Stosic. *The semantics of dynamic space in French: Descriptive, experimental and formal studies on motion expression*, In press. [hal-02155440](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02155440)
- Flavell, J.H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: a new area of cognitive-developmental inquiry. *American psychologist*, 34, p. 906-911.
- Geimer, J.L., Leach, J.D., DeSimone, J.A., Rogelberg, S.G., & Warr, P.B. (2012). Meetings at work: Perceived effectiveness and recommended improvements. *Journal of Business Research*, 68(9), pp.2015–2026.
- Gericke, K., & Blessing, L. (2012). An analysis of design process models across disciplines, *12th International Design Conference, Design 2012*, Cavtat, pp. 171–80 (2012).
- Gericke, K., Maier, A. (2011). Scenarios for coupling Design Thinking with Systematic Engineering Design in NPD. *Proceedings of 1st Cambridge Academic Design Management Conference, Cambridge, 2011*.
- Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2004). The situated function-behaviour-structure framework. *Design Studies*, 25(4), 373–391.
- Gilbert, S.J., Zamenopoulos, T., Alexiou, K. & Johnson, J.H. (2010). Involvement of right dorsolateral prefrontal cortex in ill-structured design cognition: an fMRI study. *Brain Research* 1312,79–88.
- Giunta, L., Ben Guefrech, F., Dekoninck, E., Gopsill, J., O’Hare, J., & Morosi, F. (2019). Investigating the Impact of Spatial Augmented Reality on Communication Between Design Session Participants: A Pilot Study. *Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.203>
- Goel, V., Grafman J. (2000). Role of the right prefrontal cortex in ill-structured planning. *Cognitive Neuropsychology*, 17(5):415-36.
- Goel, V., & Pirolli, P. (1992). The structure of Design Problem Spaces. *Cognitive Science*, 16, 395-429.
- Goel, V., Vartanian, O. (2005). Dissociating the roles of right ventral lateral and dorsal lateral prefrontal cortex in generation and maintenance of hypotheses in set-shift problems. *Cerebral Cortex*, 15 (8), 1170–1177.
- Goldin-Meadow, S., & Alibali, M. W. (2013). *Gesture's role in learning and development*. In P. D. Zelazo (Ed.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of developmental psychology (Vol. 1): Body and mind* (p. 953–973). Oxford University Press.
- Goucher-Lambert, K., Moss, J. & Cagan, J. (2019). A neuroimaging investigation of design ideation with and without inspirational stimuli – understanding the meaning of near and far stimuli. *Design Studies* 60, 1–38; doi:10.1016/J.DESTUD.2018.07.001.

- Greeno, J.G. (1978). Natures of problem-solving abilities, *Handbook of Learning and Cognitive Processes* (Vol. 5, pp. 239-270). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Gronier, G. (2006). *Psychologie ergonomique du travail collectif assisté par ordinateur : l'utilisation du collectif dans les projets de conception de produits*. Thèse de doctorat : mention psychologie spécialité psychologie du travail et ergonomie, Université de Franche-Comté.
- Guérin, J., Riff, J., & Testevuide, S. (2004). Étude de l'activité « située » de collégiens en cours d'EPS, in *Revue française de pédagogie*, n° 147.
- Häggman, A., Tsai, G., Elsen, C., Honda, T., & Yang, M.C. (2015). Connections Between the Design Tool, Design Attributes, and User Preferences in Early Stage Design. *Journal of Mechanical Design* 137 (7): 071408. doi:10.1115/1.4030181.
- Hallgrímsson, B. (2012). *Prototyping and Modelmaking for Product Design*. London: Laurence King Publishing.
- Hannah, R., Joshi, S., & Summers, J.D. (2012). A User Study of Interpretability of Engineering Design Representations. *Journal of Engineering Design* 23: 443–468. doi:10.1080/09544828.2011.615302.
- Harkki, T., Seitamaa-Hakkarainen, P., & Hakkarainen, K. (2018). Hands on design: Comparing the use of sketching and gesturing in collaborative designing. *Journal of Design Research*, 16(1), 24-46.
- Hay, L., Cash, P., & McKilligan, S. (2020). The future of design cognition analysis. *Design Science*, 6(20), 1-26.
- Hay, L., Duffy, A. H. B., Gilbert, S. J., Lyall, L., Campbell, G., Coyle, D. & Grealy, M. A. (2019). The neural correlates of ideation in product design engineering practitioners. *Design Science*.
- Hay, L., Duffy, A. H. B., McTeague, C., Pidgeon, L. M., Vuletic, T., & Grealy, M. (2017). Towards a shared ontology: a generic classification of cognitive processes in conceptual design. *Design Science* 3, 1–42; doi:10.1017/dsj.2017.6.
- Heiser, J., Tversky, B., & Silverman, M. (2004). Sketches for and from collaboration. In *Visual and Spatial Reasoning in Design III*, ed. J.S. Gero, B. Tversky, and T. Knight, 69–78. Sydney: Key Centre for Design Research.
- Herbsleb, J. D., Klein, H., Olson, G. M., Brunner, H., Olson, J. S., & Harding, J. (1995). Object-oriented analysis and design in software project teams In F Détienne and R Rist (eds) *Special issue on empirical studies of object-oriented design. Human-Computer Interaction* Vol 10. N°2 & 3 (1995) pp 249-292.
- Howard, T.J., Culley, S.J., & Dekoninck, E. (2008). Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29(2):160–180.
- Hudson, S. E., & Mankoff, J. (2006). Rapid Construction of Functioning Physical Interfaces from Cardboard, Thumbtacks, Tin Foil and Masking Tape. In *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software Technology*, 289–298. New York, NY: ACM. doi:10.1145/1166253.1166299.
- Huysentruyt, J., Lespinet-Najib, V., & Chen, D. (2012). A model of cognitive activities in design. *Proceedings of 9th International Conference on Modeling, Optimization*. Bordeaux, France.
- Irlitti, A., & von Itzstein, S. (2013). Validating constraint driven design techniques in spatial augmented reality. *Proceedings of the Fourteenth Australasian User Interface Conference, AUIC*, Vol. 139, pp. 63–72.
- Iverson, J.M., & Goldin-Meadow, S. (2005). Gesture paves the way for language development. *Psychological Science*, 16, 368-37.

- Jeantet, A. (1998). Les objets intermédiaires dans la conception. Éléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie Du Travail*, 40(3), 291–316.
- Kan, H.Y., Duffy, V.G., & Su, C.J. (2001). An Internet virtual reality collaborative environment for effective product design. *Computers in Industry*, 45(2), pp. 197-213.
- Kannengiesser, U., & Gero, J. S. (2019). Design thinking, fast and slow: A framework for Kahneman's dual-system theory in design. *Design Science*, 5, 1-21.
- Karakaya, A.F., & Demirkan, H. (2015). Collaborative digital environments to enhance the creativity of designers. *Computer Human Behaviour* 42:176–186.
- Kavakli, M., & Gero, J. S. (2001). Sketching as mental imagery processing. *Design Studies*, 22(4), 347-364.
- Kendon, A. (1994). Do gestures communicate? A review. *Research on Language and Social Interaction*, 27(3), 175–200. https://doi.org/10.1207/s15327973rlsi2703_2
- Khan, S., Tuncer, B., Subramanian, R., & Blessing, L. (2019). 3D CAD modeling using gestures and speech: Investigating CAD legacy and non-legacy procedures. *CAAD Futures 2019 proceedings*, Daejeon, South Korea, 624-643.
- Kirk, E., & Lewis, C. (2017). Gesture Facilitates Children's Creative Thinking. *Psychological Science*, 28(2):225-232. doi:[10.1177/0956797616679183](https://doi.org/10.1177/0956797616679183)
- Klein Meyer, J-S., Cabannes, G., Khoury, I., Lafon, P., Troussier, N., Gidel, T., & Roucoules, L. (2007). Optimisation et robustesse pour la prise de décision dans un contexte de conception intégrée et collaborative, 18^{ème} Congrès Français de Mécanique, Grenoble, 27-31 août 2007.
- Kong, A.P.-H., Law, S.-P., Kwan, C.C.-Y., Lai, C., Lam, V. (2015). A coding system with independent annotations of gesture forms and functions during verbal communication: Development of a database of speech and gesture (DoSaGE). *Journal of nonverbal behavior* 39 (1), 93-111.
- Kowatari, Y., Lee, S. H., Yamamura, H., Nagamori, Y., Levy, P., Yamane, S., & Yamamoto, M. (2009). Neural networks involved in artistic creativity. *Human Brain Mapping*, 30(5), 1678–1690. <https://doi.org/10.1002/hbm.20633>.
- Lazar, L. (2018). The cognitive neuroscience of design creativity. *Journal of Experimental Neuroscience*, 12, 1–6.
- Leach, D.J., Rogelberg, S.G., Warr, P.B., & Burnfield, J.L. (2009). Perceived meeting effectiveness: the role of design characteristics, *Journal of Business and Psychology*, Vol. 24 No. 1, pp. 65-76.
- Lim, Y.-K., Pangam, A., Periyasami, S., and Aneja, S. (2006). Comparative Analysis of High- and Low-Fidelity Prototypes for More Valid Usability Evaluations of Mobile Devices. In *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-Computer Interaction Changing Roles - NordiCHI '06*, 291–300. New York, NY: ACM. doi:10.1145/1182475.1182506.
- Lim, Y.-K., Stolterman, E., & Tenenber, J. (2008). The Anatomy of Prototypes: Prototypes as Filters, Prototypes as Manifestations of Design Ideas. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 15: 1–27. doi:10.1145/1375761.1375762.
- Liu, L., Li, Y., Xiong, Y., Cao, J. & Yuan, P. (2018). An EEG study of the relationship between design problem statements and cognitive behaviors during conceptual design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 32, 351–362; doi:10.1017/S0890060417000683.
- Lockner, D., & Bonnardel, N. (2014). Emotion and Interface Design: How web design may elicit positive user affect? In *proceedings of the 5th International Conference on KEER'2014 _ Kaisei Engineering & Emotion Research*, Linköping University, Sweden 2014.

- Luck, R. (2014). Seeing architecture in action: Designing, evoking, and depicting space and form in embodied interaction. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, 2(3), 165-181.
- McNeill, D. (1985). So you think gestures are nonverbal? *Psychological review*, Vol. 92 No. 3, pp. 350-371. doi:10.1037/0033-295X.92.3.350
- McNeill, D. (1992), *Hand and Mind: What gestures reveal about thought*, University of Chicago Press, Chicago.
- McNeill, D. (2005). *Gesture and thought*. Chicago: University of Chicago Press.
- Marshall, P., Fleck, R., Harris, A., Rick, J., Hornecker, E., Rogers, Y., Yuill, N., & Dalton, N.S. (2009). Fighting for control: Children's embodied interactions when using physical and digital representations. In *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, 2009, pp. 2149–2152. doi: 10.1145/1518701.1519027
- Masclat, C., Poulin. M., Boujut. J-F., Becattini. N. (2020). Real-time coding method and tool for artefact-centric interaction analysis in co-design situations assisted by augmented reality. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Springer Verlag, 2020, doi:10.1007/s12008-020-00683-8.
- Menk, C., & Koch, R. (2013). Truthful Color Reproduction in Spatial Augmented Reality Applications. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19 (2): 236–248. doi:10.1109/TVCG.2012.146.
- Meredith, J. (1993). Theory building through conceptual methods. *International Journal of Operations and Production Management*, 13(5), pp. 3–11.
- Meunier, J.M. (2009). *Mémoires, représentations et traitements*. Dunod. Paris
- Mewburn, I. B. (2009). *Constructing Bodies: Gesture, Speech and Representation at Work in Architectural Design Studios*, The University of Melbourne.
- Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D., & Miguet, F. (2017). Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education. *17th International Conference, CAAD Futures 2017*.
- Murphy, K. M. (2005). Collaborative imagining: The interactive use of gestures, talk, and graphic representation in architectural practice. *Semiotica*, 2005(156), 113–145.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Nguyen, P., Nguyen, T. A. & Zeng, Y. (2018). Empirical approaches to quantifying effort, fatigue and concentration in the conceptual design process. *Research in Engineering Design* 29, 393–409; doi:10.1007/s00163-017-0273-4.
- Nguyen-Xuan, A. (1990). Conscience, prise de conscience et métacognition. In JF Richard et al. ed. *Traité de psychologie Cognitive. 2 Le traitement de l'information symbolique*, Paris Dunod, p.210-217.
- Nixon, C.T., & Littlepage, G.E. (1992). Impact of meeting procedures on meeting effectiveness. *Journal of Business and Psychology*, 6(3), pp.361–369.
- Norman, D. A. (1993). Les artefacts cognitifs. *Raisons pratiques*, 4, 15-34 (édition originale : Cognitive artifacts. In J. M. Carroll (1991) (Ed.), *Designing interaction: Psychology of the human-computer interface*. New York: Cambridge University Press).
- O'Hare, J., Dekoninck, E. A, Giunta, L., Boujut, J.-F., & Becattini, N. (2018). Exploring the performance of augmented reality technologies in co-creative sessions: initial results from controlled experiments. In *DS92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (pp. 405-416). Design Society, Glasgow.

- O'Hare, J., Dekoninck E.A., Mombeshora, M. & Cascini, G. (2016). Developing metrics to assess technology enabled creative co-design sessions. *Proceedings of the 4th International Conference on Design Creativity (ICDC)*, The Design Society, Glasgow.
- O'Hare, J., Mombeshora, M., Varvatis, C., Ben-Guefrache, F., Masclat, C., Prudhomme, G., Martens, P. & Becattini, N. (2016). Results from the Experimental activities and presentation of the research metrics framework. [Online] SPARK Project. Available at: <http://spark-project.net/wp-deliverables>.
- O'Hare, J., Dekoninck, E. A., Mombeshora, M., Martens, P., Becattini, N., & Boujut, J.-F. (2018). Defining requirements for an Augmented Reality system to overcome the challenges of creating and using design representations in co-design sessions. *CoDesign*.
- Olson, I.C., Atrash Leong, Z., Wilensky, U., & Horn, M.S. (2011). "It's just a toolbar!" using tangibles to help children manage conflict around a multi-touch tabletop. *In Proceedings of the 5th International Conference of Tangible Embedded and Embodied Interaction*. New York: ACM, 2011, pp. 29–36. doi: 10.1145/1935701.1935709
- Olson, G. M., Olson, J. S., Carter, M. R., & Storrosten, M. (1992). Small Group Design Meetings: An Analysis of Collaboration. *Human-Computer Interaction Vol 7*. (1992) pp 347-374.
- Olson, G. M., Olson, J. S., Storrotsen, M., Carter, M., Herbsleb, J., & Rueter, H. (1996). The structure of activity during design meetings. In T.P. Moran, and J.M. Carroll (eds) *Design rationale: concepts, techniques and uses* Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Oviatt, S.L. (1999). Ten myths of multimodal interaction. *Communications of the ACM*, 42(11), 74-81.
- Oxman, R. (1997). Design by re-representation: A model of visual reasoning in design. *Design Studies*, 18(4), 329-347.
- Özçelik Buskermolen, D., & Terken. J. M. B. (2012). The Use of Design Representations for Design Communication: Insights from Practice. In *DS 70: Proceedings of DESIGN 2012, the 12th International Design Conference*, edited by D. Özçelik Buskermolen and J. M. B. Terken, 1535–1544. Glasgow: Design Society.
- Pahl, G., & Beitz, W. (1984). *Engineering Design: A Systematic Approach*, 1st Ed., Design Council and Springer London; translated and edited by K.M. Wallace.
- Park, M.K., Lim, K.J., Seo, M.K., Jung, S.J., & Lee, K.H. (2015). Spatial augmented reality for product appearance design evaluation. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(1), 38–46. doi:10.1016/j.jcde.2014.11.004
- Park, H., & Moon, H.C. (2013). Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction. *Computers in Industry*, Vol. 64 No. 7, pp. 854–868. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.05.006>
- Pei, E., Campbell, R. I., & Evans, M. A. (2011). A Taxonomic classification of visual design representations used by industrial designers. *The Design Journal*, 14(1), 64-91.
- Plattner, H. (2010). *An Introduction to Design Thinking Process Guide*. The Institute of Design at Stanford.
- Porter, S.R., Marner, M., Smith, R., Zucco, J., & Thomas, B. (2010). Validating spatial augmented reality for interactive rapid prototyping. *Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2010: Science and Technology*, IEEE, pp. 265–266. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2010.5643599>
- Poulhalec, M. (2017). *12 outils pour capter l'attention des enfants*. Jouvence.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies*. Paris: Armand Colin.

- Raskar, R., Welch, G. & Fuchs, H. (1998). Spatially augmented reality, *In Proceeding of the First IEEE Workshop on Augmented Reality*, Vol. 1998 No. November 1, San Francisco, CA, pp. 63-72.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. New York: North Holland.
- Rauscher, F.H., Krauss, R.M., & Chen, Y. (1996). Gesture, speech, and lexical access: The role of lexical movements in speech production. *Psychological Science*, 7(4):226–231.
- Ria, L. (2008). Ergonomie du travail enseignant. In A. van Zanten (Ed.), *Dictionnaire de l'éducation*, PUF, (pp. 282-284). <hal-00804078>
- Rittel, H. W. J. (1987). The Reasoning of designers (Working paper A-88-4). *International Congress on Planning and Design Theory*. G. Nadler. Boston, Massachusetts: 1-9.
- Robertson, B. F., & Radcliffe, D.F. (2009). Impact of CAD Tools on Creative Problem Solving in Engineering Design. *Computer-Aided Design* 41 (3): 136–146. doi:10.1016/j.cad.2008.06.007.
- Rozencajg, P. (2003). Metacognitive factors in scientific problem-solving strategies. *European journal of Psychology of Education*, 18, 3, p. 281-294.
- Ruiz-dominguez, G. A. (2008). *Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance: Etude des effets de synchronisation cognitive*. Thèse de doctorat : INP, Grenoble.
- Sagot, J. C., Gomes, S., & Zwolinski, P. (1998). Vers une ergonomie de conception: gage de sécurité et d'innovation. *International Journal of Design and Innovation Research*, 1 (2), 22-35.
- Sanders, E.B.-N., & Stappers, P.J. (2014). Probes, toolkits and prototypes: three approaches to making in codesigning. *CoDesign*, Vol. 10 No. 1, pp. 5–14. <https://doi.org/10.1080/15710882.2014.888183>
- Schwaber, K. (2009). Scrum Guide, SCRUM alliance, http://www.scrumalliance.org/resource_download/598, dernier accès 13 juillet 2009.
- Shealy, T. & Gero, J. (2019). The neurocognition of three engineering concept generation techniques. *Proceedings of the Design Society International Conference on Engineering Design*, Vol. 1, no. 1, Cambridge University Press; 1, pp. 1833–1842; doi:10.1017/dsi.2019.189.
- Shen, Y, Ong, S.K., & Nee, A.Y.C. (2010) Augmented reality for collaborative product design and development. *Design Studies* 31(2):118–145.
- Simon, H. A. (1969/1996). *The sciences of the artificial* (3rd, rev. ed. 1996; Orig. ed. 1969; 2nd, rev. ed.1981) (3rd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Simon, H. A. (1995) Problem forming, problem finding and problem solving in design. In A. Collen & W. Gasparski (Eds.), *Design & Systems* (pp. 245-257). New Brunswick: Transaction Publishers.
- Sio, U. N., Kotovsky, K., & Cagan, J. (2015). Fixation or inspiration? A meta-analytic review of the role of examples on design processes. *Design Studies* 39, 70–99; doi:10.1016/j.destud.2015.04.004.
- Stacey, M., & Eckert, C. (2003). Against ambiguity. *Computer Supported Cooperative Work*, Vol. 12 No. 2, pp. 153–183. <https://doi.org/10.1023/A:1023924110279>
- Streeck, J. (2008). Depicting by gesture. *Gesture*, 8(3), 285–301. doi:10.1075/gest.8.3.02str.
- Stempfle, J. & Badke-Schaub, P. (2002). Thinking in design teams – an analysis of team communication. *Design Studies*, 23(5), 473–496. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(02\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00004-2)
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385-403.
- Sy, D. (2007). Adapting Usability Investigations for Agile User-centered Design, *Journal of usability Studies*, Vol. 2, Issue 3, May 2007.

- Tang, J. (1991). Findings from observational studies of collaborative work. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 34 No. 2, pp. 143-160. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002073739190039A>
- Tarricone, P. (2001). *The taxonomy of metacognition*. New York, Ed. Taylor and Francis Group, collection Psychology Press.
- Theureau, J. (2004). L'hypothèse de la cognition (ou action) située et la tradition d'analyse du travail de l'ergonomie de langue française. *Activités*, Vol. 1, n° 2. DOI : [10.4000/activites.1219](https://doi.org/10.4000/activites.1219)
- Theureau, J., & Jeffroy, F. (1994). *Ergonomie des situations informatisées: La conception centrée sur le cours d'action des utilisateurs*, Toulouse, Octarès Éditions, 336 p.
- Thoring, K. & Müller, R.M. (2011). Understanding the creative mechanisms of design thinking: An evolutionary approach. In: *DESIRE'11-Creativity and Innovation in Design*. Eindhoven: ACM Press.
- Tulving, E. (1995). Organisation of memory: quo vadis? In M.S. Gazzaniga Ed, *The cognitive neurosciences*, Cambridge, Mass: MIT Press, p. 839-847.
- Van Der Lugt R. (2001). Developing brain sketching, a graphic tool for generating ideas. Idea Safari, *7th European Conference on Creativity and Innovation*, University of Twente, The Netherlands.
- Van Der Lugt, R. (2005). How Sketching can Affect the Idea Generation Process in Design Group Meetings. *Design Studies* 26: 101–112. doi:10.1016/j.destud.2004.08.003.
- Verlinden, J. C. (2014). *Developing an Interactive Augmented Prototyping Methodology to Support Design Reviews*. Doctoral thesis. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:253876ef-b158-4aa1-b39a-7d35fd76f753/?collection=research>.
- Vinck, D. (1999). Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. *Revue Française de Sociologie*, XL(2), 385-414.
- Vinck, D., & Jeantet, A. (1995). Mediating and Commissioning Objects in the Sociotechnical Process of Product Design: a conceptual approach. *Designs, Networks and Strategies*, (August), 111–129.
- Visser, W. (2006). Designing as construction of representations: A dynamic viewpoint in cognitive design research. *Human-Computer Interaction, Special Issue « Foundations of Design in HCI »*, 21 (1), 103-152.
- Visser, W. (2006). *The cognitive artifacts of designing*. Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Visser, W. (2009). Form and function of gestures in an architectural design meeting. In J. McDonnell & P. Lloyd (Eds.), *About Designing: Analysing Design Meetings* (pp. 269–284). London, UK: Taylor & Francis.
- Visser, W. (2010). Function and form of gestures in a collaborative design meeting. In S. Kopp & I Wachsmuth (Eds.), *Gesture in embodied communication and human-computer interaction. 8th International Gesture Workshop, GW 2009. Bielefeld, Germany, February 25-27, 2009. Revised selected paper (Vol. LNCS 5934/2010)* (pp.61-72). Heidelberg: Springer.
- Visser, W., & Maher, M. L. (2011). The role of gesture in designing. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 25(3), 213–220. <https://doi.org/10.1017/S0890060411000047>
- Vuletic, T., Duffy, A., Hay, L., McTeague, C. P., Campbell, G., Choo, P. L., & Grealy, M. (2018). Natural and intuitive gesture interaction for 3D object manipulation in conceptual design. 103-114. In: *15th International Design Conference*, May 2018. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0321>

- Ware, C., & Rose, J. (1999). Rotating virtual objects with real handles. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 6(2), 162–180.
- Watkins, K.E., Strafella, A.P., & Paus, T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*, 41:989–994.
- Wolff, P., & Gutstein, J. (1972). Effects of induced motor gestures on vocal output. *Journal of Communication*, 22(3), 277–288. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1972.tb00153.x>
- Wynn, D.C. & Clarkson, P.J. (2018). Process models in design and development, *Research in Engineering Design*, Vol. 29 No. 2, pp. 161-202. <https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7>
- Wysocki, R.K. (2011). *Effective project management: traditional, agile, extreme*. John Wiley & Sons.
- Yilmaz, S., Daly, S. R., Christian, J. L., Seifert, C. M., & Gonzalez, R. (2014). Can experienced designers learn from new tools? A case study of idea generation in a professional engineering team. *International Journal of Design Creativity and Innovation* 2, 82–96; doi:10.1080/21650349.2013.832016.
- Yilmaz, S., & Seifert, C. M. (2011). Creativity through design heuristics: A case study of expert product design. *Design Studies* 32, 384–415; doi:10.1016/J.DESTUD.2011.01.003.

Table des illustrations

TABLEAUX

Tableau 1: Les douze principes fondamentaux des méthodes agiles (Bricogne-Cuignières, 2015).....	37
Tableau 2: Catégories de modes, actions et arguments définis dans la méthode COMET (Darses et al., 2001).....	39
Tableau 3: Classification des activités, sujets et attributs de D'Astous et al. (2004).....	40
Tableau 4: Définition des activités du coding scheme de D'Astous et al. (2004)	40
Tableau 5: Classification des gestes proposées dans la littérature	47
Tableau 6:Résumé des mesures faites lors du projet SPARK (O'Hare et al., 2016).....	56
Tableau 7: Tests de fiabilité inter-codeurs initiaux	82
Tableau 8: Interprétation des scores du Cohen's Kappa (acceptable à partir de 0.61)	82
Tableau 9: Tests de fiabilité inter-codeurs de la seconde phase expérimentale	83
Tableau 10: Synthèse de présentation des observations	93
Tableau 11: Hypothèses théoriques et opérationnelles de la phase d'observation.....	97
Tableau 12: Répartition des occurrences clients vs designers et test statistique	97
Tableau 13: Significativité des interventions clients / designers selon la condition expérimentale.....	98
Tableau 14: Répartition des activités cognitives dans les sessions Standard	99
Tableau 15: Répartition des activités cognitives dans les sessions SAR.....	100
Tableau 16: Effet de la condition expérimentale sur les activités cognitives dans la phase d'observation	101
Tableau 17: Répartition des arguments dans les sessions Standard	103
Tableau 18: Répartition des arguments dans les sessions SAR.....	104
Tableau 19: Effet de la condition expérimentale sur les arguments dans la phase d'observation.....	105
Tableau 20: Répartition des gestes dans les sessions Standard	107
Tableau 21: Répartition des gestes dans les sessions SAR	108
Tableau 22: Effet de la condition expérimentale sur les gestes réalisés dans la phase d'observation. 109	
Tableau 23: Test t de Student vérifiant l'augmentation d'interactions avec l'artefact mixte.....	112
Tableau 24: Tableau de contingence présentant l'effet de la plateforme SPARK sur les activités ACC ; EVAL ; GEN et REJ	113
Tableau 25:Résultats du χ^2 résiduel réalisé entre les activités ACC ; EVAL ; GEN ; REJ et la condition dans la phase d'observation	114
Tableau 26: Tableau de contingence présentant l'effet de la plateforme SPARK sur l'argument PC. 114	
Tableau 27: Résultats du χ^2 résiduel réalisé entre l'argument PC et la condition dans la phase d'observation.....	114
Tableau 28: Tableau de corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions Standard 115	
Tableau 29: Tableau de corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions SAR.....	115
Tableau 30: Distribution des groupes et des conditions	133
Tableau 31: Corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions Standard.....	140
Tableau 32: Corrélation des gestes et des activités cognitives dans les sessions SAR	140
Tableau 33: Corrélation des gestes et des arguments en condition Standard	142
Tableau 34: Corrélation des gestes et des arguments en condition SAR	142
Tableau 35: Corrélation des activités cognitives et des arguments en condition Standard	144
Tableau 36: Corrélation des activités cognitives et des arguments en condition SAR	145
Tableau 37: Distribution des interactions selon le type d'acteur	147

Tableau 38: Distribution des interactions selon le rôle du sujet et la condition expérimentale	147
Tableau 39: Corrélation du type d'acteur et de la condition expérimentale	147
Tableau 40 (a et b): Distribution des différentes modalités d'activités cognitives en condition Standard (a) et SAR (b)	149
Tableau 41: Résultats du χ^2 d'indépendance et répartition des activités cognitives selon la condition expérimentale	150
Tableau 42: Corrélation des activités cognitives avec la condition expérimentale	150
Tableau 43: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des activités cognitives selon le rôle de l'acteur	151
Tableau 44 (a et b): Proportion des différentes modalités d'arguments en condition Standard (a) et SAR (b)	152
Tableau 45: Corrélation des arguments avec la condition expérimentale	152
Tableaux 46 (a et b): Proportion de gestes en condition Standard (a) et en condition SAR (b).....	154
Tableau 47: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des gestes selon la condition expérimentale	155
Tableau 48: Corrélation des gestes avec la condition expérimentale	155
Tableau 49: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des gestes selon le rôle de l'acteur	156
Tableau 50: Dimensions et indicateurs constituant le questionnaire de la designer.....	164
Tableau 51: Score de l'alpha de Cronbach pour le questionnaire de la designer.....	164
Tableau 52: Résultats descriptifs des questionnaires de la designer	165
Tableau 53: Résultats des tests du χ^2 mesurant l'effet de la condition sur les indicateurs du questionnaire de la designer	166
Tableau 54: Dimensions et indicateurs constituant le questionnaire des utilisateurs	167
Tableau 55: Score de l'alpha de Cronbach pour le questionnaire des utilisateurs	168
Tableau 56: Résultats descriptifs des questionnaires des utilisateurs.....	169
Tableau 57: Résultats des tests du χ^2 mesurant l'effet de la condition sur les indicateurs du questionnaire des utilisateurs.....	170
Tableau 58: Extrait d'une séance en condition standard montrant le lien entre Simulation et gestes iconiques.....	175
Tableau 59: Extrait d'une séance en condition SAR montrant le lien entre Simulation et gestes iconiques.....	175
Tableau 60: Extrait d'une séance de co-conception montrant le lien entre la génération d'idées et le geste centré artefact	177
Tableau 61: Illustration des effectifs observés et attendus sur le test du χ^2 d'indépendance	212
Tableau 62: Test du χ^2 mesurant l'effet d'ordre des conditions expérimentales	216
Tableau 63: Vérification de la similarité des sessions menées sur le terrain et en laboratoire.....	216
Tableau 64: Tableau de contingence et test du χ^2 entre les activités cognitives et le rôle de l'acteur .	217
Tableau 65: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des arguments selon la condition expérimentale	218
Tableau 66: χ^2 résiduel de Pearson montrant la corrélation des arguments avec le type de condition	218
Tableau 67: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des gestes selon le rôle de l'acteur	219
Tableau 68: Réponses brutes données par la designer aux questionnaires.....	222
Tableau 69: Réponses brutes données par les utilisateurs aux questionnaires	223

FIGURES

Figure 1: Les thématiques de recherche du laboratoire G-SCOP.....	12
Figure 2: Disciplines rencontrées dans l'étude des interactions entre concepteurs	13
Figure 3: Chronologie des travaux issus du projet SPARK au sein du laboratoire G-SCOP.....	19
Figure 4: Structure du document.....	25
Figure 5: Modèle de base en quatre étapes du processus de conception (Cross, 2000)	31
Figure 6: Modèle prescriptif du processus de conception selon Pahl & Beitz (1984)	32
Figure 7: Comparaison des modèles du processus de conception (Gericke & Blessing, 2012).....	33
Figure 8: Modèle en Double Diamant par The Design Council.....	34
Figure 9: Le processus de Design Thinking (Plattner, 2010).....	36
Figure 10: Représentation des activités constitutives de la synchronisation cognitive	42
Figure 11: Régions corticales du cerveau humain.....	45
Figure 12: Notion de représentation de conception et de ressource externe (O'Hare et al., 2016).....	48
Figure 13: Catégorisation des technologies AR (Bimber & Raskar, 2005)	52
Figure 14: (a) Objet physique vierge (b) Objet physique avec sa projection graphique	53
Figure 15: L'interface SPARK sur la tablette et son prototype SAR.....	55
Figure 16: Type de sessions et d'activités qui peuvent être menées avec la plateforme SPARK (O'Hare et al., 2016).....	57
Figure 17: Représentation des étapes impliquant différents partenaires aux diverses compétences.....	59
Figure 18: Modèle du processus de conception de l'agence Stimulo	60
Figure 19: Processus de conception de l'agence Stimulo présentée temporellement	61
Figure 20: Plaquette de présentation de l'étape d'ID Definition fournie par l'agence Stimulo.....	62
Figure 21: Représentation du déroulement de notre état-de-l'art avec les liens entre ses thématiques .	63
Figure 22: Synthèse des objectifs de recherche poursuivis	67
Figure 23: Périmètre de la thèse	68
Figure 24: Synthèse des méthodes d'analyse utilisées dans cette étude	73
Figure 25: Cadre d'analyse des interactions gestuelles.....	74
Figure 26: Classification des gestes	76
Figure 27: Classification des activités cognitives de conception	78
Figure 28: Segmentation du protocole verbal	84
Figure 29: L'appareil de géolocalisation Viuhu.....	90
Figure 30: Le barbecue Fervor	90
Figure 31: ESTELL	91
Figure 32: LISN.....	92
Figure 33: NEOSONIC	92
Figure 34 : Disposition de la salle accueillant les sessions Standard A et B.....	94
Figure 35: Disposition de la salle accueillant les sessions Standard C et SAR A.....	94
Figure 36: Disposition de la salle accueillant les sessions SAR B et C	95
Figure 37: Proportion d'activités cognitives selon le rôle de l'acteur et la condition	102
Figure 38: Proportion d'arguments selon le rôle de l'acteur et la condition.....	105
Figure 39: Proportion de gestes selon le rôle de l'acteur et la condition	110
Figure 40 a et b: Pourcentage d'interactions avec l'objet tangible (a) et avec l'objet mixte (b).....	112
Figure 41: Variables étudiées dans les études de cas en laboratoire	130
Figure 42: Procédure expérimentale et collecte des données	135
Figure 43: Configuration de la salle expérimentale.....	136
Figure 44: Distribution des activités cognitives selon les observations en entreprise ou en laboratoire	139
Figure 45: Proportion d'activités cognitives selon le rôle de l'acteur et le type de condition.....	151

Figure 46: Proportion de gestes selon le rôle de l'acteur et le type de condition.....	156
Figure 47: Synthèse des corrélations positives de gestes, d'activités cognitives et d'arguments.....	174
Figure 48: Illustration d'un geste centré artefact lors de la génération d'une idée.....	177
Figure 49: Synthèse des corrélations négatives de gestes, d'activités cognitives et d'arguments.....	179
Figure 50: Synthèse de l'influence des conditions de conception sur les gestes, les activités cognitives et les arguments.....	181
Figure 51: Interface d'Observer pour le codage des acteurs (à gauche) et des gestes (à droite).....	185
Figure 52: Variables utilisées dans un test du χ^2 Goodness of fit.....	211
Figure 53: Variables utilisées dans un test du χ^2 d'indépendance.....	212

Annexes

Sommaire

Annexe 1 : Accord de participation aux observations

Annexe 2 : Outils statistiques

Annexe 3 : Formulaire de consentement des expérimentations en laboratoire

Annexe 4 : Résultats des expérimentations en laboratoire

Annexe 5 : Questionnaires de la designer et des utilisateurs

Annexe 1

Cet accord de participation est issu du livrable D1.2 du projet SPARK H2020

INFORMED CONSENT TO PARTICIPATE IN A RESEARCH PROJECT STUDY

Research project Title: SPARK - Spatial Augmented Reality as a Key for co-creativity

Project Coordinator: Gaetano Cascini

Person in charge of conducting the studies: [It will change according to the tests and the people involved] Clémentine Varvatis

PURPOSE OF THE STUDY

You have been asked to participate as a subject in a research project study about the creativity and the use of Spatial Augmented Reality for increasing the creativity in design collaborative sessions. In particular this study will focus on the analysis of interactions during co-creative session with clients. More precisely our aim is to characterize and evaluate the types of interactions the participants have with physical or digital artefacts in co-creative sessions.

You have been asked because you are at least 18 years of age and a designer/ a customer of a design studio/a design/engineering student at Politecnico di Milano / a possible user of the SPARK platform.

Please note also that the final aim of the project is to commercially exploit the SPARK platform.

PROCEDURES

If you choose to participate in this project, you will be asked to perform a task possibly involving the use of Spatial Augmented Reality technologies related to co-creation and decision making.

The procedure will include the recording of co-creative design sessions where you are involved as a participant in your natural working environment.

During the post-test session, which will last 20 minutes, you will be debriefed and qualitative data about your preference for the human-machine interface and impression will be collected.

RISKS AND DISCOMFORTS

The risks to you as a participant in this study are not greater than what would be encountered in everyday life. There is however a risk of discomfort due to the presence of cameras and microphones.

BENEFITS

There are no direct benefits to you as an individual. However, your participation will help with the contribution of knowledge to the society and the scientific community; knowledge deriving from the testing results will be useful for designing better the SPARK platform so as to improve its impact on creativity.

COMPENSATION OR COSTS TO STUDY PARTICIPANTS

Refreshments in the form of snacks will be provided at the end of the test session to show our appreciation to you for volunteering for the study. You are free to decide whether or not to take it. The study is free and voluntary; therefore, there will be no cost involved in participating. Also, the study involves no risks for injury; therefore, there will be no compensation for injury.

CONFIDENTIALITY

All information collected in this test will be kept completely confidential to the extent permitted by law. Efforts, such as coding of research records, keeping research records securely on a password protected computer information system, and allowing only authorized people to have access to research records, will be made to keep your information safe. A report of general and combined results from several participants in this project will be prepared, and may be submitted to a professional publication or conference at a later time. The data used for publication will be strictly anonymized. All information obtained during this study by which you could be identified will be held in strict confidence, and kept for five years after the study.

INCIDENTAL FINDINGS

In general, ***Incidental findings*** are previously undiagnosed medical or psychiatric conditions that are discovered unintentionally and are unrelated to the aims for which the tests are being performed. The Consortium has as primary purpose to respect participant's integrity, autonomy and rights and to act in the respect of the best interest of the participants involved in the tests. Therefore, The Consortium will ask you to decide and declare in the following if you want to be informed or not about possible incidental findings related to yourself.

QUESTIONS ABOUT THE STUDY

If you have any questions about your involvement in this project, you may directly ask the person in charge of conducting the test or the project coordinator, Prof. Gaetano Cascini, at the following e-mail address: gaetano.cascini@polimi.it

VOLUNTARY PARTICIPATION/WITHDRAWAL

Your participation is voluntary, and you may end your participation at any time. Refusing to participate or leaving the study at a later time will not result in any penalty or loss of benefits to which you are entitled. Your grade, record, academic standing, or relationship with the University will not be affected if you choose not to participate or withdraw.

Each person participating in the study will be asked to complete the following:

- | | Y | N |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1. Have you read the information sheet? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Have you had the opportunity to ask for more information about the study? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Are you happy with the answers to any questions you had, if any? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Do you understand that you are free to withdraw from the study at any time? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Do you agree to take part in this study? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. In the remote possibility that incidental findings will be discovered, would you like to be informed? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Signed (Participant).....

Print Name (Participant).....

Date.....

Annexe 2

Tout au long de ce travail de recherche, nous employons plusieurs types de tests statistiques :

- Le test du χ^2 Goodness of fit

Ce test permet de calculer s'il existe une différence entre deux modalités d'une seule variable. Par exemple, si nous souhaitons savoir si les designers interagissent significativement plus que les clients (ou utilisateurs finaux), nous allons prendre la variable *Actor* ainsi que les effectifs associés aux modalités *Designer* et *Client*.

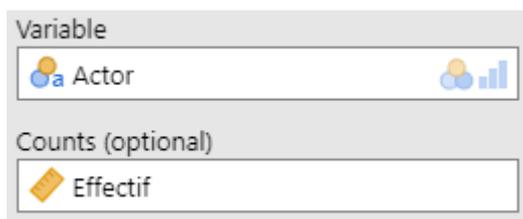


Figure 52: Variables utilisées dans un test du χ^2 Goodness of fit

Nous procédons à la validation ou au rejet de l'hypothèse nulle qui est :

H0 : Les clients et les designers interagissent de manière équivalente. Interactions Clients = Interactions Designer

Sous l'hypothèse H0, nous rejetons cette hypothèse si la p.value < 0.05. La p.value est la probabilité donnée sous l'hypothèse nulle d'obtenir la même valeur ou une valeur encore plus extrême que celle observée. Autrement dit, la p.value est utilisée comme une mesure considérant à quel point les données plaident contre l'hypothèse nulle.

Ainsi, si la valeur du p est inférieur à 0.05 à ce test, nous pouvons conclure qu'il y a une différence significative du nombre d'interactions faites par les clients et par les designers. De plus, le tableau de contingence nous indique de quel type d'acteur interagit le plus.

- Le test du χ^2 d'indépendance

Le test du χ^2 d'indépendance est le même que celui du Goodness of fit sauf que les variables sont au nombre de deux cette fois ci.

Par exemple, si nous souhaitons savoir dans quelle condition expérimentale les clients interagissent le plus, nous devons utiliser les variables *Actor*, *Condition* ainsi que les effectifs.

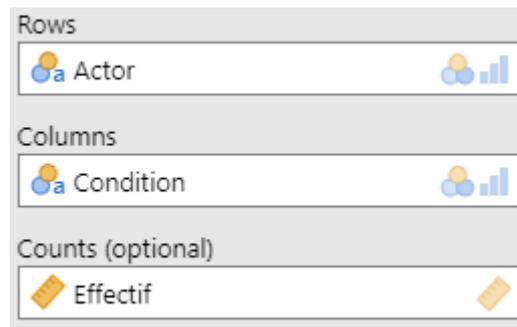


Figure 53: Variables utilisées dans un test du χ^2 d'indépendance

Sous H_0 , si la p.value est supérieure à 0.05 alors cela signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre le nombre d'occurrence des acteurs selon la condition expérimentale. La condition Standard ou SAR n'aurait donc pas d'effet.

Lorsque nous obtenons les tableaux de contingence des tests statistiques nous avons des scores attendus et des scores observés pour chacun des critères comme dans le tableau qui suit. Le test du χ^2 effectue un dénombrement de l'effectif attendu dans chaque cellule. Ce calcul correspond au produit du total des lignes et du total des colonnes, divisés par le nombre total d'observations (d'occurrences dans notre cas). L'effectif observé, lui, correspond au nombre réel d'observations dans un échantillon qui appartient à une catégorie. Ainsi, le test statistique calcule la divergence entre ces deux dénombrements en réalisant le carré de la différence entre les valeurs observées et attendues d'une cellule, divisé par la valeur attendue de cette dernière.

Tableau de contingence

Activité		Acteur		
		Utilisateur	Designer	Total
ACC	Observé	971	519	1490
	Attendu	789	701	1490
COMP	Observé	952	2653	3605
	Attendu	1908	1697	3605

Tableau 61: Illustration des effectifs observés et attendus sur le test du χ^2 d'indépendance

- Le test de corrélation du χ^2 de Pearson

Pour réaliser un test de corrélation sur des données nominales, nous avons été contraints de passer par un test résiduel du χ^2 de Pearson. Lors de ce test, celui-ci présente les valeurs résiduelles ajustées. Les valeurs résiduelles ajustées sont égales aux valeurs résiduelles brutes (la différence entre le dénombrement observé et attendu) divisées par une estimation de l'erreur type. Nous utilisons les valeurs résiduelles pour expliquer la variation due par une modalité de l'échantillon. Par exemple, nous pouvons voir s'il y a une grande différence entre le nombre d'activité de génération d'idée réel et

attendu. Une valeur du résidu supérieur à 2 indique que le nombre de génération d'idées est plus important que prévu, ajusté à l'échantillon. Au contraire, une valeur du résidu inférieur à -2 indique que le nombre de générations d'idées est plus faible qu'attendu, ceci toujours en ajustement avec notre échantillon de la population.

- L'alpha de Cronbach

Le test appelé alpha de Cronbach est un test statistique permettant d'obtenir un coefficient nous permettant de mesurer la cohérence interne des questions posées dans un questionnaire ou lors d'un test. Sa valeur est inférieure ou égale à 1 et la cohérence interne est généralement considérée comme "acceptable" à partir de 0,7.

Annexe 3



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

TITRE DE L'ETUDE : Séances de co-conception de produits

Vous allez participer à une expérience d'une durée moyenne d'1h30. Cette expérience se déroule dans les locaux du laboratoire G-SCOP et se passe dans le cadre des travaux de thèse de Maud Poulin.

EXPERIMENTATEUR : Maud Poulin

RESPONSABLES : Jean-François Boujut et Cédric Masclet

En signant ce formulaire, vous consentez à être participant dans cette expérience. Votre participation est volontaire et vous pouvez l'interrompre à tout moment.

Sous réserve que votre anonymat soit préservé, vous acceptez que les données de cette étude soient exploitées. Vous nous autorisez également à utiliser des images floutées dans un but de publication scientifique.

Vous avez été informé du déroulement de l'expérience et vous êtes en droit de demander des informations supplémentaires sur l'effet recherché à la fin de l'étude.

PRENOM et NOM du participant :

DATE :

SIGNATURE :

INFORMATIONS

PRENOM :

NOM :

AGE :

SEXE :

NATIONALITE :

LE FRANÇAIS EST VOTRE LANGUE MATERNELLE : OUI NON

PROFESSION :

Si vous êtes étudiant, précisez votre formation et année d'étude :

NIVEAU DE FAMILIARISATION AVEC LA REALITE AUGMENTEE ET VIRTUELLE :

- Jamais vu ni utilisé Déjà vu ou utilisé une fois Déjà vu ou utilisé plusieurs fois
 Expert en la matière

Annexe 4

Proportions - Ordre

Level	Count	Proportion
Deuxième	11003	0.500
Première	11006	0.500

χ^2 Goodness of Fit

χ^2	df	p
4.09e-4	1	0.984

Tableau 62: Test du χ^2 mesurant l'effet d'ordre des conditions expérimentales

Tableau de contingence

Activité	Phase expérimentale		Total
	Terrain	Labo	
GEN	9	9	17
INFO	36	34	71
JUST	9	5	14
INT	7	9	16
EVAL	8	12	20
SIM	7	6	13
ACC	10	7	16
REJ	2	2	4
COMP	12	16	29
Total	100	100	200

χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	3.48	8	0.900
N	200		

Tableau 63: Vérification de la similarité des sessions menées sur le terrain et en laboratoire

Tableau de contingence

Activité		Acteur		
		Utilisateur	Designer	Total
ACC	Observé	971	519	1490
	Attendu	789	701	1490
COMP	Observé	952	2653	3605
	Attendu	1908	1697	3605
EVAL	Observé	1978	698	2676
	Attendu	1416	1260	2676
GEN	Observé	1051	815	1866
	Attendu	988	878	1866
INFO	Observé	3950	3630	7580
	Attendu	4012	3568	7580
INT	Observé	1051	919	1970
	Attendu	1043	927	1970
JUST	Observé	714	393	1107
	Attendu	586	521	1107
REJ	Observé	250	155	405
	Attendu	214	191	405
SIM	Observé	732	578	1310
	Attendu	693	617	1310
Total	Observé	11649	10360	22009
	Attendu	11649	10360	22009

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	1668	8	< .001
N	22009		

Tableau 64: Tableau de contingence et test du χ^2 entre les activités cognitives et le rôle de l'acteur

Tableau de contingence

Argument		Condition		Total
		SAR	Standard	
DP	Observé	355	298	653
	Attendu	318	335	653
FUNC	Observé	1684	1902	3586
	Attendu	1746	1840	3586
OP	Observé	596	801	1397
	Attendu	680	717	1397
OTH	Observé	2211	3096	5307
	Attendu	2583	2724	5307
PART	Observé	1245	1574	2819
	Attendu	1372	1447	2819
PC	Observé	3747	2559	6306
	Attendu	3069	3237	6306
WHO	Observé	875	1066	1941
	Attendu	945	996	1941
Total	Observé	10713	11296	22009
	Attendu	10713	11296	22009

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	462	6	< .001
N	22009		

Tableau 65: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des arguments selon la condition expérimentale

	SAR	Standard
DP	2.09	-2.03
FUNC	-1.47	1.44
OP	-3.22	3.13
OTH	-7.33	7.13
PART	-3.44	3.35
PC	12.23	-11.91
WHO	-2.28	2.22

Tableau 66: χ^2 résiduel de Pearson montrant la corrélation des arguments avec le type de condition

Tableau de contingence

Geste		Acteur		
		Utilisateurs	Designer	Total
Artefact centric	Observé	4666	3047	7713
	Attendu	4082	3631	7713
Gesticulation	Observé	1967	2185	4152
	Attendu	2198	1954	4152
Iconique	Observé	865	586	1451
	Attendu	768	683	1451
Métaphorique	Observé	472	341	813
	Attendu	430	383	813
None	Observé	3679	4201	7880
	Attendu	4171	3709	7880
Total	Observé	11649	10360	22009
	Attendu	11649	10360	22009

 χ^2 Tests

	Value	df	p
χ^2	386	4	< .001
N	22009		

Tableau 67: Résultat du χ^2 d'indépendance et répartition des gestes selon le rôle de l'acteur

❖ **Verbatim recueillies pour savoir quelle est le ressenti des participants vis-à-vis de la technologie de Réalité Augmentée Spatialisée :**

- « Très bon ressenti de la techno pour les aspects design. C'est un plus mais ce n'est pas forcément utile. On n'a pas eu besoin absolument de ça pour que l'idée passe. Pas de changement dans les interactions entre la condition standard et SAR. »
- « On n'osait pas trop toucher la techno. Mais on a une vision directe sur le résultat. »
- « Ça aurait été plus intéressant pour la techno de parler de design. C'est intéressant quand on traite la question du design du produit. »
- « Le SAR m'a pas spécialement aidé parce qu'on n'était moins sur les questions de design que d'usage. La techno est très distrayante. Le SAR est le plus utile pour les couleurs. J'aurais presque préféré avoir un sac à dos pour se poser des questions d'usage que la techno. Et on n'a pas la main sur l'interface. »
- « On se sent plus proche du produit dans la condition standard car plus proche de la version finale du produit. »
- « Le produit était plus au cœur de la discussion dans la condition SAR (en première partie). Très intéressant de voir évoluer le produit et le changer. Il y a la curiosité envers la techno aussi. »
- « En standard, on ne peut pas matérialiser. Tout à l'air de bien rouler mais peut-être que si on avait appliqué nos idées du départ on se serait rendu compte qu'on se n'était pas compris. Avoir la représentation en temps-réel sous les yeux permet de se comprendre plus rapidement. La SAR permet d'aller un petit peu plus en profondeur. »
- « La techno SAR est longue à mettre en place. Entre ce qu'on imagine et le résultat, il y a un gros gap. Par contre ça peut aider à la visualisation. »
- « Une appréhension à aller toucher le prototype mixte mais aussi à cause du Covid. On est plus dans l'attente en condition SAR parce que la plateforme va moins vite, potentiellement plus d'idées mais les assets imposent un résultat donné, la liberté n'est pas totale. »
- « J'ai eu l'impression que l'une ou l'autre des conditions ça ne changeait rien en terme d'interaction. Le SAR ça attire l'œil, c'est inhabituel, j'ai été distrait. On n'était pas tous à égalité sur le SAR parce que la designer a la tablette. Le SAR permet d'avoir la représentation. »
- « Je n'osais pas encore attraper le proto avec la constellation. La situation Covid n'aide pas quand on nous répète de ne pas manipuler les objets »
- « Les deux conditions étaient identiques selon moi. La SAR est super bien pour la phase design review. Ça m'a ennuyé de ne pas toucher à l'interface. J'avais besoin de manipuler. C'est top pour percevoir l'aspect final du produit. On n'a pas l'aspect kinesthésique par contre, pas le toucher. Il faudrait que la maquette ait la masse réelle du produit final car on ne peut pas juger

du poids du produit. D'un point de vue esthétique c'est top la SAR. Après la techno est pas mature. »

- « Quand on voit la représentation on se décharge cognitivement et on va aller chercher plus loin les choses, de débattre directement sur ce résultat. Je m'exprime pareil dans les deux conditions. Je pense qu'on s'est mieux compris avec la SAR. »
- « Je ne crois pas qu'on a de différences entre les deux conditions expérimentales. La constellation n'incite pas à la manipulation. »
- « Je n'osais plus prendre l'objet quand il n'y avait pas la constellation. Je n'avais pas accès à l'interface et je ne pouvais pas agir dessus. Mais je n'ai pas trouvé qu'il y avait des différences en terme de compréhension et de communication entre les deux situations. »
- « C'est plus facile avec l'objet en main. On n'ose pas trop avec la constellation. Ce qu'on imagine ne transparait pas forcément parce que la techno n'est pas mature »
- « C'était assez difficile d'exprimer son idée parce qu'on n'avait pas main sur la plateforme. En revanche, avoir la représentation sous les yeux permet de mieux se faire comprendre. Si on pouvait nous-même l'utiliser ça serait un réel +. »
- « La techno permet de mieux visualiser l'objet et de représenter ses idées et on voit le résultat directement. »
- « C'est plus facile de faire des critiques sur le prototype « réel ». Le rendu visuel est un atout avec la SAR. En le voyant ça me permet de le confirmer alors que je n'aurais jamais imaginé que ça me plairait. La facilité de manipulation et de rapidité de résultat sur le produit est appréciable. Sinon je n'ai pas remarqué de différence de communication entre les deux conditions. Les deux sont complémentaires, il y aurait eu un manque si on avait eu que la SAR. »
- « Le produit fini permet de mieux se projeter dans l'utilisation. Sur les détails esthétiques la SAR est vraiment bien et intéressant et de se projeter sur le projet fini. Pour moi, les deux sont complémentaires. »
- « La SAR c'est fun et c'est utile dans les étapes très avancées de développement du produit. »
- « La condition SAR ça donne envie de donner des idées alors qu'en standard on trie les idées déjà émises. »

❖ **Données brutes des questionnaires**

Groupe	adequation_SAR	adequation_STD	aisance_SAR	aisance_STD	comprehension_SAR	comprehension_STD	contribution_SAR	contribution_STD	dynamique_SAR	dynamique_STD	implication_SAR	implication_STD	originalite_SAR	originalite_STD	performance_SAR	performance_STD	pertinence_SAR	pertinence_STD	qualite argumentation_SAR	qualite argumentation_STD	qualite idees_SAR	qualite idees_STD	satisfaction_SAR	satisfaction_STD
1	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
2	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	3.	3.	3.	3.	4.	3.	4.	5.	3.	3.
3	4.	4.	3.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.
4	5.	5.	3.	4.	5.	5.	3.	3.	3.	3.	5.	5.	3.	3.	4.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
5	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	3.	5.	5.	5.	5.	4.	4.
6	5.	5.	2.	3.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	3.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.
7	5.	4.	3.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.
8	5.	5.	3.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.
9	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.
10	4.	3.	4.	5.	5.	5.	3.	3.	3.	3.	4.	4.	5.	3.	2.	2.	5.	4.	4.	4.	5.	3.	3.	3.
11	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
12	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
13	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.
14	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	4.
15	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.
16	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
17	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.
18	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
19	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
20	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
21	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
22	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.

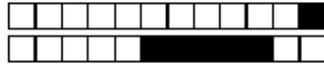
Tableau 68: Réponses brutes données par la designer aux questionnaires

Groupe	aisance_SAR	aisance_STD	argu_SAR	argu_STD	comprehension_SAR	comprehension_STD	contribution_SAR	contribution_STD	dynamique_SAR	dynamique_STD	implication_SAR	implication_STD	matos.COMP_SAR	matos.COMP_STD	matos.EVAL_SAR	matos.EVAL_STD	matos.GEN_SAR	matos.GEN_STD	matos.INFO_SAR	matos.INFO_STD	matos.JUST_SAR	matos.JUST_STD	matos.SIM_SAR	matos.SIM_STD	originalite_SAR	originalite_STD	pertinence_SAR	pertinence_STD	qualite idees_SAR	qualite idees_STD	satisfaction_SAR	satisfaction_STD	
1	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	3.	3.	5.	5.	2.	2.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	
2	4.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	3.	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.
3	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	2.	2.	3.	3.	4.	4.	4.	5.	2.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.

4	5.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	3.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	4.	3.	3.	1.	1.	4.	3.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	4.	5.	4.	
5	4.	4.	3.	3.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	4.	4.	3.	3.	2.	4.	3.	4.	3.	4.	3.	3.	3.	2.	2.	3.	3.	4.	3.	5.	5.
6	3.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	1.	4.	3.	5.	3.	4.	2.	4.	2.	4.	2.	4.	4.	3.	2.	4.	4.	5.	5.
7	3.	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	2.	3.	5.	4.	4.	3.	5.	3.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
8	3.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	1.	2.	2.	1.	2.	3.	3.	3.	1.	2.	3.	3.	3.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
9	3.	5.	5.	3.	3.	4.	5.	5.	4.	4.	3.	3.	5.	3.	5.	2.	5.	4.	5.	3.	4.	2.	5.	3.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
10	3.	5.	3.	4.	5.	5.	4.	4.	3.	5.	3.	4.	4.	5.	4.	3.	3.	5.	3.	3.	3.	4.	2.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	4.	5.
11	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	4.	5.	4.	3.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	5.	5.
12	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	3.	2.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	3.	4.	4.	5.	5.
13	3.	3.	5.	5.	3.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	5.	3.	3.	1.	2.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	1.	1.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.
14	4.	4.	5.	3.	4.	3.	4.	4.	5.	4.	5.	4.	4.	2.	4.	3.	4.	3.	4.	3.	4.	2.	5.	3.	4.	3.	4.	4.	4.	3.	5.	4.
15	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	3.	5.	5.	4.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	3.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
16	2.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	3.	5.	3.	5.	3.	1.	4.	4.	4.	4.	3.	4.	3.	5.	3.	4.	4.	5.	4.	5.	4.	5.
17	3.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.
18	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	4.	5.	3.	4.	5.	4.	4.	3.	4.	3.	5.	4.	4.	4.	3.	3.	4.	4.	4.	4.	5.	4.	5.	5.
19	3.	5.	4.	4.	3.	4.	3.	4.	5.	4.	4.	4.	3.	4.	3.	4.	4.	4.	3.	5.	2.	5.	2.	5.	4.	2.	3.	3.	3.	4.	4.	5.
20	5.	3.	4.	4.	3.	4.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	3.	4.	4.	5.	3.	5.	3.	5.	4.	4.	4.	5.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
21	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
22	3.	3.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.
23	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	3.	3.	4.	3.	5.	4.	3.	3.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
24	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	3.	5.	5.
25	5.	4.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	3.	3.	4.	4.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	3.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	4.
26	4.	3.	4.	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	3.	5.	3.	5.	3.	5.	3.	5.	3.	5.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.
27	4.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.
28	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.
29	3.	4.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	2.	4.	3.	3.	2.	3.	2.	3.	2.	3.	2.	3.	2.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
30	3.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	3.	3.	5.	5.
31	2.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	3.	5.	5.	4.	2.	5.	2.	5.	2.	5.	1.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	3.	5.
32	3.	5.	3.	3.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	3.	3.	3.	3.	4.	4.	5.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
33	4.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	3.	4.	3.	3.	3.	4.	4.	4.	3.	4.	4.	4.	4.	5.	4.	5.	5.
34	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	3.	3.	3.	4.	4.	5.	3.	4.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
35	2.	3.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	4.	3.	4.	4.	3.	1.	5.	1.	3.	3.	5.	5.	3.	3.	5.	5.	4.	5.	5.	5.
36	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	4.	3.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
37	4.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	3.	4.	4.	5.	3.	4.	4.	4.	3.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.
38	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
39	4.	4.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.
40	4.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	3.	4.	4.	4.	5.	4.	5.	3.	5.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.
41	5.	5.	5.	4.	4.	4.	5.	4.	4.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	3.	5.	3.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	3.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	5.
42	5.	4.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	5.	5.	5.	5.	4.	3.	5.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	3.	4.	4.	4.	3.	5.
43	4.	5.	5.	5.	5.	4.	4.	3.	5.	5.	4.	4.	5.	4.	4.	4.	4.	3.	4.	3.	4.	3.	4.	3.	4.	3.	4.	4.	4.	4.	5.	4.
44	3.	5.	5.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	4.	4.	5.	5.	4.	5.	4.	5.	5.	5.	4.	4.	3.	5.	5.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	4.

Tableau 69: Réponses brutes données par les utilisateurs aux questionnaires

Annexe 5



+1/1/60+

Questionnaire d'évaluation de la qualité de la collaboration - Designer



L'adéquation des idées proposées avec les objectifs de conception était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

La qualité des idées proposées était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

L'originalité des idées proposées était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

La pertinence des idées proposées était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, ce groupe a été performant au regard des critères que vous vous étiez fixés: (1-pas du tout d'accord 5-tout à fait d'accord)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Votre aisance d'utilisation du matériel mis à disposition était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la compréhension entre les pairs était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la contribution de chacun des participants était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la qualité de l'argumentation de la part des participants était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la dynamique de groupe dans cette session était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Votre implication personnelle tout au long de la session était: (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

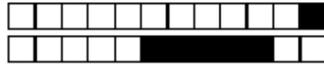
Votre niveau de satisfaction à l'issu de cette session est: (1-très mauvais 5-très bon)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5



Questionnaire d'évaluation de la qualité de la collaboration - Utilisateur



La dynamique de groupe dans cette session de co-conception était (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la compréhension entre les pairs était : (1-très mauvaise 5-très bonne)

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

La contribution de chacun des participants était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la qualité de l'argumentation était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Votre aisance d'utilisation du matériel mis à disposition était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Le matériel mis à disposition vous a facilité la génération de nouvelles idées (1-pas du tout d'accord 5-parfaitement d'accord):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Le matériel mis à disposition vous a permis de fournir des compléments d'information sur la solution proposée (1-pas du tout d'accord 5-parfaitement d'accord):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Le matériel mis à disposition vous a permis d'argumenter facilement vos propositions: (1-pas du tout d'accord 5-parfaitement d'accord):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Le matériel mis à disposition vous a permis de vous faire comprendre des autres: (1-pas du tout d'accord 5-parfaitement d'accord):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Le matériel mis à disposition vous a permis de vous imaginer dans une situation d'usage du produit (1-pas du tout d'accord 5-parfaitement d'accord):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Le matériel mis à disposition vous a permis d'évaluer les solutions proposées: (1-pas du tout d'accord 5-parfaitement d'accord):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la qualité des idées proposées était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, l'originalité des idées proposées était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Selon vous, la pertinence des idées était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Votre implication (participation) personnelle tout au long de la session était: (1-très mauvaise 5-très bonne):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5

Votre niveau de satisfaction à avoir participé à cette séance de co-conception est: (1-très mauvais 5-très bon):

STD

1 2 3 4 5

SAR

1 2 3 4 5