



Études des facteurs cognitifs liés aux outils numériques pour les phases amont de la conception

Charles Mille

► To cite this version:

Charles Mille. Études des facteurs cognitifs liés aux outils numériques pour les phases amont de la conception. Informatique. HESAM Université, 2021. Français. NNT : 2021HESAE008 . tel-03450182

HAL Id: tel-03450182

<https://pastel.hal.science/tel-03450182>

Submitted on 25 Nov 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.

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR
[LAMPA - Campus d'Angers - Institut de Laval]

THÈSE

présentée par : Charles Mille
soutenue le : 8 Février 2021

pour obtenir le grade de : Docteur d'HESAM Université

préparée à : École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité : Génie industriel

Études des facteurs cognitifs liés aux outils numériques pour les phases amont de la conception

THÈSE dirigée par :
Simon Richir

et co-encadrée par :
Olivier Christmann
Sylvain Fleury

Jury

Anatole Lecuyer,
Émilie Loup-Escande,
Domitile Lourdeaux,
Frédéric Merienne,
Vincent Boly,
Simon Richir,
Olivier Christmann,
Sylvain Fleury,
Laurent Dupont,

INRIA
Université Pircardie Jules Verne
UTC
Arts et Métiers
Université de Lorraine
Arts et Métiers
Arts et Métiers
Arts et Métiers
Université de Lorraine

Président
Rapporteure
Rapporteure
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur
Invité

T
H
È
S
E

« *Authentic happiness derives from raising the bar for yourself, not rating yourself against others* »

[Propos attribués à Martin Seligman]

Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements au Pr Simon Richir de m'avoir fait confiance et offert l'opportunité de réaliser ces travaux de recherche avec l'équipe Présence et Innovation. Je tiens également à remercier l'équipe Présence et Innovation pour l'accueil et les discussions qui ont permis de structurer ma pensée, de partager mes doutes et mes joies. Je remercie mes encadrants : Hélène, Olivier et Sylvain pour la qualité des échanges et les conversations stimulantes qui ont été une source d'inspirations et de réflexion inépuisable. Je tiens aussi à vous remercier pour votre amitié et la confiance que vous m'avez accordée qui m'a permis de réaliser ces travaux dans des conditions idéales. La réussite de cette thèse vous revient en grande partie. Merci du fond du coeur. Je remercie aussi Anne-Sophie, Geoffrey, Samory, Charlotte et Killian pour votre amitié, les conseils que vous m'avez donnés et le souvenir que vous me laissez de ces trois merveilleuses années. J'espère que l'on se retrouvera rapidement pour partager une soupe. Merci aux différents stagiaires qui ont contribué à mes travaux : Éma, Nicolas et Rishi. Outre vos apports techniques, merci pour l'agréable souvenir que vous avez laissé. De ces trois années dans cette équipe, j'en garderai une image d'une famille soudée.

Sur un plan plus personnel, je tiens à remercier mes parents pour leur soutien inconditionnel, leur patience, leur écoute face à mes doutes et de m'avoir offert la possibilité de m'héberger pendant ces trois dernières années, ce qui m'a permis d'effectuer ma thèse d'un contexte idéal. Ces trois années ont aussi été rythmées par mes nombreux voyages à Bordeaux. Ces voyages m'ont permis de trouver du réconfort dans les moments les plus difficiles, mais aussi de partager des rires et (beaucoup) de boissons houblonnées. Merci à mes amis de Bordeaux : Nico, Florian, Alex, Aline, Sylvain, Aubin, Jean, Florie-Anne, Alexis, Capucine, Dylan, Kriss, Seb. Merci pour votre soutien émotionnel, les rires, les débats, les canapés proposés pour m'accueillir, les chats, mais aussi les nombreux voyages au travers de l'Europe qui m'ont offert une réelle bulle d'air au meilleur moment. Merci également à mes amies de Laval : Morgane, Marion et Margaux (le gang des "M") pour votre soutien et votre amitié à l'épreuve du temps. Merci à Agathe d'avoir été présente dans ces derniers mois et de m'avoir apporté le soutien émotionnel suffisant pour me permettre de garder le moral au quotidien et d'avancer malgré les difficultés. Enfin, merci, Daizy de m'avoir convaincu de retourner à Laval pour faire cette thèse et de me permettre de vivre trois années incroyables. Merci à Agathe, Océane, Jessica et Aline pour

leurs relectures. Merci aussi pour ta présence et ton soutien malgré la distance. Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ces travaux.

Cette thèse est aussi la vôtre, et je vous en serai à jamais reconnaissant. Merci du fond du coeur. Je vous aime.

Résumé

Les travaux de recherche effectués durant cette thèse ont pour sujet l'étude de l'utilisation des outils numériques pour optimiser le processus d'innovation et plus précisément les périodes d'idéation et de créativité. Ils s'inscrivent dans un programme de recherche initié par la chaire Time To Concept dont le sujet est d'étudier et d'identifier les opportunités offertes par les technologies émergentes lors d'activités d'innovation. Pour cela, trois axes ont été définis : un axe humain, un axe organisationnel et un axe technologique. Cette thèse se positionne sur l'axe humain, avec un fort lien avec l'axe technologique. Dans l'objectif de proposer l'outil idéal pour les différentes activités durant les phases de créativité, nous avons étudié quelles sont les interfaces et expériences à favoriser.

Ces travaux de recherche se sont intéressés à deux problématiques : (i) quels sont les effets de notre environnement et de nos outils sur la créativité et (ii) comment nos outils influencent la compréhension de nos idées lorsque ces dernières sont conceptualisées. Nous avons répondu à ces deux problématiques à l'aide de deux études expérimentales. La première expérience a permis d'étudier l'impact de l'environnement et de la charge cognitive sur la créativité des utilisateurs. Nous avons complété notre réponse à la première problématique à l'aide d'une seconde expérimentation où nous avons confronté, au regard de leurs performances de créativité, quatre outils, représentant un panel de solutions pouvant être utilisées dans des activités d'innovation. L'évaluation de l'expérience utilisateur nous a permis de constater des relations entre les qualités hédoniques et ergonomiques de ces différents outils et la créativité. En particulier, nous avons constaté que les qualités hédoniques des outils favorisent la divergence créative et que les qualités ergonomiques avantagent la production d'idées. Cette expérience a aussi pour objectif de répondre à notre deuxième problématique portant sur la capacité des outils à favoriser la communicabilité des idées. Nos résultats laissent apparaître que les éléments contextuels ajoutés dans l'environnement de l'idée représentée favorisent la communicabilité. Les résultats obtenus dans nos expérimentations nous permettent de proposer un modèle permettant d'accompagner le choix de l'outil en fonction de la tâche de créativité réalisée.

Mots-clés : Créativité, Expérience utilisateur, Réalité virtuelle, Interface homme-système, Innovation, Sciences cognitives

Abstract

The research work carried out during this thesis is focused on the study of the use of digital tools to optimize the innovation process and more precisely the phases of ideation and creativity. They are part of a research program initiated by the Time To Concept Chair, which aims to study and identify the opportunities offered by emerging technologies during innovation activities. For this, three axes have been defined : a human axis, an organizational axis and a technological axis. This thesis is positioned on the human axis, with a strong link with the technological axis. In order to propose the ideal tool for the different activities during the creativity phases, we have studied which interfaces and experiences should be favored.

This work focused on two topics : how to improve creativity through the user experience, and which tools used for creativity allow better communication of the ideas produced. We studied these topics through two experiments. The first focused on the impact of our environment on cognitive load and creativity. This study allows us to establish a first link between cognitive science and creativity applied to the design of new objects. The second experiment extends the study of this link with the study of the impact on creativity of the ergonomics and hedonic qualities of four tools, which can be used at different stages of innovation. In addition, this study makes it possible to build a first link between the communicability of concepts and the user experience. The evaluation of the user experience has allowed us to observe relations between the hedonic and ergonomic qualities of these different tools, and creativity. In particular, we found that the hedonic qualities of the tools promote the creative divergence and that ergonomic qualities benefit the production of ideas. This experience is also intended to address our second issue concerning the ability of tools to promote the communicability of ideas. Our results show that the contextual elements added in the environment of the represented idea promote communicability. The results obtained in our experimentations allow us to propose a model to accompany the choice of the tool according to the creativity task performed

Keywords : Creativity, User Experience, Virtual reality, Human system interface, Innovation, Cognitive science

Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vii
Abstract	ix
Glossaire	xv
Liste des tableaux	xvii
Liste des figures	xxi
Introduction	1
La chaire Time to Concept	2
Problématiques et périmètre de recherche	4
Structure du mémoire de thèse	6
1 État de l’art	7
1.1 Innovation	8
1.1.1 Définition	8
1.1.2 Organisation de l’innovation	12
1.1.3 Comment accompagner l’innovation ?	18
1.2 Créativité	22
1.2.1 Modélisation de la créativité	22
1.2.2 Théorie de la charge cognitive	28
1.2.2.1 Définition	28

1.2.2.2	Mesures de la charge cognitive	31
1.2.3	Motivation et théorie du <i>flow</i>	34
1.2.4	Mesurer la créativité	37
1.2.4.1	Au niveau de l'individu	37
1.2.4.2	Au niveau du produit	38
1.3	Interfaces humain-machine	40
1.3.1	Expérience utilisateur	40
1.3.2	Créativité & expérience utilisateur	43
1.3.3	Techniques pour l'innovation et la créativité	44
1.3.4	Réalité virtuelle	47
1.3.4.1	Définition	47
1.3.4.2	Modéliser et dessiner dans un environnement virtuel	49
1.4	Synthèse de l'état de l'art	53
2	Méthodologie	57
2.1	Étude empirique et exploratoire	58
2.2	Typologie des méthodes utilisées	59
2.2.1	Recueil de la charge cognitive	59
2.2.2	Recueil de l'expérience utilisateur	60
2.2.3	Évaluation de la créativité et de la communicabilité	61
2.2.3.1	La créativité	61
2.2.3.2	La communicabilité	62
3	Effets de l'environnement sur notre créativité	63
3.1	Résumé	64
3.2	Introduction	65
3.3	Méthodes	68

3.3.1	Procédure	68
3.3.1.1	La tâche de créativité	68
3.3.1.2	L'évaluation des productions	69
3.3.2	Matériel	69
3.3.2.1	La tâche d'écriture	70
3.3.2.2	La tâche de dessin 3D	71
3.3.3	Mesures	72
3.4	Résultats	73
3.4.1	Tâche d'écriture	73
3.4.1.1	Analyse des idées	73
3.4.1.2	Analyse de la charge cognitive	75
3.4.2	Tâche de dessin	77
3.4.2.1	Analyse des idées	77
3.4.2.2	Analyse de la charge cognitive	79
3.5	Conclusion	80
3.5.1	Discussion	80
3.5.2	Limitations et travaux futurs	82
4	Quels liens entre l'expérience utilisateur et la créativité ?	85
4.1	Résumé	86
4.2	Introduction	87
4.3	Méthode	90
4.3.1	Matériels	90
4.3.2	Procédure	92
4.3.3	Mesures	94
4.4	Résultats	96

4.4.1	Analyse de la créativité	96
4.4.1.1	Analyse quantitative	96
4.4.1.2	Analyse des idées à partir de la méthode des juges de Cropley et Cropley (2008)	97
4.4.2	Analyse de l'expérience utilisateur	100
4.4.3	La communicabilité	101
4.5	Conclusion	104
4.5.1	Discussion	104
4.5.2	Limites et perspectives	107
5	Bilan, contributions et perspectives	109
5.1	Réponse à la problématique	110
5.1.1	Avant-propos	110
5.1.2	Réponses aux questions de recherche	111
5.2	Contributions théoriques	114
5.3	Perspectives et travaux futurs	117
	Bibliographie	119
	Liste des annexes	138
A	Annexe A : grille d'évaluation pour la méthode des juges de Cropley et Cropley	139
B	Annexe B : Formulaire sur la communicabilité	141

Glossaire

CAO Logiciel de **C**onception **A**ssistée par **O**rdinateur. xx, xxi, 55, 86, 90, 91, 93, 96–102, 104–107

EPO **E**uropean **P**atent **O**ffice : institution Européenne en charge d’enregistrer tout les brevets produits en Europe.. 2

RV **R**éalité **V**irtuelle. 4, 49

UEQ **U**ser **E**xperience **Q**uestionnaire : Questionnaire développé par Laugwitz *et al.* (2008) mesurant l’expérience utilisateur sur six dimensions.. xvii, xx, 43, 60, 61, 94, 96, 100–104, 112

UX **U**ser **eX**perience ou expérience utilisateur. 40

Liste des tableaux

1.1	Constitution du Business Model Canvas, d'après les écrits de Fritscher et Pigneur (2014)	45
2.1	Liste des questionnaires utilisés pour l'évaluation de l'expérience utilisateur.	61
3.1	Matrice des comparaisons appairées pour le score de générabilisation pour la tâche d'écriture	74
3.2	Matrice des comparaisons appairées pour le score de charge cognitive intrinsèque pour la tâche d'écriture	75
3.3	Comparaison appairée des variances pour le score de charge cognitive extrinsèque pour la tâche d'écriture	76
3.4	Comparaison appairée des variances pour le nombre d'idées pour la tâche de dessin . .	77
3.5	Matrice des comparaisons appairées des variances du score de générabilisation pour la tâche de dessin	78
4.1	Comparaisons appairées pour le nombre d'idées proposées en fonction de l'outil.	97
4.2	Comparaisons appairées du score de Cropley et Cropley en fonction de l'outil.	98
4.3	Comparaisons appairées des scores de Cropley et Cropley en fonction de l'outil.	99
4.4	Alpha de Cronbach pour les différentes dimensions de l'UEQ.	100
4.5	Comparaisons appairées pour les dimensions de l'UEQ	101
4.6	Corrélations entre les dimensions de l'UEQ et le nombre d'idées	101
4.7	Corrélations entre les dimensions de l'UEQ et la méthode de notation de Cropley & Cropley	102
4.8	Comparaisons appairées du score de communicabilité en fonction de l'outil.	102
4.9	Corrélations entre les scores de clarté, d'originalité et de stimulation de l'UEQ et le score de communicabilité	103

Table des figures

1.1	Représentation de l' <i>Innovation Funnel</i> , d'après Dunphy <i>et al.</i> (1996)	12
1.2	Représentation du modèle de l'innovation ouverte, d'après Chesbrough (2012)	12
1.3	Représentation de l'évolution des contraintes en fonction des connaissances à propos du produit, d'après Midler (1995)	13
1.4	Représentation du modèle <i>stage-gate</i> , d'après Cooper (1990)	15
1.5	Courbe d'incertitude pendant un projet d'innovation, d'après Kim et Wilemon (2002)	16
1.6	Représentation du modèle <i>Fuzzy Front End</i> , d'après Koen <i>et al.</i> (2001)	17
1.7	Représentation du modèle <i>Fuzzy Front End</i> repris par Lecossier et Pallot (2017)	18
1.8	Représentation des échanges entre l'espace des concepts et des connaissances, d'après Le Masson <i>et al.</i> (2017)	19
1.9	Exemple de matrice des contradictions, d'après les travaux de Cascini et Rissone (2004)	22
1.10	Représentation du processus mental de la constitution d'une idée, d'après le modèle de Wallas (1926)	24
1.11	Représentation du processus mental de la créativité, d'après Amabile (1988); Amabile et Pratt (2016)	25
1.12	Représentation du fonctionnement cognitif de la mémoire de travail, d'après les travaux de Mayer et Moreno (2010).	29
1.13	Représentation du continuum de l'auto-motivation, d'après Deci et Ryan (2000)	34
1.14	Représentation du <i>flow</i> , d'après Csikszentmihalyi (1996)	36
1.15	Représentation des différents niveaux d'évaluation de l'expérience utilisateur, d'après Lallemand <i>et al.</i> (2015)	41
1.16	Business Model Canvas	45
1.17	Modèle Immersion Présence, Performance d'après, les écrits de Bystrom <i>et al.</i> (1999) .	48

1.18	Dispositif de dessin immersif adopté par Rieuf (2013)	50
1.19	Dispositif de co-conception de réalité mixte développé par Arrighi <i>et al.</i> (2016)	50
3.1	Environnement de travail présentant différents stimuli qui peuvent inspirants (les éléments naturels) ou gênants (les voitures passant sur la route en arrière plan) sur la créativité	64
3.2	Processus suivi par chaque participant lors de l'expérimentation	69
3.3	Capture d'écran de l'outil utilisé pour la tâche d'écriture	70
3.4	Capture d'écran de l'outil de dessin 3D	71
3.5	Boxplot de la générabilisation en fonction de la condition pour la tâche d'écriture	74
3.6	Boxplot de la charge cognitive intrinsèque en fonction de la condition pour la tâche d'écriture	75
3.7	Boxplot de la charge cognitive extrinsèque en fonction de la condition pour la tâche d'écriture	76
3.8	Boxplot du nombre d'idées en fonction de la condition pour la tâche de dessin	78
3.9	Boxplot du score de générabilisation en fonction de la condition pour la tâche de dessin	79
4.1	Fiche représentant plusieurs vues d'un parapluie utilisée pour l'outil papier/crayon	90
4.2	Capture d'écran de l'application de CAO Solidworks	91
4.3	Capture d'écran de l'application de dessin immersif <i>Time2Sketch</i>	92
4.4	Application de CAO immersive <i>Google Blocks</i>	93
4.5	Représentation du parcours effectué par chaque participant lors de l'expérimentation	93
4.6	Diagramme en boîte à moustaches représentant le nombre d'idées en fonction de l'outil	97
4.7	Scores de pertinence, nouveauté, élégance et générabilisation des idées en fonction de l'outil.	98
4.8	Scores des dimensions de la clarté, de l'originalité et de la stimulation (UEQ) en fonction de l'outil.	102
4.9	Scores de communicabilité en fonction de l'outil.	103

4.10	Exemple d'idée étant jugée créative par les juges, produite à l'aide de l'outil de CAO immersive Blocks	106
4.11	Modélisation du processus de créativité proposé originalement par Amabile et Pratt (2016) et intégrant l'outil en élément d'influence externe.	107
5.1	Représentation des différents critères intervenant pour le choix de l'outil	116

Introduction

La chaire Time to Concept	2
Problématiques et périmètre de recherche	4
Structure du mémoire de thèse	6

La chaire Time to Concept

Pour faire face aux différentes problématiques de notre société, les entreprises sont encouragées à innover. Un des indicateurs utilisés pour mesurer la santé de l'innovation est le nombre de brevets déposés pendant une période (Lanjouw et Schankerman, 2004; Nagaoka *et al.*, 2010). D'après l'European Patent Office (EPO), le nombre de brevet déposés dans le monde est en hausse depuis plusieurs années¹. Les pays membres de l'EPO constituent 45% des brevets mondiaux proposés pendant l'année 2019. La France est le deuxième pays Européen pour le nombre de brevets déposés. Notons aussi que les cinq secteurs représentant le plus de brevets sont la communication, la technologie médicale, l'informatique, l'énergie et le transport. Morand et Manceau (2009) soulignent « qu'il faut investir dans l'innovation en temps de crise ». Pour faire face aux enjeux économiques, liés à la crise sanitaire de la COVID-19, les entreprises doivent adopter une stratégie centrée sur l'innovation et la proposition de solutions permettant de répondre aux différentes problématiques liées à la conjoncture. Il est nécessaire de proposer des outils permettant d'accompagner au mieux l'innovation. L'évolution des techniques et technologies offre de nouvelles possibilités pour développer la créativité. Dans le but d'étudier les opportunités offertes par les nouvelles technologies, la chaire Time To Concept (TTC) a été fondée.

La chaire TTC a pour but d'étudier et de développer des outils permettant d'accompagner l'innovation et la formation. Ces recherches font l'objet d'un partenariat entre l'entreprise Mann + Hummel (équipementier automobile) et l'équipe de recherche Présence & Innovation du laboratoire LAMPA des Arts et Métiers. Avec l'évolution technologique de l'automobile et la démocratisation des véhicules électriques, Mann + Hummel doit innover pour proposer de nouveaux produits répondant à ce nouveau marché ou étendre sa gamme pour investir dans de nouveaux secteurs. L'équipe de recherche Présence & Innovation a pu mobiliser ses connaissances et compétences pour étudier les opportunités offertes par la réalité virtuelle pour accompagner l'innovation. Pour couvrir au mieux les différentes problématiques liées à l'adoption des nouvelles technologies dans les activités d'innovation, trois grands axes de recherche sont proposés : organisationnel, humain et technologique. L'axe organisationnel a pour objectif d'étudier l'impact de l'environnement social sur la conception et la co-conception et les modes de travail pour accompagner au mieux l'innovation. L'axe humain vise à étudier et évaluer les mécanismes permettant l'adoption des nouvelles technologies tout en identifiant les composantes de

1. Rapport annuel de 2019 de l'EPO

l'expérience utilisateur permettant d'établir des préconisations pour accompagner au mieux les différentes activités de l'innovation. Enfin, l'axe technologique a pour but d'analyser les connexions et transitions possibles entre les différents outils pour proposer une méthodologie permettant la mise en place d'une chaîne numérique pertinente.

Les travaux que nous avons entrepris s'inscrivent dans l'axe humain, avec un lien fort à l'axe technologique. La multiplicité et la variété des outils développés et utilisés pour l'idéation et la créativité nécessitent une investigation portant sur la compréhension des différents processus cognitifs liés aux outils. Ils permettront de proposer des préconisations et des recommandations pour l'adoption d'outils pertinents aux activités d'idéation et *in fine* de les inscrire dans les processus dédiés à l'innovation.

Problématiques et périmètre de recherche

L'arrivée de nouvelles technologies dans une discipline ou dans des domaines d'activité permet d'apporter des potentialités inédites mais fait également émerger des problématiques liées à l'utilisateur et aux interactions avec l'environnement. Après une période creuse, la réalité virtuelle (RV) revient sur le devant de la scène grâce aux récents développements technologiques qui l'ont rendue plus accessible. Nous constatons une multiplication des applications utilisant la RV comme outil pour accompagner des tâches centrées sur la conception de produits et de services. Cependant, ce foisonnement de nouveaux outils doit s'accompagner d'une réflexion sur leur intégration cohérente dans les processus souvent très normés de conception. Les travaux entrepris dans le cadre de cette thèse de doctorat portent sur l'étude du facteur humain lié aux outils (RV ou non) lors des activités d'idéation. Ces travaux ont notamment porté sur l'influence de l'expérience induite par l'environnement et l'outil sur la créativité. Notre étude de la littérature nous a permis de poser la problématique générale suivante :

Quels mécanismes humains favorisant la créativité peuvent être augmentés par les outils, sans que ces derniers ne modifient la volonté initiale du concepteur ?

Pour répondre à cette problématique, nous avons mis en place une démarche expérimentale qui nous permet de construire une base de recommandations pour la proposition d'outils pouvant être adoptés pour accompagner l'évolution des idées.

Notre revue de la littérature a montré l'intérêt de la réalité virtuelle pour l'innovation, la créativité mais aussi la conception. Bien que la simplicité d'usage et la caractéristique avant-gardiste de ces outils font penser qu'ils vont favoriser la créativité, d'autres éléments entrent en jeu. Nous avons souhaité comprendre quels éléments de l'expérience de l'utilisateur liés aux outils et à l'environnement sont de nature à influencer positivement la créativité. Ces différentes réflexions prennent leur origine dans les travaux de Dorta (2004) qui percevait l'intérêt de l'utilisation des technologies du virtuel pour la créativité ou même la conception, si elles ne sont pas utilisées pour simplement reproduire les outils existants. Cela nous conduit à la question de recherche suivante :

Q1 : Comment nos outils et notre environnement conditionnent-ils notre expérience et notre créativité ?

Avec l'ajout d'outils nouveaux, nous pouvons penser que de nouvelles activités vont émerger et

ainsi permettre aux idées et aux concepts d'être d'avantage élaborés avant d'être utilisés lors des phases aval de la conception. Lors d'activités d'idéation, de nombreuses idées sont produites sur des supports divers et variés. Même si toutes les idées ne sont par retenues, les concepts et connaissances liés doivent être conservés car ils peuvent être réinvestis dans d'autres projets ou utiles par la suite. Il est donc essentiel de préserver l'évolution des concepts et connaissances liés à un projet, au travers des différents outils utilisés. Parmi ces applications, la réalité virtuelle propose une passerelle intéressante entre les premières activités de l'idéation et la caractérisation finale de l'idée. Les nombreuses études évaluant les outils de la réalité virtuelle font peu état de la manière dont le résultat obtenu grâce à ces applications pourra être conservé et/ou communiqué (Fleury *et al.*, 2020; Martin, 2014; Rieuf, 2013; Yang *et al.*, 2018). Nous avons ainsi souhaité étudier les potentialités que permet la réalité virtuelle pour communiquer les concepts qui ont été générés durant les activités d'idéation, et comment elle se positionne par rapport aux solutions actuelles. Ce qui nous amène à cette seconde question de recherche :

Q2 : Comment nos outils conditionnent-ils la capacité de nos idées à être communiquées ?

Avant de débiter la restitution de ces travaux de recherche, nous allons en délimiter le périmètre. Bien que notre sujet soit centré sur l'innovation, qui sera décrite et définie dans notre revue de la littérature, nos travaux ont essentiellement porté sur l'idéation et les activités de créativité qui lui sont liées. Notons que la notion de créativité est étudiée dans différents champs de recherche. Nos recherches visent à faire un lien entre les définitions issues de la psychologie et de l'ingénierie, en étudiant la créativité par le prisme des sciences cognitives et de l'expérience utilisateur, afin de proposer des recommandations sur la conception et l'utilisation des différents outils. Enfin, le contexte de recherche imposé par la chaire TTC a orienté nos recherches vers un cadre industriel et ainsi vers la création de concepts visant à la production de produits physiques. Nos différentes expérimentations sont centrées autour de ce sujet.

Pour nos expérimentations, nous avons sélectionné des participants ayant une expérience de la réalité virtuelle et/ou des procédés d'ingénierie de conception. Notre panel de participants nous permet de correspondre aux habilités et compétences du milieu industriel et des services de R&D des entreprises.

Structure du mémoire de thèse

Le **chapitre 1** aborde les travaux antérieurs qui ont été menés et ont servi de point de départ pour constituer les problématiques qui ont guidé les travaux menés pendant ces trois années. Ce chapitre débute par la définition des notions d'innovation et de créativité. Ces deux notions sont centrales à nos travaux et nous les abordons sous différents angles. Pour l'innovation, nous détaillerons les modèles les plus courants d'organisation puis nous regarderons comment la connaissance et les concepts peuvent être construits puis partagés. Nous aborderons en premier lieu la créativité du point de vue psychologique, puis comment elle s'intègre dans les activités de l'innovation. Nous détaillerons des concepts nous permettant de proposer un lien entre l'utilisation des outils et la créativité, comme le *flow* ou la charge cognitive. Nous consacrerons une dernière partie aux interfaces humain-machine et en particulier à l'expérience utilisateur, sous le prisme de la créativité et des activités de l'innovation. Nous verrons ensuite comment ces dernières peuvent être outillées avec un focus particulier sur les opportunités offertes par la réalité virtuelle. À l'issue de cette revue de la littérature, nous formulerons des hypothèses de recherche que nous chercherons à éprouver par une approche expérimentale.

Nous détaillerons dans le **chapitre 2** la méthodologie mise en place pour nous permettre de répondre à la problématique présentée précédemment et aux questions de recherche sous-jacentes. Pour réaliser ce travail de recherche, nous avons adopté une méthodologie exploratoire afin de proposer des liens possibles entre les différents champs d'études abordés dans notre état de l'art.

Les **chapitres 3** et **4** sont dédiés aux expérimentations réalisées pendant ces trois années de recherche. Les travaux détaillés dans le **chapitre 3** sont centrés autour de la construction d'un premier lien entre la charge cognitive et la créativité. Nous avons souhaité vérifier de quelle façon notre environnement et les différents stimuli conditionnent notre créativité. Le **chapitre 4** présente l'expérimentation dédiée à l'étude du lien entre l'expérience induite par différents outils et la communicabilité des idées. Plusieurs outils ont donc été choisis pour leur utilisation pour des tâches de créativité, mais aussi pour les différents niveaux de standardisation de leurs interactions.

Ce document se terminera par une synthèse des contributions et réponses aux problématiques étudiées pendant ces travaux de thèse. Nous évoquerons aussi les limites des expérimentations et les perspectives envisageables.

Chapitre 1

État de l'art

1.1	Innovation	8
1.1.1	Définition	8
1.1.2	Organisation de l'innovation	12
1.1.3	Comment accompagner l'innovation?	18
1.2	Créativité	22
1.2.1	Modélisation de la créativité	22
1.2.2	Théorie de la charge cognitive	28
1.2.3	Motivation et théorie du <i>flow</i>	34
1.2.4	Mesurer la créativité	37
1.3	Interfaces humain-machine	40
1.3.1	Expérience utilisateur	40
1.3.2	Créativité & expérience utilisateur	43
1.3.3	Techniques pour l'innovation et la créativité	44
1.3.4	Réalité virtuelle	47
1.4	Synthèse de l'état de l'art	53

1.1 Innovation

Bien que nos travaux et nos expérimentations se focalisent dans les activités d'idéation et les tâches de créativité, il est nécessaire de comprendre comment elles s'articulent dans une démarche d'innovation et donc de définir le contexte stratégique et organisationnel. Ces travaux prennent en effet racine dans un contexte de développement de nouveaux produits et d'innovation dans l'industrie. Dans cette section, nous allons donc aborder et définir les principales notions liées à l'innovation, afin de construire un socle essentiel au développement de nos travaux.

1.1.1 Définition

Dans la littérature, une des premières définitions modernes de l'innovation a été donnée par Schumpeter et Redvers (1934) comme étant une « créativité destructrice ». Les premières représentations de l'innovation voyaient l'apport de nouveaux produits sur le marché comme concurrents de l'ancien jusqu'à le remplacer. L'innovation fut ensuite redéfinie et complétée pour englober d'autres notions définissant un enchaînement d'activités complexes. Dans le manuel d'Oslo (OCDE, 2005), l'innovation est définie comme « la mise en oeuvre d'un produit (bien ou service), d'un processus nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques d'une entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures ». Cette définition, comme de nombreux travaux, présente l'innovation sous de multiples facettes. Garcia et Calantone (2002) ont présenté une méta-analyse complète reprenant ces différents aspects. Il est possible de donner une première définition de l'innovation en se basant sur les niveaux de changement, macro ou micro, apportés à l'environnement. Le niveau macro concerne le caractère nouveau relativement au monde du marché ou de l'industrie. Le niveau micro porte sur les changements apportés à une technologie et à un produit par le processus d'innovation. Boly (2004a) présente quant à lui un découpage plus précis de l'innovation au niveau organisationnel. Il présente cinq niveaux :

- **Au niveau global** : prend en compte l'écosystème collectif d'un méta-projet où des entités autonomes et leurs dirigeants inscrivent leurs projets. À ce niveau, la volonté propre de l'entreprise n'est pas prise en compte (sauf si elle est dominante dans l'écosystème) mais vient apporter de la matière pour constituer une ligne directrice stratégique générale (Ben Rejeb,

2008; Boly et Morel-Guimaraes, 2006).

- **Au niveau d'une structure :** concerne le management et la structuration de l'innovation dans l'entreprise. Nous pouvons y trouver la culture et la stratégie adoptée par l'entreprise. La volonté d'innovation de l'entreprise aura alors un impact sur la stratégie et la transformation des ambitions en engagements culturels et organisationnels. L'innovation permettra une acquisition de nouvelles méthodes et savoir-faire de pilotage pouvant être réinvestis en interne.
- **Au niveau du projet :** concerne l'organisation accompagnant le développement de l'objet de l'innovation. À ce niveau sont pris en compte les ressources nécessaires (humaines, matérielles, financières, etc.) pour la gestion et le développement du projet d'innovation. L'innovation est découpée en plusieurs activités ayant des objectifs définis pour le développement du projet dans un temps donné. Pour accompagner et structurer ces activités, des modèles organisationnels et des outils lui sont assignés.
- **Au niveau de l'individu et du groupe :** prend en compte tous les acteurs humains intervenant dans les activités de l'innovation. Ce niveau englobe les productions des différents protagonistes permettant de construire et de co-construire de nouvelles compétences. L'apport des différentes règles, méthodes ou outils permettront d'accompagner l'acquisition de nouvelles connaissances par rapport au projet.
- **Au niveau de l'objet :** concerne l'élément développé (concret ou non) par la structure qui sera mis sur le marché après de nombreuses évolutions grâce aux différentes activités mises en place qui constituent le processus de l'innovation. L'évolution de l'objet permet de développer les connaissances et les compétences nécessaires à sa constitution.

Les moyens (connaissances, structuration humaine, matériel ou encore les objectifs, Gopalakrishnan et Damanpour, 1997) mis en place dans ces différents niveaux vont fluctuer en fonction de la stratégie d'innovation adoptée par la structure. On peut distinguer deux stratégies d'innovation :

- **L’innovation de rupture** ou radicale. Pour Hage (1980), l’innovation de rupture intervient quand la structure doit engager un long processus d’acquisition de connaissances pour répondre aux différentes problématiques du projet d’innovation. Pour permettre une rupture avec l’existant du marché, la structure devra ainsi engager d’importants moyens humains et financiers sur une longue période. Cette définition a ensuite été complétée pour prendre en compte d’autres caractéristiques. Ainsi, Green *et al.* (1995) proposent quatre dimensions pour qualifier l’innovation de rupture : l’incertitude technologique (représente le degré auquel les technologies utilisées par l’entreprise pour un projet ne sont pas comprises ou développées dans la communauté scientifique), l’incertitude technique (comprend le manque de compétences et de connaissances dans le domaine d’innovation), l’inexpérience du marché (comprend le manque de connaissances pour le marché du projet) et le coût technologique (comprend le coût pour développer le produit). Cette stratégie d’innovation se rapproche de la définition de l’innovation de Schumpeter et Redvers (1934) qui voient en l’innovation une avancée considérable qui va bouleverser le marché dans un écosystème plus ou moins large. Pour Norman et Verganti (2014), l’innovation radicale provoque une discontinuité dans l’industrie. Elle n’a pas systématiquement comme objectif de répondre à la demande d’un marché, mais elle fait émerger de nouvelles demandes et donc de nouveaux marchés. L’innovation radicale a ainsi pour but de créer une rupture avec les connaissances existantes pour aboutir à de nouvelles opportunités à différents niveaux : de l’entreprise, de ses partenaires ou du monde.
- **L’innovation incrémentale** est, à l’inverse de l’innovation radicale, une amélioration de ce qui est déjà fait ou proposé. Norman et Verganti (2014) la définissent comme une amélioration dans un cadre de solution donné. L’innovation incrémentale est donc adaptée pour l’évolution de gammes de produits ou pour une entreprise souhaitant améliorer continuellement son produit.

Enfin, nous pouvons aussi distinguer plusieurs visions de l’innovation qui vont elles aussi influencer la politique d’innovation de la structure. Boly (2004b) distingue six visions différentes de l’innovation :

- **Économique** : cette vision définit l’innovation comme une mise sur le marché réussie d’un

produit et permet sa pérennité économique. Cette vision se rapproche de celle définie initialement par Schumpeter et Redvers (1934). L'innovation permet donc la mise à disposition de nouveaux produits pouvant permettre l'ouverture d'un nouveau marché. Le produit développé devra se démarquer par rapport à l'existant soit par rapport à son prix, ses fonctionnalités, ses usages, la valeur d'estime, etc.

- **Opérateur** : cette vision présente l'innovation comme une succession d'activités et de tâches permettant la transformation d'une idée en un produit nouveau. Différents protagonistes interviennent dans le processus d'innovation qui peut être linéaire ou itératif.
- **Cognitive** : cette vision définit l'innovation sous l'angle de processus cognitifs permettant la création et l'utilisation de connaissances pour la constitution d'un nouveau produit. Pour Vandervort (2003), l'utilisation de la mémoire de travail lors de l'innovation est proche de l'apprentissage. L'innovation est donc un processus évolutif multipliant les modes de raisonnement pour constituer de nouvelles connaissances. Hatchuel et Weil (2003) définissent aussi ce concept avec leur modélisation de l'innovation présentant des échanges entre les domaines des connaissances et des concepts, les deux évoluant parallèlement.
- **Systémique** : cette vision présente l'innovation comme un processus complexe menant à la proposition d'un produit. La systémique tente de présenter l'innovation en plusieurs ensembles et sous-ensembles appartenant à de nombreuses catégories et étant connectés par une multitude de canaux. Les « *systèmes* » composant le processus d'innovation sont constitués à partir des informations et de la matière première entrantes et des objectifs de sorties à atteindre. La complexité est liée à la multitude des domaines (technique, économique, managérial, etc.) que peuvent prendre les systèmes en entrées et sorties. L'acquisition et la transformation des entrées par le système, au travers d'activités, va conditionner la réussite des systèmes suivants et la réussite du processus global.
- **Biologiste** : cette vision présente l'innovation comme l'équivalent du processus d'évolution. On peut y retrouver les mêmes étapes ayant pour objectif de répondre aux impératifs de survie,

1.1. INNOVATION

de croissance et de développement. L'innovation serait donc pour l'entreprise l'évolution lui permettant d'atteindre de nouveaux marchés ou de se maintenir sur le marché en développant de nouveaux systèmes managériaux et/ou de production, de nouvelles connaissances et en développant son activité pour répondre à la demande de son environnement économique.

- **Sociologique** : pour cette vision, l'entreprise, ou la structure permettant l'innovation, est perçue comme une « *mini-société* ». Pour être réalisée, l'innovation demande la création de nouvelles relations internes et externes à la structure. L'innovation ne représente pas que ce changement, mais est aussi l'expression de ce changement envers son environnement.

1.1.2 Organisation de l'innovation

Comme nous l'avons vu précédemment, l'innovation est le résultat d'une succession d'actions, d'activités provenant de milieux et de compétences diverses pour obtenir un produit rencontrant les besoins d'un marché. Il est donc essentiel d'apporter un cadre garantissant la bonne conduite des activités et d'aboutir à la proposition d'un produit, c'est pourquoi plusieurs modèles ont été proposés.

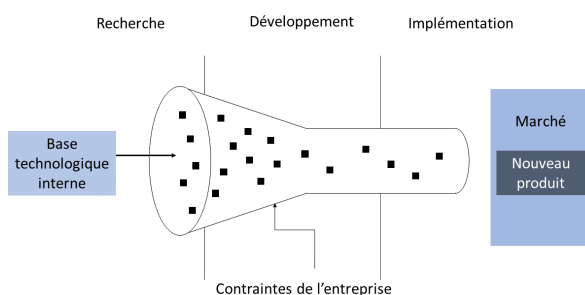


FIGURE 1.1 – Représentation de l'*Innovation Funnel*, d'après Dunphy *et al.* (1996)

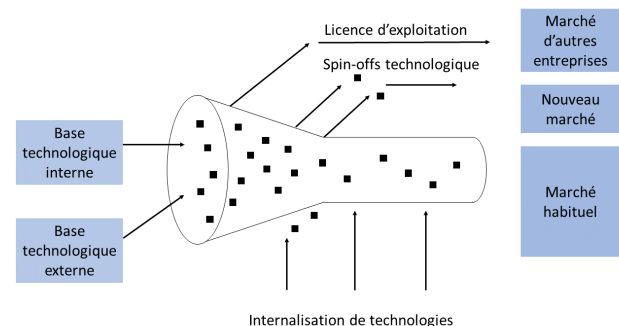


FIGURE 1.2 – Représentation du modèle de l'innovation ouverte, d'après Chesbrough (2012)

L'innovation est représentée comme un processus en entonnoir, appelé également « *Innovation Funnel* » (Dunphy *et al.*, 1996) (voir figure 1.1). Cette représentation décrit l'innovation en une succession d'étapes dont les contraintes sont imposées par l'entreprise. Au début de ce processus, la base technologique et de connaissances interne à la structure permet d'initier des activités de recherche pour développer les connaissances nécessaires pour répondre à la problématique initiale. Ensuite, les

connaissances vont être développées pour permettre l'émergence d'un nouveau produit qui sera proposé sur le marché. Nous pouvons trouver une justification à cette augmentation des contraintes dans le modèle proposé par Midler (1995). En observant le déroulement de la conception de la *Twingo* chez Renault, il a été constaté qu'au début du processus d'innovation, les possibilités de développement sont nombreuses. Les différents choix vont permettre le développement de nouvelles connaissances et bases technologiques, mais qui vont aussi fermer de plus en plus de possibilités, car elles ne seront plus compatibles avec les choix techniques. Cette évolution des libertés et des connaissances au cours du temps est illustrée par la figure 1.3.

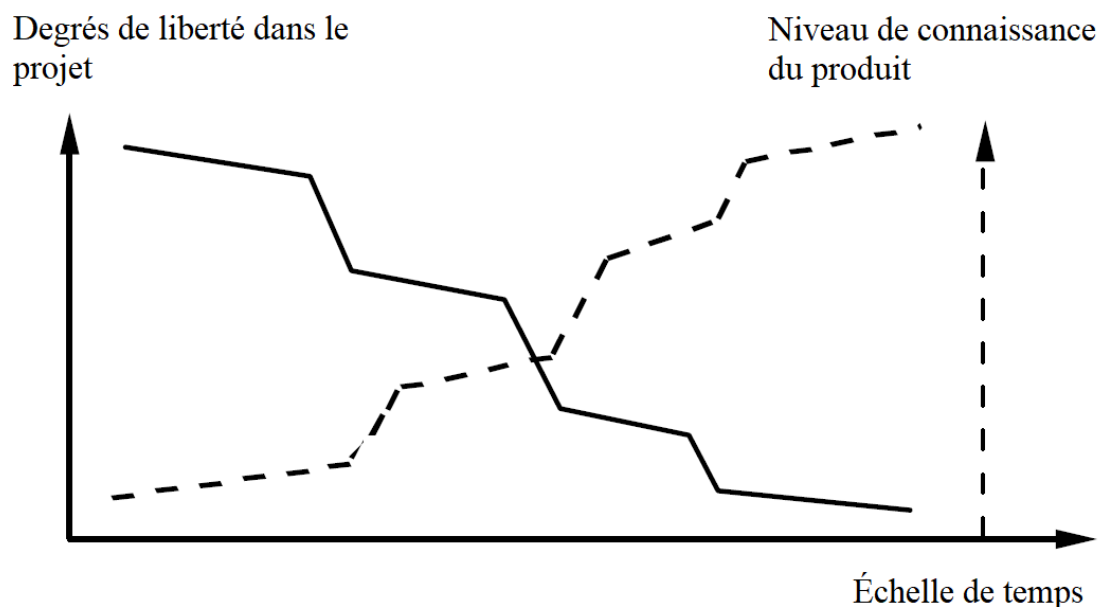


FIGURE 1.3 – Représentation de l'évolution des contraintes en fonction des connaissances à propos du produit, d'après Midler (1995)

La *Twingo* était perçue à sa conception comme innovante. En effet, l'objectif de Renault était de proposer une voiture citadine, petite et peu coûteuse à produire en faisant appel à de nouveaux procédés de conception et d'optimisation de l'espace. Le développement de ce produit a demandé à Renault de modifier et d'innover aux niveaux macro et micro. Pendant ce projet, les connaissances développées ont apporté un cadre de contraintes permettant de définir l'espace possible de propositions d'idées et de concepts.

Ces représentations fermées de l'innovation ont été remises en question et redéfinies par Chesbrough (2006). Dans la vision initiale, l'innovation était surtout centrée autour de l'entreprise et les apports

de projets ou de nouvelles connaissances ne pouvaient provenir d'entités externes. Ainsi, le modèle de l'innovation ouverte (ou *Open Innovation*) résulte des observations des habitudes d'organisation de l'innovation dans le parc technologique Xerox de l'université Palo Alto. Lors de ses observations, Chesbrough (2003) a constaté que les différentes entreprises et laboratoires de recherche échangent et collaborent pour constituer des projets innovants. Ce modèle d'organisation de l'innovation (voir figure 1.2) propose un échange plus libre des idées et des connaissances et favorise la projection des entreprises vers de nouveaux marchés.

A côté des modèles présentés précédemment, qui ont une vision économique et opératoire de l'innovation, nous pouvons aussi trouver des modèles plus systémiques de l'innovation. Celle-ci est alors présentée comme une suite d'opérations étant répétées tant que le projet n'est pas été abandonné ou que les objectifs ne sont pas atteints. Par exemple, Cooper (1990) propose une représentation de l'innovation pour cadrer les activités de l'innovation, facile à implémenter, et permettant d'accompagner les petites structures dans les processus de conception d'un nouveau produit vers le marché. Par sa vision systémique, le modèle *stage-gate* (voir figure 1.4) divise l'innovation en une succession d'étapes (*stage*) dont le démarrage est défini par des portes (*gate*) qui peuvent prendre deux états :

- **Go** : les apports de l'étape précédente sont suffisants pour permettre au projet de continuer.
- **No-Go** : l'étape n'est pas validée et demande à ce qu'elle soit refaite ou approfondie pour valider les différents objectifs et passer à l'étape suivante.

Ce modèle initial reste cependant assez rigide face à l'évolution du marché, de la demande ou encore face aux avancées technologiques. Ce modèle a connu des évolutions pour être en adéquation avec les contraintes managériales contemporaines. Le modèle *stage-gate* a donc adopté une approche agile comprenant des phases avec des objectifs à plus court terme Cooper (2014). Pour être en adéquation avec le marché, plusieurs entreprises ont adapté cette méthode pour permettre la redéfinition du produit en fonction des retours des clients et du marché. Un développement en spirale est donc adopté pour permettre plusieurs itérations. Le développement en spirale se décompose en quatre étapes :

- *Construire* : chaque itération permet de construire quelque chose qui pourra être présenté aux clients comme un prototype, le modèle brut en développement ou une version beta.
- *Tester* : chaque itération doit être testée pour en retirer le meilleur et ce qui fonctionne le mieux.

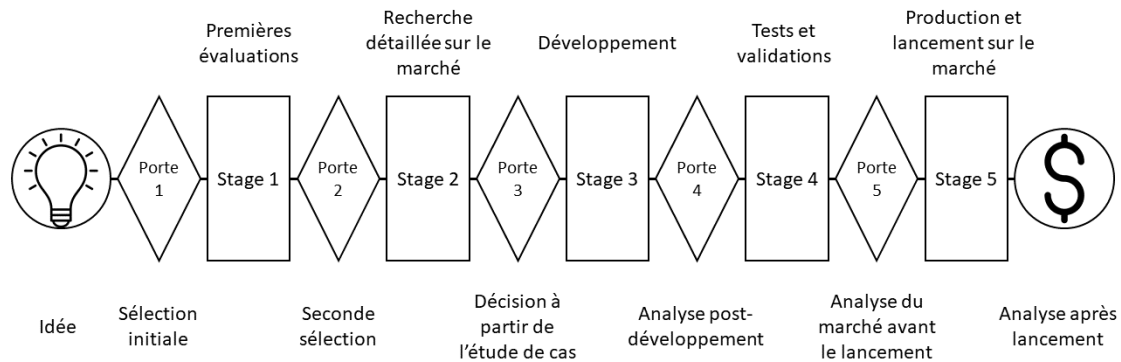


FIGURE 1.4 – Représentation du modèle *stage-gate*, d'après Cooper (1990)

- *Retour* : collecter des retours pour chaque version du produit venant des utilisateurs et clients.
- *Révision* : à la fin de la boucle, la proposition doit être repensée pour prendre en compte les éléments ressortant des tests et les retours venant des utilisateurs.

Il est possible de diviser le processus de l'innovation en deux grandes phases : l'amont et l'aval. Pour Cooper (2008), la phase amont de l'innovation s'arrête quand le projet est lancé dans les étapes de développement. C'est cette phase amont qui est la plus hasardeuse et remplie d'obstacles à passer pour la réussite du projet. Ce début de projet peut être qualifié de flou (ou *fuzzy*). Comme le décrivait Midler (1995), les connaissances sur le projet à l'origine sont faibles et se constituent au fur et à mesure du temps. Le modèle *Fuzzy Front End* permet de donner un cadre aux activités amont de l'innovation et permet, à la manière du modèle *Stage-Gate*, de fixer des objectifs pour gagner en compétences sur le projet (Kim et Wilemon, 2002; Koen *et al.*, 2002). Cette période correspond au moment où une opportunité est considérée comme pertinente à être développée, explorée par la structure jusqu'à déterminer si le passage en production est possible (Moenaert *et al.*, 1995). La transition entre la période *Fuzzy* et le développement sera faite quand le niveau d'incertitude par rapport au projet sera en dessous des exigences de l'entreprise. La figure 1.5 représente cette transition dans le projet d'innovation. Le succès et la bonne conduite de cette période a un impact conséquent sur la suite du

projet et la qualité du produit qui sera ensuite développé. Cette période agira comme un « *bras de levier* » sur la suite du projet (Verworn *et al.*, 2008).

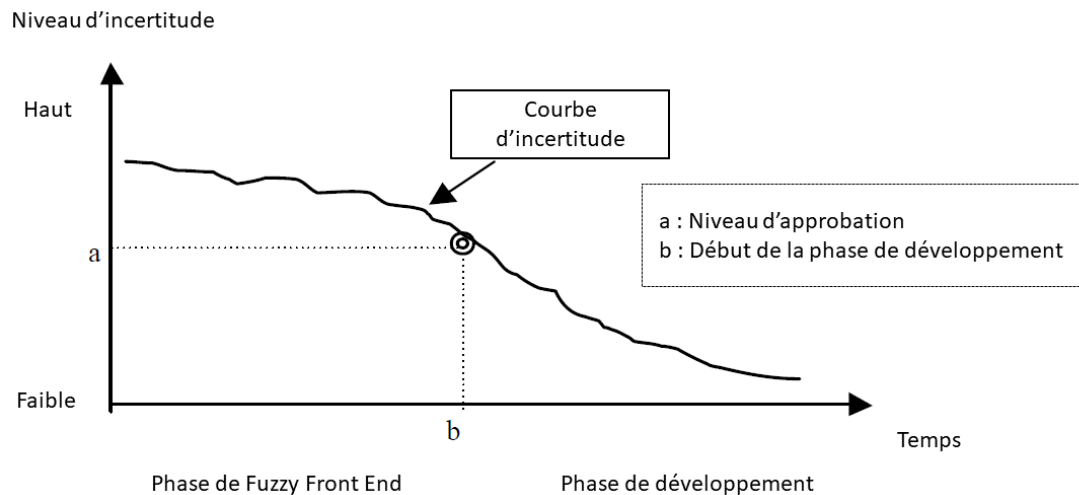


FIGURE 1.5 – Courbe d'incertitude pendant un projet d'innovation, d'après Kim et Wilemon (2002)

D'après Koen *et al.* (2001), le *Fuzzy Front End* repose sur cinq éléments :

1. **L'identification d'opportunités** : c'est la première étape de l'innovation. À ce moment, la structure identifie les opportunités qu'elle souhaite développer. Les opportunités de marché et de technologie sont prises en compte pour ensuite dédier les ressources nécessaires au projet.
2. **L'analyse d'opportunités** : une fois l'opportunité de marché ou technologique identifiée, il est nécessaire d'analyser l'environnement et le marché pour savoir si le développement en vaut la peine. Pour cette phase, des outils comme la veille concurrentielle ou l'analyse de tendance peuvent être utilisés.
3. **La génération d'idées** : cette phase marque le début de la maturation et du développement du projet. Différentes idées vont être générées, éprouvées, testées, combinées au travers d'un processus plus ou moins long. Cette étape doit être formalisée et encadrée pour enrichir une base d'idées répondant à l'opportunité qui a été sélectionnée précédemment. Une trace des différentes idées doit être gardée pour être ensuite modifiée, réutilisée.
4. **La sélection d'idée** : contrairement à un choix personnel et égoïste, le choix d'une idée à développer doit correspondre à une vision commune partagée par la structure. Les critères de sélection pourront être de nature différente, s'appuyant sur des données économiques, des com-

pétences disponibles dans la structure, du temps de développement, etc. L'analyse d'opportunité peut apporter des clés pour la décision.

5. **Le développement technologique et de concepts** : cette dernière phase intervient en transition avec la phase de développement. Les développements seront en adéquation avec les opportunités de marché sélectionnées en amont. À ce niveau, le niveau d'incertitude est suffisamment bas pour permettre la conception de premiers prototypes.

Ces cinq éléments sont entraînés par un « moteur » qui est alimenté par la direction et la culture d'organisation de la structure. Enfin, autour du projet gravitent des éléments qui influencent le développement du projet, provenant de l'environnement externe (le marché, les clients et la concurrence), l'organisation adoptée, la stratégie commerciale ou encore les connaissances disponibles. Ces éléments auront un impact tout au long du projet d'innovation (FFE et le développement). La figure 1.6 présente une schématisation des différents éléments composant la phase d'incertitude.

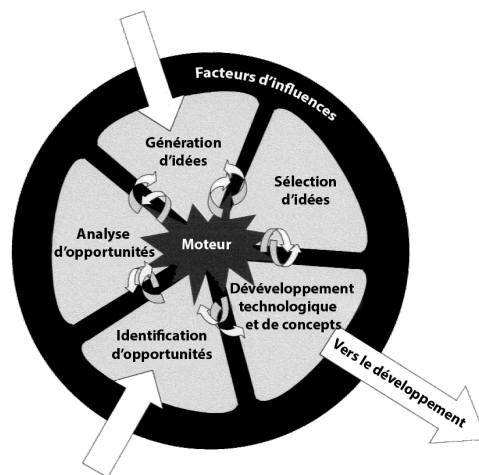


FIGURE 1.6 – Représentation du modèle *Fuzzy Front End*, d'après Koen *et al.* (2001)

Dans l'objectif d'évaluer la qualité du processus d'innovation, Lecossier et Pallot (2017) ont proposé un nouveau découpage du modèle *Fuzzy Front End*, en trois phases : la stratégie, l'idéation et la validation (voir figure 1.7). Cette représentation prend également en compte les différents apports venant de l'extérieur et de l'environnement du projet. Les définitions de l'innovation que nous avons abordées nous permettent de caractériser les exigences des activités qui doivent être menées et de sélectionner les outils pertinents.

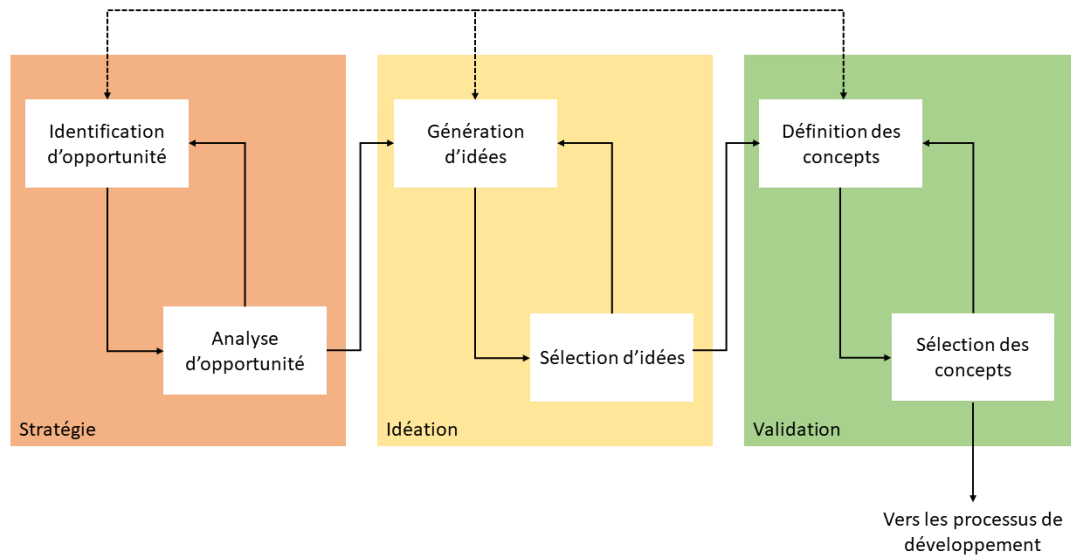


FIGURE 1.7 – Représentation du modèle *Fuzzy Front End* repris par Lecossier et Pallot (2017)

1.1.3 Comment accompagner l'innovation ?

Les modèles que nous avons présentés précédemment permettent d'apporter un cadre et des objectifs aux différentes activités liées à un processus d'innovation. Toutefois, pour en garantir le succès, il est essentiel de fournir un guide à l'aide d'outils ou de méthodes permettant d'accompagner l'évolution des concepts et des idées. Cette section proposera un panel d'outils ou de méthodes pouvant s'appliquer sur chacune des étapes définies par Lecossier et Pallot (2017).

L'accompagnement des phases d'idéation et de sélection de solutions adéquates est un point central pour la réussite du processus de l'innovation. Nous avons identifié deux solutions présentant les stratégies principales de l'idéation. Dans un premier temps, nous présentons CK qui permet la gestion des connaissances pour l'idéation et qui rend possible la restructuration des services de R&D et donc des activités de développement présentées dans le modèle *FFE*. Ensuite, nous présenterons la méthode TRIZ qui permet d'apporter des solutions plus concrètes à des problématiques d'ingénierie et d'innovation. Elle peut donc être considérée comme une passerelle entre l'idéation et le développement.

Plusieurs études (Casakin, 2004; Holyoak, 1985) avancent que le processus d'idéation se base sur des éléments qui ont été vus, constatés dans l'environnement. La proposition d'idées se ferait grâce

à un processus d'analogie constitué à partir des connaissances préalablement établies. La théorie CK se base sur cette représentation du processus d'idéation. Hatchuel et Weil (2003, 2008) proposent un outil pour représenter et accompagner les échanges intervenant entre la génération et l'utilisation de connaissances et de concepts. Lors d'une activité de créativité, il y aurait deux espaces indépendants et définis qui sont centrés autour des connaissances (**K**) et des concepts (**C**) (voir figure 1.8).

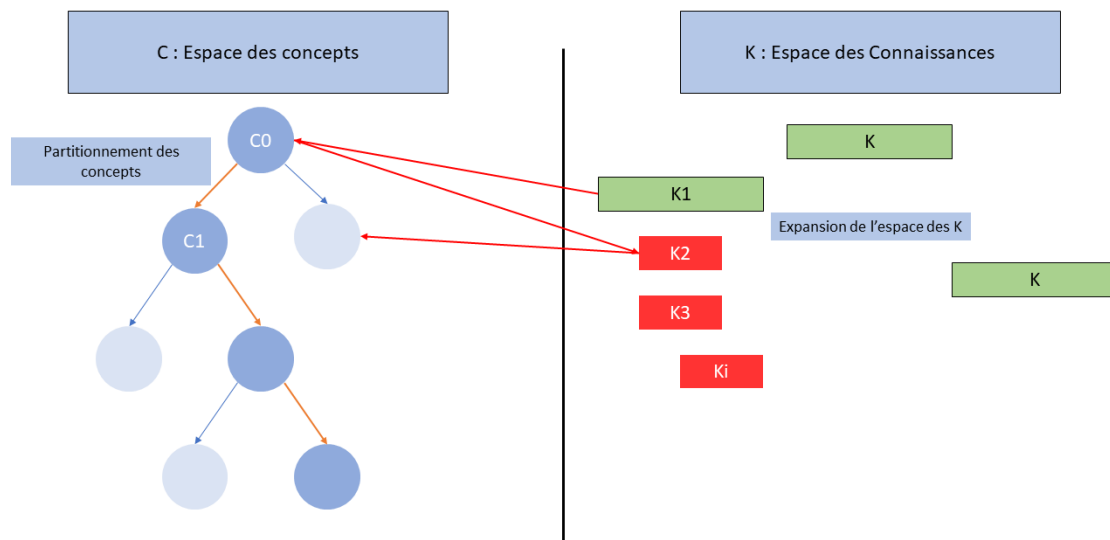


FIGURE 1.8 – Représentation des échanges entre l'espace des concepts et des connaissances, d'après Le Masson *et al.* (2017)

Le Masson *et al.* (2017) définissent l'espace des K par des faits ayant un statut logique (*vrai ou faux*). Il est possible d'étendre l'espace des K en ajoutant de nouvelles connaissances par l'apprentissage, l'expérimentation, etc. L'espace de C se constitue de propositions dont l'existence est indéfinie. La constitution de ces propositions se fait à l'aide des possibilités offertes par l'espace des K. Ces propositions sont alors appelées concepts. Un concept peut être : « *Il y a des bateaux volants ; Il y a des stations de bus mobiles* ». Une proposition ne peut être définie comme vraie ou fausse qu'à l'aide des connaissances. Il est possible de partitionner l'espace des C pour favoriser une caractéristique et la développer à la suite du projet. La première itération sera appelée C_0 .

Cet outil a aussi permis de repenser l'organisation humaine adoptée dans les bureaux d'études ou dans les services d'innovation. En observant l'innovation chez *Téfal*, Le Masson *et al.* (2006) ont établi que les activités étaient organisées en trois entités communicantes (Hatchuel *et al.*, 2001) :

- La **recherche** est définie comme un processus contrôlé pour la création de nouvelles connaissances. La recherche a pour but de répondre aux questions posées en amont. Cependant, de nouvelles connaissances non pertinentes ou ne répondant pas aux questions posées peuvent être créées mais pourront ensuite être valorisées par la structure dans de futurs projets. La recherche participe donc à la définition de propositions de solutions, mais ne définit pas la solution finale.
- Le **développement** est un processus qui reprend les connaissances et savoir-faire développés par la recherche dans le but de définir un produit, un concept. Tous les savoir-faire et les connaissances ne sont pas forcément disponibles au début du processus créatif et sont générés tout au long de la phase de développement. Des échanges existent donc entre la recherche et le développement. En effet, si des concepts sont générés à partir de connaissances définies préalablement par la partie recherche, quand le développement fait face à une nouvelle problématique, de nouvelles questions sont posées à la recherche, permettant de constituer de nouvelles connaissances essentielles au développement des propositions. Nous pouvons voir dans cet échange, la représentation entre les connaissances et les concepts illustrés par la figure 1.8.
- L'**innovation** ou structure d'innovation a deux objectifs : définir les valeurs et identifier les nouvelles compétences nécessaires. L'objectif de l'innovation est de coordonner les processus de recherche, en recueillant les questions, et du développement, en réinvestissant les différentes connaissances acquises.

Ainsi, l'évolution des concepts et des connaissances est gérée par une structure organisationnelle qui pourra ensuite réinvestir les différentes connaissances constituées ou concepts générés dans de futurs projets ou dans les futures étapes de la proposition d'un nouveau produit.

Pour conclure la partie idéation et amorcer la phase de conception, il est essentiel de proposer des solutions pouvant être mises en oeuvre par la conception et répondant aux attentes et besoins de l'entreprise. TRIZ adopte aussi une représentation de l'idéation par analogie (Altshuller et Altov, 1996) applicable lorsque des problématiques sont rencontrées lors des phases de conception de nouveaux produits. Cette méthodologie a été conçue à partir de l'analyse de milliers de brevets dans l'optique d'identifier les principes guidant l'innovation (Altshuller, 1946; Altshuller et Altov, 1996). Ces observations révèlent que la majorité des innovations se base sur un nombre limité de principes géométrique, physique ou chimique. Il a donc été possible d'identifier 40 grands principes pour per-

mettre aux ingénieurs de trouver une solution à chaque problème. A l'aide de la méthode TRIZ, il est possible de trouver des solutions à un problème en trois étapes et en s'inspirant de solutions proposées dans d'autres domaines. La première étape demande de rendre le problème abstrait, c'est-à-dire de le rendre généralisable à d'autres domaines pour permettre la seconde étape. Cette dernière permet de résoudre la problématique abstraite à l'aide de solutions abstraites (indépendantes du domaine du problème initial) en sélectionnant parmi les 40 principes ceux permettant la résolution. Enfin, lors de la troisième étape, les solutions abstraites sont adaptées et imaginées dans le but de répondre à la problématique initiale. Cette méthode s'est répandue à travers le monde et est encore largement utilisée dans les milieux de l'industrie et de l'innovation (Cascini et Rissone, 2004; Ilevbare *et al.*, 2013; Petković *et al.*, 2013; Srinivasan et Kraslawski, 2006). Lors de la proposition de solutions, il est nécessaire de prendre en compte que les solutions proposées vont apporter des éléments positifs, mais aussi dégrader certaines caractéristiques du produit. Pour visualiser cette dualité dans la proposition de solutions, Altshuller propose une matrice répertoriant ces éléments en se basant sur l'analyse des brevets qui ont été déposés. La figure 1.9 représente ainsi une matrice de contradiction. La partie gauche présente les éléments positifs et la partie supérieure présente les éléments qui dégradent la solution. Dans chaque case sont indiqués les éléments qui vont pouvoir intervenir pour résoudre la contradiction entre la ligne et la colonne. Cette analyse permettra d'identifier la solution la plus adaptée pour résoudre la problématique.

Les solutions que nous avons abordées précédemment apportent un cadre organisationnel à l'activité humaine spécifique et complexe qu'est la créativité. La partie suivante est donc consacrée à la définition de ces activités qui sont centrales lors des étapes d'idéation définies dans le FFE (Lecossier et Pallot, 2017). La réussite de l'idéation est principalement conditionnée par la qualité des activités de génération d'idées. Les méthodes abordées précédemment ont pour objectif d'accompagner et de simplifier les activités de créativité qui vont permettre de faire émerger des solutions applicables au projet. Notre prochaine partie est dédiée à l'étude et la compréhension des activités de créativité et des facteurs cognitifs conditionnant leur réussite.

1.2. CRÉATIVITÉ

Worsening Feature → ↓ Improving Feature	Speed	Shape	Loss of Time	Reliability	Measurement accuracy	Ease of operation	Adaptability or versatility	System complexity	Measurement Difficulty	Productivity
Speed	+	35, 15, 18, 34		11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	32, 28, 13, 12	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	
Shape	35, 15, 34, 18	+	14, 10, 34, 17	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 15, 26	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	17, 26, 34, 10
Loss of Information	26, 32		24, 26, 28, 32	10, 28, 23		27, 22			35, 33	13, 23, 15
Loss of Time		4, 10, 34, 17	+	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	4, 28, 10, 34	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	
Measurement accuracy	28, 13, 32, 24	6, 28, 32	24, 34, 28, 32	5, 11, 1, 23	+	1, 13, 17, 34	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	10, 34, 28, 32
Ease of operation	18, 13, 34	15, 34, 29, 28	4, 28, 10, 34	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	+	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		15, 1, 28
Ease of repair	34, 9	1, 13, 2, 4	32, 1, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	1, 12, 26, 15	7, 1, 4, 16	35, 1, 15, 11		1, 32, 10
Adaptability or versatility	35, 10, 14	15, 37, 1, 8	35, 28	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	15, 34, 1, 16	+	15, 29, 37, 28	1	35, 28, 6, 37
System complexity	34, 10, 28	29, 13, 28, 15	6, 29	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	27, 9, 26, 24	29, 15, 28, 37	+	15, 10, 37, 28	12, 17, 28
Productivity		14, 10, 34, 40		1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	1, 28, 7, 10	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	+

FIGURE 1.9 – Exemple de matrice des contradictions, d'après les travaux de Cascini et Rissone (2004)

1.2 Créativité

Comme nous l'avons dit précédemment, nos travaux de thèse se concentrent sur l'activité de créativité et plus précisément sur les outils permettant d'accompagner la créativité dans un cadre d'innovation industrielle. Cette partie va permettre de définir la créativité et de présenter certains éléments des sciences cognitives qui peuvent alimenter de manière pertinente la compréhension des activités de créativité ; elles serviront également de base à nos expérimentations. Enfin, nous présenterons des outils permettant de mesurer la créativité d'un individu.

1.2.1 Modélisation de la créativité

Communément, la créativité est définie comme une activité permettant l'émergence d'idées pouvant répondre à une problématique donnée (Lubart *et al.*, 2015). Pour Ward et Kolomyts (2010), la créativité est le résultat d'activités cognitives complexes influencées par des facteurs provenant d'expériences personnelles et sociales. Nous allons par la suite détailler ces différentes activités à l'aide de plusieurs modèles cognitifs. La créativité peut s'exercer dans de nombreux contextes qui sont liés à

1.2. CRÉATIVITÉ

des activités artistiques ou scientifiques et/ou techniques. Ces compétences de créativité sont liées aux types d'intelligences (Gardner, 1993) liés aux champs de compétences qui peuvent être scientifiques ou artistiques. Il a donc été initialement identifié six domaines d'intérêt pour la créativité : réaliste, observateur, artistique, social, audacieux, conventionnel (Holland, 1997). Plus tard, le terme « domaine d'intelligence » sera donné pour inclure sept domaines différents : la psychologie, la physique, la biologie, la linguistique, les mathématiques et la musique (Feist, 2004). Baer et Kaufman (2005) proposent un cadre, avec le modèle *APT* (**A**musement **P**ark **T**heoretical), pour définir les appétences de créativité en fonction des prérequis initiaux (motivation, connaissances, etc.) et un domaine spécifique. Ce dernier résulte d'un découpage en trois niveaux des domaines d'expertises : la thématique générale (*e.g.*, l'écriture), le genre (*e.g.*, la poésie) et le sous-genre (*e.g.*, haïku). Ce découpage est essentiel pour déterminer quels sont les profils favorisant la créativité dans ces domaines (Kaufman *et al.*, 2009). Enfin, il a été identifié quatre domaines de compétences demandant une organisation mentale différente pour répondre à la problématique liée à la tâche de créativité : la science et les mathématiques (informatique, chimie, etc.), l'art dramatique (la fiction, le théâtre, etc.), le relationnel (l'enseignement, la résolution de problème, le management, etc.) et l'art (la peinture, la musique, etc.) (Kaufman, 2012; Silvia *et al.*, 2012).

Bien qu'il existe des courants de pensées différents sur la notion de créativité, le processus créatif semble faire davantage l'objet d'un consensus. Nous allons donc essayer de présenter la créativité via le prisme des modèles structurels. En 1926, Wallas propose une première représentation de l'évolution du processus mental par cinq étapes (voir figure 1.10) :

- **La préparation et la vérification** sont les deux phases qui sont faites consciemment et volontairement selon l'auteur. D'après Wallas, durant cette phase sont effectuées les opérations logiques et d'expérimentation qui permettent de définir et de confirmer l'idée.
- **L'incubation et l'intimation** sont les périodes durant lesquelles interviennent des processus mentaux inconscients permettant à la problématique d'être traitée. Durant ces processus, plusieurs idées vont être générées et associées. Ces étapes sont conditionnées par l'étape de « préparation ».
- **L'illumination** correspond à une période semi-consciente où une idée va provoquer un « flash » et permettre de produire une solution pouvant répondre à la problématique initiale. Cette idée sera ensuite traitée et testée consciemment dans l'étape de « vérification ».

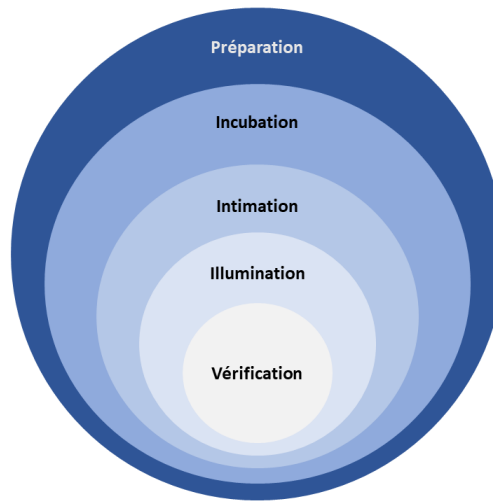


FIGURE 1.10 – Représentation du processus mental de la constitution d'une idée, d'après le modèle de Wallas (1926)

Ce modèle donne une première représentation des processus mentaux intervenant pendant une tâche de créativité. Amabile (1983) définit la créativité comme « étant une réponse nouvelle, correcte, utile et appropriée à une tâche ». Elle proposera une évolution du modèle de Wallas en intégrant de nouveaux composants comme les compétences dans le domaine (ce sont les compétences de base sur le sujet de la tâche), les compétences par rapport à la créativité (les compétences à appliquer des stratégies cognitives), de nouveaux schémas de réflexion et la motivation (la détermination individuelle à résoudre une tâche).

Ce modèle présente l'évolution du processus cognitif lors de la génération d'une nouvelle idée répondant à une tâche de créativité. La figure 1.11 offre une représentation de ce processus cognitif en intégrant les éléments le modulant : la personnalité, les aptitudes cognitives, les variables sociales et environnementales. La première étape de ce modèle est la présentation ou la préparation de la tâche qui est fortement influencée par les motivations et compétences. La motivation intrinsèque doit être suffisamment forte pour que la tâche ait un intérêt et soit ensuite réalisée. La deuxième étape permet la constitution et la préparation des connaissances sur le domaine cible pour ensuite pouvoir les réinvestir dans les étapes suivantes. Cette étape peut être plus ou moins longue en fonction de la richesse des connaissances initiales et de la nécessité de constituer de nouvelles connaissances. La troisième étape correspond à la période de création de solutions originales. Pour chaque idée, un chemin cognitif sera utilisé ou créé pour répondre à la problématique. La réussite de cette étape est conditionnée par les

1.2. CRÉATIVITÉ

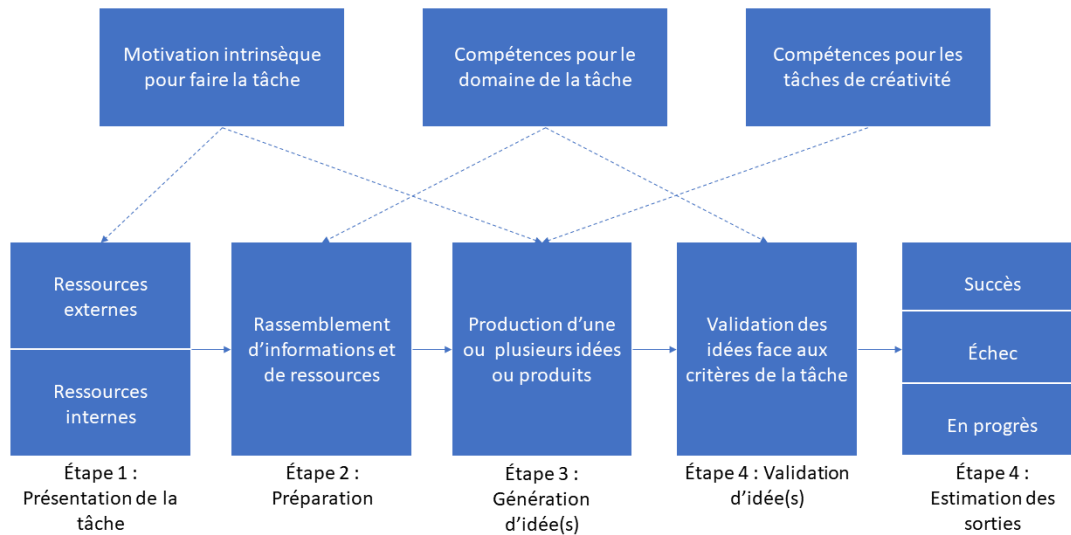


FIGURE 1.11 – Représentation du processus mental de la créativité, d'après Amabile (1988); Amabile et Pratt (2016)

aptitudes à la créativité et à la motivation pour la résolution de la tâche. La quatrième étape aura pour objectif de vérifier que l'idée peut être utile, appropriée ou assez importante. Le deuxième critère de sélection entrant en jeu est la qualité de nouveauté de l'idée. Cette qualité va être caractérisée par les contraintes définies dans les étapes précédentes. Il est essentiel qu'une idée soit jugée nouvelle pour être sélectionnée. La dernière étape correspond au résultat de l'étape de validation. Si l'idée atteint tous les objectifs de nouveauté et d'attentes par rapport à la problématique initiale, l'idée est validée et le processus de créativité s'arrête. Si l'idée est un échec complet, qu'aucun des objectifs n'est atteint ou qu'elle est jugée irréalisable dans le contexte de la tâche, alors le processus s'arrête en rejetant l'idée. Enfin, si l'idée sélectionnée atteint partiellement les objectifs ou marque une évolution dans la réflexion, alors le processus redémarre à l'étape 1 où la problématique est à nouveau posée (Amabile et Pratt, 2016).

La seconde partie de ce modèle traduit les facteurs qui influent sur la tâche de créativité, à l'image de la motivation. Comme nous l'avons vu précédemment, cette motivation peut être intrinsèque et extrinsèque (Amabile, 1985; Calder et Staw, 1975; Deci, 1971; Lepper *et al.*, 1973). La motivation intrinsèque est liée à la volonté propre de réaliser et de réussir la tâche. Au contraire, la motivation extrinsèque est liée au regard et au jugement que peut avoir l'extérieur (Amabile, 1985). Il a été

1.2. CRÉATIVITÉ

établi que pour une tâche de créativité, c'est la motivation intrinsèque qui est la plus favorable, car elle favorise la prise de risques et l'exploration, tandis que la motivation extrinsèque va promouvoir l'adoption de concepts et d'idées plus conventionnels. Mais la motivation extrinsèque peut néanmoins être utilisée comme impulsion initiale pour une tâche de créativité (Deci, 1971; Hennessey, 2010). Ces motivations peuvent passer par des récompenses, comme pour l'apprentissage, cela résultant *in fine* à favoriser la création de nouveaux liens mentaux entre les différentes connaissances utiles à la créativité (Gerhart et Fang, 2015; Selart *et al.*, 2008).

Enfin, pour compléter le descriptif des éléments influençant les tâches de créativité, nous devons prêter une attention particulière à la description de l'environnement. Amabile et Pratt (2016) proposent ainsi une évolution de leur modèle de la créativité en ajoutant l'influence de l'environnement sur l'organisation de la créativité ou des motivations à la résolution de la tâche. Tout d'abord, la créativité est sous l'influence de l'environnement social, culturel et économique. Au niveau de la structure, la culture de l'entreprise aura une influence sur les performances créatives et le partage des connaissances (Amabile, 2012; Schepers et Van den Berg, 2007; Zhang et Bartol, 2010). Il apparaît que les environnements « libérés » (sans contrainte sociale forte) et favorisant la communication permettent une meilleure créativité. Il faut aussi noter que l'environnement physique a un impact sur la créativité (Hoff et Öberg, 2015), au travers des éléments d'aménagement intérieur, de l'architecture intérieure et des conditions ambiantes (*e.g.* la lumière, l'espace par personne, Harrington, 1999). Ainsi plusieurs études démontrent que les environnements naturels favorisent la créativité (Kaplan et Kaplan, 1989; Lee *et al.*, 2015; Ulrich, 1981; Ulrich *et al.*, 1991; Williams *et al.*, 2018) en permettant de restituer les capacités attentionnelles. L'impact de l'environnement est naturellement modulé par l'activité réalisée et donc l'effort de concentration qu'elle implique (Basu *et al.*, 2019). Par exemple, lire un livre est une activité exigeante qui demandera beaucoup d'attention (attention soutenue), alors que regarder un film demandera moins d'effort, mais occupera tout autant l'esprit (fascination soutenue). À l'inverse, certaines activités ne sont pas aussi exigeantes mentalement et laissent de la place à la réflexion pendant leur exécution comme marcher en forêt (fascination faible); aller faire des courses peut demander de l'attention tout en laissant de la place pour d'autres pensées (attention faible). Ces activités vont donc mener à une fatigue ou à une restauration mentale en fonction du mode d'attention et de la quantité de ressources mentale déjà occupée. Jett et George (2003) constatent que les éléments interruptifs présents dans notre environnement vont également favoriser la restauration mentale ou la

fatigue qui auront une incidence directe sur la créativité. Une taxonomie des différentes interruptions est proposée par Mochi et Madjar (2018) :

- **Les intrusions** sont provoquées par une personne extérieure qui va « briser » le flow et la continuité d'une tâche en imposant une pause temporaire. Les discussions/visites non programmées de personnes sont considérées comme des intrusions. Une autre tâche sera engagée avec la personne ayant provoqué l'intrusion dans le travail ce qui diminuera le temps de travail alloué à la tâche d'origine. Par leurs caractéristiques inattendues, fréquentes et traitant d'un sujet non lié à la tâche, il est convenu de les considérer comme des éléments néfastes pour l'attention et la créativité. Bien que des effets positifs aient été trouvés (apport de nouvelles idées), les effets néfastes, caractérisés en particulier par le temps nécessaire pour se consacrer à nouveau au sujet, ont un impact important sur la tâche initialement démarrée.
- **Les pauses** sont planifiées ou spontanées. Comme pour les intrusions, les pauses marquent un arrêt dans la tâche. Cependant, les pauses sont anticipées et correspondent au rythme de vie et de travail. Les pauses peuvent être des activités physiques ou psychologiques comme une marche, écouter de la musique ou rêver. La théorie évoquée précédemment d'attention-restauration met en avant l'importance des pauses pendant le travail. Des conséquences négatives ont aussi été identifiées, une pause trop longue ou avec une activité trop prenante favorisant la procrastination et réduisant l'engagement et la motivation intrinsèque par rapport à la tâche. Malgré ces aspects négatifs, les pauses sont essentielles au travail et permettent l'incubation des idées, la divergence mentale et donc la créativité (Baird *et al.*, 2012; Dijksterhuis et Meurs, 2006; Sio et Ormerod, 2009). De plus, en stoppant l'activité initiale, les pauses permettent de « redémarrer » un nouveau cycle de réflexion, et d'augmenter le nombre d'idées proposées (Eliav et Miron-Spektor, 2015).
- **Les distractions** sont des stimuli de l'environnement qui vont capter l'attention, la faire diverger de la tâche initiale et auront une conséquence sur le processus cognitif. L'impact que peut avoir une distraction sur une personne va dépendre de sa motivation intrinsèque à résoudre la tâche, mais aussi de son tempérament. Par exemple, lors d'une tâche nouvelle, ou nécessitant de l'apprentissage, la distraction aura des effets négatifs sur les performances (Speier *et al.*, 2003). Au contraire, lors d'une tâche routinière, l'impact des distractions sera négligeable sur la qualité des résultats liés à la tâche (Zijlstra *et al.*, 1999). Les distractions peuvent donc

1.2. CRÉATIVITÉ

avoir un effet positif en provoquant une inspiration apportant de nouvelles données utiles à la résolution.

Ces différentes interruptions, ou l'impact qu'elles peuvent avoir sur la tâche en cours, ont un lien avec la charge cognitive. L'étude de la charge cognitive apportera des clefs de compréhension de l'impact des stimuli de notre environnement sur la créativité.

1.2.2 Théorie de la charge cognitive

1.2.2.1 Définition

Ces théories ont été développées par Sweller (1988) dans un contexte d'apprentissage. Selon lui, lors de l'apprentissage, deux mécanismes interviennent : la création de nouveaux schémas et l'automatisation de l'utilisation des schémas. Le premier mécanisme consiste à construire une représentation de la connaissance en schémas mentaux. D'après Sweller, les schémas mentaux sont des structures permettant de reconnaître des problèmes puis d'appliquer les actions à mener en conséquence. L'application des bonnes actions passe par l'apprentissage et l'expérimentation dans des situations similaires. La construction et l'application de ces schémas vont demander un effort plus ou moins important qui va varier en fonction de la quantité d'informations à intégrer et de leur support (Sweller, 1994). Les connaissances sont alors construites de manière incrémentale. Lors des premiers instants de l'apprentissage d'une nouvelle connaissance, l'effort cognitif demandé sera élevé. Plus cette connaissance sera appliquée, moins l'effort sera élevé, car des automatismes seront acquis. Prenons l'exemple, lors des cours d'algèbre, de la résolution d'une équation du type $(a + b)/c = d$ pour trouver la valeur de a . L'apprentissage des règles de calcul et des symboles demandera un premier effort mental qui aboutira à la structuration de schémas mentaux. Ces schémas mentaux permettront ensuite la mise en place d'automatismes qui ne mobiliseront que peu d'attention. L'attention libérée va donc laisser plus de ressources pour l'acquisition et la résolution de nouveaux problèmes (Miller, 1956).

Les ressources allouées à l'acquisition de nouvelles connaissances et l'apprentissage sont représentées par la charge de travail. Nous avons une charge de travail par canal : le canal audio-verbal et le canal visuo-spatial (Baddeley, 1999). Ces deux charges fonctionnent indépendamment, mais disposent d'une capacité limitée (Chandler et Sweller, 1991). Mayer et Moreno (2010) proposent une représentation de l'utilisation de la charge de travail sur des supports multimédias. Cette représentation est résumée par la figure 1.12.

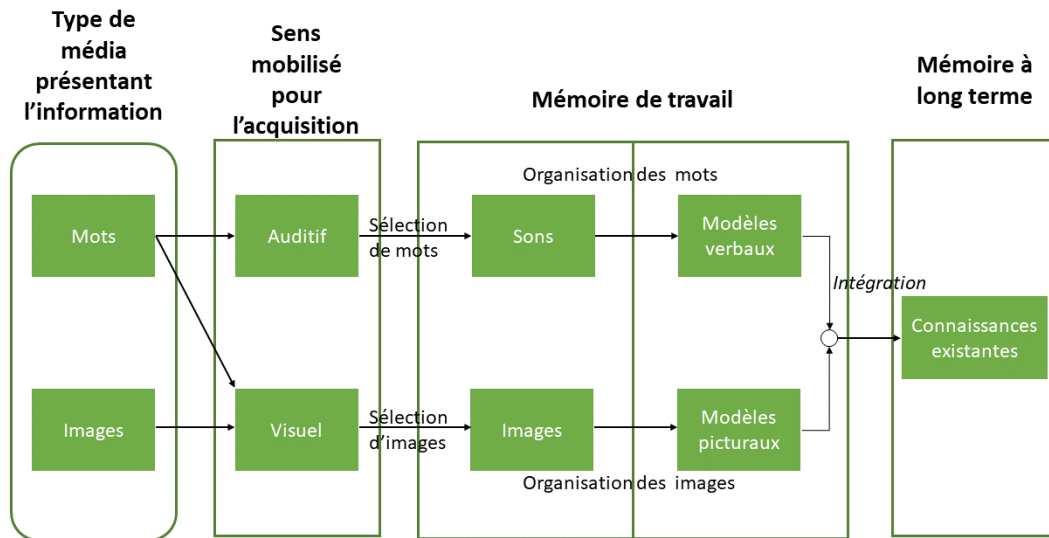


FIGURE 1.12 – Représentation du fonctionnement cognitif de la mémoire de travail, d’après les travaux de Mayer et Moreno (2010).

Lorsqu’une information est présentée par un média, elle est perçue par un ou plusieurs sens. Une partie de l’information permettant la compréhension de la connaissance est ensuite envoyée à la mémoire de travail (représentée par les flèches « *sélection de mots et d’images* »). Ces données sont ensuite traitées par la mémoire de travail qui va les organiser et les transformer en modèles mentaux (représentés par les flèches « *organisation des mots et images* »). Enfin, les modèles qui viennent d’être créés vont être transformés en connaissances et envoyés dans la mémoire à long terme. Le processus d’apprentissage est conditionné par les connaissances antérieures, les objectifs intrinsèques d’apprentissage, mais aussi les stratégies d’apprentissage mises en place.

Nous trouvons dans la littérature un découpage de la charge de travail en trois charges différentes (Paas *et al.*, 2003b; Sweller *et al.*, 2019, 1998) :

- **La charge cognitive intrinsèque** est liée à la complexité liée à la tâche. Cette charge cognitive dépend de deux facteurs : le nombre d’éléments en interaction et les connaissances préalables (Klepsch *et al.*, 2017; Moreno et Park, 2010). Le nombre d’éléments en interaction correspond au nombre d’éléments, liés entre eux, que l’exécutant de la tâche va devoir manipuler simultanément en même temps que de traiter la tâche. Les connaissances préalables sont essentielles pour faciliter l’acquisition de nouvelles informations en permettant de faire le lien avec des schémas

mentaux préalablement construits. Plus les informations à traiter sont compréhensibles et organisées, moins il y aura d'éléments inconnus à traiter par la charge de travail. Plus l'exécutant sera habitué à manipuler les différents éléments et aura des connaissances amont sur la tâche, plus cette charge sera faible. À partir de cette définition, deux méthodes ont été proposées pour réduire la charge cognitive intrinsèque. D'une part, en diminuant le nombre d'éléments en interaction, en présentant étape par étape les nouvelles données (Mayer et Moreno, 2010). Les nouvelles connaissances peuvent être assimilées au fur et à mesure et permettre de mettre en relation différents éléments progressivement. Cette méthode permet ainsi la réduction des charges cognitives intrinsèques et extrinsèques. D'autre part, une autre méthode est de fournir des connaissances en amont, pour faciliter la mise en relation de différentes informations intervenant pendant l'apprentissage (Mayer et Pilegard, 2005).

- **La charge cognitive extrinsèque** est liée au support utilisé pour la tâche. Les ressources extrinsèques vont être mobilisées durant des actions non nécessaires à la tâche et à l'acquisition de nouvelles connaissances. Il est donc nécessaire d'utiliser une interface accompagnant au mieux l'utilisation, la construction et l'acquisition des connaissances. Pour optimiser l'apprentissage, il faut veiller à ce que la charge cognitive extrinsèque ne soit pas trop élevée. Nous pouvons trouver, dans la littérature, des études proposant des méthodes pour faire diminuer la charge cognitive extrinsèque. Comme pour la charge intrinsèque, la segmentation dans la présentation des connaissances va permettre de réduire la charge cognitive extrinsèque en rendant l'information plus accessible et découpée de manière cohérente (Mayer et Moreno, 2010). Ensuite, plusieurs études ont démontré que l'adoption de médias différents et mobilisant les modalités visuelles et auditives (voir figure 1.12) permet une meilleure intégration de la connaissance (Mayer et Pilegard, 2005), sous réserve d'une cohérence dans la construction de l'information ou la redondance dans la présentation de l'information au travers de médias différents (Cheah et Leong, 2019; Sweller, 2005). D'après Baddeley (2003) chaque modalité sensorielle dispose de sa propre charge de travail indépendante des autres. Par exemple, quand une image est montrée, il est préférable de l'accompagner par un texte audio traitant du même sujet, car il mobilisera les aires auditives. L'apprenant peut donc traiter en simultané les informations visuelles et auditives et optimise l'utilisation des ressources cognitives tout en évitant une surcharge des modalités visuelles.

- **La charge cognitive utile** est mobilisée pour la réalisation des activités aidant à acquérir de nouvelles connaissances et la construction de nouveaux schémas mentaux (Paas *et al.*, 2003a). Cette charge cognitive comprend la prise de notes d'éléments importants et essentiels pour retenir de nouvelles informations ou le fait d'expliquer à quelqu'un une connaissance. Un haut niveau de charge cognitive utile indique un haut niveau d'engagement dans la tâche. Lors de l'activation de la charge utile, les informations acquises sont mises en lien avec les connaissances préalables et utilisées pour construire de nouveaux schémas. Il y a donc un fort lien entre la charge cognitive intrinsèque et la charge utile. La charge cognitive utile est aussi liée à la charge cognitive extrinsèque. Si la charge extrinsèque est trop élevée et surcharge les capacités de la charge de travail, la charge utile sera diminuée pour permettre à la tâche d'être effectuée.

Bien que la théorie de la charge cognitive soit initialement appliquée à l'apprentissage, il est possible de l'appliquer à la créativité. Plusieurs recherches ont étudié la créativité sous le prisme de l'éducation et de la psychologie (Guildford, 1959; Torrance, 1966). Pour Sweller (2009), un lien peut être fait entre les mécanismes cognitifs d'apprentissage et de résolution de problèmes. Lors de la résolution d'un problème, des connaissances initiales sont utilisées pour interpréter la situation et proposer de solutions innovantes. Les périodes d'incubation et de validation des idées définies par Amabile et Pratt (2016) et Wallas (1926) correspondent aux étapes de structuration de nouveaux schémas mentaux. La création de ces schémas va permettre de constituer de nouvelles connaissances qui vont permettre de faire progresser la tâche de créativité. L'automatisation de l'utilisation de ces connaissances va être liée aux compétences utiles pour effectuer une tâche de créativité et favoriser la constitution de nouvelles idées. Un lien peut donc être fait entre la créativité définie par Amabile qui a pour objectif de répondre à une problématique et les activités de résolution de problèmes (Sweller, 2010). La construction de nouvelles idées se fait par l'association de connaissances. Cette nouvelle idée est une nouvelle connaissance qui sera prise en compte lors de futures activités de créativité. La mesure de la charge cognitive lors de tâches de créativité permet d'étudier et d'expliquer comment l'environnement et les outils interagissent sur les processus mentaux mis en oeuvre.

1.2.2.2 Mesures de la charge cognitive

La mesure de la charge cognitive peut intervenir dans différents cas de figure comme la conception d'un nouvel outil, d'une nouvelle tâche, ou bien pour constater l'impact d'un élément sur les capacités

cognitives. En fonction de l'objectif, certains types de mesures sont à favoriser. La charge cognitive peut être mesurée de manière objective ou subjective.

Mesures objectives

La mesure objective de la charge cognitive permet d'évaluer son évolution au fur et à mesure du temps. La mesure de la charge cognitive peut être réalisée à l'aide d'une tâche concurrente (ou double tâche). Cette méthode a été fondée sur le principe que chacun a une limite de charge cognitive (Baddeley, 1999; Chandler et Sweller, 1991). Logiquement, si deux tâches sont exécutées en même temps, la charge cognitive augmentera laissant moins de ressources pour l'exécution de chaque tâche principale. Il existe deux variations de l'utilisation de la double tâche (Brünken *et al.*, 2002). La première est d'utiliser la deuxième tâche continue pour faire augmenter la charge cognitive. Une partie de la charge cognitive sera allouée à la réalisation de la tâche, ce qui entraînera une diminution des ressources disponibles pour exécuter la première tâche. Il est donc possible de constater l'impact d'une surcharge cognitive en comparant les performances quand la tâche est réalisée seule. Nous pouvons trouver plusieurs types de tâches comme la suppression articulatoire (Baddeley, 2000), les tapements, la génération de nombres aléatoires (Baddeley *et al.*, 1986; Logie *et al.*, 1989; Miyake *et al.*, 2004). La deuxième méthode consiste à utiliser une tâche discontinue et intervenant aléatoirement comme méthode d'évaluation de la charge cognitive (Brünken *et al.*, 2002). Comme la tâche primaire demande un certain niveau de ressources cognitives, le temps de réponse à la tâche concurrente et le taux d'erreurs va varier en fonction de la charge cognitive restante. Par exemple, dans certaines études il est demandé aux participants de choisir l'équation correcte (e.g. $3 + 4 = 7$ ou $8 + 3 = 12$) le plus rapidement que possible (Baddeley et Logie, 1999; Logie *et al.*, 1989). Le temps et le taux de bonnes réponses permettra d'avoir une évaluation de la charge cognitive du participant.

La charge cognitive peut aussi être mesurée grâce à des relevés physiologiques (Paas *et al.*, 2003b; Ryu et Myung, 2005). Il est possible de détecter les variations de charge cognitive au travers de changements physiologiques comme l'activité cardiaque (Cranford *et al.*, 2014), l'activité cérébrale (Lan *et al.*, 2007; Zarjam *et al.*, 2011), l'activité oculaire (e.g. dilatation pupillaire, fréquence de clignement; Palinko *et al.*, 2010; Klingner, 2010). Ces méthodes sont utiles pour mesurer l'évolution de la charge cognitive pendant une tâche.

Mesures subjectives

1.2. CRÉATIVITÉ

Il est possible de mesurer la charge cognitive induite par une tâche en demandant directement au participant quels ont été ses ressentis. Plusieurs techniques permettent de recueillir le ressenti relatif à la charge cognitive. Une méthode consiste à administrer un questionnaire post-expérimentation évaluant certains points précis du ressenti. En 1988, Hart et Staveland proposent un questionnaire (NASA-TLX) permettant de mesurer la charge de travail. La charge de travail est mesurée par le biais de six variables : physique, mentale, exigence temporelle, frustration, effort et performance. Les efforts et exigences mentaux que mesure ce questionnaire permettent de réaliser une évaluation partielle de la charge cognitive. Ce questionnaire permet de connaître l'exigence mentale d'une tâche donnée. Paas (1992) propose un questionnaire permettant de mesurer la charge cognitive à partir d'une échelle de Likert à neuf points. Les questions posées sont « *j'ai investi ... d'effort mental* » avec des réponses allant de peu à beaucoup. Bien que ces solutions soient économiques et simples à mettre en place, elles n'offrent pas une mesure précise des différentes composantes intrinsèque, extrinsèque et utile de la charge cognitive. Plusieurs questionnaires ont ainsi été proposés pour permettre de mesurer la charge cognitive et ses différentes composantes (Cierniak, 2011; Klepsch *et al.*, 2017; Naismith *et al.*, 2015). Cierniak (2011) propose une évaluation de la charge cognitive intrinsèque, extrinsèque et utile à partir de trois questions présentées sur une échelle de Likert à six points (1 = pas du tout ; 6 = extrême) permettant de mesurer chacune des charges cognitives. Ce questionnaire n'a été appliqué que dans peu de situations car les participants avaient des difficultés pour différencier les charges avec ce questionnaire. Naismith *et al.* (2015) ont proposé un questionnaire composé de six questions permettant de mesurer les différentes charges cognitives. Ce questionnaire a été ensuite comparé avec le questionnaire de Paas (Paas, 1992) et le NASA-TLX (Hart et Staveland, 1988). Il a été prouvé que les participants évaluent plus facilement l'effort et l'exigence mentale demandés par la tâche, mais aussi la complexité de la tâche (mesure de la charge cognitive intrinsèque). Klepsch *et al.* ont également composé un questionnaire pour mesurer la charge mentale. Il a été testé lors de deux études permettant de comparer la perception de la charge cognitive dans deux conditions : avec des participants qui ont eu une formation sur la charge cognitive et avec des participants naïfs. Chaque participant devait effectuer une tâche demandant peu de ressources cognitives et une tâche demandant plus de ressources cognitives. Les participants avertis devaient estimer les niveaux de charge cognitive lors d'un entretien semi-dirigé. Les participants naïfs devaient estimer leur charge cognitive à l'aide d'un questionnaire composé de huit questions dont deux pour la charge mentale intrinsèque et trois pour

1.2. CRÉATIVITÉ

la charge extrinsèque et utile. L'étude démontre que le questionnaire peut être utilisé pour mesurer la charge cognitive auprès de participants n'ayant pas de connaissances préalables de celles-ci.

1.2.3 Motivation et théorie du *flow*

Comme nous l'avons vu précédemment, une mobilisation de la charge cognitive utile implique un engagement de l'utilisateur à la résolution de la tâche. Cet engagement peut se traduire par un état de *flow*. Cet état est provoqué par un niveau d'engagement élevé dans une tâche lié à un niveau de défi et de compétence suffisamment élevé (Csikszentmihalyi, 1996). L'engagement est lié au niveau d'auto-détermination, définie par Deci *et al.* (2017) comme une représentation de la motivation influencée par différents facteurs issus de notre personnalité, mais aussi de notre environnement et de notre état de santé. Nous pouvons donc distinguer deux types de motivations (Deci et Ryan, 1985) : les motivations de sources intrinsèques et les motivations de sources extrinsèques (voir figure 1.13).

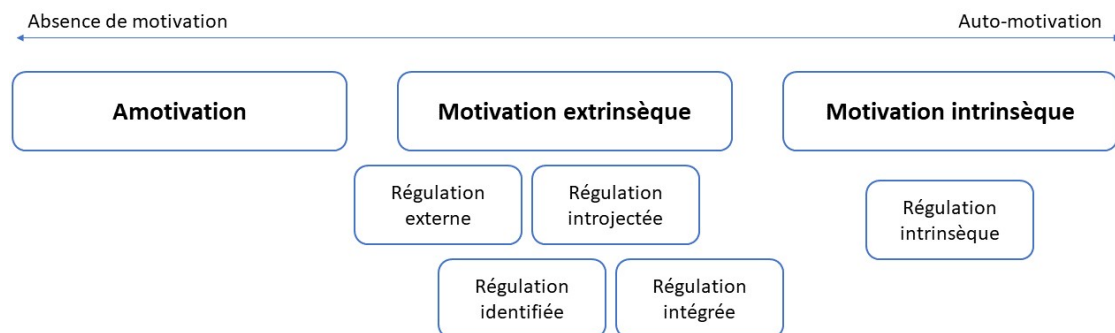


FIGURE 1.13 – Représentation du continuum de l'auto-motivation, d'après Deci et Ryan (2000)

La motivation intrinsèque peut être autosuffisante quand les contraintes et pressions exercées par l'environnement ont été totalement intégrées. La motivation intrinsèque est aussi liée à un niveau d'autonomie et de compétence qui permet un engagement libre dans une tâche jugée intéressante et apportant un niveau de défi et de nouveauté optimal. Les motivations extrinsèques, quant à elles, représentent les éléments de l'environnement qui vont avoir une incidence sur les valeurs internes et donc l'auto-motivation (Ryan, 1993). Les différentes sanctions sociales et requêtes vont être intégrées personnellement en tant que valeur ou régulateur personnel (Ryan et Deci, 1985). Il est présenté quatre formes de comportements pour la motivation extrinsèque :

— **La régulation externe** : ce comportement de motivation est lié à la perception d'une récom-

pense ou d'une punition. Elle ne permet pas une bonne auto-motivation une fois la pression externe retirée (Deci et Ryan, 1985).

- **L'introjection** : cette forme de motivation extrinsèque reprend certains mécanismes de la régulation externe (Ryan et Connell, 1989). Alors que la régulation externe fonctionne grâce à des éléments de l'environnement, l'introjection fonctionne grâce à la pression exercée par l'individu sur lui-même. Nous pouvons prendre comme exemple la fierté ou bien la crainte de la honte ou de la culpabilité pour ne pas avoir réalisé la tâche. L'introjection est souvent liée à l'ego (Ryan, 1982), la conscience de sa représentation publique (Plant et Ryan, 1985). Par son caractère personnel et individuel, l'introjection peut être considérée comme une régulation interne de la motivation mais soumise à des éléments sociaux externes. Bien qu'une partie des éléments soient intégrés par la personne, cette forme de motivation reste instable et non durable (Kostner *et al.*, 1996).
- **L'identification** : cette forme de régulation intervient quand la personne se reconnaît et a intégré pleinement les valeurs d'un comportement. En s'identifiant aux valeurs d'un comportement (*e.g.* faire du sport pour rester en bonne santé), la régulation sera meilleure et complètement intégrée. L'exécution des tâches sera alors faite plus spontanément, mais en répondant à un besoin externe. Par exemple, une personne va être motivée pour faire du sport, car elle désire avoir une meilleure santé. La pratique sportive sera alors associée au fait d'aller mieux et procurera une motivation externe. La motivation pourra être gardée plus longtemps et permet d'obtenir de meilleures performances.
- **L'intégration**. C'est le niveau le plus élevé d'appropriation de motivations extrinsèques. En plus d'avoir identifié les valeurs d'un comportement, celles-ci sont mises en relation et intégrées au soi, à la personnalité. Il y aura donc une régulation personnelle des éléments extrinsèques motivants.

Une fois les éléments externes assimilés et internalisés, les éléments motivants pourront être plus facilement régulés et utilisés comme sources de motivation. L'auto-motivation vient répondre à des besoins psychologiques précis. La théorie de l'autodétermination identifie trois besoins à satisfaire (Ryan et Deci, 2019) :

- **Le besoin de compétence** se traduit par un comportement naturel à l'exploration et la compréhension de l'environnement, dans l'optique de chercher le défi optimal permettant la

construction de nouvelles connaissances et une meilleure compréhension de l'environnement (Deci *et al.*, 1999; White, 1959).

- **Le besoin d'autonomie** prend en compte le besoin d'un individu d'agir selon sa volonté et se sentir psychologiquement libre (Deci et Ryan, 2000) ou de pouvoir choisir les actions à mener au lieu d'être soumis à des forces externes. Notons que le besoin d'autonomie n'est pas lié à la nécessité d'indépendance. Une tâche peut être réalisée volontairement et en autonomie alors qu'elle aura été demandée par quelqu'un d'autre (Van den Broeck *et al.*, 2016).
- **Le besoin relationnel** représente le besoin d'appartenance à un groupe social développant des relations proches. Ce besoin est satisfait quand une personne considère qu'elle fait partie d'un groupe ou qu'elle expérimente une sensation de communion ou de relation proche. Même si ce besoin n'est pas aussi immédiat que les besoins de compétences et d'autonomie, il reste essentiel pour l'émergence de la motivation intrinsèque (Deci et Ryan, 2000).

Quand la tâche génère une expérience agréable et motivante intrinsèquement, l'état de *flow* peut être atteint et fait perdre la notion de temps (Bakker, 2008). L'expérience du *flow* se fait lors d'un équilibre entre le niveau du défi à réaliser et les compétences de l'individu (Csikszentmihalyi, 1996) (voir figure 1.14). Par ses aspects engageants et motivants, la créativité fait partie des activités pouvant entraîner un état de *flow*. Plusieurs liens ont été présentés entre la créativité et le *flow* (Byrne *et al.*, 2003; MacDonald *et al.*, 2006; Zubair et Kamal, 2015). Lors de la préparation des activités de créativité ou lors de la sélection des outils, il est donc important de veiller à favoriser la motivation intrinsèque et l'état de *flow* pour optimiser les performances.

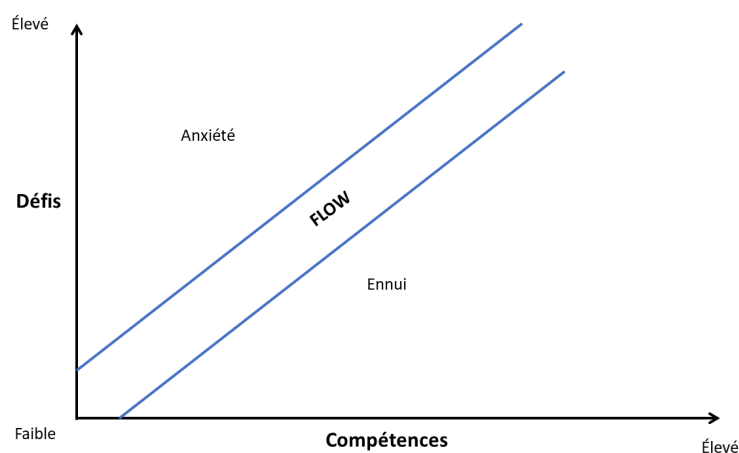


FIGURE 1.14 – Représentation du *flow*, d'après Csikszentmihalyi (1996)

1.2.4 Mesurer la créativité

Comme nous l'avons vu précédemment, la créativité est une activité qui permet la production d'idées, de concepts répondant à une problématique. Nous avons constaté quels en sont les différents mécanismes et ceux à favoriser pour permettre de l'améliorer. Cependant, pour constater une amélioration dans les processus de créativité, il est nécessaire de pouvoir la mesurer à différentes temporalités. La mesure de la créativité peut s'effectuer à différents niveaux. Cette partie détaillera le niveau de l'individu et celui du produit.

1.2.4.1 Au niveau de l'individu

Au niveau individuel, cela se traduit par une mesure des capacités psychologiques à proposer des idées face à une situation donnée, au regard de la personnalité et des capacités de l'individu pour la créativité et de l'exécution du processus créatif (Plucker et Makel, 2010).

D'après Guilford (1968), il est possible de mesurer deux types de créativité : la créativité divergente et la créativité convergente. La créativité divergente est définie comme la capacité d'une personne à chercher et proposer autant de réponses possibles à une problématique donnée. De nombreux tests dans la littérature portent sur la créativité divergente. Les plus connus sont les tests de Guilford (1967) sur la structure de l'intelligence et la production divergente et le test de Torrance (1966) de pensée créative. Pour mesurer la créativité, Guilford a conçu un test basé sur les usages d'objet dans un temps limité (*Alternate Use Test*, Christensen *et al.*, 1960). Par exemple, dans leur étude sur les effets du mouvement sur la créativité, Fleury *et al.* (2020) ont utilisé la tâche de Guilford en demandant aux participants de « proposer autant d'usages que possible d'une brique ». Cette tâche s'accompagne d'un score qui est calculé en fonction du nombre de réponses proposées, de la flexibilité, l'originalité et l'élaboration. La flexibilité correspond au nombre de catégories d'idées que Guilford (1968) définit comme « un changement dans le sens, l'utilisation, ou de l'interprétation de quelque chose ». L'originalité correspond à l'unicité d'une idée. Runco (1999) propose la définition de l'originalité comme étant « l'aspect insolite des propositions d'un participant ». L'élaboration correspond à l'ajout d'extensions à une idée, ou comme le définit Guilford (1967) « le fait de compléter une idée avec des détails ». Pour mesurer la créativité convergente, Mednick (1962) développe le Remote Associates Test (RAT). Ce test est constitué de dix éléments comprenant chacun trois mots (*e.g.*, veuve, morsure et singe) faisant référence à un terme que les participants doivent retrouver (dans notre exemple la réponse

1.2. CRÉATIVITÉ

était araignée). Le score attribué sera calculé en fonction du nombre de bonnes réponses.

Plusieurs études font un lien entre les différents traits de personnalité et les capacités de créativité. Des tests comme le Big Five (Costa et McCrae, 1992) peuvent être utilisés pour déterminer la personnalité créatrice. Feist (1998) démontre à partir du Big Five que les personnes qui sont plus ouvertes à de nouvelles expériences, ou moins conventionnelles, ou moins consciencieuses, ou plus confiantes, ou s'acceptant, ou ambitieuses, ou motivées, ou dominantes, ou hostiles ou impulsives ont tendance à être plus créatives.

1.2.4.2 Au niveau du produit

Les différents types de mesures sur les capacités créatives des personnes (Guilford, 1968; Torrance, 1966) que nous avons évoqués précédemment n'abordent que certaines définitions de la créativité qui sont liées aux compétences psychocognitives des personnes. En souhaitant mesurer l'impact de l'environnement physique et social, Amabile (1982) propose une évaluation de la créativité permettant de mesurer la qualité de l'activité de créativité et d'apprécier les influences de l'environnement. Amabile (1982) a développé le « *Consensual Assesment Technique* » (ou CAT) qui permet de mesurer le produit de la créativité en ne prenant pas en considération les compétences de la personne. La mesure de la qualité de la créativité se fait grâce à jury d'experts qui a pour but de noter chaque idée en fonctions de 23 questions correspondant à trois critères : créativité, technicité et esthétique. Cropley *et al.* (2005) ont, quant à eux, proposé une méthode d'évaluation par des juges non experts basée sur quatre critères différents :

- **Efficacité** : permet de mesurer si les idées produites répondent à la problématique proposée sans générer de nouvelles contraintes.
- **Nouveauté** : mesure la qualité d'apport de connaissances existantes dans des domaines autres ou de nouvelles connaissances pour répondre à la problématique donnée.
- **Élégance** : permet d'avoir une évaluation esthétique de l'idée proposée. Cette évaluation prend en considération l'effet sur les personnes (la capacité à convaincre, l'aspect plaisant) et la construction de l'idée en considérant les différents détails et l'harmonie apportée à l'idée pour qu'elle s'intègre au mieux dans le contexte de son élaboration.
- **Généralisation** : permet d'avoir une évaluation sur les capacités d'une idée à répondre à d'autres problématiques ou à être applicable dans des contextes différents que celui imposé

1.2. CRÉATIVITÉ

initialement.

Ces différents critères sont mesurés à l'aide de 24 items (Cropley et Cropley, 2008) qui permettent une évaluation de la créativité dans des domaines variés comme l'art, la conception, la littérature, sans nécessité de modification de la grille d'évaluation ou d'expertises particulières de la part des juges.

1.3 Interfaces humain-machine

Nos travaux sont centrés sur l'amélioration des activités de créativité, par l'étude de l'impact que peuvent avoir les outils et l'environnement. Dans ce cadre, nous avons choisi de nous appuyer sur les différentes méthodes et études liées à l'ergonomie cognitive. L'émergence de l'ergonomie cognitive (Wilson, 2000) a ouvert la porte à de nouveaux champs d'études pour d'optimiser les différentes interfaces permettant aux utilisateurs de communiquer avec la machine. Cette discipline s'appuie sur la compréhension de la cognition humaine (mémoire, charge de travail, capacité de raisonnement) pour proposer des interfaces et des outils. Dans cette démarche, nous avons décidé d'étudier l'impact de l'expérience utilisateur (liée à l'usage de l'outil, mais aussi de son ergonomie) induite par l'environnement et les différents outils sur la créativité. Ce chapitre abordera donc différentes notions issues de l'expérience utilisateur utiles à l'étude de la créativité. Nous évoquerons ensuite plusieurs outils « traditionnels » et ceux issus de la réalité virtuelle, qui accompagnent l'innovation et la créativité.

1.3.1 Expérience utilisateur

L'expérience utilisateur (ou *User Experience* (UX) en anglais) est définie par la norme ISO 9241-210 (FDIs, 2009) comme « la perception et la réaction d'une personne liées à l'utilisation ou l'anticipation de l'utilisation d'un produit, d'un système ou d'un service ». D'après Law *et al.* (2009), un découpage précis peut être fait entre l'expérience d'un produit, d'un service, d'un objet ou d'un système. L'expérience ressentie par l'utilisateur sera conditionnée par plusieurs facteurs comme la qualité ergonomique ou le plaisir que l'objet ou service procure (Forlizzi et Battarbee, 2004; Hassenzahl *et al.*, 2000). De plus, l'évaluation de l'expérience utilisateur perçue peut être mesurée à différents niveaux (voir figure 1.15) :

- **Du concepteur** qui aura des attentes précises sur l'utilisabilité de son système et aura la volonté de transmettre une certaine expérience aux utilisateurs.
- **Des utilisateurs** qui pourront vivre une expérience double : lors de l'utilisation puis après avoir évalué leur propre expérience utilisateur fournie par un outil. Cette première évaluation de l'expérience permet à l'utilisateur de faire évoluer son point de vue et ses objectifs (Hassenzahl *et al.*, 2000).

Les premières études portant sur l'expérience utilisateur ont démontré un intérêt à travailler en

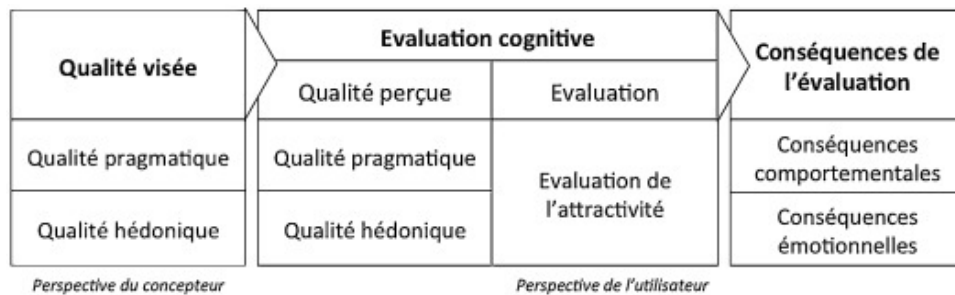


FIGURE 1.15 – Représentation des différents niveaux d'évaluation de l'expérience utilisateur, d'après Lallemand *et al.* (2015)

priorité sur l'expérience vécue par la personne plus que sur les notions de productivité ou d'appréhension de la technologie (Whiteside et Wixon, 1987). À partir de ce constat, de nombreuses études ont été développées sur l'évaluation du ressenti procuré par un objet. Une diversité d'outils a été développée pour mesurer les différentes composantes de l'expérience utilisateur : l'aspect pragmatique des interactions liées à l'utilisabilité (FDIs, 2018) et les aspects liés au plaisir procuré par l'usage.

La notion d'utilisabilité d'un système fait référence aux différentes recommandations techniques et ergonomiques relatives à un placement cohérent de l'information et à la proposition d'interactions intuitives et simples. En 1986, Brooke propose une grille d'évaluation pour mesurer l'utilisabilité d'un système : le questionnaire SUS (*System Usability Scale*) a été constitué à partir de 50 questions ayant pour objectif de discriminer deux logiciels (un simple d'utilisation et un complexe). Les dix questions les plus significatives dans la discrimination ont été sélectionnées. Bien que ce questionnaire permette d'avoir une première représentation de l'utilisabilité d'un outil, cela reste à un niveau *macro* alors l'utilisabilité peut être divisée en sous-catégories comme l'apprenabilité d'un outil, sa clarté ou le degré de complexité des interactions (Lund, 2001), ou encore le contrôle possible (Hassenzahl et Tractinsky, 2006; Lewis et Sauro, 2009; Schrepp *et al.*, 2017). Ces différents critères sont identifiés par Hassenzahl et Tractinsky (2006) comme étant les critères de qualité pragmatique d'un outil. Cette évaluation de qualités pragmatiques a déjà été découpée au travers de critères; Bastien et Scapin (1993) identifient huit heuristiques permettant d'évaluer l'aspect ergonomique :

1. **Guidage** : cette heuristique prend en compte les différents choix technologiques permettant d'accompagner au mieux l'utilisateur dans ses interactions. Cette heuristique est divisée en quatre sous-critères : l'incitation, la distinction entre les éléments, le *feedback* immédiat et la lisibilité.

2. **Charge de travail** : cette heuristique définit les charges physique et mentale exigées par l'utilisation de l'outil. Cette heuristique peut être mise en lien avec les travaux de Hart et Staveland (1988), mentionnés dans la section précédente, qui ont proposé une méthode pour mesurer la charge mentale lors de l'interaction avec un outil ou lors d'une tâche donnée. Cette heuristique est divisée en deux sous-critères : la brièveté et la densité informationnelle.
3. **Contrôle explicite** : cette heuristique évalue la prise en compte du système des différentes actions de l'utilisateur, mais aussi le contrôle que peut avoir un utilisateur. Cette heuristique est divisée en deux sous-critères : l'action explicite et le contrôle utilisateur.
4. **Adaptabilité** : elle fait référence à la capacité d'adaptation aux préférences, mais aussi aux caractéristiques de l'utilisateur. Cette heuristique est divisée en deux sous-critères : la flexibilité et la prise en compte de l'expérience utilisateur.
5. **Gestion des erreurs** : elle définit la capacité d'un système à détecter, corriger ou contourner les erreurs qui peuvent survenir. De plus, cette heuristique prend en compte la capacité du système à informer l'utilisateur de l'erreur qui survient et de lui proposer des solutions alternatives pour lui permettre de poursuivre son expérience. Nous pouvons distinguer trois sous-critères : la protection face aux erreurs, la qualité des messages d'erreurs et la correction des erreurs.
6. **Homogénéité/Cohérence** : cette heuristique se définit par l'architecture organisationnelle des différents éléments composant le système. Il y est mesuré l'homogénéité et la cohérence de la visualisation et des interactions proposées à l'utilisateur.
7. **Signifiante des codes** : elle définit la cohérence entre l'affichage sémantique et interactionnel des informations et des interactions proposées par le système.
8. **Compatibilité** : fait référence à la capacité du système à communiquer et interagir avec son environnement.

L'Attrakdiff permet une évaluation des qualités ergonomiques d'un outil par les biais des dimensions de « clarté », « efficacité » et « fiabilité ». Ces trois dimensions permettent une évaluation partielle des heuristiques de Bastien et Scapin.

Norman *et al.* (1995) définissent l'utilisabilité en fonction de plusieurs critères liés au ressenti et à l'expérience vécue par l'utilisateur lors de l'usage d'un outil. Cette expérience est liée à trois éléments : l'utilisateur (ses attentes, ses besoins, son humeur, etc.), l'outil et le contexte (ou l'environnement)

dans lequel l'interaction prend place. C'est l'aspect hédonique de l'expérience utilisateur qui se centre autour des sentiments et du ressenti de l'utilisateur, il est divisé en plusieurs sous critères. Des travaux (Hassenzahl, 2007; Hassenzahl *et al.*, 2000; Law *et al.*, 2009; Minge et Thüning, 2018) ont permis de faire émerger plusieurs composantes pour mesurer et qualifier l'aspect hédonique d'un outil, comme le questionnaire Attrakdiff, proposé Hassenzahl *et al.* (2003). Celui-ci propose une évaluation à trois critères de la qualité hédonique d'un système en distinguant la stimulation, l'identification et l'attractivité :

- **Stimulation** : est la capacité d'un système à permettre à un utilisateur d'acquérir de nouvelles compétences et à construire de nouvelles connaissances au travers de ses différentes interactions.
- **Identification** : traduit le fait qu'un utilisateur puisse s'exprimer et retrouver une partie de sa personnalité dans le système. Ainsi, on estimera la capacité d'un système à transmettre et communiquer une partie de la volonté et de la personnalité de l'utilisateur.
- **Attractivité** : ce critère permet d'évaluer l'attraction globale d'un système et si ce dernier sera adopté simplement ou non pas les utilisateurs. Ce dernier critère a été ajouté à la deuxième version de l'Attrakdiff (Hassenzahl et Tractinsky, 2006).

Ces critères ont servi de base au développement de questionnaires permettant une mesure plus précise. Par exemple, l>User Experience Questionnaire (UEQ, Laugwitz *et al.*, 2008) mesure l'expérience utilisateur en se focalisant sur les critères de faisabilité, de clarté, d'efficacité, de nouveauté et de stimulation. Comme pour l'Attrakdiff, nous pouvons distinguer les qualités ergonomiques (la faisabilité, la clarté et l'efficacité), et les qualités hédoniques et l'expérience vécue par l'utilisateur (la nouveauté et la stimulation). À la différence de l'Attrakdiff, l'UEQ ne prend pas en considération la dimension sociale et d'identification que permet le système. Ces outils permettent d'avoir une évaluation de l'expérience de l'utilisateur et peuvent être intégrés dans une démarche de conception centrée utilisateur (Lallemand et Gronier, 2015; Norman et Draper, 1986).

1.3.2 Créativité & expérience utilisateur

L'étude de l'expérience utilisateur est un levier prépondérant pour améliorer l'utilisabilité d'un outil et les tâches effectuées avec celui-ci. Interroger le lien qui peut être établi entre créativité et expérience utilisateur fait totalement sens dans le contexte de nos travaux de recherche. En effet, les outils accompagnant la créativité doivent proposer une expérience spécifique dans l'optique de

favoriser ce processus de réflexion. L'instauration d'une démarche de mise en relation de l'expérience utilisateur et des différentes activités de la créativité peut insister sur les critères de conception ou de sélection des outils ou bien sur les facteurs cognitifs à favoriser.

L'évaluation des apports d'un outil pour la créativité n'est pas une chose aisée et elle est difficilement quantifiable contrairement à la productivité qui peut être évaluée à l'aide d'indicateurs mesurables et objectifs (Shneiderman, 2007; Shneiderman *et al.*, 2006). À partir de ce constat, Cherry et Latulipe (2014) ont développé un outil pour évaluer les opportunités de créativité d'un outil de manière subjective sur une échelle de 0 à 100 en se basant sur la structure et les différents facteurs évalués par le NASA-TLX. Les capacités de l'outil pour la créativité sont mesurées au travers de six dimensions : les résultats en fonction de l'effort, l'exploration, la collaboration, l'immersion, la capacité d'expression et la joie procurée par l'utilisation. Nous pouvons retrouver au travers de ces six dimensions une mesure des qualités ergonomiques et hédoniques que nous retrouvons dans les différents critères de l'évaluation de l'expérience utilisateur. En plus des dimensions se rapprochant de l'expérience utilisateur, nous pouvons aussi constater que l'aspect social et collaboratif est déterminant pour l'évaluation et le choix d'un outil pour la créativité (Gabriel *et al.*, 2016).

1.3.3 Techniques pour l'innovation et la créativité

Notre but dans cette section est de présenter plusieurs techniques pouvant aider et/ou cadrer certaines activités de l'innovation et de la créativité en particulier, activités que nous avons présentées dans les parties 1.1 et 1.2

Le processus de positionnement stratégique de l'innovation doit pouvoir répondre à plusieurs questions permettant d'orienter l'idéation, mais aussi le futur développement du projet. Il sera donc question de définir ce qui va être créé (le quoi), pour quoi (ou pour qui), avec quels moyens (le comment) et à quel prix (le combien) (Osterwalder et Pigneur, 2002). Ces différents questionnements sont résumés dans le tableau 1.1. Pour répondre à ces différentes interrogations, Osterwalder et Pigneur (2010) proposent un outil pour accompagner les décisions : le Business Model Canvas (voir figure 1.16). Il permet de répondre aux questions « qui ? », « comment ? », « quoi ? », et « combien ? » par le biais de neuf blocs. La complétion des neuf différents blocs doit se faire en parallèle, car ils sont tous imbriqués et interdépendants. Les interactions entre les différents éléments sont ensuite modélisées à l'aide de flèches. Les éléments apportés dans ce modèle vont permettre de diminuer le niveau d'incertitude du

1.3. INTERFACES HUMAIN-MACHINE

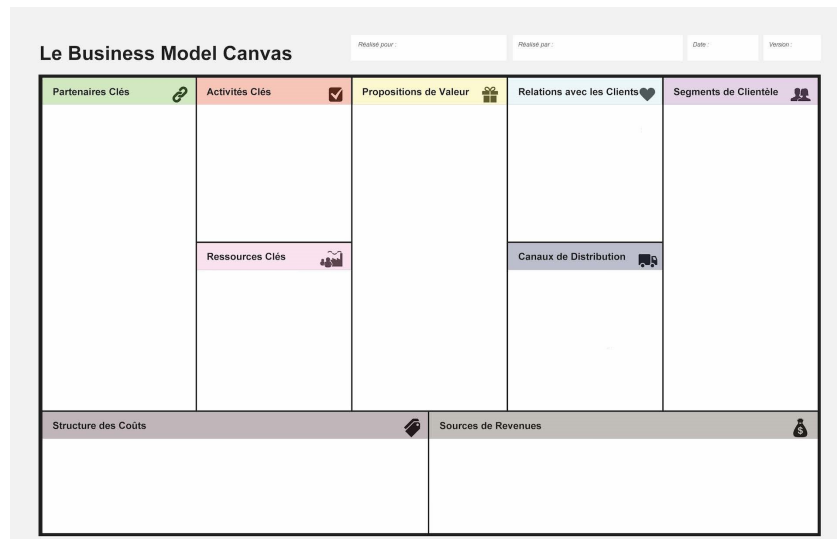


FIGURE 1.16 – Business Model Canvas

projet et de fournir une stratégie globale, par l'interdépendance entre les différents blocs. Ils permettront d'appliquer une stratégie pour accompagner les activités suivantes de l'innovation, qui pourront elles aussi s'appuyer sur d'autres outils.

TABLE 1.1 – Constitution du Business Model Canvas, d'après les écrits de Fritscher et Pigneur (2014)

Perspective	Question	Bloc de constitution
Offre	Quoi ?	Proposition de valeurs
Le client	Qui ?	Segment d'acheteurs Canaux de distribution Relation entre clients
L'activité	Comment ?	Ressources clefs Activités clefs Partenaires clefs
Financier	Combien ?	Source de revenus Coût de la structure

Pour accompagner les activités de génération d'idées, dès les années 50, Osborn et Veigel proposent une méthode pour encadrer les séances de pensées divergentes en équipe. Pendant celles-ci, un groupe de participants est réuni pour proposer autant d'idées que possible pour répondre à une problématique donnée, toutes les idées étant les bienvenues. Cet outil fit ensuite l'objet de nombreuses études (*e.g.*,

Isaksen *et al.*, 1998 ; Al-Samarraie et Hurmuzan, 2018) qui se sont intéressées au brainstorming collectif et individuel dans le but de favoriser la divergence créative. Nous pouvons distinguer aujourd’hui trois formes de brainstorming : traditionnel, nominal et numérique. Le brainstorming traditionnel correspond à la définition donnée par Osborn et Veigel qui le présente comme une activité collective. Une des critiques faites est qu’un groupe travaillant sur un sujet ne permettra pas de produire plus d’idées qu’un individu seul (Miller, 2009; Putman et Paulus, 2009). Il a donc été proposé une version nominale (ou individuelle) du brainstorming pour permettre de maximiser la production d’idées. Une étape individuelle est donc ajoutée avant l’activité collective du brainstorming traditionnel. Enfin, plusieurs travaux ont étudié l’apport que pouvaient avoir les technologies numériques pour accompagner le brainstorming (Maaravi *et al.*, 2020). Bien qu’une étape individuelle soit ajoutée au brainstorming, il ne permet pas de répondre à plusieurs problématiques comme l’effet de fixation (Kohn et Smith, 2011). A partir de ce constat, la méthode du *World Café* est proposée (Schieffer *et al.*, 2004). Le but du *World Café* est de constituer plusieurs petits groupes (de 4 à 10 personnes) qui vont chacun réfléchir à des solutions pour répondre à des problématiques. Chaque groupe va commencer un brainstorming pour répondre à la question. Les différentes personnes du groupe sont appelées ensuite à changer de table et seront ambassadrices des idées qui ont été proposées précédemment. Une personne est choisie pour rester à table et être l’hôte. Il aura pour rôle de synthétiser les idées proposées et de permettre de faire avancer les propositions dans la direction initiale. Après que chaque personne est passée par chaque table, les différentes idées peuvent être constituées et présentées aux groupes. Cette méthode permet dans un premier temps de favoriser la créativité divergente puis, en recoupant les différentes idées, la créativité convergente est mobilisée.

Parmi les techniques qu’il est possible de mobiliser pour accompagner le développement de nouveaux produits, certains permettent d’inclure le client et l’utilisateur dans la conception de l’outil. Nous pouvons par exemple citer l’« utilisateur extraordinaire » de Buisine *et al.* (2017) qui permet de prendre en compte les utilisateurs classiques (les experts), mais aussi des utilisateurs plus inattendus comme des non-experts qui peuvent même être des enfants. Il sera donc possible de révéler des problématiques qui ne sont pas apparues pendant le processus d’innovation et ainsi faire évoluer le produit final pour correspondre au mieux aux utilisateurs finaux. Cette démarche est rattachée aux démarches d’expérience utilisateur et de la conception centrée utilisateur (Norman et Draper, 1986). Nous pouvons aussi recueillir des retours par le biais de l’émotion et de la volonté. Par exemple, l’ingénierie

Kansei permet un échange direct entre les utilisateurs et les concepteurs pour la conception d'un produit au travers de perceptions et de l'analyse des émotions (Nagamachi, 1989; Nagasawa, 2002). Pour recueillir l'émotion ou la réaction de l'utilisateur, trois types de mesures ont été identifiées : psychologique (par l'évaluation personnelle de son état émotionnel (De Rouvray, 2006)), physiologique (par des retours biologiques suite à l'expression d'une émotion comme le rythme cardiaque, la sudation, etc. (Kim, 2011)) et comportementale, en observant le comportement adopté face à une émotion donnée au niveau de la posture, du regard ou des gestes (Clay *et al.*, 2009). L'étude de Gabriel *et al.* (2016) nous montre que de nombreux outils sont proposés et développés pour accompagner ces techniques de génération d'idées et de conception.

Nous pouvons facilement voir pour chacun de ces outils une passerelle avec les technologies numériques et émergentes. Cependant, l'ajout d'un nouvel outil dans l'environnement de travail ne peut se concevoir que s'il a démontré son utilité et qu'il a apporté des plus-values (Dorta, 2004). Cette plus-value apportée par l'outil est liée à une perception d'efficacité par rapport à l'existant ou encore à une acceptation sociale (Davis, 1989; Venkatesh et Davis, 2000). D'après Dorta (2004), le passage d'une idée simple (dessinée) à une modélisation plus fidèle du produit se fait trop rapidement pour suivre les différents processus de réflexion. L'ajout d'étapes intermédiaires, à l'aide de nouveaux outils, permettrait d'accompagner au mieux l'évolution des différentes idées vers la conception d'un produit. Parmi ces nouveaux outils, la réalité virtuelle est à même aujourd'hui d'apporter de nouvelles interfaces pour la créativité et d'ajouter des étapes et interactions supplémentaires pour permettre un meilleur accompagnement du processus créatif et des activités de l'innovation.

1.3.4 Réalité virtuelle

1.3.4.1 Définition

Les différentes avancées de la recherche et du développement technologique ont permis à la réalité virtuelle de devenir une ouverture technologique potentielle pour accompagner et transformer certaines activités. De manière très commune, la réalité virtuelle est souvent présentée comme une technologie permettant l'immersion d'un ou plusieurs utilisateurs dans un environnement simulé. Pourtant, derrière cette caractérisation très générale, il existe plusieurs définitions. Le tome quatre du traité de la réalité virtuelle (Fuchs *et al.*, 2006) nous donne ainsi des définitions selon 3 niveaux. Le premier niveau porte sur la finalité (Fuchs, 1996) : « La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne

(ou plusieurs) une activité sensorimotrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du réel. » Outre la finalité, cette définition laisse aussi une place importante à l'expérience utilisateur et aux stimulations cognitives. Ces différents points ont été abordés précédemment et font partie des piliers de nos travaux. Les environnements simulés que propose la réalité virtuelle sont donc des terrains d'investigation propices pour faire varier le niveau d'expérience, mais aussi pouvoir étudier précisément certains processus cognitifs.

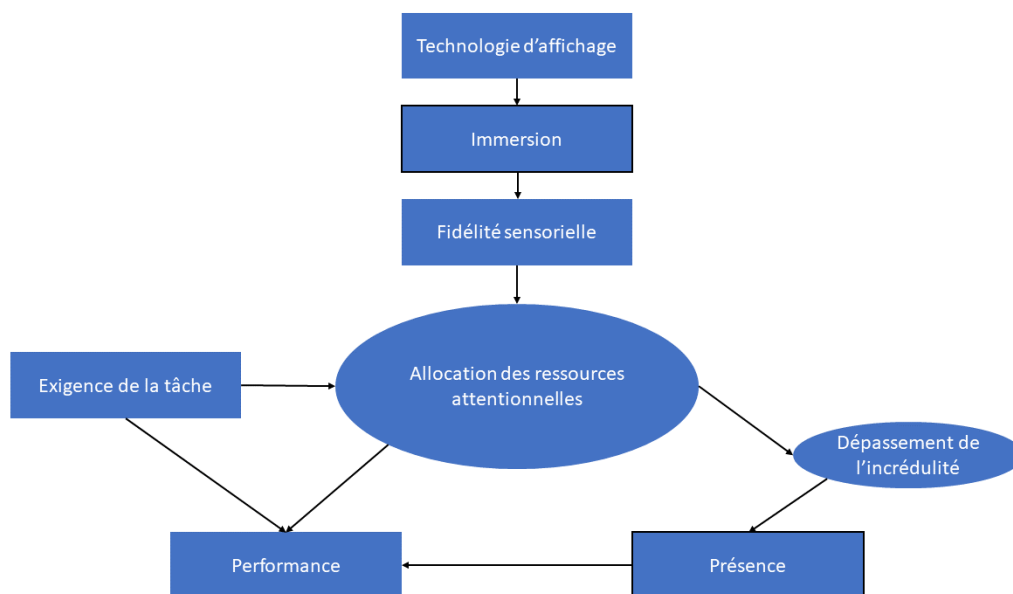


FIGURE 1.17 – Modèle Immersion Présence, Performance d'après, les écrits de Bystrom *et al.* (1999)

La deuxième définition donnée porte sur le niveau fonctionnel : « La réalité virtuelle va lui (l'utilisateur) permettre de s'extraire de la réalité physique pour changer virtuellement de **temps**, de **lieu** et/ou de type **d'interaction** : interaction avec un environnement simulant la réalité ou un monde imaginaire ou symbolique ». Cette définition se centre sur les phénomènes de présence et d'immersion dans un environnement. Ces sentiments ont été théorisés par Lee (2006) dans un modèle qui permet de faire un lien entre ces deux phénomènes et donc de définir l'expérience vécue par un utilisateur dans un environnement virtuel immersif. Le modèle de Bystrom *et al.* (voir figure 1.17) permet de voir les liens existants entre les différentes composantes de l'immersion. Il apparaît que les performances de l'utilisateur sont liées aux sentiments d'immersion et de présence que l'application de réalité virtuelle peut générer. La dernière définition donnée est au niveau technique : « La réalité virtuelle est un

domaine scientifique et technique exploitant l'information (1) et des interfaces comportementales (2) en vue de simuler dans un monde virtuel (3) le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel (4) entre elles avec un ou des utilisateurs en immersion pseudonaturelle (5) par l'intermédiaire de canaux sensorimoteurs ». Par cette définition nous pouvons constater l'importance que peuvent avoir les interfaces matérielles sur l'expérience des utilisateurs. Après cette première partie qui nous a permis de définir la réalité virtuelle, nous allons, dans la section suivante, présenter les opportunités offertes par la réalité virtuelle (RV) pour les activités de créativité et de conception.

1.3.4.2 Modéliser et dessiner dans un environnement virtuel

De nombreuses applications de la RV ont été pensées pour accompagner et former aux différentes activités industrielles (Berg et Vance, 2017). La réalité virtuelle est majoritairement utilisée lors d'activités de réunion ou bien de revues de projet pour permettre d'avoir une représentation du produit final dans son contexte d'utilisation (Dunston *et al.*, 2011; Rasmussen *et al.*, 2017), ou dans l'optique de former des utilisateurs à des procédures et manipulations dangereuses ou compliquées à reproduire. Plusieurs travaux ont également étudié l'apport potentiel des applications de RV pour les activités amont du processus de conception, pour répondre à deux objectifs : proposer une nouvelle expérience et optimiser des outils déjà existants. Dans l'optique de rendre les outils de conception plus utilisables et moins complexes, il est possible de s'appuyer sur la RV pour intégrer des mécaniques de jeu ou des actions plus proches des mouvements naturels de l'utilisateur, lui permettant d'allouer toute son attention sur la réalisation (Kosmadoudi *et al.*, 2013). Dans le cadre des activités de conception, Rieuf (2013) a proposé un outil de dessin immersif en empruntant différentes techniques de l'ingénierie Kansei (voir figure 1.18). Le dispositif développé permet de mettre l'utilisateur face à plusieurs planches de tendances dans un environnement immersif. L'ajout de l'environnement virtuel peut également permettre aux concepteurs de mieux transmettre leurs émotions et volontés à l'utilisateur final.

Dans l'ingénierie Kansei, l'utilisation de la réalité virtuelle peut également permettre d'impliquer directement l'utilisateur final dans les étapes de conception. Dans cette optique de conception centrée utilisateur, Arrighi *et al.* (2016) ont proposé un système permettant aux concepteurs et aux utilisateurs finaux d'échanger directement lors de la conception d'un produit : l'utilisateur final est immergé dans une scène virtuelle où le produit est modélisé par un concepteur. Pour connaître le ressenti de l'utilisateur final et le communiquer au concepteur, différentes mesures (physiologiques et subjectives)

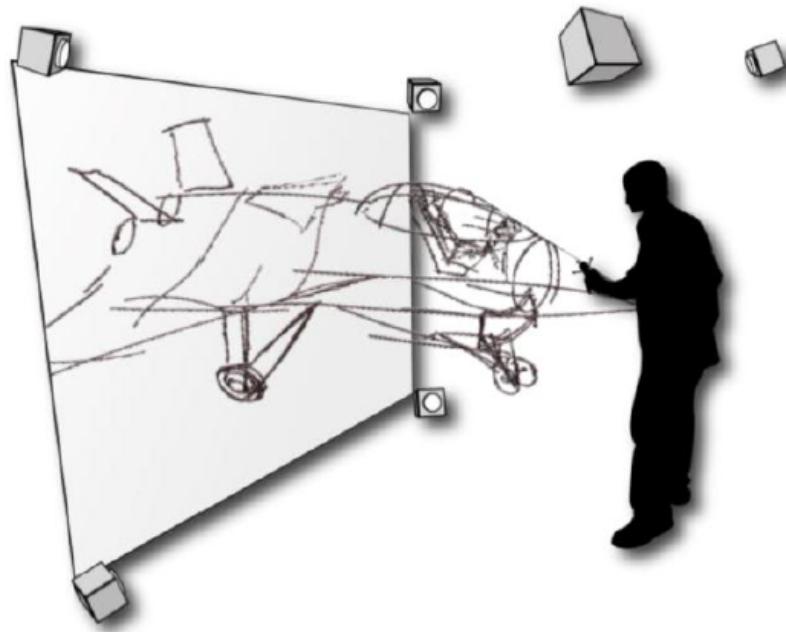


FIGURE 1.18 – Dispositif de dessin immersif adopté par Rieuf (2013)

sont réalisées (voir figure 1.19). Ces retours permettent au concepteur de proposer des modifications de conception pour que le produit conçu corresponde au mieux à sa volonté initiale.

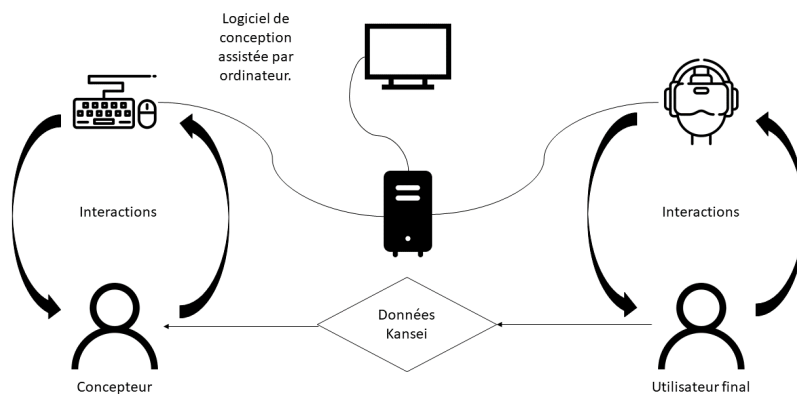


FIGURE 1.19 – Dispositif de co-conception de réalité mixte développé par Arrighi *et al.* (2016)

Plusieurs travaux ont permis d'étudier l'apport du dessin dans un environnement immersif par rapport aux techniques traditionnelles de dessin sur un plan à deux dimensions. Pour Yang *et al.* (2018), cette comparaison porte sur le potentiel de créativité. La tâche de créativité est réalisée sous

deux conditions : avec un outil traditionnel (avec du papier et des crayons) et avec l'outil de réalité virtuelle *Tilt Brush*. Il apparaît que la réalité virtuelle, en favorisant l'état de *flow*, a permis aux participants d'être plus créatifs. Feeman *et al.* (2018) ont quant à eux réalisé une étude comparant les logiciels de CAO et la réalité virtuelle pour une tâche de créativité. La tâche demandée était de modéliser quatre objets (une chaise, un labyrinthe, une sculpture et un camion) en n'utilisant que des pavés droits, des sphères et des cônes pour extruder et percer. La réalité virtuelle a permis aux participants de proposer des objets ayant une modélisation plus détaillée. De plus, l'outil de réalité virtuelle a été davantage apprécié par les participants pour ses aspects nouveaux et intuitifs d'utilisation. Ces études démontrent que les applications de réalité virtuelle peuvent avoir un réel intérêt lors d'étapes de conception et de créativité.

Bien que les apports positifs des outils issus de la réalité virtuelle aient été prouvés, il reste nécessaire d'étudier les différentes opportunités d'intégration de ces nouveaux outils dans les activités d'innovation et de créativité. Par exemple, des briques logicielles supplémentaires peuvent permettre d'ajouter des étapes ou alternatives laissant la possibilité aux idées de mûrir et d'évoluer avec le projet (Dorta, 2004). La conservation d'une trace numérique tout au long des phases amont de la conception s'avère également nécessaire. Par le passé, le format VRML a été pensé pour permettre une communication entre les applications de CAO et de réalité virtuelle (Jezernik et Hren, 2003). Martin (2014) et Bourdot *et al.* (2010) ont proposé un modèle d'interaction de CAO en environnement immersif permettant de conserver l'historique des modifications effectuées. Outre la trace numérique, de nouveaux outils de réalité virtuelle peuvent également permettre une meilleure communication des différentes idées proposées. Les nouvelles opportunités de représentation offertes par cette technologie permettent aux concepteurs de communiquer les connaissances et concepts.

Enfin, la réalité virtuelle peut être couplée avec d'autres dispositifs pour offrir de nouvelles interactions avec l'environnement et une meilleure immersion de l'utilisateur dans l'environnement et donc une meilleure focalisation sur la tâche. Houzangbe (2019) propose un modèle d'interaction en environnement virtuel basé sur les retours physiologiques comme le rythme cardiaque. Il démontre que l'utilisation d'outils de mesure de signaux biologiques comme interaction avec l'environnement, permet de susciter un meilleur engagement de la part des utilisateurs dans la tâche qu'ils sont en train de réaliser. La réalité virtuelle permet également de mobiliser d'autres sens qui peuvent contribuer à améliorer les tâches de conception. Par exemple, le retour haptique permet de mobiliser le toucher et

1.3. INTERFACES HUMAIN-MACHINE

apporte ainsi une meilleure perception des objets et de l'environnement (Hecht *et al.*, 2006).

Ces différentes études nous montrent que la réalité virtuelle peut être utilisée de manière profitable pour des activités de conception et de créativité. Nous souhaitons, au travers de nos recherches, étudier comment nos outils et notre environnement influencent les activités de créativité.

1.4 Synthèse de l'état de l'art

L'état de l'art que nous avons conduit dans les parties précédentes nous a permis de définir plusieurs notions essentielles à la structuration de nos travaux. Cette investigation de la littérature a porté sur des thématiques transversales liées à l'innovation, la créativité, mais aussi aux comportements humains liés à l'utilisation d'outils. Conformément aux objectifs de cette thèse et à la revue de la littérature, nos travaux ont porté sur l'étude des comportements créatifs en fonction de l'outil et plus précisément de l'expérience utilisateur et des différents facteurs cognitifs.

Dans un premier temps, nos recherches ont été centrées sur l'étude d'un cadre aux activités que nous allons étudier. Comme nous l'avons constaté, l'innovation peut être présentée sous différentes formes ayant des objectifs finaux différents. À l'aide des trois axes définissant l'innovation présentés précédemment, nous pouvons définir le cadre dans lesquels s'inscrivent ces travaux de recherche :

- **Le niveau** : ces travaux de thèses sont centrés autour de l'humain et de son comportement, ses réactions face à des outils ou des environnements dédiés à la créativité. Cependant, nous n'aborderons pas l'étude d'un groupe d'individus face à un outil lors de tâches d'innovation.
- **La stratégie** : bien que nos travaux aient pour objectif de s'appliquer à toute stratégie d'innovation et de permettre d'accompagner au mieux des activités d'idéation, nos différentes expérimentations nous ont amené à nous positionner sur une stratégie incrémentale de l'innovation.
- **La vision** : nos travaux adoptent une vision cognitive de l'innovation. Par le prisme de nos expérimentations et de la littérature, nous avons étudié les différents comportements et mécanismes cognitifs adoptés pendant des tâches de créativité pour pouvoir proposer des outils adaptés aux différentes exigences imposées par l'environnement organisationnel. Les travaux de Le Masson *et al.* (2006) nous apportent une représentation de l'innovation qui nous permet de représenter l'évolution des idées et des connaissances.

Cette approche nous permet de représenter les besoins de données et de connaissances pour permettre la création de nouveaux concepts et de nouvelles idées. Cependant, la représentation des échanges entre concepts et connaissances n'est pas suffisante pour représenter le processus complet ni

1.4. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART

les différentes contraintes s'appliquant aux activités de l'innovation. Nous nous basons sur le modèle d'innovation *Funnel* (Dunphy *et al.*, 1996) (ou innovation en entonnoir) car cette représentation de l'innovation nous permet de présenter les contraintes imposées par l'environnement pour définir les besoins et les objectifs des activités à réaliser. Enfin, la segmentation des activités de l'innovation proposée par (Lecossier et Pallot, 2017), dans son modèle d'expérience utilisateur au service de l'innovation, nous permet de centrer nos recherches sur l'utilisation d'outils numériques pour les activités de l'idéation. Notre intérêt s'est ensuite porté sur l'étude des activités de créativité dans l'optique d'améliorer l'expérience de l'idéation.

Les différentes définitions de la créativité que nous avons mentionnées font référence à un processus cognitif d'association et de création de connaissances pour répondre à une problématique. La modélisation de ce processus cognitif, proposée par Amabile et Pratt (2016), définit les différents éléments ayant une influence. Il a été identifié que la motivation, l'environnement et les connaissances ont un impact sur la créativité. Notre état de l'art nous a permis d'identifier que la charge cognitive et le *flow* font parties des éléments conditionnant la réussite de tâches de créativité. La mesure de la charge cognitive va nous permettre d'étudier l'influence de l'environnement et des outils sur la créativité. A la lumière de ces différents éléments révélés par notre littérature, nous pensons que les éléments de notre environnement ont une influence sur notre charge cognitive. Cette influence sur notre charge cognitive aura un impact sur notre capacité de résolution de problèmes et donc de créativité. Ceci nous amène à définir une première hypothèse :

H1 : Les éléments non pertinents de notre environnement ont un impact négatif sur notre créativité.

Nous avons ensuite abordé les différentes méthodes d'évaluation de la créativité. Dans l'optique de correspondre au contexte industriel et au domaine de la conception, nous avons choisi d'évaluer la créativité au niveau du produit. Cette évaluation de la créativité lors de chaque idée produite va nous permettre d'étudier précisément les influences positives et négatives des interactions avec l'environnement et les outils. Les résultats de créativité vont être mis en lien avec les observations faites au niveau de la charge cognitive et de l'expérience utilisateur pour permettre d'identifier les éléments favorisant la créativité.

Afin de poursuivre les travaux d'Amabile et Pratt (2016) sur l'impact de l'environnement sur la

créativité et les travaux de Lecossier et Pallot (2017) pour proposer un environnement numérique correspondant aux besoins des utilisateurs en fonction de l'activité d'innovation, nous avons étudié les liens existants entre l'expérience utilisateur et la créativité. À l'aune des travaux de Hassenzahl *et al.* (2000), nos études se sont centrées sur l'impact des facteurs hédonique et ergonomique des outils sur la créativité. Au regard des travaux de Cherry et Latulipe (2014), Hassenzahl *et al.* (2000) et Lecossier et Pallot (2017), nous constatons que le choix de l'outil et des activités réalisées a une incidence sur l'expérience de l'utilisateur et ses performances. Nous souhaitons vérifier l'influence de l'outil en formulant l'hypothèse suivante :

H2 Les qualités hédoniques et ergonomiques des outils favorisent la créativité.

Enfin, les outils et activités qui sont étudiés dans ces travaux sont intégrés dans un processus global (l'innovation) étendu dans le temps et impliquant des acteurs provenant cultures et de métiers différents. Dorta (2004) perçoit l'intérêt de la réalité virtuelle comme passerelle technologique permettant l'apport d'étapes de créativité supplémentaires aidant les concepteurs dans l'élaboration leurs idées et d'en favoriser la communication. Les différentes études que nous avons abordées pendant cet état de l'art nous font porter un intérêt sur les paradigmes d'interaction liés à la réalité virtuelle et les facteurs favorisant la communicabilité des idées pendant leur production. Les différentes interactions proposées par l'outil vont permettre la réalisation de productions normalisées et facilitant la lecture par les différents acteurs. Il nous semble donc logique de vérifier que la standardisation des interactions (*e.g.*, les règles de conception qui sont implémentées dans les applications de CAO qui permettent aux productions de correspondre aux standards du domaine) proposée par un outil va permettre de favoriser la communicabilité des différentes idées. Ces réflexions nous amènent à cette troisième hypothèse :

H3 : La communicabilité des idées produites par un outil va dépendre de la standardisation des interactions.

La validité de nos hypothèses sera ensuite éprouvée au travers de deux expérimentations qui vont nous permettre de répondre à notre problématique initiale et de définir les mécanismes cognitifs à favoriser lors de tâches de créativité.

1.4. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART

Chapitre 2

Méthodologie

2.1	Étude empirique et exploratoire	58
2.2	Typologie des méthodes utilisées	59
2.2.1	Recueil de la charge cognitive	59
2.2.2	Recueil de l'expérience utilisateur	60
2.2.3	Évaluation de la créativité et de la communicabilité	61

2.1 Étude empirique et exploratoire

Nous avons adopté une stratégie d'expérimentation empirique et exploratoire pour nous permettre d'éprouver les hypothèses présentées dans la partie précédente et d'apporter une réponse à la problématique générale qui guide ces travaux. Ainsi, les expérimentations que nous avons conduites ont permis d'étudier l'influence des outils utilisés pour la créativité. En particulier, nous avons souhaité évaluer l'apport des outils basés sur la réalité virtuelle, par deux biais : l'étude de la charge mentale induite par l'ajout d'un stimulus dans l'environnement et l'étude des variations de l'expérience utilisateur sur la créativité. Lors de notre revue de la littérature, nous avons abordé plusieurs études utilisant la réalité virtuelle comme nouvel outil pour accompagner les tâches liées à l'innovation et à l'idéation (Feeman *et al.*, 2018; Martin, 2014; Yang *et al.*, 2018). Ces différentes études n'ont proposé qu'une comparaison des performances des outils traditionnellement utilisés face aux outils de réalité virtuelle. Cependant, ces études n'établissent pas de liens précis entre les performances de créativité et l'expérience vécue par les utilisateurs. Dans l'optique de proposer des outils permettant d'accompagner au mieux les activités des phases amont de la conception, nous allons utiliser des applications immersives. Elles auront l'avantage de permettre de faire varier les niveaux d'expérience utilisateur et de contrôler certains éléments de l'environnement. Cette utilisation de la réalité virtuelle est courante dans différentes études de psychologie cognitive (Cipresso *et al.*, 2015). Il a donc été décidé d'utiliser la réalité virtuelle pour nous permettre de mesurer l'impact de l'environnement sur la charge cognitive et la créativité. Pour étudier la créativité, des tâches de créativité divergente ont été proposées aux participants. Pour correspondre au contexte industriel de nos travaux, les tâches de créativité avaient pour sujet l'ajout de fonctionnalités à un objet afin de répondre à une problématique donnée.

Notre première expérimentation adopte une stratégie exploratoire pour étudier les effets des stimuli de l'environnement sur la charge mentale et sur la créativité. Dans l'optique d'étudier l'influence de l'environnement sur la créativité, nous avons étudié l'évolution de la charge cognitive en fonction de la présence de stimuli. La réalité virtuelle a permis de faire varier les différents stimuli pour constater les différentes stratégies mises en place lors de leur apparition dans l'environnement.

Notre deuxième expérience a mobilisé des outils de dessin pouvant être utilisés dans un environnement créatif, ces outils étant à même d'offrir une expérience utilisateur différente pour une même tâche de créativité. Il sera donc possible d'étudier les liens existants entre les différentes notions de

l'expérience utilisateur et le comportement créatif des participants.

2.2 Typologie des méthodes utilisées

Ces travaux de recherche sont réalisés sur l'étude des paradigmes d'interaction provenant d'outils dédiés à l'idéation ayant une incidence sur les tâches de créativité et de communicabilité des idées. Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous avons ainsi mesuré plusieurs variables pour nous permettre de faire un lien entre l'expérience utilisateur et la qualité des activités de créativité.

Nos mesures portent sur la charge cognitive de l'utilisateur, l'expérience utilisateur et la qualité de l'activité de créativité liée à l'utilisation de l'outil. Nous avons abordé dans notre état de l'art plusieurs méthodes nous permettant de recueillir les différents éléments évoqués. Pour l'évaluation de l'expérience utilisateur et de la charge cognitive, nos expériences s'appuient sur des mesures subjectives et non-invasives. Ce type de mesure est choisi pour nous permettre de comparer et d'étudier les impacts de nos différentes conditions sur les performances de créativité de l'utilisateur. Les parties suivantes sont dédiées à l'explication et à la justification des différentes méthodes utilisées pendant nos expérimentations.

2.2.1 Recueil de la charge cognitive

La charge cognitive représente la charge mentale allouée à l'exécution d'une tâche, elle est plus communément appelée la « *charge de travail* ». Nous trouvons dans la littérature plusieurs études proposant des méthodes pour mesurer la charge cognitive induite par une tâche. Différentes méthodes d'acquisition de la charge cognitive ont été présentées dans la section 1.2.2, ce qui nous a permis d'orienter notre choix de modèles d'administration et de méthode. Nous avons écarté les méthodes d'administration objectives car elles demandaient l'exécution d'une tâche concurrente étant susceptible d'apporter des stimuli et connaissances pouvant être réinvestis dans la tâche de créativité. Pour limiter les biais d'interférence liés à la mesure de la charge cognitive, et compte tenu du fait que nos mesures portaient sur la tâche et non sur son évolution dans le temps, nous avons utilisé une méthode d'administration subjective par questionnaire.

Notre revue de la littérature nous a permis de trouver plusieurs questionnaires permettant d'obtenir une évaluation de la charge cognitive et *in fine* de comprendre quels sont les éléments favorisant

ou gênant la créativité. Nous avons sélectionné les questionnaires permettant d'obtenir une mesure précise des charges cognitives intrinsèque, extrinsèque et utile. Nous écartons donc l'utilisation du NASA-TLX (Hart et Staveland, 1988) qui ne permet qu'une évaluation globale de la charge cognitive. Le questionnaire proposé par Klepsch *et al.* est fiable, il permet aux participants de différencier les charges cognitives et mesure la charge cognitive induite par la tâche mais aussi par les outils et l'environnement. Il sera possible de comprendre comment les stimuli de notre environnement sont exploités. Ce questionnaire peut être administré après la réalisation d'une tâche pour en connaître la complexité et les exigences. Cette analyse de la charge mentale sera couplée avec l'étude de la créativité pour comprendre quelles interactions sont investies durant les activités de créativité.

2.2.2 Recueil de l'expérience utilisateur

Notre mesure de l'expérience utilisateur se base exclusivement sur une analyse subjective à partir de questionnaires. Le questionnaire d'expérience utilisateur doit nous permettre de mesurer les qualités hédoniques et ergonomiques de l'outil qui est utilisé. Plusieurs questionnaires ont été conçus en s'inspirant du modèle élaboré par Hassenzahl *et al.* (2000). Notre revue de la littérature a révélé plusieurs questionnaires pouvant être adaptés à l'évaluation de l'expérience utilisateur offerte par les outils numériques (voir tableau 2.1).

- *Le SUS* (Brooke, 1986) est un questionnaire essentiellement centré sur l'évaluation de l'utilisabilité d'un outil. Il se compose de dix questions pouvant recueillir un score allant de 1 à 10. Un score final est donné au système allant de 10 à 100 permettant de qualifier l'utilisabilité du système.
- (Hassenzahl *et al.*, 2003) proposent une évaluation plus globale de l'expérience utilisateur et quatre sous catégories permettant d'avoir une évaluation précise des qualités ergonomiques et hédoniques du système. La version complète de l'*Attrakdiff* comporte 28 questions. Ce questionnaire ne permet pas une évaluation fine des différents éléments composant l'expérience utilisateur.
- *Le UEQ* (Laugwitz *et al.*, 2008) proposent une mesure de l'expérience utilisateur sur 6 catégories permettant une évaluation plus précise que l'*Attrakdiff* des aspects hédoniques et ergonomiques d'un outil.

Le lien fait entre la créativité et les composantes de l'expérience utilisateur définies par l'UEQ nous

2.2. TYPOLOGIE DES MÉTHODES UTILISÉES

Questionnaire	Hédonique	Ergonomique	Autres
SUS	∅	Utilisabilité	∅
Attrakdiff	Qualité hédonique-identification Qualité hédonique-stimulation	Qualités pragmatiques	Qualité globale
UEQ	Attractivité Stimulation Nouveauté	Efficacité Clarté Fiabilité	∅

TABLE 2.1 – Liste des questionnaires utilisés pour l'évaluation de l'expérience utilisateur.

permettra d'établir un modèle de recommandation d'outil en fonction de la tâche d'idéation entreprise.

2.2.3 Évaluation de la créativité et de la communicabilité

Nous allons détailler les mesures effectuées sur le résultat des tâches de créativité réalisées par les participants à nos expérimentations. Nous allons dans un premier temps détailler les mesures effectuées pour évaluer la qualité des idées proposées par les participants. Dans un second temps, nous nous intéresserons aux mesures permettant d'estimer la capacité de ces idées à être communiquées.

2.2.3.1 La créativité

Notre mesure de la créativité se base sur une évaluation qualitative et quantitative, rendant possible la représentation de l'influence de l'outil sur la conduite de la créativité. Notre première mesure de la créativité est donnée par le nombre d'idées proposées par participant sans prendre en considération les critères de créativité ou de réponse à la problématique initiale. Cette première mesure a été réalisée lors de plusieurs études (Fleury *et al.*, 2020; Guilford, 1968; Torrance, 1966) comme un indicateur de la capacité d'un individu à adopter une pensée divergente.

Comme nous l'avons abordé dans notre état de l'art, notre évaluation de la créativité va porter sur les résultats de la tâche de créativité. Notre seconde mesure porte sur l'appréciation de la qualité des idées. Les méthodes objectives identifiées dans la littérature utilisent un jury pour permettre la notation des idées produites. Le CAT d'Amabile (1982) propose une mesure de la qualité de créativité d'une idée grâce à un questionnaire comprenant trois critères (créativité, technicité et esthétique) mesurés par 23 questions. Nous allons utiliser la méthode d'évaluation de Cropley et Cropley (2008), plus complète, car elle reprend la base du CAT en y ajoutant de nouveaux critères. Cette méthode des juges permet ainsi d'avoir une mesure de la créativité sur quatre critères (l'efficacité, la nouveauté,

2.2. TYPOLOGIE DES MÉTHODES UTILISÉES

l'élégance et la générabilisation) sur 23 questions (voir annexe A). Pour chaque expérimentation, la notation des idées a été effectuée par un jury composé de trois personnes n'étant pas expertes de la thématique des tâches à effectuer.

2.2.3.2 La communicabilité

Le dernier objectif de ces travaux de recherche se focalise sur l'étude des critères influençant la communicabilité d'une idée au moment de sa création. Cette mesure de la communicabilité doit permettre de mesurer le taux de compréhension d'une idée à partir d'une démarche simple. Nous avons donc réalisé notre propre démarche pour nous permettre de mesurer la compréhension d'une idée en nous basant sur un contexte de partage de connaissances lors de projets innovants entre différents protagonistes. Cette mesure se base sur la compréhension immédiate d'une idée émise par une personne et comparée à la volonté initiale du concepteur de l'idée. Nous avons choisi une démarche simple à mettre en place pour nous permettre d'avoir une évaluation de la communicabilité globale d'une idée. L'idée du concepteur, représentée sous forme d'un dessin 2D ou 3D, est donnée à une autre personne qui doit en donner une interprétation. Le concepteur devra ensuite indiquer si la description qui a été faite de son idée est en accord ou non avec sa volonté initiale sur une échelle de 1 (pas du tout d'accord) à 9 (tout à fait d'accord) (voir annexe B). Cette mesure nous permet de savoir si l'idée du concepteur a été facilement comprise. Cette mesure nous permettra de faire un premier lien avec l'expérience utilisateur et de comprendre quels éléments ont une influence sur la communicabilité des idées.

Chapitre 3

Effets de l'environnement sur notre créativité

3.1	Résumé	64
3.2	Introduction	65
3.3	Méthodes	68
3.3.1	Procédure	68
3.3.2	Matériel	69
3.3.3	Mesures	72
3.4	Résultats	73
3.4.1	Tâche d'écriture	73
3.4.2	Tâche de dessin	77
3.5	Conclusion	80
3.5.1	Discussion	80
3.5.2	Limitations et travaux futurs	82

3.1 Résumé

Nos environnements de travail (numériques ou non) sont constitués d'une multitude d'éléments ou stimuli ayant un impact direct ou indirect sur les tâches de créativité. Nous avons souhaité étudier l'impact de l'environnement (par l'ajout de différents types de stimuli) sur la créativité par le biais de la charge cognitive. Pour nous permettre de généraliser nos résultats sur l'influence de la charge cognitive sur la créativité, deux tâches mobilisant des canaux différents ont été conçues. Cette expérimentation propose deux tâches de créativité impliquant soit les canaux audio-verbaux, soit les canaux visuo-spatiaux. La tâche de créativité mobilisant les canaux audio-verbaux est une tâche de créativité écrite lors de laquelle les participants doivent proposer des solutions à un problème posé. La tâche mobilisant les canaux visuo-spatiaux est une tâche de dessin immersif dans laquelle les participants doivent proposer des solutions à un problème en dessinant sur un modèle qui leur est donné. Pour chaque tâche, un stimulus, interférant sur les même canaux, est présent dans l'environnement de façon continue ou discontinue.

Cette expérimentation nous permet de constater que les stimuli de notre environnement ont un impact sur notre créativité et notre charge mentale. Nous constatons que le stimulus a des effets différents sur notre créativité en fonction de son caractère continu ou discontinu. De plus, nous constatons des premiers liens entre les trois types de charges cognitives et la créativité. Ces premiers résultats (une diminution du nombre d'idées proposées et une augmentation de la charge cognitive) nous permettent de mieux comprendre quels sont les mécanismes cognitifs entrant en jeu lors de tâches de créativité et de distinguer quelles sont les influences de notre environnement.

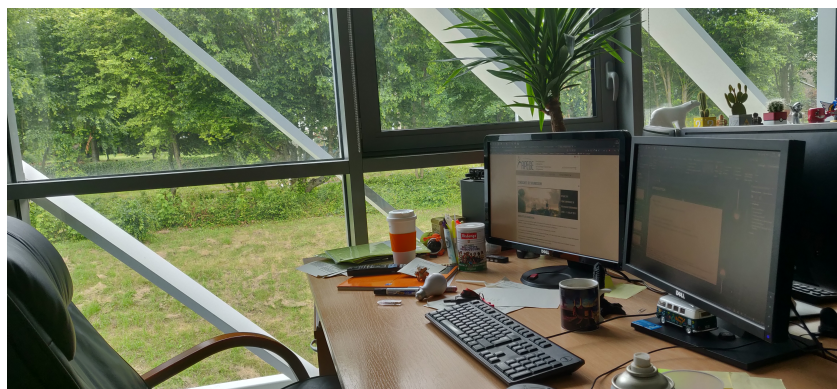


FIGURE 3.1 – Environnement de travail présentant différents stimuli qui peuvent inspirants (les éléments naturels) ou gênants (les voitures passant sur la route en arrière plan) sur la créativité

3.2 Introduction

Les travaux d'Amabile et Pratt (2016) indiquent que différents éléments externes interviennent et influencent nos tâches de créativité, comme la motivation et l'environnement. Comme nous l'avons vu dans notre revue de littérature, nous constatons que de multiples éléments de notre environnement ont un impact direct sur les tâches que nous effectuons (Baird *et al.*, 2012; Jett et George, 2003). Nous avons aussi défini comment la charge cognitive est mobilisée lors de tâches de résolution de problèmes et comment les différentes connaissances sont générées et utilisées (Sweller, 2010). D'après Baddeley et Broadbent (1983), notre charge cognitive est divisée en deux charges indépendantes correspondant à chacun des canaux. Les stimuli visuels (*e.g.*, une mouche) seront traités avec la charge cognitive dédiée aux canaux visuo-spatial, et les stimuli auditifs (*e.g.*, une conversation) seront traités avec la charge cognitive dédiée aux canaux audio-verbaux. Pour proposer une étude complète et généralisable de la charge cognitive, il est nécessaire de proposer deux tâches qui vont chacune mobiliser un des canaux et ayant des stimuli interférant sur les même canaux que la tâche.

Comme nous l'a démontré le modèle de Le Masson *et al.* (2006), le processus cognitif mis en place lors d'activités de créativité a pour but de constituer des connaissances pour proposer des concepts pouvant répondre à une problématique initialement posée. Un lien peut être fait avec la représentation du processus créatif de Ward et Kolomyts (2010) et Amabile et Pratt (2016) pour nous aider à comprendre les interactions existant entre l'individu et l'environnement. Plusieurs éléments de notre environnement sont contrôlables et peuvent favoriser la créativité en donnant de nouvelles sources de connaissances et d'inspirations ou encore en permettant de restituer une partie des capacités attentionnelles pour poursuivre la tâche (Lee *et al.*, 2015). Mais notre environnement est aussi constitué d'éléments que nous ne maîtrisons pas et qui ont des conséquences négatives sur la créativité (Mochi et Madjar, 2018). Nous pouvons prendre en exemple les environnements de type *openspace* (Addas et Pinsonneault, 2015; Tams *et al.*, 2015) qui contiennent des stimuli ne favorisant pas la concentration ou ne permettant pas d'atteindre l'état de *flow*. Enfin, les outils qui sont utilisés pour les tâches de créativité peuvent être eux-mêmes une source d'inspiration ou un frein à la créativité. Kosmadoudi *et al.* (2013) identifient dans des applications de CAO des éléments qui peuvent être améliorés pour favoriser la créativité, comme la *gamification* ou la simplification des interactions pour permettre aux utilisateurs ne pas rester enfermés dans des stratégies de réalisation et de conception déjà établies.

3.2. INTRODUCTION

La répétition de stratégies pré-établies lors de phases d'idéation ne favorisent pas la créativité et la proposition d'idées nouvelles et divergentes. Notre revue de la littérature nous a permis de constater que la simplification des interactions offerte par la réalité virtuelle permet aux utilisateurs d'être plus créatifs (Feeman *et al.*, 2018).

Nous avons aussi abordé dans notre revue de la littérature le concept de charge cognitive liée aux tâches d'apprentissage et de créativité (Sweller, 2010). La charge cognitive peut être un facteur déterminant dans la conception et dans le choix d'outils dédiés à la créativité. Au travers de cette expérimentation, nous souhaitons établir un premier lien entre la charge cognitive et la créativité. La mesure des différents éléments constituant la charge cognitive (intrinsèque, extrinsèque et utile) va nous permettre de comprendre comment les éléments non-pertinents apparaissant dans notre environnement ont une influence positive (en provoquant une inspiration) ou négative (en ralentissant ou stoppant les processus mentaux) sur les tâches de créativité.

Cette expérimentation a pour objectif de valider l'hypothèse suivante :

H 1 : Les éléments non pertinents de notre environnement ont un impact négatif sur notre créativité.

Cette hypothèse principale soulève des questions sur la nature de l'élément, l'impact de la charge cognitive et la qualité des idées produites. Ces interrogations ont permis d'identifier trois sous hypothèses portant sur la caractérisation des effets induits par l'environnement. Comme nous l'avons abordé dans notre état de l'art, la créativité est une activité mentale continue qui peut être décomposée en plusieurs phases (Amabile, 1982; Wallas, 1926) et des éléments interruptifs constituant notre environnement peuvent avoir des effets non désirables sur la créativité en interrompant ce processus mental (Baird *et al.*, 2012; Jett et George, 2003; Mochi et Madjar, 2018). Les travaux qui ont été détaillés dans notre état de l'art font le constat que les éléments discontinus et non prévisibles de l'environnement ont un impact négatif sur les tâches de résolution de problème. Cela nous conduit à la première sous hypothèse :

H 1.1 : Le caractère discontinu d'un stimulus fait diminuer la créativité en interrompant le processus mental.

Les différentes théories traitant de la charge cognitive indiquent que les éléments constituant l'environnement vont être pris en compte par les personnes effectuant la tâche. La prise en compte de

3.2. INTRODUCTION

ces éléments ajoutés à l'environnement aura donc une répercussion sur la charge mentale. La théorie de Sweller *et al.* (1998) indique que l'augmentation de la charge cognitive par les éléments de l'environnement se fera au niveau de la charge cognitive intrinsèque, si le stimulus permet d'apporter de nouvelles connaissances, et au niveau de la charge cognitive extrinsèque, si le stimulus est perçu comme un élément gênant et complexifiant la tâche. Nous proposons alors l'hypothèse suivante :

H 1.2 : Les stimuli apparaissant dans l'environnement vont faire augmenter les charges cognitives intrinsèque et extrinsèque.

La proposition de nouvelles idées est conditionnée par les ressources restantes et pouvant être allouées à la charge cognitive utile (Sweller, 2010). Dans les représentations du processus mental de la créativité, une part des ressources mentales est dédiée à l'acquisition de connaissances nécessaires pour répondre à la problématique. Nous pouvons penser que lors d'une tâche de créativité, si trop de ressources sont allouées à la création et à l'acquisition de connaissances, la qualité des idées proposées sera moindre. D'un autre côté, la charge induite par la charge extrinsèque pour gérer l'environnement aura pour conséquence de réduire la charge cognitive utile allouée pour établir de nouveaux schémas de pensée et donc proposer de nouvelles idées permettant de répondre à la tâche de créativité. Ces différentes observations nous permettent de proposer l'hypothèse suivante :

H 1.3 : L'augmentation des charges cognitives intrinsèque et extrinsèque a pour conséquence de faire diminuer le nombre d'idées proposées et leur qualité.

Pour valider ces hypothèses et étudier l'impact de stimuli non pertinents, nous avons mis en place deux tâches de créativité mobilisant les canaux soit audio-verbaux, soit visuo-spatiaux. Pour chaque tâche, nous proposons trois conditions de stimulus : sans, continu et discontinu, interférant sur les mêmes ressources (Baddeley et Broadbent, 1983). Nous allons mesurer au travers d'un questionnaire l'évolution de la charge cognitive en fonction du stimulus. La qualité de la créativité évaluée par un groupe de juges sera mise en lien avec le stimulus, mais aussi avec la charge cognitive.

3.3 Méthodes

Pour cette expérimentation, nous avons réuni un panel de 67 participants tous travaillant ou étudiant dans le secteur de la réalité virtuelle. Cet échantillon est composé de 20 femmes (30%) et de 47 hommes (70%). L'âge moyen est de 25,31 ans (écart-type = 6,59), pour un maximum de 54 ans et un minimum de 18 ans.

3.3.1 Procédure

Cette partie va détailler la procédure appliquée pour les tâches de dessin et d'écriture. L'expérimentation est divisée en deux parties. La première est centrée sur l'exécution de la tâche par les participants alors que la deuxième est dédiée à l'analyse des productions des participants par un jury.

3.3.1.1 La tâche de créativité

Le processus appliqué à la tâche de créativité est représenté par la figure 3.2. Au début de l'expérimentation, le participant doit remplir un premier questionnaire démographique afin de nous permettre de récupérer son âge, son sexe et son niveau d'expertise face aux applications de réalité virtuelle. Le participant est ensuite amené à exécuter une première tâche de créativité sur l'une des modalités (écriture, dessin 3D) et avec une des trois conditions de stimulus (sans stimulus, avec stimuli continus ou avec stimuli discontinus). Le questionnaire de Klepsch *et al.* (2017), mesurant la charge cognitive sur ses différentes dimensions (intrinsèque, extrinsèque et utile), est ensuite administré aux participants. Enfin, le participant est invité à compléter la seconde tâche de créativité avec une autre condition de présence du stimulus. A la fin de cette dernière tâche, le questionnaire de (Klepsch *et al.*, 2017) est administré au participant une nouvelle fois pour mesurer la charge cognitive. Pour chaque tâche de créativité, un entraînement de quelques minutes est proposé au participant pour lui permettre de se familiariser avec les différentes interactions des applications proposées. Chaque tâche de créativité a une durée de cinq minutes lors de laquelle il est demandé aux participants de proposer autant d'idées que possible répondant à la problématique.

3.3. MÉTHODES

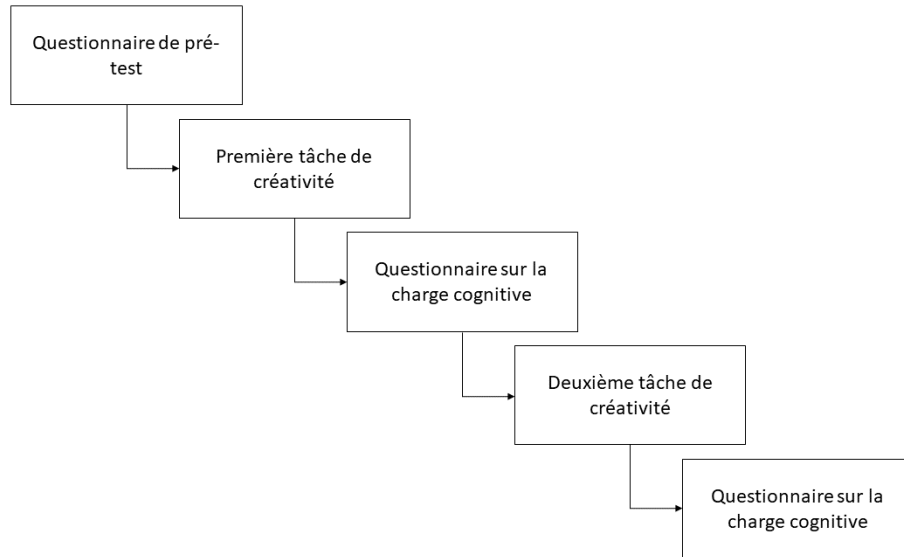


FIGURE 3.2 – Processus suivi par chaque participant lors de l'expérimentation

3.3.1.2 L'évaluation des productions

L'évaluation de la qualité des différentes propositions est faite à l'aide de la méthode des juges de Cropley et Cropley (2008). Un jury composé de trois personnes, non entraîné sur la problématique de créativité, est sélectionné afin d'évaluer la qualité des différentes propositions. L'évaluation des différentes idées suit le formulaire donné en annexe A. Chaque juge effectue sa notation seul, indépendamment et sans se concerter avec les autres juges. A la suite de cette évaluation, nous avons mesuré l'accord inter-juges pour nous permettre d'attribuer un score de nouveauté, d'élégance et de générabilisation à chaque proposition en fonction des notes d'un juge.

3.3.2 Matériel

Lors de cette expérimentation, le participant réalise les deux tâches de créativité. Chaque tâche mobilise un des canaux (visuo-spatial ou audio-verbal) avec un stimulus interférant sur les mêmes canaux (Baddeley et Broadbent, 1983). La tâche de créativité mobilisant le canal audio-verbal est une tâche d'écriture. La tâche de créativité mobilisant le canal visuo-spatial est une tâche de dessin immersif. Lors des tâches de créativité, le stimulus est soit absent (condition contrôle), soit continu ou discontinu. Nous allons ensuite détailler les différentes tâches et le matériel utilisé.

3.3. MÉTHODES

3.3.2.1 La tâche d'écriture

La tâche d'écriture est inspirée de celle développée dans l'étude de Reiter-Palmon *et al.* (2009). Le participant, avec autant de propositions que possible, devait répondre à la question suivante : « Quelles seraient les conséquences si, soudainement, nous ne pouvions plus utiliser nos bras ou nos jambes ? ». Cette tâche est effectuée sur ordinateur à l'aide d'une application de saisie de texte développée pour l'expérimentation (voir figure 3.3).

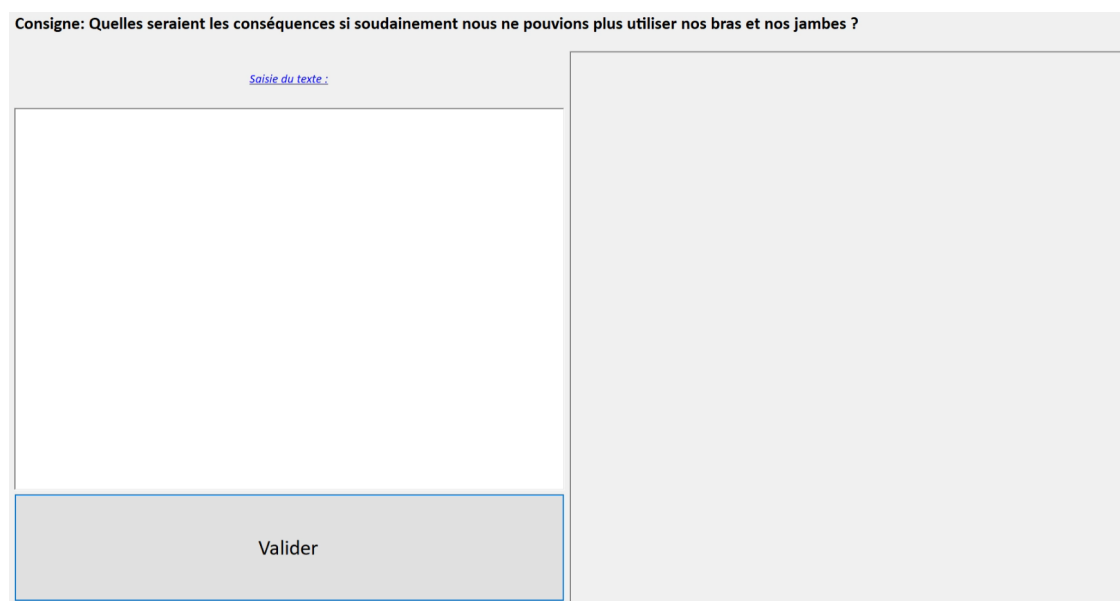
The screenshot shows a web-based application interface for a writing task. At the top, a grey header bar contains the instruction: "Consigne: Quelles seraient les conséquences si soudainement nous ne pouvions plus utiliser nos bras et nos jambes ?". Below this, the interface is split into two main sections. On the left, there is a text input area with a light blue border. Above this area, the text "Saisie du texte :" is displayed in a small blue font. At the bottom of this input area is a grey button with the word "Valider" in black text. To the right of the input area is a large, empty grey rectangular box, which serves as a workspace for the participant's responses.

FIGURE 3.3 – Capture d'écran de l'outil utilisé pour la tâche d'écriture

Cette application permet au participant de formuler des propositions qui seront ensuite enregistrées. La saisie de texte est effectuée dans la partie blanche à gauche de l'écran. Après un appui sur la touche *Entrée* ou sur le bouton *Valider*, la proposition est sauvegardée et apparaît ensuite sur la partie grise à droite de la fenêtre. Une fois que la proposition est sauvegardée, elle ne peut plus être modifiée ou supprimée. Le participant peut ensuite passer à la rédaction d'une nouvelle idée. Une minute avant la fin de l'expérimentation, la consigne est remplacée par un message indiquant le temps restant avant la fin de l'expérimentation. Enfin, au bout du temps imparti, l'application se ferme d'elle-même en enregistrant la phrase qui est en cours de rédaction. Une fois l'application fermée, un fichier au format CSV est généré. Il contient les différentes propositions avec leurs temps de début et de fin.

Pour cette tâche, le stimulus est une émission de radio diffusée au travers de haut-parleurs situés devant le participant. L'émission diffusée est une interview du fondateur du festival de bandes dessinées

3.3. MÉTHODES

d'Angoulême en France. Nous avons choisi cette émission, car la langue utilisée est celle des participants et le sujet traité est éloigné de la thématique abordée par la tâche de créativité. Pour la condition avec stimulus continu, l'émission était diffusée sans interruption pendant la totalité de la tâche. Pour la condition avec stimulus discontinu, l'émission a été préalablement coupée à plusieurs reprises de manière aléatoire.

3.3.2.2 La tâche de dessin 3D

Pour la tâche de dessin immersif, le participant a pour objectif de dessiner autant de solutions que possible sur un sac à dos dans un environnement virtuel pour répondre à la problématique suivante : « Proposer des solutions pour que le sac à dos des étudiants soit plus transportable ». Pour répondre à cette problématique, une application de dessin immersif est proposée au participant (voir figure 3.4).



FIGURE 3.4 – Capture d'écran de l'outil de dessin 3D

À l'aide d'un casque de réalité virtuelle HTC Vive et d'un ordinateur (équipé d'un processeur Intel Xeon 3.10GHz, de 16 Go de RAM et d'une NVIDIA GeForce GTX 1060), les participants sont immergés dans une scène virtuelle qui est une pièce blanche et neutre. Au centre de la pièce, un piédestal présente un modèle de sac à dos. Grâce aux boutons latéraux des manettes du casque HTC Vive, le sac à dos peut être déplacé dans la scène et remplacé à la convenance de l'utilisateur. Sur la droite du piédestal, un bouton *Sauvegarder* et une palette de couleurs sont disposés à la hauteur de

3.3. MÉTHODES

l'utilisateur. Un appui sur le bouton de sauvegarde permet d'enregistrer le dessin du participant, ce qui le fait disparaître pour permettre au participant de commencer une nouvelle idée. La palette permet à l'utilisateur de paramétrer sur chaque manette : la couleur, la saturation, mais aussi l'épaisseur du trait qui va être utilisé. L'appui sur la gâchette de la manette permet de commencer à dessiner un trait qui va suivre le mouvement de la manette. Chaque manette peut être utilisée comme un pinceau indépendant et donc avoir une couleur particulière. Le dessin réalisé par l'utilisateur est lié au sac, quand ce dernier est changé de place, les différents traits réalisés suivent le mouvement.

3.3.3 Mesures

Pour cette expérimentation, nous avons mesuré la charge cognitive grâce au questionnaire de Klepsch *et al.* (2017). Ce questionnaire comporte sept questions, utilisant comme réponse une échelle de Likert allant de un à sept, qui permettent de mesurer indépendamment la charge intrinsèque (deux questions), extrinsèque (trois questions) et utile (deux questions).

Les mesures sur la production des idées sont quantitatives et qualitatives. Pour chaque participant, nous comptons le nombre d'idées produites. Enfin, grâce à la méthode des juges de Cropley et Cropley (2008), nous pouvons mesurer la qualité des idées sur trois axes :

- **L'originalité** : l'idée se démarque des autres et utilise de nouvelles connaissances.
- **L'élégance** : l'idée a un aspect plaisant dans son exécution ou sa présentation.
- **La générabilisation** : l'idée est applicable à d'autres contextes d'utilisation que celui proposé initialement par la tâche.

3.4 Résultats

Nos résultats sont présentés en deux parties, chacune détaillant les résultats obtenus dans chaque tâche de créativité et sous les différentes conditions, au regard de la charge cognitive et de la créativité.

3.4.1 Tâche d'écriture

Pour commencer cette analyse, nous avons vérifié l'homoscédasticité et la normalité de notre jeu de données. Nous constatons que l'homoscédasticité est vérifiée pour le nombre d'idées par participant en fonction du type de stimulus ($p = 0,588$), l'élégance en fonction du type de stimulus ($p = 0,277$), la charge cognitive extrinsèque en fonction du type de stimulus ($p = 0,38$) et la charge cognitive utile en fonction du type de stimulus ($p = 0,756$). L'hétéroscédasticité est vérifiée pour la nouveauté en fonction du type de stimulus ($p = 0,096$), la générabilisation en fonction du type de stimulus ($p < 0,001$) et la charge mentale intrinsèque en fonction du type de stimulus ($p = 0,018$).

Grâce à un test de Kolmogorov-Smirnov, nous avons vérifié la normalité pour le nombre d'idées par participant ($p = 0,375$), la nouveauté ($p = 0,845$), l'élégance ($p = 0,588$), la charge cognitive intrinsèque ($p = 0,362$), extrinsèque ($p = 0,153$) et la charge utile ($p = 0,2644$). La normalité n'a pas été vérifiée pour la générabilisation ($p = 0,008$).

Nous pouvons donc effectuer des tests paramétriques (ANOVA, test de Student) pour le nombre d'idées par participant, l'élégance des idées, les charges cognitives extrinsèque et utile. Les autres données seront testées avec des tests non paramétriques (Kruskal-Wallis).

L'accord inter-juge a été vérifié en premier lieu sur chacune des trois dimensions de la qualité des idées pour les quarante premiers participants. Nous constatons une fiabilité satisfaisante pour les dimensions de la nouveauté ($\alpha = 0,95$), l'élégance ($\alpha = 0,93$) et la générabilisation ($\alpha = 0,98$). En se basant sur les travaux de Nunnally (1994), ces scores démontrent une cohérence interne très élevée dans l'évaluation indépendante des juges, et nous permettent de continuer notre analyse avec les notes d'un seul juge.

3.4.1.1 Analyse des idées

Nous commençons par analyser quel a été l'impact du stimulus sur le nombre d'idées produites par les participants. Pour le nombre d'idées en fonction de la condition, l'analyse des variances n'a

3.4. RÉSULTATS

pas révélé de différence statistique significative ($F(2; 60) = 0,371; p = 0,691$).

L'analyse des variances, faite avec un test de Kruskal-Wallis, ne révèle pas différence statistique significative pour la nouveauté ($\chi^2 = 3,235; p = 0,19$) ni pour l'ANOVA de l'élégance ($F(2; 60) = 0,915; p = 0,406$). Le test de Kruskal-Wallis révèle des différences statistiques significatives pour la générabilisation ($\chi^2 = 14,674; p < 0,001$). Une comparaison appairée des variances entre les différentes conditions nous indique que des différences statistiques significatives existent entre la condition discontinue ($m = 1,314; sd = 0,51$) et les deux conditions « sans » ($m = 2,59; sd = 1,48$) et « continu » ($m = 3,15; sd = 2,02$) (voir tableau 3.1). Nous constatons en effet que le niveau médian du score de générabilisation est plus faible lorsque le stimulus audio est discontinu (voir figure 3.5).

TABLE 3.1 – Matrice des comparaisons appairées pour le score de générabilisation pour la tâche d'écriture

	Continu	Discontinu
Discontinu	0,002**	-
Sans	0,969	0,004**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;
*** $p < 0,001$

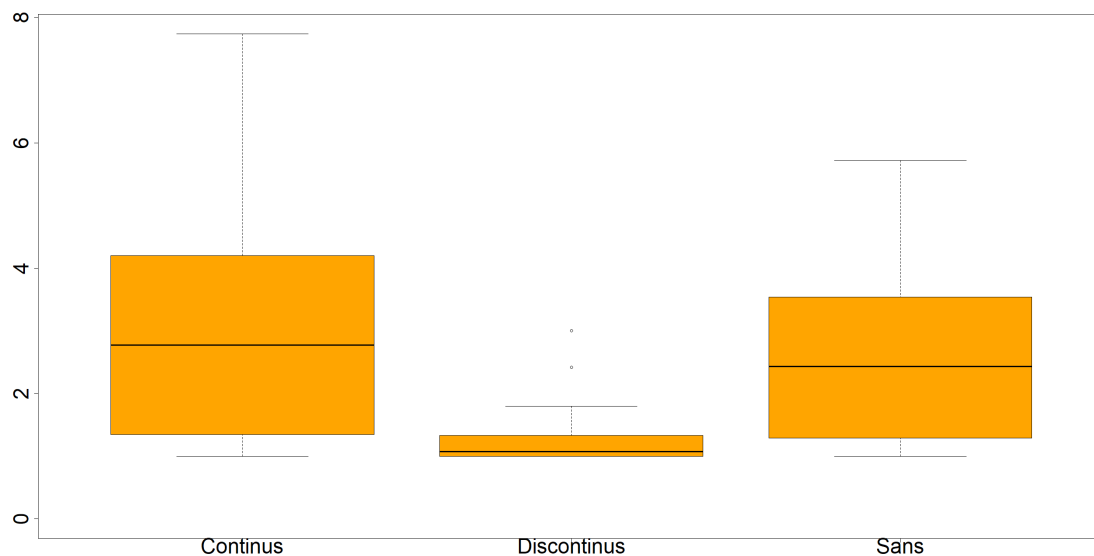


FIGURE 3.5 – Boxplot de la générabilisation en fonction de la condition pour la tâche d'écriture

3.4.1.2 Analyse de la charge cognitive

Concernant la mesure de la charge cognitive induite par le stimulus, le test de Kruskal-Wallis révèle la présence de différences statistiques significatives pour la charge cognitive intrinsèque ($\chi^2 = 19,775; p < 0,001$). Une comparaison appairée des variances entre chaque condition indique des différences statistiques significatives entre la condition sans stimulus ($m = 2,33; sd = 1,28$) et les conditions « discontinu » ($m = 4,45; sd = 0,92$) et « continu » ($m = 3,87; sd = 1,68$) (voir tableau 3.2). La figure 3.6 nous montre que le niveau de charge cognitive intrinsèque est en moyenne plus faible quand le stimulus n'est pas présent.

TABLE 3.2 – Matrice des comparaisons appairées pour le score de charge cognitive intrinsèque pour la tâche d'écriture

	Continu	Discontinu
Discontinu	0,48	-
Sans	0,006**	< 0,001***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;
 *** $p < 0,001$

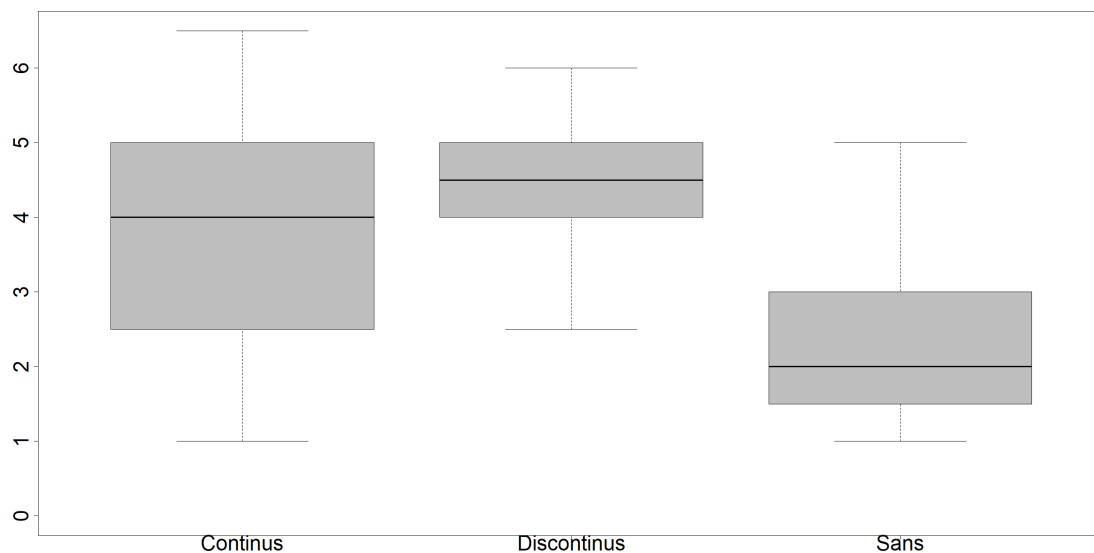


FIGURE 3.6 – Boxplot de la charge cognitive intrinsèque en fonction de la condition pour la tâche d'écriture

L'analyse des variances révèle des différences statistiques significatives ($F(2; 60) = 13,79; p <$

3.4. RÉSULTATS

0,001) entre les conditions pour la charge cognitive extrinsèque. Une comparaison appairée des variances indique des différences significatives entre la condition sans stimulus ($m = 2,91$; $sd = 1,24$) et les conditions « continu » ($m = 4,40$; $sd = 1,48$) et « discontinu » ($m = 4,89$; $sd = 1,10$) (voir tableau 3.3). Le niveau moyen de charge cognitive extrinsèque est plus faible quand il n'y a pas de stimulus (voir figure 3.7).

TABLE 3.3 – Comparaison appairée des variances pour le score de charge cognitive extrinsèque pour la tâche d'écriture

	Continu	Discontinu
Discontinu	0,215	-
Sans	$< 0,001^{***}$	$< 0,001^{***}$

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;
*** $p < 0,001$

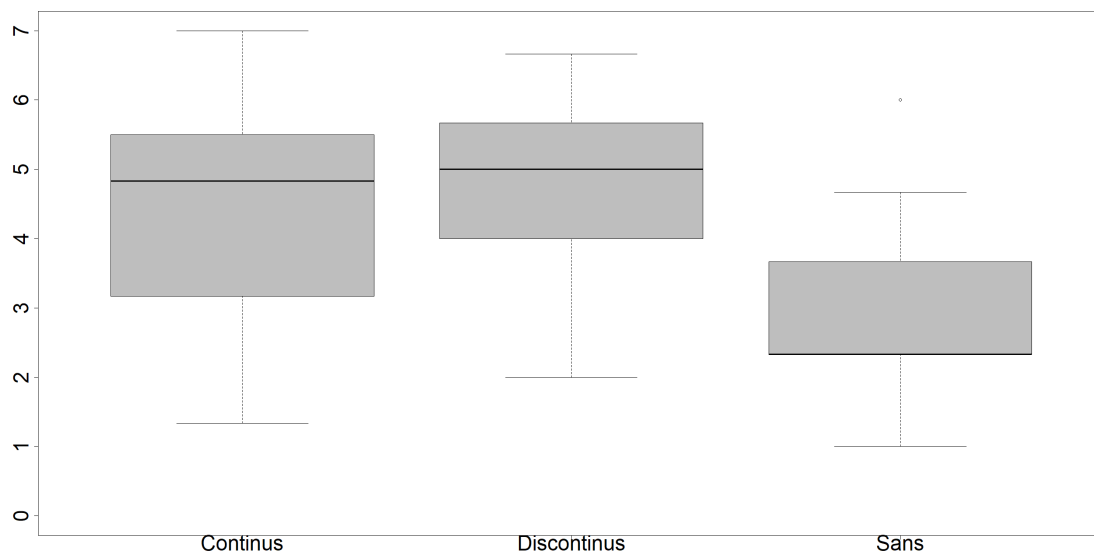


FIGURE 3.7 – Boxplot de la charge cognitive extrinsèque en fonction de la condition pour la tâche d'écriture

L'analyse des variances ne révèle pas de différence statistique significative ($F(2; 60) = 2,417$; $p = 0,09$) entre les conditions pour la charge cognitive utile.

3.4. RÉSULTATS

3.4.2 Tâche de dessin

Pour commencer cette analyse, nous avons vérifié l'homoscédasticité et la normalité de notre jeu de données. Nous constatons que l'homoscédasticité est vérifiée pour le nombre d'idées par participant ($p = 0,522$), la charge cognitive intrinsèque ($p = 0,469$), la charge cognitive extrinsèque ($p = 0,119$) et la charge cognitive utile ($p = 0,412$). L'hétéroscédasticité est vérifiée pour la nouveauté ($p = 0,048$), l'élégance ($p = 0,094$) et la générabilisation ($p = 0,035$) des idées.

Grâce à un test de Kolmogorov-Smirnov, nous avons vérifié la normalité pour le nombre d'idées par participant ($p = 0,152$), la nouveauté ($p = 0,713$), l'élégance ($p = 0,945$) des idées et la charge cognitive utile ($p = 0,176$). La normalité n'a pas été vérifiée pour la générabilisation des idées ($p = 0,088$), la charge cognitive intrinsèque ($p = 0,082$) et extrinsèque ($p = 0,084$). Nous pouvons donc effectuer des tests paramétriques (ANOVA, test de Student) pour le nombre d'idées par participant et la charge cognitive utile. Les autres données seront testées avec des tests non paramétriques (Kruskal-Wallis).

3.4.2.1 Analyse des idées

Nous commençons par analyser l'impact du stimulus sur le nombre d'idées produites par les participants.

Pour le nombre d'idées produites en fonction de la condition, une analyse des variances a révélé des différences statistiques significatives entre nos conditions ($F(2;64) = 4,311; p = 0,018$). Une comparaison appairée des variances révèle des différences statistiques significatives entre les conditions stimulus continu ($m = 6,05$; $sd = 2,19$) et discontinu ($m = 4,5$; $sd = 1,64$) (voir tableau 3.4). Ainsi, comme le montre le graphique 3.8, le nombre moyen d'idées produites est plus faible quand le stimulus est discontinu.

TABLE 3.4 – Comparaison appairée des variances pour le nombre d'idées pour la tâche de dessin

	Continu	Discontinu
Discontinu	0,016*	-
Sans	0,351	0,129

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;
*** $p < 0,001$

Concernant l'analyse qualitative, l'accord inter-juge a été vérifié en premier lieu sur chacune des

3.4. RÉSULTATS

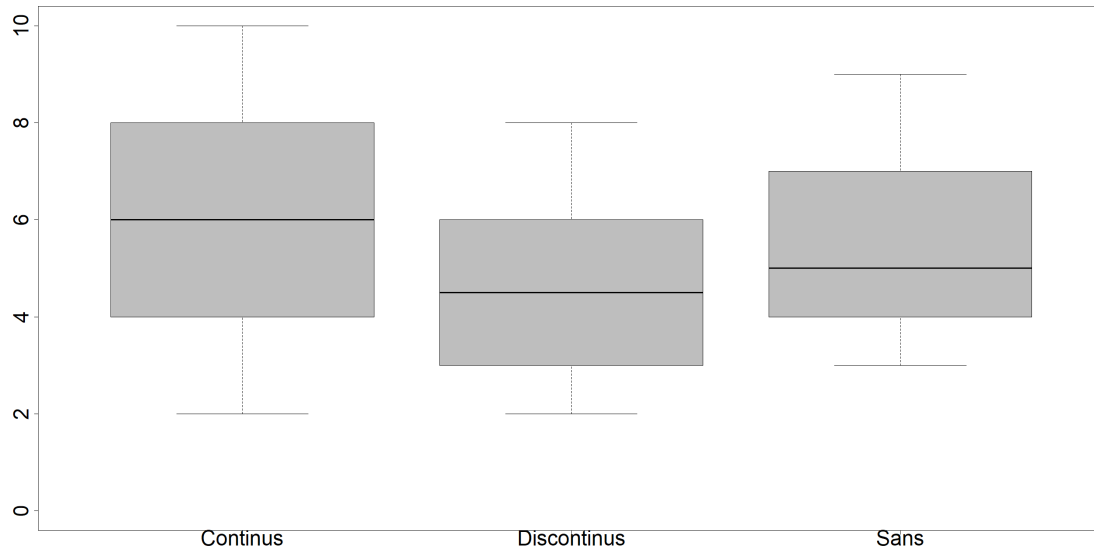


FIGURE 3.8 – Boxplot du nombre d'idées en fonction de la condition pour la tâche de dessin

trois dimensions de mesures de la qualité des idées pour les quarante premiers participants. Nous constatons une cohérence satisfaisante pour la dimension de la nouveauté ($\alpha = 0,95$), l'élégance ($\alpha = 0,85$) et la générabilisation ($\alpha = 0,74$). Ces scores démontrent une fiabilité interne très élevée dans l'évaluation indépendante des juges et nous permettent de continuer notre analyse avec les notes d'un seul juge. Les tests de Kruskal-Wallis ne révèlent pas de différences statistiques significatives pour la nouveauté ($\chi^2 = 1,193; p = 0,551$) et l'élégance ($\chi^2 = 0,757; p = 0,685$). Le test de Kruskal-Wallis révèle des différences statistiques significatives pour la générabilisation ($\chi^2 = 21,227; p < 0,001$). Une comparaison appairée des variances entre nos conditions révèle des différences statistiques significatives entre la condition stimulus continu ($m = 1,57$; $sd = 1,38$) et les conditions « discontinu » ($m = 3,97$; $sd = 2,18$) et « sans » ($m = 3,52$; $sd = 1,48$) (voir tableau 3.5). Grâce au graphique, 3.9 nous constatons que le niveau moyen de générabilisation est plus faible quand le stimulus est continu.

TABLE 3.5 – Matrice des comparaisons appairées des variances du score de générabilisation pour la tâche de dessin

	Continu	Discontinus
Discontinus	< 0,001***	-
Sans	< 0,001***	0,84

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;

*** $p < 0,001$

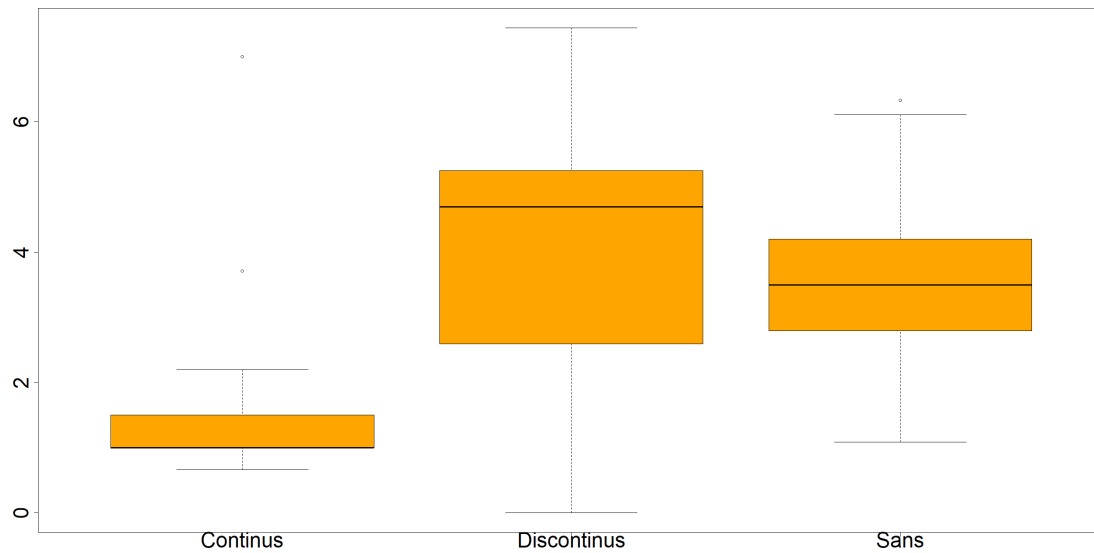


FIGURE 3.9 – Boxplot du score de générabilisation en fonction de la condition pour la tâche de dessin

3.4.2.2 Analyse de la charge cognitive

Nous présentons dans cette section l'analyse de la charge cognitive induite par le stimulus. Les tests de Kruskal-Wallis n'ont révélé aucune différence statistique significative pour la charge cognitive intrinsèque ($\chi^2 = 0,513; p = 0,773$), extrinsèque ($\chi^2 = 1,527; p = 0,466$). Enfin, l'analyse des variances n'a révélé aucune différence significative pour la charge cognitive utile ($F(2;64) = 0,048; p = 0,953$).

3.5 Conclusion

3.5.1 Discussion

Dans cette étude, nous avons étudié les impacts des stimuli présents dans l'environnement sur la créativité en mesurant les impacts sur la charge cognitive. Les tâches de créativité et les stimuli, qui ont été proposés pour cette expérimentation, nous permettent de discuter des différentes hypothèses que nous avons définies au regard de la littérature. Cette discussion est structurée autour des réponses que nous allons apporter à ces hypothèses.

Les premiers résultats que nous pouvons observer portent sur l'impact du type de stimulus sur le nombre d'idées proposées. En effet, nous constatons des variations de résultats entre les tâches en fonction du type de stimulus. Pour la tâche d'écriture, nous ne constatons pas de différences significatives. Cependant, le stimulus discontinu pour notre tâche de dessin fait diminuer significativement le nombre d'idées proposées. Nous pensons que cette différence de résultats entre les tâches peut s'expliquer par la nature même des tâches. Pour la tâche d'écriture, l'application utilisée propose des interactions similaires aux applications de saisie de texte. Nous pouvons penser que les automatismes mis en place pour la saisie de texte, même dans des environnements avec de nombreux stimuli externes (bureaux, transports), permettent aux participants de retranscrire facilement leurs idées en phrases et propositions répondant à la problématique proposée. L'ajout d'un stimulus continu ou discontinu n'a donc pas eu de conséquence sur la créativité des participants. Concernant les résultats obtenus pour la tâche de dessin, nous pensons que l'aspect inhabituel des interactions qui sont proposées par l'application a rendu les participants plus sensibles à l'apparition du stimulus. Lorsque le stimulus apparaît dans la vision de l'utilisateur, il va demander un effort mental pour le prendre en considération, puis l'ignorer. Le traitement du stimulus aura pour conséquence de stopper la réflexion sur la projection de l'idée en gestes et interactions nécessaires pour l'élaboration d'une idée. Nous pensons que ce processus mental pour ignorer le stimulus est effectué une seule fois lors de l'apparition du stimulus. L'effort nécessaire pour ignorer le stimulus dans l'environnement devra rester constant. Les différentes interruptions dans le processus de réflexion ont donc dû ralentir le processus d'interprétation de l'idée. Nous pouvons faire un parallèle avec les observations de Kasof (1997) et Baird *et al.* (2012) qui ont observé que lors de différentes activités de résolution de problèmes, l'apparition de stimuli générerait une distraction suffisante pour diminuer les performances. Pour l'hypothèse **H1.1** concernant l'impact du stimulus

3.5. CONCLUSION

discontinu sur la créativité, nous ne pouvons la valider que partiellement. En effet, nous constatons que le stimulus discontinu a eu un impact négatif sur le nombre d'idées proposées uniquement lors de la tâche de dessin. Nous remarquons donc qu'en fonction de la tâche et de l'outil utilisé, notre environnement peut avoir une influence négative sur la production d'idées.

Si le stimulus peut avoir une incidence sur le nombre d'idées proposées, nous avons constaté qu'il peut aussi avoir une influence sur la charge cognitive perçue par les participants. Nos résultats indiquent que la présence du stimulus a fait augmenter la charge cognitive pour la tâche d'écriture, mais pas pour la tâche de dessin. Les différences que nous observons sur la charge mentale peuvent être expliquées par l'utilisation physiologique des différents sens étant activés par les stimuli. Pour le canal audioverbal, l'ouïe sera majoritairement mobilisée. Les discussions de notre environnement ont une influence sur notre charge mentale et vont être traitées par le cerveau même si elles n'ont pas de rapport avec la tâche effectuée (Neath, 2000). Comme l'émission de radio était une discussion entre deux individus, il semble normal de constater une augmentation des charges cognitives intrinsèque et extrinsèque. D'un autre côté, l'attention visuelle ne concerne qu'une partie du champ visuel (Wolfe *et al.*, 2019) et permet de ne centrer son attention que sur certains éléments de l'environnement. La zone d'attention concernée varie en fonction de la charge cognitive éprouvée par le participant (Williams, 1982). Dans notre expérimentation, le stimulus pouvait être facilement ignoré par les participants et n'entraînait que peu de fois en interaction avec la zone d'attention visuelle du participant. Pour l'hypothèse **H1.2**, nous ne pouvons que la valider partiellement. Les résultats obtenus nous indiquent que l'augmentation de la charge cognitive par un stimulus non pertinent va dépendre des sens qu'il mobilise et de la signification qu'il peut transmettre.

Nos résultats ne nous permettent pas d'établir de liens entre la charge cognitive et la créativité. Pour les deux tâches, les variations de créativité et de charge cognitive sont liées au stimulus. Toutefois, pour la tâche d'écriture, l'augmentation significative des charges cognitives intrinsèque et extrinsèque en présence du stimulus indique que les participants l'ont prise en compte. L'augmentation de la charge cognitive intrinsèque indique que les participants ont pu générer de nouvelles connaissances à partir de l'émission de radio. Nous avons eu plusieurs propositions faisant référence au festival d'Angoulême. Cependant, ces résultats ne nous permettent pas de valider l'hypothèse **H1.3**.

Cette expérience nous permet de constater que les stimuli de notre environnement ont des conséquences qui vont dépendre de leur type et des canaux engagés. Lors d'une tâche de créativité, les

3.5. CONCLUSION

éléments de notre environnement vont avoir un impact sur les connaissances qui peuvent être utilisées. Nos observations vont dans le sens des travaux d’Amabile et Pratt (2016) qui établissent un lien entre l’environnement et la créativité et nous permettent de constituer des recommandations pour la conception d’un environnement et d’outils dédiés à la créativité. Notre expérimentation nous permet d’établir un lien entre les stimuli de notre environnement et la créativité. L’impact que nous constatons ne semble pas être lié à la charge cognitive induite par les stimuli et ne nous permet pas de valider notre hypothèse principale **H1**. Les effets que nous observons sur la créativité semblent être liés aux processus biologiques engagés pour l’inhibition du stimulus et à la signification que l’on peut prêter à ce dernier.

3.5.2 Limitations et travaux futurs

Cette expérimentation est soumise à des limitations qu’il nous semble important de signaler, car elles nous permettront de définir de nouvelles perspectives d’études pour enrichir les connaissances liées à la créativité.

La première limitation que nous avons identifiée concerne le niveau de signifiante du stimulus que nous proposons. Lorsque nous avons choisi nos stimuli, nous souhaitions proposer des éléments pouvant intervenir dans notre environnement et pouvant gêner les participants dans leurs tâches de créativité, mais sans nécessiter d’interactions avec ces derniers. Nos stimuli devaient se rapprocher de situations qui sont observables dans des environnements réels. Nous avons donc choisi de diffuser une émission de radio, pour la tâche d’écriture, pour reproduire les effets d’une discussion pouvant se produire dans des environnements de travail et des *openspaces*. Pour la tâche de dessin, nous avons choisi d’ajouter une luciole dans l’environnement visuel pour correspondre aux stimuli visuels que peuvent rencontrer les participants comme l’apparition d’une notification ou bien un insecte venant voler dans l’environnement. Cependant, une différence de signifiante entre nos stimuli peut être observée. Pour la tâche d’écriture, la conversation est compréhensible pour le participant et peut être une source d’inspiration. Cette source de connaissances va imposer aux participants une plus grande charge cognitive pour essayer de transformer cette matière en idées permettant de répondre à la problématique initiale. Cette différence dans nos stimuli peut nous permettre d’expliquer une partie des différences de résultats observées dans notre expérimentation. Cette limitation peut faire l’objet de futures expérimentations sur l’influence d’éléments signifiants sur le processus de créativité.

3.5. CONCLUSION

Notre deuxième limitation provient de la manière dont les stimuli que nous avons proposés sont gérés par nos sens. Les éléments auditifs ressemblant à de la voix vont nécessiter une partie des ressources attentionnelles qui va résulter en une augmentation de la charge cognitive. L'ajout d'une émission de radio a entraîné l'augmentation de la charge cognitive pour la tâche d'écriture. Pour la vue, la zone visuelle d'attention ne représente qu'une partie du champ visuel. Les stimuli que nous avons proposés pour la tâche de dessin pouvaient facilement être ignorés par le participant qui pouvait focaliser son attention sur une zone où le stimulus n'est pas présent. Pour la condition continue, les participants ont pu facilement faire abstraction du stimulus visuel continu, car il n'évoluait qu'au centre du dispositif d'affichage et non dans la zone d'attention du participant. L'utilisation d'un système d'*eye-tracking* permettrait au stimulus de suivre constamment le regard du participant et d'évoluer en permanence dans la zone d'attention visuelle. Cela permettrait de vérifier que le stimulus visuel continu fait varier la charge cognitive.

Notre troisième limitation porte sur le niveau initial de charge cognitive induite par l'environnement. Lors d'une immersion dans un environnement virtuel, le niveau de charge cognitive a pu être augmenté à cause des incohérences sensori-motrices vécues par l'utilisateur. Une partie considérable de la charge cognitive est consacrée à interpréter les différences entre les mouvements effectués dans l'environnement réel et les mouvements reproduits dans l'environnement virtuel. Face à cette charge initiale, l'ajout d'un stimulus dans l'environnement virtuel n'a pas été suffisant pour ajouter une charge cognitive supplémentaire perceptible par les utilisateurs et restituée au travers des questionnaires. Pour compléter nos résultats, plusieurs expérimentations peuvent être réalisées. Une première expérimentation porterait sur l'ajout d'une luciole dans un environnement réel et évoluant autour du participant. Il serait possible de comprendre si l'ajout de ce stimulus permet de faire augmenter la charge cognitive lors de la tâche visuo-spatiale. Une seconde expérimentation permettrait de faire varier la présence du stimulus dans l'environnement virtuel pour comprendre quels sont les niveaux de charge cognitive qui ont un impact sur la tâche et peuvent être ressentis par l'utilisateur. Ces deux expérimentations permettraient de mieux comprendre les influences des incohérences sensori-motrices sur la charge cognitive et les conséquences sur la créativité.

Enfin notre dernière limitation est liée à l'évaluation de la qualité de créativité des idées par les juges. Nous constatons des différences significatives dans l'évaluation de la générabilisation des idées. Nous pouvons constater que la condition avec stimulus continu pour la tâche écrite et la condition

3.5. CONCLUSION

avec stimulus discontinu pour la tâche de dessin présentent une diminution significative de l'évaluation de la générabilisation. Pour la notation, chaque juge évaluait les idées au fur et à mesure de l'ordre des passations ; ces deux conditions ont été présentées aux juges en dernier. Nous pensons que le critère généralisable est le plus libre d'interprétation de la part des juges. L'évolution dans les critères d'évaluation des différentes idées par les juges peut expliquer cette diminution sur cette dimension de la créativité.

Les différentes limitations expérimentales pourront faire l'objet d'expérimentations supplémentaires pour compléter cette analyse et ainsi permettre de construire une taxonomie de l'impact des stimuli de l'environnement et des outils sur notre créativité. Pour la dimension de la générabilisation des idées, nous avons adopté, pour la prochaine expérimentation, une démarche de notation plus rigoureuse en découpant chaque dimension de Cropley et Cropley (2008) en critères permettant d'avoir une évaluation plus précise.

Chapitre 4

Quels liens entre l'expérience utilisateur et la créativité ?

4.1	Résumé	86
4.2	Introduction	87
4.3	Méthode	90
4.3.1	Matériels	90
4.3.2	Procédure	92
4.3.3	Mesures	94
4.4	Résultats	96
4.4.1	Analyse de la créativité	96
4.4.2	Analyse de l'expérience utilisateur	100
4.4.3	La communicabilité	101
4.5	Conclusion	104
4.5.1	Discussion	104
4.5.2	Limites et perspectives	107

4.1 Résumé

Lors des processus d'innovation et en particulier des activités de l'idéation, nous sommes amenés à utiliser plusieurs outils qui impliquent des expériences, des interfaces et des interactions différentes. Les outils qui sont proposés aux utilisateurs doivent être en adéquation avec les activités qui sont réalisées. En début d'idéation, les outils doivent permettre à l'utilisateur de proposer autant d'idées qu'il le souhaite, alors qu'en fin de processus ils doivent intégrer les différentes connaissances et contraintes construites tout au long de la démarche. De plus, il est essentiel de proposer des outils permettant de conserver au mieux les connaissances qui ont été investies tout au long de l'élaboration des idées. Dans l'optique de proposer un outil adapté à l'évolution des activités de l'idéation, nous avons souhaité investiguer le lien entre expérience utilisateur, créativité et communicabilité, pour différents outils.

Pour cette expérimentation constituée de trois étapes, nous avons sélectionné quatre outils (papier/crayon, dessin immersif, CAO immersive, CAO) pouvant être utilisés dans le processus d'idéation. Pour commencer, les participants devaient réaliser une tâche de créativité pendant 15 minutes, pour chaque outil. À l'issue de cette tâche de créativité, la communicabilité des différentes idées était mesurée. Enfin, un jury avait pour objectif de mesurer la qualité de créativité des différentes idées.

Les résultats montrent que la créativité divergente est fortement liée aux qualités hédoniques et ergonomiques des outils. Si nous n'avons pas pu faire de lien entre l'expérience utilisateur et la communicabilité des idées, nous notons que cette dernière peut être augmentée par la possibilité d'ajouter des éléments contextuels dans les représentations produites. Cette étude nous a permis de constater que les outils immersifs que nous avons proposés intègrent ces qualités essentielles, par leurs aspects stimulants, clairs et nouveaux, à la proposition d'idées de qualité et pouvant être facilement comprises. Ces résultats nous permettent de proposer un modèle du choix de l'outil en fonction des contraintes dans les phases amont des projets de conception.

4.2 Introduction

Dans leur représentation de l'innovation, le processus mis en œuvre est présenté par Dunphy *et al.* (1996) comme une succession d'activités contraintes par les objectifs à atteindre pour faire évoluer les concepts en produits répondant à la demande d'un marché. De plus, d'après les travaux de Le Masson *et al.* (2006), l'évolution du projet se fait par une constitution de connaissances et de concepts qui vont permettre de répondre à une problématique initiale. Les connaissances initiales ou générées apportent un cadre pour imposer des contraintes nécessaires au développement du projet (Midler, 1995). Afin d'accompagner au mieux les activités composant ce processus, Lecossier et Pallot (2017) ont proposé un découpage de celui-ci en trois phases distinctes : *la stratégie*, *l'idéation* et *la validation*. Pour garantir le succès de chaque phase, une expérience utilisateur globale doit être atteinte en proposant des outils et activités adéquats. Cette étude est centrée sur la phase d'idéation, pour laquelle de nombreux outils existent pour accompagner les activités (Gabriel *et al.*, 2016). La proposition d'outils est essentielle pour l'idéation et pour permettre au concepteur d'enrichir son idée avec de nouvelles connaissances avant de la concrétiser par la proposition d'une représentation prête pour la conception (Dorta, 2004). Toutefois, aucun consensus n'a été établi pour le développement et le choix de ces outils. Nous souhaitons, au travers de cette expérimentation, identifier les éléments accompagnant au mieux la détermination de l'outil le plus pertinent au regard de l'activité à réaliser.

Aujourd'hui, les applications de CAO sont parmi les plus utilisées pour l'idéation et la proposition de nouvelles idées (Fucci, 2011). Pourtant, ces applications ne sont pas optimisées pour la créativité (Kosmadoudi *et al.*, 2013). En effet, les fonctions logicielles de ces outils sont conditionnées par des schémas d'utilisation qui ne favorisent pas la créativité et la divergence des utilisateurs. Il est donc nécessaire de proposer des outils supplémentaires pour favoriser l'exploration du plus grand nombre de pistes possible. Le choix de l'outil peut être motivé par plusieurs critères comme l'ajout de nouvelles fonctionnalités utiles à la créativité (Dorta, 2004) ou encore une ergonomie en adéquation avec l'activité (Cherry et Latulipe, 2014). Dans cette optique, la réalité virtuelle a été identifiée comme un outil pertinent pour l'accompagnement des activités de créativité, en proposant une augmentation ou une simplification des outils traditionnellement utilisés. Yang *et al.* (2018), Rieuf (2013) et Feeman *et al.* (2018) ont notamment étudié les apports de la réalité virtuelle par rapport au papier/crayon et à la CAO. Il apparaît que la réalité virtuelle semble être une catégorie d'outils ayant le potentiel

4.2. INTRODUCTION

d'accompagner au mieux les activités de créativité. Nous souhaitons, par cette étude, comprendre quelles influences peut avoir l'outil sur la créativité des utilisateurs, afin de compléter les travaux de Amabile et Pratt (2016). Ils identifient un lien entre la créativité et l'environnement, lien que nous avons commencé à investiguer dans notre première étude. Le premier objectif de notre expérimentation est de répondre à l'hypothèse suivante :

H2 : Les qualités hédoniques et ergonomiques des outils favorisent la créativité.

Nous avons constaté, au travers de notre revue de la littérature, que les applications de réalité virtuelle permettent aux participants d'être plus créatifs et divergents (Calderon-Hernandez *et al.*, 2019; Feeman *et al.*, 2018; Rieuf, 2013; Yang *et al.*, 2018). Nous pouvons établir un premier lien entre les qualités ergonomiques attendues et la créativité (Cherry et Latulipe, 2014). Nous pensons néanmoins que les améliorations que nous observons par rapport aux performances de créativité ne sont pas uniquement liées aux qualités ergonomiques d'un outil, mais aussi à ses qualités hédoniques. D'un point de vue général, Csikszentmihalyi (1997) insiste sur le lien entre la créativité et le plaisir. Cette perception de plaisir et d'efficacité qui améliorent la créativité passe aussi par l'utilisation d'outils dont l'interface apporte une expérience en adéquation avec la tâche entreprise. Dans leurs travaux de recherche, Martin (2014) et Feeman *et al.* (2018) ont posé une simple question à leurs participants : « quelle expérience ont-ils vécue au travers de l'outil ? » Les participants ont répondu qu'ils avaient apprécié l'expérience et qu'ils souhaitaient la prolonger. Cette évaluation superficielle des qualités hédoniques de l'outil semble indiquer un lien entre la créativité et le plaisir perçu pendant l'exécution de la tâche. Nous souhaitons approfondir l'étude de ce lien en utilisant une mesure plus précise de l'expérience utilisateur.

Bien que les qualités visant à accompagner la tâche de créativité soient centrées sur la liberté et le plaisir d'usage, le processus d'innovation est un processus collectif impliquant des protagonistes provenant de services, de structures et de cultures différentes (Chesbrough, 2003), nécessitant des normes de communication. Dans la logique d'échange entre les connaissances et les concepts proposée par Le Masson *et al.* (2006), il est essentiel de proposer des outils restituant au mieux les différentes idées proposées par les concepteurs afin de les communiquer efficacement à d'autres personnes. Cette notion de capacité d'une idée à être communiquée est retrouvée dans le terme « communicabilité ». Cette notion de communicabilité ou de conservation de l'information a été explorée au niveau du passage

successif des données numériques d'un logiciel à un autre en proposant une *chaîne numérique* comme la norme STEP-NC. Toutefois, ce format de données ne s'applique qu'aux environnements numériques et ne prend pas en compte les mécanismes humains ou les interactions favorisant la communication des idées. Nous pensons néanmoins que les différentes contraintes de conception imposées par les applications de CAO favorisent la communication des idées en s'appuyant sur des règles de conception qui sont connues de tous les concepteurs (Otey *et al.*, 2018). C'est pourquoi nous supposons qu'il est pertinent d'étudier comment la normalisation des interactions permet de favoriser la communicabilité des idées. A l'aune de ces éléments, nous proposons l'hypothèse suivante :

H3 : La communicabilité des idées produites par un outil va dépendre de la standardisation de ses interactions avec l'utilisateur

Pour étudier ces deux hypothèses, nous avons conçu une tâche de créativité réalisable via quatre outils : le papier/crayon, le dessin immersif, la CAO immersive et la CAO. Pour nous permettre de faire un lien entre l'expérience utilisateur et la communicabilité, nous avons utilisé un questionnaire mesurant l'expérience utilisateur (*UEQ*) et une méthode de mesure de la communicabilité décrite ci-après. La qualité des idées a été mesurée grâce à la méthode des juges de Cropley et Cropley (2008).

4.3 Méthode

Pour cette expérimentation, 80 participants ont été sélectionnés. Ils sont tous formés à l'utilisation des applications de conception assistée par ordinateur (CAO). Notre panel comprenait 66 hommes (82,5%) et 14 femmes (17,5%). L'âge médian est de 22 ans pour un écart type de 4,33. Le plus jeune participant de notre panel a 17 ans et le plus âgé a 46 ans.

4.3.1 Matériels

Nous avons souhaité, dans cette expérimentation, être représentatifs des différents outils utilisés pour des tâches de créativité. Quatre outils ont donc été sélectionnés en fonction de leur complexité d'usage et des aptitudes de ces derniers à intégrer des règles de conception exigeantes (ou de standardisation des interactions). Le premier outil proposé aux participants est le papier/crayon. Pour cet outil, une fiche présentant différentes vues d'un parapluie (voir figure 4.1) a été utilisée comme base pour permettre aux participants de représenter leurs idées.

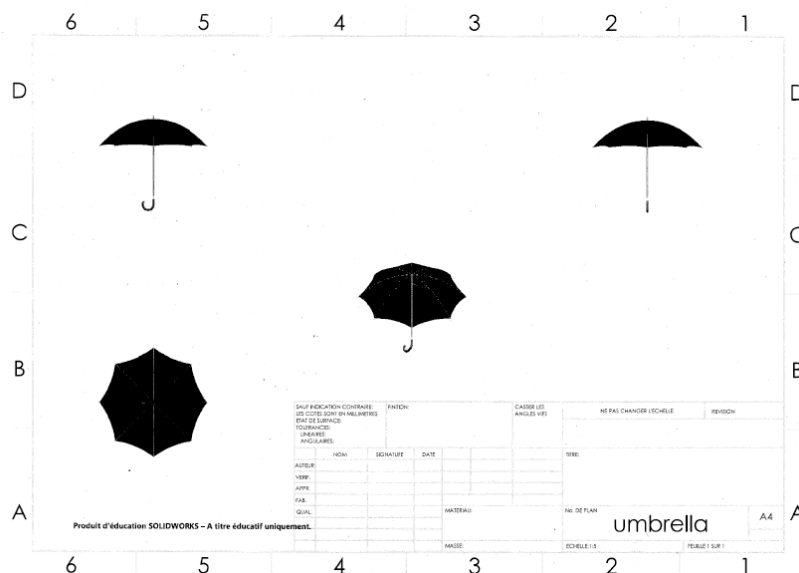


FIGURE 4.1 – Fiche représentant plusieurs vues d'un parapluie utilisée pour l'outil papier/crayon

Dans notre représentation des activités de l'idéation, nous trouvons le papier/crayon et l'application CAO aux extrémités. Nous avons choisi le papier/crayon comme outil présentant le moins de contraintes d'interaction. Cet outil est traditionnellement utilisé en début de projet pour permettre

4.3. MÉTHODE

aux concepteurs de proposer librement plusieurs idées sous formes d'esquisses. A l'opposé, l'outil de CAO que nous avons choisi pour notre expérimentation est l'application Solidworks (voir figure 4.2). Cette application permet aux concepteurs de réaliser des modélisations 3D des concepts émis pendant les différentes activités de créativité. Les modèles sont réalisés à l'aide d'interactions normalisées. Ces interactions permettent l'enregistrement de fichiers de données qui pourront être lus et modifiés par différentes applications.

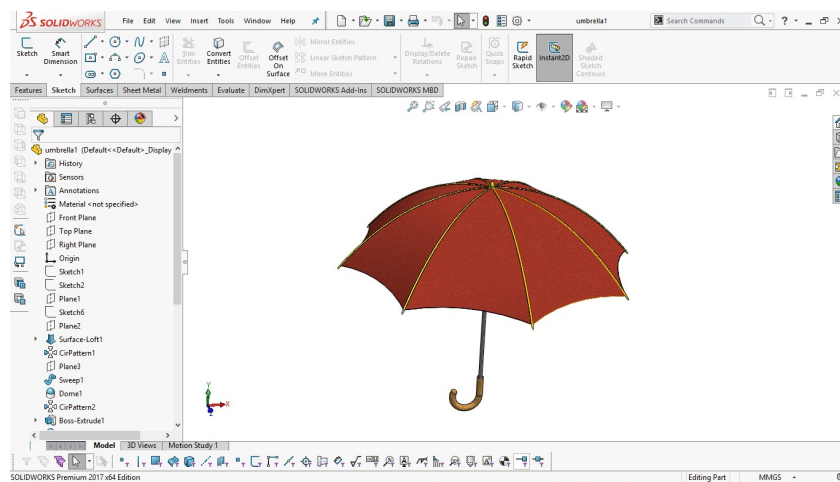


FIGURE 4.2 – Capture d'écran de l'application de CAO Solidworks

Nous avons ensuite sélectionné deux outils intermédiaires dans l'optique d'étudier les apports de la réalité virtuelle à la créativité et de proposer des expériences différentes de celles des outils traditionnels mentionnés précédemment. Pour les conditions immersives nous avons utilisé des ordinateurs équipés d'un processeur Intel Xeon 3.10GHz, de 16 Go de RAM et d'une carte graphique NVIDIA GeForce GTX 1060. Nous avons d'une part utilisé l'application de dessin immersif *Time2Sketch* (voir figure 4.3). Cette application permet aux participants de dessiner leurs idées librement dans un espace 3D. Les interactions se font à l'aide des manettes. La couleur des traits peut être changée lorsque la manette est approchée de la palette. Le modèle et les dessins peuvent être changés d'échelle et déplacés à la convenance du participant à l'aide des boutons latéraux de la manette. Enfin, un bouton *save* est placé devant l'utilisateur pour lui permettre de sauvegarder l'idée et de réinitialiser la scène pour commencer une nouvelle idée. Pour que les participants puissent réaliser la tâche de créativité, un modèle de parapluie est présenté au centre de la scène.

D'autre part, l'outil de conception paramétrique immersif que nous avons choisi est l'application

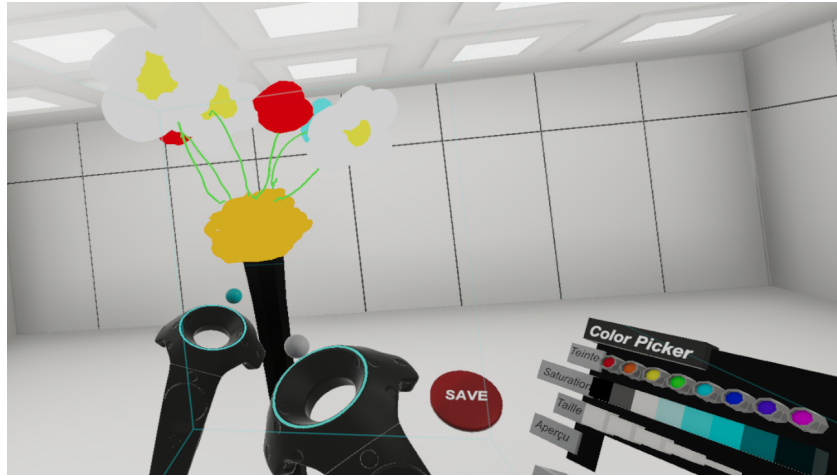


FIGURE 4.3 – Capture d’écran de l’application de dessin immersif *Time2Sketch*.

*Google Block*¹ (voir figure 4.4). Les différentes interactions sont réalisées avec la manette qui sert d’outil. La seconde manette sert de palette contenant les autres outils et un nuancier de couleurs. Les différents outils disponibles sont un placement de formes géométriques dans l’espace (*e.g.*, un parallélépipède rectangle), un outil de gestes libres, un outil de coloriage, un outil pour déplacer, un outil de modification des formes et une gomme. Un modèle de base est donné aux participants pour leur permettre de réaliser leurs idées. Enfin, un bouton « sauvegarder » permet aux participants d’enregistrer leurs idées sur un *cloud* et de les visualiser en ligne. En appuyant sur le bouton « new », il est possible de réinitialiser la scène et d’importer le modèle de base pour commencer une nouvelle idée. Pour l’utilisation de ces deux applications, nous avons fourni à nos participants un ordinateur avec Windows 10 et un visio-casque HTC-VIVE.

4.3.2 Procédure

Comme le montre la figure 4.5, notre expérimentation est divisée en deux tâches : (i) une tâche de créativité et (ii) une tâche dite de communicabilité. Pour étudier l’impact de l’outil sur la créativité et la communicabilité des idées, nous avons réparti nos participants en quatre groupes indépendants, un pour chaque outil. Chaque passation se déroule en binôme pour nous permettre d’évaluer la communicabilité des idées, même si chaque participant du binôme réalise indépendamment les tâches de créativité et d’évaluation. Après la réalisation de l’expérimentation, un groupe de juges est réuni pour

1. <https://arvr.google.com/blocks/>

4.3. MÉTHODE

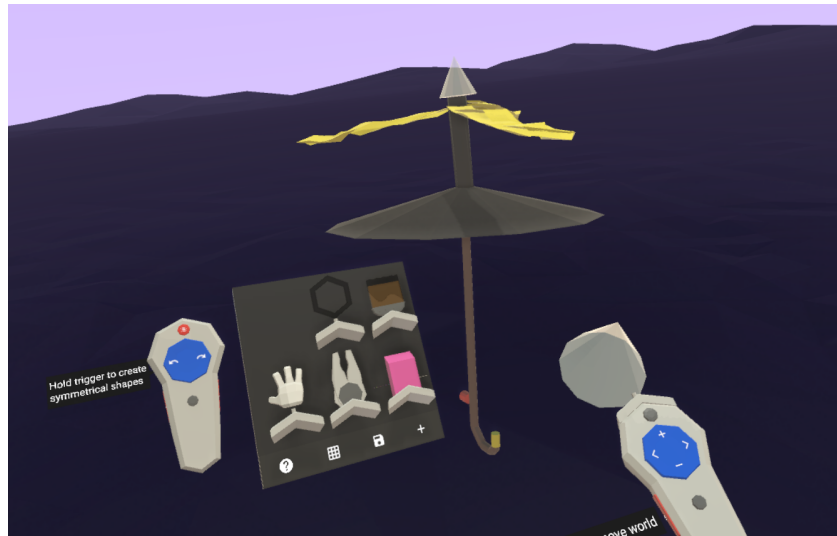


FIGURE 4.4 – Application de CAO immersive *Google Blocks*.

évaluer la qualité de créativité des différentes idées.

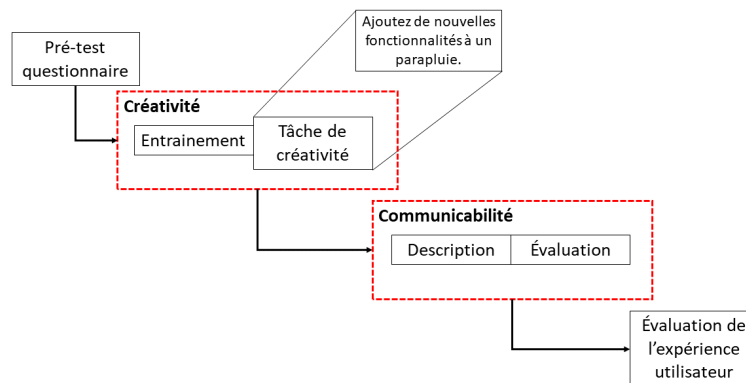


FIGURE 4.5 – Représentation du parcours effectué par chaque participant lors de l'expérimentation

Au début de l'expérimentation, les participants doivent compléter un premier questionnaire permettant de collecter leurs données démographiques (âge, sexe) ainsi que leurs aptitudes pour l'ingénierie et l'utilisation des applications de CAO.

Après la complétion de ce premier questionnaire, les participants sont invités à suivre un entraînement de cinq minutes pour s'habituer aux interactions avec l'outil et découvrir l'environnement de conception. A la fin de cet entraînement, la consigne de créativité est donnée. La tâche de créativité

4.3. MÉTHODE

consiste à générer autant d'idées que possible de fonctionnalités à ajouter à un parapluie, pendant une durée de quinze minutes. Pour chaque outil, un modèle non modifiable de parapluie en 3D est fourni aux participants. Dans le cas de la condition papier/crayon, ce sont des feuilles de papier A4 représentant un parapluie sous différents angles qui sont fournies. Pendant la tâche de créativité, il est demandé aux participants de ne pas tenir compte des contraintes de faisabilité technique ni des contraintes technologiques, et de ne pas écrire de mots ni de texte. Après la tâche de créativité, les participants sont invités à compléter le questionnaire UEQ de Laugwitz *et al.* (2008) qui mesure l'expérience utilisateur.

Les participants réalisent ensuite la tâche de communicabilité, qui se compose de deux activités : (i) la description et (ii) l'évaluation. Pour la première activité, la fiche de l'annexe B est utilisée. Les idées proposées par un participant étaient données à son binôme et inversement. Chacun doit ensuite décrire ce qu'il comprend de l'idée dans le premier cadre du document. Les descriptions ainsi rédigées sont ensuite données à l'auteur des idées, qui doit alors évaluer si son binôme a correctement perçu sa volonté initiale. Cette notation nous offre une mesure de la communicabilité et de la compréhension des idées en fonction de l'outil utilisé.

4.3.3 Mesures

Pour cette expérimentation, nous avons effectué des mesures pour évaluer l'expérience utilisateur, la créativité et la communicabilité. L'expérience utilisateur est mesurée à l'aide du questionnaire UEQ de Laugwitz *et al.* (2008) qui offre une évaluation à l'aide six critères regroupant 26 items : l'attractivité (six questions), la clarté (quatre questions), l'efficacité (quatre questions), la contrôlabilité (quatre questions), la stimulation (quatre questions) et l'originalité de l'outil (quatre questions). Chaque question est associée à une échelle de Likert de 10 points opposant deux adjectifs (*e.g.*, Repoussant / Attirant).

La créativité est mesurée en deux parties :

- d'un point de vue quantitatif par rapport au nombre d'idées produites par participants ;
- d'un point de vue qualitatif grâce à la méthode des juges de Cropley et Cropley (2008). Un jury, composé de trois personnes non initiées à la tâche de créativité, a évalué les différentes idées sur quatre critères définis par 23 questions : la pertinence (trois questions), la nouveauté (onze questions), l'élégance (cinq questions) et la généralisation des idées (quatre questions).

4.3. MÉTHODE

Chaque question peut être notée zéro (absence ou non-respect) ou un (présence ou respect de la consigne).

La communicabilité est évaluée à l'aide du questionnaire présenté en annexe B. L'auteur de l'idée doit évaluer si la description qui est proposée correspond à sa volonté initiale à l'aide d'une échelle de Likert allant de un (pas du tout d'accord) à neuf (tout à fait d'accord).

4.4 Résultats

Notre analyse des résultats est découpée en trois parties : la première est dédiée aux résultats sur la créativité, la deuxième concerne les résultats traitant de l'expérience utilisateur et la dernière porte sur la communicabilité. Avant de commencer notre analyse, nous avons caractérisé nos jeux de données. Nous avons d'abord évalué l'homocédasticité de nos jeux de données à l'aide du test de Levene. L'hétéroscédasticité a été vérifiée pour le nombre d'idées produites par participant ($p < 0,001$), la qualité des idées au travers du score donné par la méthode des juges de Cropley & Cropley ($p < 0,001$) et ses différentes dimensions (la pertinence ($p < 0,001$), la nouveauté ($p = 0,015$), l'élégance ($p < 0,001$) et la générabilisation ($p = 0,04$)), la communicabilité ($p < 0,001$) et la clarté ($p = 0,071$), l'originalité ($p = 0,017$), la stimulation ($p = 0,04$) de l'UEQ.

Un test de Kolmogorov-Smirnov a permis de révéler que le score de créativité indiqué par la méthode de Cropley et Cropley ($p = 0,009$) ainsi que toutes ses dimensions (la pertinence ($p < 0,001$), la nouveauté ($p < 0,001$), l'élégance ($p < 0,001$) et la générabilisation ($p < 0,001$)), la communicabilité ($p = 0,02$) et l'originalité ($p = 0,008$), la stimulation ($p = 0,046$), la clarté ($p = 0,04$) de l'UEQ ne suivent pas une loi normale. Pour analyser nos jeux de données nous avons utilisé des tests non-paramétriques. Le nombre d'idées, la qualité des idées et l'expérience utilisateur ont été analysés à l'aide de tests de Kruskal-Wallis et de comparaisons appariées.

4.4.1 Analyse de la créativité

4.4.1.1 Analyse quantitative

Nous commençons par analyser le nombre d'idées proposées en fonction des outils. Un test de Kruskal-Wallis révèle une différence statistiquement significative sur le nombre d'idées proposées en fonction de l'outil ($\chi^2 = 44.69; p < 0,001$). Le tableau 4.1 et la figure 4.6 montrent des différences statistiquement significatives entre l'outil CAO ($m = 1,18$; $sd = 0,53$) et les trois autres outils. Nous constatons aussi des différences significatives entre l'outil de CAO VR ($m = 3,20$; $sd = 1,74$), les outils de dessin papier/crayon ($m = 6,10$; $sd = 3,11$) et de dessin immersif ($m = 6,85$; $sd = 3,57$).

4.4. RÉSULTATS

TABLE 4.1 – Comparaisons appairées pour le nombre d'idées proposées en fonction de l'outil.

	CAO	Dessin	CAO VR
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	0,04*	0,038*	-
Dessin VR	< 0,01 **	0,908	< 0,01 **

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

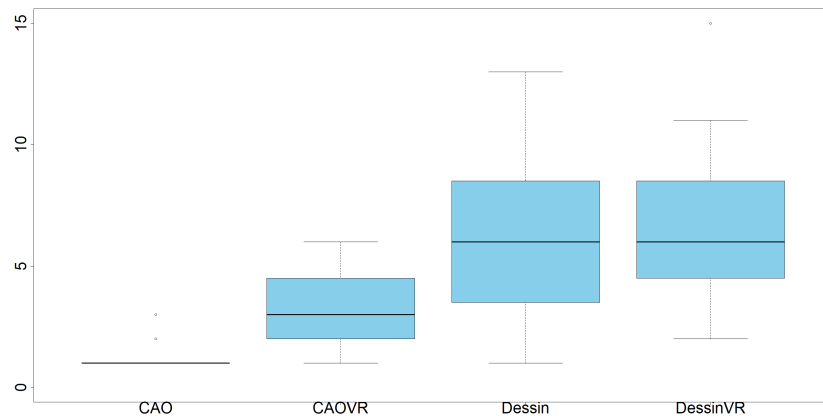


FIGURE 4.6 – Diagramme en boîte à moustaches représentant le nombre d'idées en fonction de l'outil

4.4.1.2 Analyse des idées à partir de la méthode des juges de Cropley et Cropley (2008)

Notre analyse qualitative des idées est basée sur la méthode des juges proposée par Cropley et Cropley (2008). Un test d'alpha de Cronbach nous permet de constater une cohérence interne satisfaisante ($\alpha = 0,802$) entre les notations des juges. Nous avons analysé dans un premier temps l'impact de l'outil sur la qualité des idées. Un premier test de Kruskal-Wallis ($\chi^2 = 29,62; p < 0,01$) indique que l'outil a un impact statistiquement significatif sur la qualité des idées générées.

Les comparaisons appairées du tableau 4.2 nous permettent de constater qu'il y a des différences significatives, pour le score global, entre la CAO et chaque outil. Nous constatons sur la figure 4.7 que le dessin à main levée permet un niveau de créativité plus élevé que les autres outils. Nous avons ensuite analysé isolément les scores de pertinence, nouveauté, élégance et genèse.

Pour la dimension de la « *pertinence* », nous constatons des différences statistiquement significatives entre les différents outils ($\chi^2 = 31,597; p < 0,001$). D'après le tableau 4.3 et la figure 4.7, nous constatons que tous les outils de dessin papier/crayon ($m = 0,88$; $sd = 0,15$), de dessin immersif ($m = 0,66$; $sd = 0,20$) et de CAO immersive ($m = 0,63$; $sd = 0,25$) permettent aux idées d'atteindre un

4.4. RÉSULTATS

TABLE 4.2 – Comparaisons appairées du score de Cropley et Cropley en fonction de l'outil.

	CAO	Dessin	CAO VR
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	0,012*	0,041*	-
Dessin VR	< 0,01 **	0,017*	0,99

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

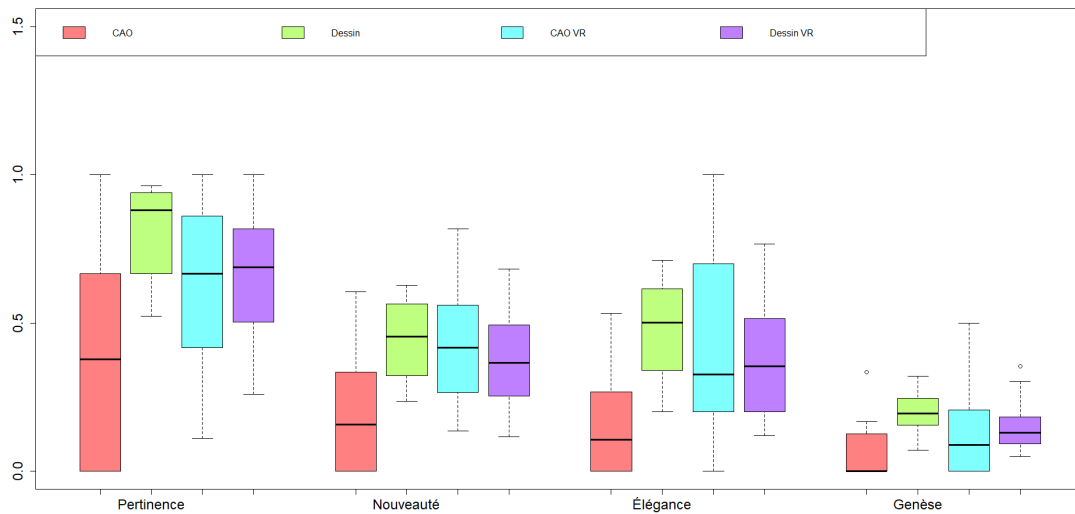


FIGURE 4.7 – Scores de pertinence, nouveauté, élégance et générabilisation des idées en fonction de l'outil.

niveau de pertinence plus élevé que l'outil CAO ($m = 0,36$; $sd = 0,39$). C'est également le cas pour le dessin papier/crayon face aux outils immersifs.

Nous constatons des différences statistiquement significatives pour la dimension de la « *nouveauté* » entre les quatre outils ($\chi^2 = 22.2664$; $p < 0,001$). Nous observons des différences statistiquement significatives entre l'outil de CAO ($m = 0,19$; $sd = 0,22$) et les outils de dessin papier/crayon ($m = 0,44$; $sd = 0,13$), de dessin immersif ($m = 0,34$; $sd = 0,16$) et de CAO immersive ($m = 0,43$; $sd = 0,21$) (voir tableau 4.3). Le score de « *nouveauté* » pour la CAO est plus faible que les trois autres outils comme le montre la figure 4.7.

Pour la dimension de « *l'élégance* », nous observons des différences statistiquement significatives entre les différents outils ($\chi^2 = 22.489$; $p < 0,001$). Nous observons des différences statistiquement significatives entre l'outil de CAO ($m = 0,15$; $sd = 0,18$) et les outils de dessin ($m = 0,47$; $sd = 0,16$),

4.4. RÉSULTATS

de dessin immersif ($m = 0,37$; $sd = 0,18$) et de CAO immersive ($m = 0,45$; $sd = 0,32$) (voir tableau 4.3). Le score d'« *élégance* » pour la CAO est plus faible que les trois autres outils comme le montre la figure 4.7. Nous constatons une différence statistiquement significative entre le dessin et la CAO immersive (voir tableau 4.3). Le score d'« *élégance* » pour la CAO immersive est significativement plus bas que celui du dessin (voir figure 4.7).

Pour la dimension de la « *généralisation* », nous observons des différences statistiquement significatives entre les différents outils ($\chi^2 = 21.546$; $p < 0,001$). Nous observons des différences significatives entre l'outil de CAO ($m = 0,07$; $sd = 0,09$) et l'outil de dessin papier/crayon ($m = 0,19$; $sd = 0,07$) (voir tableau 4.3). Le score de « *généralisation* » pour la CAO est significativement plus faible que l'outil de dessin papier/crayon, comme le montre la figure 4.7. Nous constatons une différence significative entre l'outil de dessin papier/crayon et l'outil de CAO immersive ($m = 0,14$; $sd = 0,16$) (voir tableau 4.3) : Le score de « *généralisation* » pour la CAO immersive est significativement plus bas que celui du dessin papier/crayon (voir figure 4.7).

TABLE 4.3 – Comparaisons appairées des scores de Cropley et Cropley en fonction de l'outil.

Pertience	CAO	Dessin	CAO VR
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	0,038*	0,01*	-
Dessin VR	< 0,01 **	0,014*	0,894
Nouveauté			
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	0,011*	0,237	-
Dessin VR	< 0,01 **	0,07	1
Élégance			
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	0,034*	0,029*	-
Dessin VR	< 0,01 **	0,067	0,854
Généralité			
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	0,956	< 0,01 **	-
Dessin VR	0,21	0,126	0,176

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

4.4. RÉSULTATS

4.4.2 Analyse de l'expérience utilisateur

Nous avons ensuite étudié le lien entre l'expérience utilisateur mesurée par l'UEQ et la créativité. Une analyse a été faite sur les six dimensions considérées par l'UEQ. Le tableau 4.4 présente les alphas de Cronbach pour chacune de ces dimensions. Nous observons une cohérence interne acceptable pour les dimensions de la clarté, de l'originalité et de la stimulation (avec suppression de la deuxième question traitant de l'originalité et de la troisième question traitant de la stimulation). Cependant les cohérences internes de l'efficacité, de la contrôlabilité et de l'attractivité sont trop faibles pour que ces items puissent être analysés.

TABLE 4.4 – Alpha de Cronbach pour les différentes dimensions de l'UEQ.

Clarté	Originalité	Stimulation	Efficacité	Contrôlabilité	Attractivité
0,76*	0,81	0,79	-1,11*	-2,9*	-0,8*
	-0,19*	0,55*			

* avec tous les items

Un test de Kruskal-Wallis révèle des différences significatives pour la dimension de la clarté ($\chi^2 = 41.38; p < 0,01$), de l'originalité ($\chi^2 = 30,745; p < 0,01$) et de la stimulation ($\chi^2 = 32.89; p < 0,01$) en fonction de l'outil. Nous avons donc effectué des comparaisons appairées entre chaque outil pour chaque dimension.

Pour la dimension de la « *clarté* », d'après le tableau 4.5 nous observons des différences significatives entre les outils de CAO immersive ($m = 1,65$; $sd = 0,65$) et de CAO ($m = -0,60$; $sd = 1,20$), de dessin immersif ($m = 2,20$; $sd = 0,64$) et de CAO, de dessin ($m = 0,91$; $sd = 1,02$) et de dessin immersif. Nous pouvons constater sur la figure 4.8 que les outils immersifs ont une médiane plus élevée sur cette dimension de l'UEQ.

Pour la dimension de « *l'originalité* », le tableau 4.5 nous indique que des différences significatives sont présentes entre l'outil de CAO ($m = -0,39$; $sd = 1,30$) et les outils de dessin ($m = 1,28$; $sd = 1,25$), de dessin immersif ($m = 2,18$; $sd = 0,74$), CAO immersive ($m = 1,72$; $sd = 0,65$) et de dessin immersif. La CAO a été perçue comme l'outil le moins original (voir figure 4.8).

Pour la « *stimulation* », le tableau 4.5 nous indique qu'il y a des différences significatives entre la CAO ($m = -0,20$; $sd = 1,49$) et les outils de CAO immersive ($m = 1,27$; $sd = 0,78$) et de dessin

4.4. RÉSULTATS

TABLE 4.5 – Comparaisons appairées pour les dimensions de l'UEQ

Clarté	CAO	Dessin	CAO VR
Dessin	0,06	-	-
CAO VR	< 0,01 **	0,29	-
Dessin VR	< 0,01 **	< 0,01 **	0,19
Originalité			
Dessin	< 0,01 **	-	-
CAO VR	< 0,01 **	0,835	-
Dessin VR	< 0,01 **	0,16	0,616
Stimulation			
Dessin	0,405	-	-
CAO VR	0,012*	0,408	-
Dessin VR	< 0,01 **	< 0,01 **	0,078

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

immersif ($m = 2,13$; $sd = 0,76$); mais aussi entre le dessin ($m = 0,57$; $sd = 1,19$) et le dessin immersif. Les outils immersifs semblent être plus stimulants lors de leur utilisation (voir figure 4.8).

Ces résultats sont accompagnés de corrélations entre le nombre d'idées proposées et chacune des dimensions détaillées précédemment (voir tableau 4.6).

TABLE 4.6 – Corrélations entre les dimensions de l'UEQ et le nombre d'idées

	p	Nombre d'idées
Clarté	< 0,01 **	0,42
Originalité	< 0,01 **	0,40
Stimulation	< 0,01 **	0,40

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Pour terminer cette analyse, nous avons testé les corrélations entre les scores des différentes dimensions de Cropley et Cropley et les différentes dimensions de l'UEQ. Nous constatons des corrélations entre la dimension de « *clarté* » de l'UEQ et le score global de créativité (ainsi qu'avec chacune de ses dimensions). D'autre part, nous constatons des corrélations entre « *l'élégance* », « *généralisation* » des idées et « *l'originalité* » de l'outil mesurée par l'UEQ (voir tableau 4.7).

4.4.3 La communicabilité

Un test de Kruskal-Wallis ($\chi^2 = 11,335$; $p = 0,01$) nous permet de constater que des différences statistiquement significatives existent entre les différents outils concernant la communicabilité. Nous

4.4. RÉSULTATS

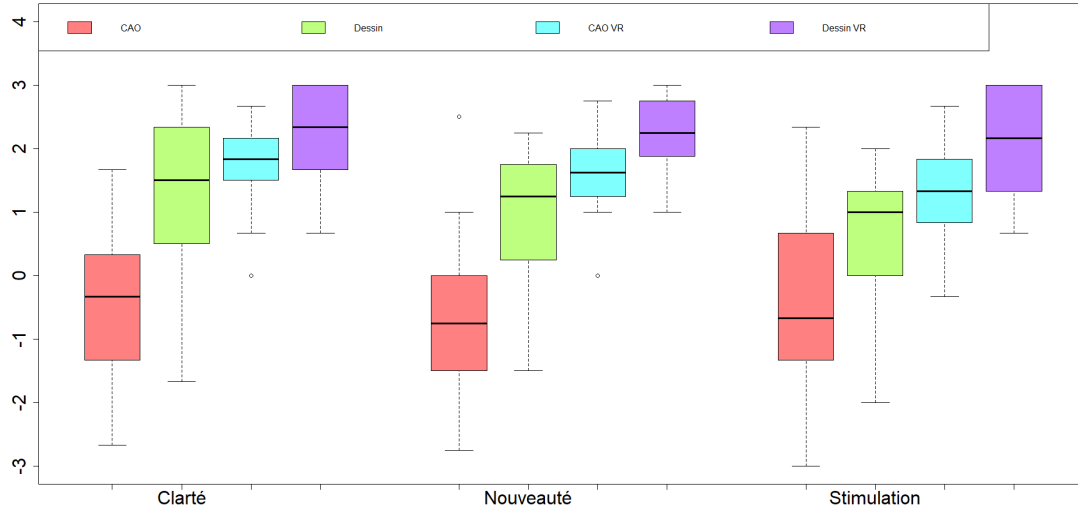


FIGURE 4.8 – Scores des dimensions de la clarté, de l’originalité et de la stimulation (UEQ) en fonction de l’outil.

TABLE 4.7 – Corrélations entre les dimensions de l’UEQ et la méthode de notation de Cropley & Cropley

	Score global	Pertinence	Nouveauté	Élégance	Généralisation
Clarté	0,26*	0,23*	0,28*	0,27*	0,28*
Originalité	-	-	-	0,26*	0,28*

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

observons des différences significatives entre l’outil de dessin papier/crayon et les outils de CAO, de dessin immersif (voir tableau 4.8), à la faveur de l’outil de dessin papier/crayon, comme le montre la figure 4.9. Nous constatons aussi des différences significatives entre l’outil de dessin papier/crayon et l’outil de dessin immersif.

TABLE 4.8 – Comparaisons appairées du score de communicabilité en fonction de l’outil.

	CAO	Dessin	CAO VR
Dessin	0,025*	-	-
CAO VR	0,807	0,187	-
Dessin VR	1	0,016*	0,794

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Nous avons ensuite analysé s’il pouvait exister un lien entre l’expérience utilisateur mesurée par l’UEQ et la communicabilité. Le tableau 4.9 regroupant les différentes corrélations ne révèle aucun

4.4. RÉSULTATS

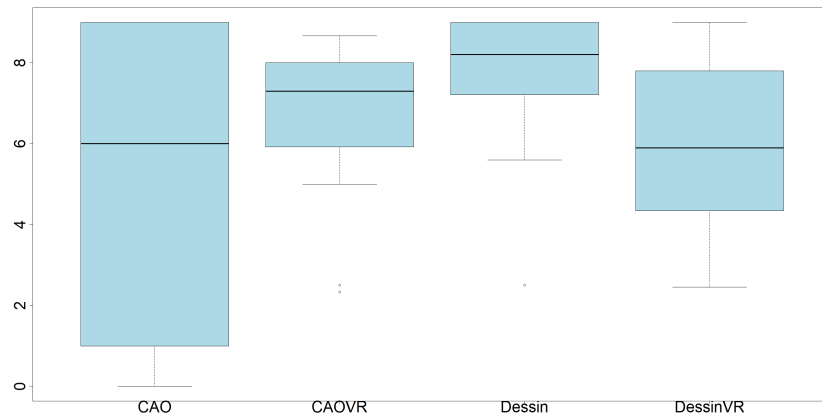


FIGURE 4.9 – Scores de communicabilité en fonction de l'outil.

TABLE 4.9 – Corrélations entre les scores de clarté, d'originalité et de stimulation de l'UEQ et le score de communicabilité

	Clarté	Originalité	Stimulation
Communicabilité	-0,057	0,18	0,036

$*p < 0,05$; $**p < 0,01$

résultat significatif entre les différentes dimensions de l'UEQ et la communicabilité des idées produites.

4.5 Conclusion

4.5.1 Discussion

Cette expérimentation nous a permis d'évaluer l'impact des outils sur la créativité et la communicabilité des idées. Quatre outils ont été sélectionnés, étant utilisés à différents moments du processus d'idéation et adaptés à la réalisation d'une tâche de créativité. Ces quatre outils proposent naturellement des interactions différentes et nous permettent ainsi d'étudier le lien entre l'expérience utilisateur, la créativité et la communicabilité. Cette partie s'articule autour de la discussion des résultats obtenus afin d'apporter des éléments de réponse aux hypothèses que nous avons formulées.

Le premier objectif de cette étude était d'explicitier les liens possibles entre l'outil et la tâche de créativité. Le modèle présenté par Amabile et Pratt (2016) nous indique que notre créativité individuelle est sous l'influence d'éléments internes et externes. Notre environnement, et les éléments qui le composent (*e.g.* les éléments physiques, les éléments sociaux, notre environnement numérique), vont avoir une influence sur nos performances de créativité. Tout d'abord, d'un point de vue performance (nombre d'idées proposées pendant la tâche), nous observons que les outils de dessin (papier/crayon) et de dessin immersif ont permis le nombre de propositions d'idées le plus élevé. Ce résultat peut s'expliquer par la simplicité d'usage de ces deux outils qui demandent moins de réflexions pour transformer une idée en gestes et interactions permettant de la retranscrire. Même si l'utilisateur est immergé dans un environnement 3D et que ses idées doivent être réalisées en 3D, leur production est faite à partir de gestes simples, naturels et intuitifs. Cette simplicité d'usage peut être corroborée par la corrélation que nous observons entre la « clarté » de l'UEQ et le nombre d'idées proposées. Nous constatons aussi que les qualités hédoniques (l'originalité et la stimulation de l'UEQ) ont favorisé la production de nouvelles idées. Ces résultats indiquent que l'outil a la capacité d'inspirer le participant. A l'inverse, nous constatons que l'outil de CAO n'a permis aux participants que de proposer un faible nombre d'idées. De plus, nous constatons que cet outil a le niveau le plus faible sur les dimensions (clarté, stimulation et nouveauté) de l'UEQ. Les faibles scores qui ont été obtenus pour la dimension de la clarté démontrent que l'outil de CAO a été perçu comme compliqué à utiliser dans un contexte de créativité. A la suite de l'expérimentation, plusieurs participants ont indiqué de manière informelle avoir eu des difficultés à proposer une seule idée à cause de la complexité des interfaces et des interactions. Ces premiers résultats confirment la nécessité de proposer des outils qui vont permettre de stimuler

4.5. CONCLUSION

l'utilisateur lors de tâches de créativité divergente. Cette stimulation peut être apportée par l'outil au travers d'une interface claire, mais aussi en étant perçu comme avant-gardiste et en apportant de nouvelles fonctionnalités par rapport aux outils traditionnels (Dorta, 2004; Kosmadoudi *et al.*, 2013; Séquin, 2005).

Outre l'aspect quantitatif, nous avons également étudié la qualité des idées. Pour les dimensions de la pertinence, de la nouveauté et de l'élégance, l'outil de CAO a obtenu les scores les plus faibles. Les contraintes d'interaction imposées par l'outil de CAO ont forcé les utilisateurs à reproduire les interactions qui ont été acquises lors des périodes d'apprentissage de l'outil. Limayem et Hirt (2003) ont montré que la reproduction de ces schémas d'utilisation ne permettent pas de favoriser la divergence créative. Ces observations faites au niveau des scores de l'outil de CAO sont confortées par les différentes corrélations que nous observons entre les dimensions de la méthode de notation de Cropley et Cropley (2008) et les dimensions de clarté et d'originalité de l'UEQ. Ces résultats prolongent les observations qui ont été faites lors de l'étude quantitative en ajoutant que les aspects stimulants et nouveaux des outils favorisent la production d'idées nouvelles et originales. Il apparaît que le caractère simple et inattendu des outils immersifs et de l'outil de dessin ont incité les participants à explorer les différentes interactions pour proposer de nouvelles idées et apporter des éléments donnant un contexte probable d'application. Par exemple, sur la figure 4.10, le participant a dû combiner plusieurs fonctionnalités et interactions de l'outil (l'application de couleurs, l'ajout de traits libres, l'utilisation de formes ou encore leur modification) pour représenter un parapluie qui permet de voler. En plus de favoriser la production d'idées, au travers de leurs qualités hédoniques, les outils encouragent les comportements d'exploration de solutions originales pour répondre à la problématique (Cherry et Latulipe, 2014; Gonçalves *et al.*, 2015).

Au regard de ces résultats, nous pouvons valider notre hypothèse **H2** (*Les qualités hédoniques et ergonomiques des outils favorisent la créativité.*) et proposer une évolution du modèle d'Amabile et Pratt (2016) en intégrant l'outil et l'environnement numérique dans les éléments externes (voir figure 4.11) ayant une influence sur la tâche de créativité. Cette expérimentation nous permet d'observer que les qualités hédoniques de l'outil, telles que la stimulation et l'originalité, vont permettre aux participants d'envisager de nouvelles interactions pour retranscrire au mieux leurs idées. Cependant, les qualités ergonomiques vont être essentielles dans la génération de multiples idées. Notre expérimentation nous a permis de proposer un premier lien entre la créativité et l'expérience utilisateur. Les

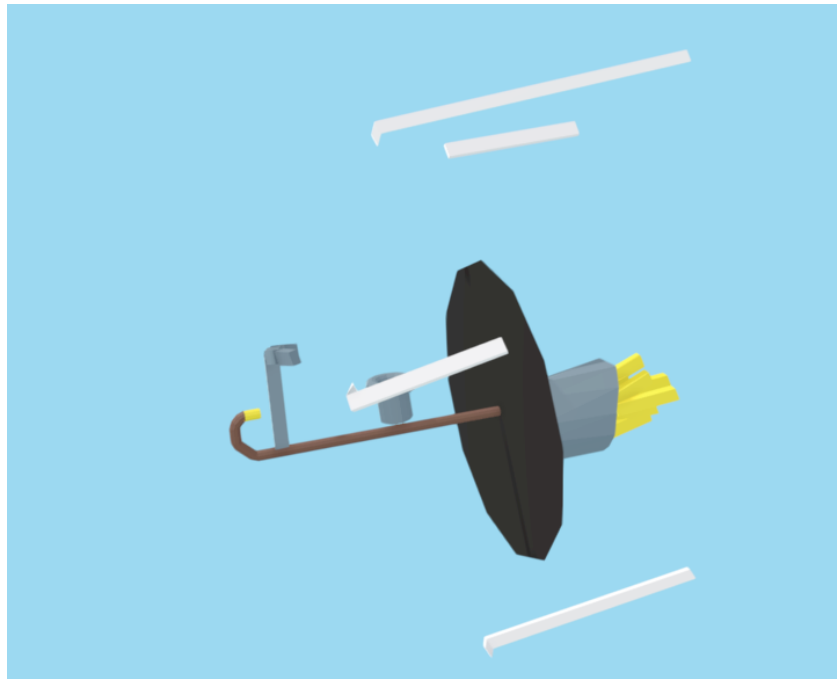


FIGURE 4.10 – Exemple d’idée étant jugée créative par les juges, produite à l’aide de l’outil de CAO immersive Blocks

résultats que nous avons obtenus nous permettent d’envisager d’étendre nos observations sur l’étude de l’utilisation d’outils et de méthodes dites « *originales* » sur la créativité et les tâches de divergence.

Les résultats obtenus sur la communicabilité indiquent que les idées produites par l’outil de dessin ont été mieux comprises que celles produites par les outils de CAO et de dessin immersif. Les résultats obtenus sur l’expérience utilisateur ne permettent pas d’établir de corrélation avec la communicabilité. Ces observations indiquent que l’outil de CAO, qui a les actions les plus standardisées, n’a pas permis aux idées d’être mieux communiquées. Dans cet état, il n’est pas possible de valider notre hypothèse **H3** (*La communicabilité des idées produites par un outil va dépendre de la standardisation de ses interactions avec l’utilisateur*). Cependant, nous constatons que les idées qui ont le plus haut niveau de compréhension intégraient des éléments contextuels permettant de définir un cadre aux différentes idées (*e.g.* lorsque le parapluie est transformé en parasol, une plage et un soleil sont ajoutés pour indiquer que le parapluie sert maintenant à se protéger du soleil). L’ajout de ces éléments est plus compliqué lorsque les interactions sont normalisées et sont centrées sur la production de l’objet ciblé par la problématique (dans cette expérience, le parapluie).

4.5. CONCLUSION

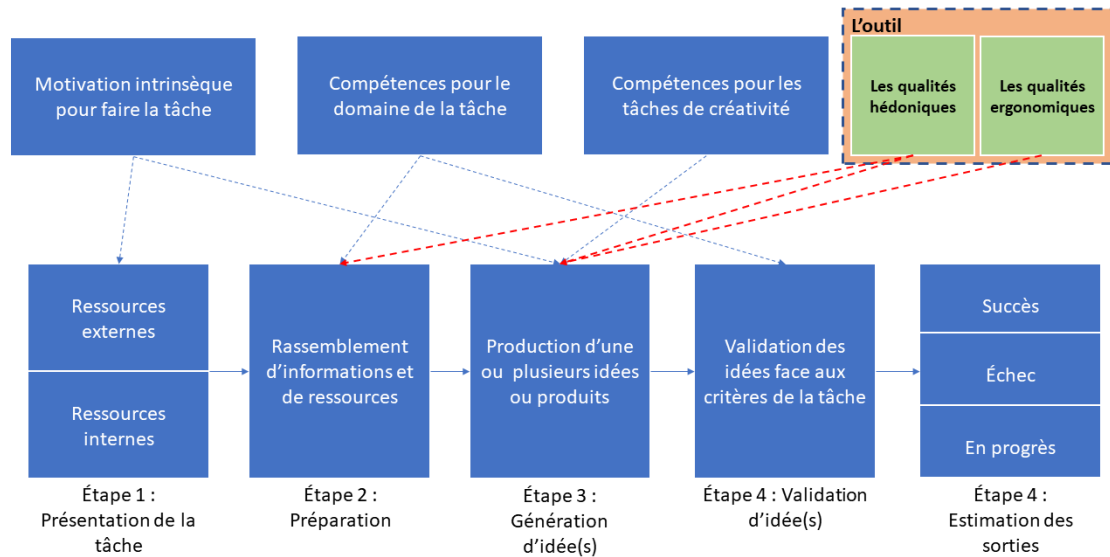


FIGURE 4.11 – Modélisation du processus de créativité proposé originalement par Amabile et Pratt (2016) et intégrant l'outil en élément d'influence externe.

4.5.2 Limites et perspectives

Cette expérimentation est soumise à certaines limitations dans les mesures et les résultats. Celles-ci permettront néanmoins d'ouvrir de nouvelles perspectives d'études.

Parmi les différents outils utilisés pour cette expérimentation, certains demandaient une formation ou une habitude d'usage aux participants, afin de leur permettre de représenter leurs idées. Ainsi, le panel de participants que nous avons mobilisé était familier des outils de l'ingénierie, donc à utiliser les outils de la CAO et du dessin. L'utilisation de ces outils est conditionnée par des habitudes d'usage, qui peuvent induire une lassitude dans l'utilisation de nature à ne pas favoriser la créativité. D'un autre côté, les outils liés à la réalité virtuelle sont peu utilisés voire non connus du grand public et des professionnels. Il y a souvent un niveau d'attente assez élevé avant la première utilisation de ces outils, qui peut induire un effet *Wow!* (Desmet *et al.*, 2007). La combinaison de ces deux effets a certainement accentué les résultats que nous avons observés lors de la tâche de créativité.

Une autre limite est liée à la visualisation des idées produites par un outil immersif, pour leur évaluation. Les idées étaient présentées à l'aide d'outils ayant des interfaces non immersives. Cette différence entre les paradigmes de réalisation et de visualisation a pu freiner ou diminuer la compréhens-

4.5. CONCLUSION

sion des différentes idées et connaissances investies par le concepteur. Les scores de communicabilité et de créativité obtenus sont conditionnés par les outils de visualisation qui sont proposés. La proposition d'interactions supplémentaires, par le biais de commentaires laissés par le concepteur, permettrait d'ajouter des éléments de compréhension utiles lors de la visualisation des idées sans freiner leur production. Pour valider l'apport de ces nouvelles interactions sur la communicabilité, il semble essentiel d'étudier les changements intervenant au niveau de l'expérience utilisateur et leurs conséquences sur la compréhension de l'idée et de la captation des différentes connaissances impliquées dans la réalisation. L'ajout de ces nouvelles interactions permettrait ainsi de favoriser la conservation de la volonté originale du concepteur pour la développer dans les activités aval du processus d'innovation ou, si l'idée est abandonnée, de la réinvestir dans d'autres projets traitant de problématiques similaires.

Enfin, notre mesure de la communicabilité n'est faite que sur une seule dimension : la compréhension globale de l'idée. Cette première mesure de la communicabilité nous a permis d'initier une première réflexion sur les interactions et les éléments que doivent intégrer les outils dédiés à la créativité pour améliorer la compréhension des idées. Or, la compréhension et l'acquisition de connaissances passent par différents mécanismes cognitifs (Mayer et Pilegard, 2005). Nous pourrions étoffer notre mesure de la communicabilité en nous basant sur les travaux de Mayer (1996) traitant de la pédagogie et des mécanismes cognitifs en lien avec l'apprentissage. Cette mesure peut être faite sur l'idée globale, son fonctionnement, les connaissances investies, mais aussi le fonctionnement de parties ou d'éléments précis. La proposition d'une nouvelle mesure de la communicabilité nous permettra d'identifier les facteurs favorisant la compréhension globale et fine de l'idée, mais aussi la conservation des connaissances investies.

Chapitre 5

Bilan, contributions et perspectives

5.1	Réponse à la problématique	110
5.1.1	Avant-propos	110
5.1.2	Réponses aux questions de recherche	111
5.2	Contributions théoriques	114
5.3	Perspectives et travaux futurs	117

5.1 Réponse à la problématique

5.1.1 Avant-propos

Pour répondre aux différentes problématiques de nos sociétés, les entreprises doivent innover. Ce processus d'innovation est au centre du développement économique et vital pour la survie des entreprises, il est donc nécessaire qu'elles adoptent une organisation et des outils permettant de transformer les idées en solutions applicables et disponibles pour le marché. L'évolution et la démocratisation de l'utilisation de la réalité virtuelle, dans des contextes privés et professionnels, ont permis de porter un intérêt particulier à son application au processus de l'innovation. Nos travaux de recherche font partie de la chaire « *Time to Concept* » dont l'objectif global est d'étudier les apports technologiques, humains et organisationnels liés à l'utilisation de la réalité virtuelle dans le processus d'innovation. Le processus d'innovation comprend de nombreuses étapes et activités, cependant nous avons décidé de centrer nos travaux sur la phase de l'idéation et plus précisément sur les activités de créativité. L'objectif de ces travaux de recherche était d'étudier les environnements numériques et de proposer un enchaînement d'outils pertinent pour accompagner le processus d'innovation et plus précisément les phases d'idéation, tout en conservant toutes les données générées. Pour constituer cet environnement numérique favorable à la créativité, nous avons étudié comment les mécanismes humains liés aux interactions avec les outils et notre environnement influencent les activités de l'innovation. De cette problématique générale, nous avons identifié deux axes majeurs de recherche :

- Dans un premier temps, nos travaux se sont centrés sur l'étude des liens existants entre nos tâches de créativité et notre environnement physique et numérique. Nous avons commencé par étudier les effets que les stimuli de notre environnement peuvent avoir sur notre créativité en établissant un lien avec la charge cognitive (cf. Chapitre 3). Ensuite, notre intérêt s'est porté sur l'étude des liens entre les outils et la créativité par le prisme de l'expérience utilisateur (cf. Chapitre 4).
- Dans un second temps, nos recherches se sont centrées sur l'étude des mécanismes favorisant la compréhension et la communicabilité des idées lors des activités de créativité (cf. Chapitre 4). En effet, nos travaux se situent dans un contexte d'innovation, il est donc nécessaire d'étudier les mécanismes permettant aux concepteurs de restituer leurs idées.

Nous avons donc mis en place deux expérimentations afin d'apporter des éléments de réponse à

5.1. RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE

la problématique générale et aux deux questions de recherche sous-jacentes couvrant les deux axes définis précédemment. Nous allons discuter ces questions de recherche à l'aune des résultats de nos études et dresser un bilan de nos contributions.

5.1.2 Réponses aux questions de recherche

Q1 : Comment nos outils et notre environnement conditionnent-ils notre expérience et notre créativité ?

Cette question de recherche a été posée dans l'optique de comprendre et d'étudier les mécanismes humains que nos outils et notre environnement activent pendant nos tâches de créativité. L'étude de ces mécanismes va nous permettre d'enrichir nos connaissances afin d'être en mesure de proposer l'outil accompagnant au mieux la tâche entreprise. Notre réponse sera donnée en deux temps : (i) l'effet de l'environnement puis (ii) l'impact des outils sur la créativité.

Dans notre première expérimentation (cf. Chapitre 3), nous avons souhaité comprendre comment les éléments de notre environnement interfèrent avec nos mécanismes cognitifs pendant les tâches de créativité. Notre objectif était d'étudier comment les stimuli de notre environnement peuvent provoquer des inspirations ou des freins. Pour cela, nous avons mesuré la charge cognitive des participants après chacune des deux tâches de créativité, mobilisant différentes modalités sensorielles : visuo-spatiale et audio-verbale. Les résultats de cette expérimentation indiquent que notre environnement a une influence sur nos tâches de créativité. Même s'ils ne peuvent pas être généralisés, ils ont permis d'observer des effets différents en fonction de la modalité sensorielle. Pour la tâche visuo-spatiale, nous observons que la présence d'un stimulus discontinu dans l'espace entraîne une proposition d'un nombre d'idées plus faible. Cette diminution n'est pas liée à une augmentation de la charge cognitive perçue par les participants. Nous pensons que l'apparition d'un stimulus visuel dans l'environnement de travail va demander un effort au participant pour l'ignorer. La répétition de cet effort a ainsi fait diminuer le nombre d'idées proposées par les participants. Pour la modalité audio-verbale, nous avons observé que la présence du stimulus a fait augmenter la charge cognitive sans toutefois faire diminuer le nombre d'idées proposées par les participants. Nous pouvons trouver des éléments de réponse à ces résultats en étudiant les mécanismes cognitifs humains liés aux modalités audio-verbales. En effet, Neath (2000) a observé que la charge cognitive augmentait dès lors qu'une conversation avait lieu dans l'environnement de la tâche. Toutefois, l'augmentation de la charge cognitive n'a pas suffi à faire diminuer la créativité

5.1. RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE

des participants, mais au contraire, a permis pour certains de se servir du sujet traité pour proposer des idées supplémentaires. Cette expérimentation nous a démontré que lors de tâches de créativité visuelle, les perturbations, même très fines, de notre environnement peuvent avoir des conséquences négatives sur notre créativité. De plus, nous pensons que la signification des stimuli présents dans l'environnement a un impact sur les inspirations et la mise en place de nouvelles connaissances liées à la tâche de créativité.

Notre deuxième expérimentation (cf. Chapitre 4) nous a permis d'étudier les liens existant entre notre créativité et les interactions avec des outils représentant le parcours que peut suivre l'évolution d'une idée pendant les activités de l'idéation. Pour étudier ce lien, nous avons comparé quatre outils dans la réalisation d'une tâche de créativité. Pour comprendre l'influence que l'outil peut avoir sur la créativité de l'utilisateur, nous avons mesuré l'expérience utilisateur au travers de l'UEQ (Laugwitz *et al.*, 2008) qui nous permet de distinguer les qualités ergonomiques et hédoniques de l'outil. Nous avons constaté que les caractéristiques liées à la stimulation, la nouveauté et la clarté de l'outil ont des conséquences sur les performances de créativité de l'utilisateur. Une bonne utilisabilité globale de l'outil permet aux participants de proposer de nombreuses idées rapidement. Des interactions simples et proches du geste naturel, comme peuvent l'offrir les applications de dessin et de dessin immersif, vont favoriser la production d'idées en facilitant le processus mental pour retranscrire l'idée en actions et interactions au moyen de l'outil utilisé. Nous avons aussi remarqué cet effet lors de la première expérimentation. Nos résultats indiquent également que les bonnes qualités hédoniques offertes par les outils immersifs permettent aux participants de proposer des idées jugées plus créatives et originales. L'utilisation d'outils peu conventionnels et jugés stimulants va inciter les utilisateurs à explorer les différentes fonctionnalités et interactions pour proposer des idées nouvelles et pertinentes. Au regard de ces résultats, nous avons proposé une évolution du modèle d'Amabile et Pratt (2016) dans le chapitre 4. Les qualités hédoniques et ergonomiques des outils peuvent être mises en lien avec le processus de créativité de l'utilisateur.

Q2 : Comment nos outils conditionnent-ils la capacité de nos idées à être communiquées ?

Notre deuxième problématique est centrée sur la capacité des outils à accompagner l'utilisateur pour générer des propositions qui peuvent être facilement transmises et comprises par d'autres. Nous avons lié cette capacité d'une idée à être communiquée et comprise à la notion de communicabilité. Bien

5.1. RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE

que nos travaux aient porté sur des activités de créativité individuelles, ces dernières ont pour objectif d'être intégrées dans le processus de l'innovation qui est composé d'activités collectives mobilisant des personnes provenant de métiers, d'environnements et de cultures différents. Il est donc essentiel que les outils qui sont proposés pour accompagner les activités de créativité permettent de conserver les connaissances générées et de transmettre l'idée la plus fidèle à l'intention initiale de son concepteur. Au travers de l'expérimentation décrite dans le chapitre 4, nous avons souhaité étudier comment nos outils peuvent influencer la compréhension des idées. Pour étudier ce lien, nous avons créé un outil qui permet aux participants d'évaluer si leurs idées ont été comprises. Cet outil est constitué d'une évaluation de la compréhension globale de l'idée. Nos résultats ne nous permettent pas d'apporter de réponse ferme à cette deuxième question de recherche. Toutefois, nous observons que la facilité d'usage des outils immersifs et de l'outil de dessin a permis aux participants d'ajouter des éléments à l'environnement pour améliorer la compréhension de l'idée. Nous pensons que les outils proposés pour la création, dans un processus d'innovation, doivent inciter les participants à ajouter des éléments contextuels pour permettre aux idées d'être plus communicables. Les interactions ajoutées à l'outil pour enrichir la communicabilité doivent rester simples et spontanées pour ne pas freiner la créativité des participants. Il est également possible de d'utiliser des médias différents pour l'ajout d'éléments contextuels comme des éléments textuels décrivant le fonctionnement d'une partie précise ou encore l'intégration d'éléments audio traitant d'éléments essentiels à l'idée.

5.2 Contributions théoriques

Par le biais de l'état de l'art, des expérimentations et de leurs résultats, nous pouvons proposer une réponse à la problématique principale qui a guidé nos travaux de recherche :

Quels mécanismes humains favorisant la créativité peuvent être augmentés par les outils, sans que ces derniers ne modifient la volonté initiale du concepteur ?

Au travers de nos études, nous avons proposé une vision centrée sur l'utilisateur en interaction avec son environnement et les outils utilisés pour des tâches de créativité. Ces observations peuvent être placées dans un modèle de décision pour accompagner le choix de l'outil. Ce modèle intègre les facteurs que nous avons identifiés tout au long de nos expérimentations et de notre état de l'art (voir figure 5.1). Lors du choix de nos outils, nous avons identifié plusieurs facteurs de décision applicables au niveau macro (en fonction de la structuration du processus d'innovation adopté) et au niveau micro, qui s'apparentent aux exigences de l'activité entreprise. Les facteurs de décision macro vont être ajustés en fonction de la structure sociale et organisationnelle imposée par l'entreprise (Chesbrough, 2006; Cooper, 1990; Dunphy *et al.*, 1996; Le Masson *et al.*, 2006; Lecossier et Pallot, 2017). Une fois le type d'organisation identifié, il nous est possible de définir quelle activité doit être outillée et quels sont ses besoins et ses objectifs (Lecossier et Pallot, 2017). En fonction de l'activité sélectionnée, le nombre de participants ainsi que leur localisation et les moyens techniques disponibles vont être des facteurs déterminants (Gabriel *et al.*, 2016). Le facteur macro porte aussi sur le besoin et la nécessité de traçabilité et de communicabilité (Mille *et al.*, 2020). Ensuite, des facteurs de décision plus précis, ou micro, vont permettre de sélectionner l'outil qui permettra d'accompagner au mieux l'activité et de convenir à l'utilisateur en fonction de ses compétences. En effet ces variables individuelles ont une influence sur les performances de la tâche réalisée. Les différents modèles de la créativité nous ont permis d'identifier que la motivation (Amabile, 1985; Csikszentmihalyi, 1996; Deci *et al.*, 2017) et les connaissances mobilisées pour la tâche (Amabile, 2012; Amabile et Pratt, 2016) sont cruciales pour la réussite des activités de créativité et peuvent être favorisées par les outils. Enfin, en fonction de la tâche réalisée et de ses objectifs, l'environnement physique et numérique (Fleury *et al.*, 2020; Kaplan et Kaplan, 1989; Lee *et al.*, 2015; Mille *et al.*, 2019) et l'environnement social (Amabile, 1982, 2012) sont déterminants. Ces environnements peuvent être modulés par les outils que nous utilisons pour correspondre aux besoins de la tâche. Ces derniers facteurs peuvent être intégrés à l'étude de

5.2. CONTRIBUTIONS THÉORIQUES

l'expérience utilisateur (Cherry et Latulipe, 2014; Mille *et al.*, 2020) pour choisir précisément l'outil en adéquation avec les exigences de la tâche et les utilisateurs.

5.2. CONTRIBUTIONS THÉORIQUES

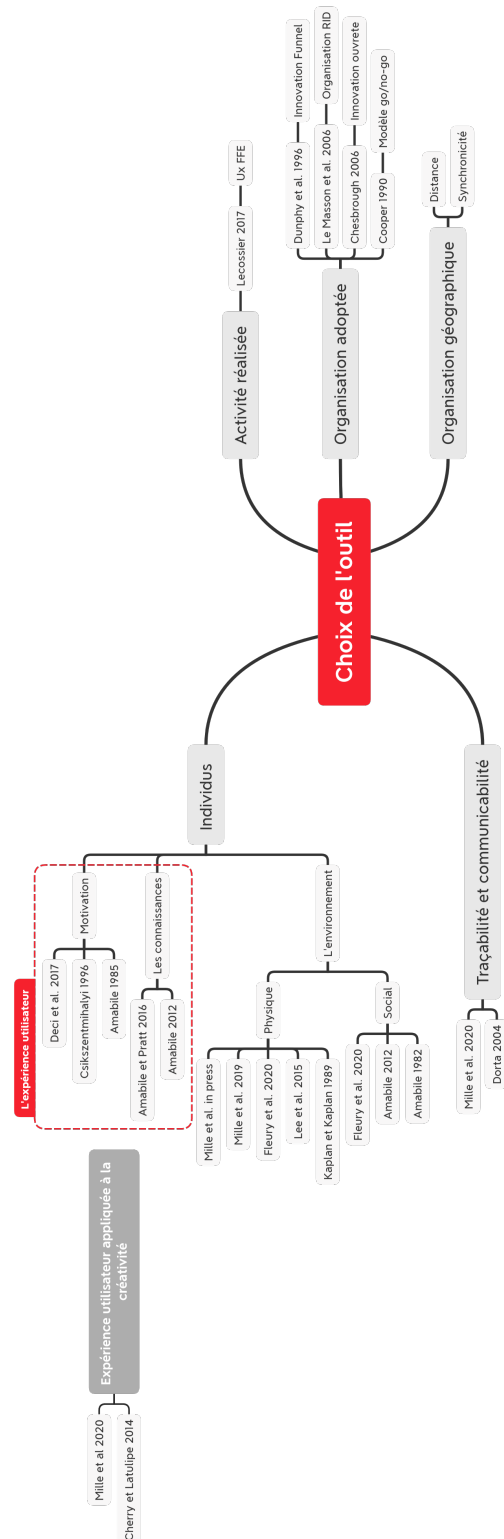


FIGURE 5.1 – Représentation des différents critères intervenant pour le choix de l'outil

5.3 Perspectives et travaux futurs

Nos trois années de recherche nous ont permis d'apporter des réponses aux problématiques identifiées par la chaire « *Time to Concept* ». Les résultats obtenus lors de nos expérimentations laissent naturellement en suspens un certain nombre d'interrogations par rapport aux environnements, à l'expérience utilisateur et à la communicabilité qu'il nous semble intéressant de poursuivre et d'approfondir pour enrichir le modèle que nous avons présenté précédemment.

Le premier axe que nous souhaitons continuer à investiguer concerne l'influence des stimuli de notre environnement sur la créativité, en poursuivant les travaux qui ont été présentés dans le chapitre 3. Cette première expérimentation nous a permis de constater que notre environnement peut avoir des influences négatives en freinant la créativité, mais aussi des influences positives en générant de nouvelles inspirations. Comme nous l'avons abordé, cette différence de résultats peut être liée à plusieurs éléments comme le niveau de signifiante du stimulus ou encore le type de stimulus choisi pour faire augmenter la charge cognitive. Nous pensons que les inspirations induites par la présence du stimulus dans l'environnement proviennent de son niveau de signifiante, de nature à favoriser la mobilisation de nouvelles connaissances. Ensuite, une étude plus complète de l'impact des différents types de stimuli sur la créativité permettrait une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs et de leurs conséquences sur les performances de la tâche. Ces futures recherches auront pour objectif de constituer de nouvelles recommandations pour la constitution d'environnements créatifs réels et virtuels.

La seconde poursuite que nous envisageons pour nos travaux concerne l'étude de la communicabilité et des interactions à favoriser pour l'assurer. Notre deuxième étude nous a permis d'identifier que les outils facilitant l'ajout d'éléments contextuels aident à rendre une idée plus communicable. Cependant, la mesure de la communicabilité que nous proposons ne prend en compte que la compréhension globale de l'idée. De futures recherches permettraient d'identifier les différents éléments à mesurer pour évaluer la communicabilité d'une idée, comme la perception des connaissances utilisées, la compréhension d'éléments précis des différentes idées. Au moment de la rédaction de ce manuscrit, nous menons une expérimentation sur l'ajout de médias audio et d'éléments textuels pour améliorer la communicabilité d'une idée. Pour cette expérimentation, les participants devront répondre à des questions concernant des idées qui ont été proposées pour répondre aux problématiques posées. Les idées

5.3. PERSPECTIVES ET TRAVAUX FUTURS

qui ont été développées pour cette expérimentation peuvent être accompagnées d'éléments descriptifs textuels (sous forme de post-it) ou d'éléments audio décrivant les différentes parties. Il est ensuite demandé aux participants de compléter un questionnaire nous permettant d'évaluer la compréhension globale des différents éléments et connaissances qui composent l'idée. Cette évaluation nous permettra d'étudier quels sont les médias qui peuvent être intégrés aux outils pour favoriser la compréhension des idées.

Les expérimentations que nous avons menées et celles que nous envisageons ont pour vocation d'enrichir les connaissances permettant d'accompagner le choix de l'outil en fonction des activités engagées lors du processus d'innovation. Nos travaux ont apporté des éléments permettant d'accompagner le choix de l'outil. Nos travaux se sont concentrés sur des tâches d'idéation individuelle. Cependant, le processus d'innovation implique des activités sociales et collectives, qui sont également des facteurs déterminants lors du choix de l'outil et qu'il nous semblent nécessaire d'étudier afin de compléter notre modèle.

Bibliographie

- ADDAS, S. et PINSONNEAULT, A. (2015). The many faces of information technology interruptions : a taxonomy and preliminary investigation of their performance effects. *Information Systems Journal*, 25(3):231–273.
- AL-SAMARRAIE, H. et HURMUZAN, S. (2018). A review of brainstorming techniques in higher education. *Thinking Skills and Creativity*, 27:78 – 91.
- ALTSHULLER, G. (1946). Principles of invention.
- ALTSHULLER, G. et ALTOV, H. (1996). *And suddenly the inventor appeared : TRIZ, the theory of inventive problem solving*. Technical Innovation Center, Inc.
- AMABILE, T. M. (1982). Social psychology of creativity : A consensual assessment technique. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5):997 – 1013.
- AMABILE, T. M. (1983). The social psychology of creativity : A componential conceptualization. *Journal of personality and social psychology*, 45(2):357.
- AMABILE, T. M. (1985). Motivation and creativity : Effects of motivational orientation on creative writers. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48:393 – 399.
- AMABILE, T. M. (1988). A model of creativity and innovation in organizations. *Research in organizational behavior*, 10(1):123–167.
- AMABILE, T. M. (2012). Componential theory of creativity. *Harvard Business School*, 12(96):1–10.
- AMABILE, T. M. et PRATT, M. G. (2016). The dynamic componential model of creativity and innovation in organizations : Making progress, making meaning. *Research in Organizational Behavior*, 36:157 – 183.
- ARRIGHI, P.-A., MAURYA, S., ARAI, K., MORIYA, K. et MOUGENOT, C. (2016). A mixed reality system for kansei-based co-design of highly-customized products. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 20(2):47–60.
- BADDELEY, A. (2000). The episodic buffer : a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11):417 – 423.

BIBLIOGRAPHIE

- BADDELEY, A. (2003). Working memory : looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, pages 829–239.
- BADDELEY, A., LOGIE, R., BRESSI, S., SALA, S. D. et SPINNLER, H. (1986). Dementia and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 38(4):603–618. PMID : 3809575.
- BADDELEY, A. D. (1999). *Essentials of human memory*. Psychology Press.
- BADDELEY, A. D. et BROADBENT, D. E. (1983). Working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 302(1110):311–324.
- BADDELEY, A. D. et LOGIE, R. H. (1999). *Working Memory : The Multiple-Component Model*, page 28–61. Cambridge University Press.
- BAER, J. et KAUFMAN, J. C. (2005). Bridging generality and specificity : The amusement park theoretical (apt) model of creativity. *Roeper Review*, 27(3):158–163.
- BAIRD, B., SMALLWOOD, J., MRAZEK, M. D., KAM, J. W. Y., FRANKLIN, M. S. et SCHOOLER, J. W. (2012). Inspired by distraction : Mind wandering facilitates creative incubation. *Psychological Science*, 23(10):1117–1122. PMID : 22941876.
- BAKKER, A. B. (2008). The work-related flow inventory : Construction and initial validation of the wolf. *Journal of Vocational Behavior*, 72(3):400 – 414.
- BASTIEN, C. et SCAPIN, D. L. (1993). Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces. Rapport technique RT-0156, INRIA.
- BASU, A., DUVALL, J. et KAPLAN, R. (2019). Attention restoration theory : Exploring the role of soft fascination and mental bandwidth. *Environment and Behavior*, 51(9-10):1055–1081.
- BEN REJEB, H. (2008). *Front-End Phases of Innovation : proposition of need analysis method and acceptability assessment of product*. Theses, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- BERG, L. P. et VANCE, J. M. (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing : a survey. *Virtual Reality*, 21(1):1–17.
- BOLY, V. (2004a). *Ingénierie de l’Innovation - Organisation et méthodologies des entreprises innovantes*. Hermès Science Publications. Lavoisier. ISBN 2-7462-0894-6.
- BOLY, V. (2004b). *Ingénierie de l’Innovation - Organisation et méthodologies des entreprises innovantes*. Hermès Science Publications. Lavoisier. ISBN 2-7462-0894-6.

- BOLY, V. et MOREL-GUIMARAES, L. (2006). Définition des niveaux d'action pour piloter l'innovation et contribution à une métrique de l'innovation.
- BOURDOT, P., CONVARD, T., PICON, F., AMMI, M., TOURAINE, D. et VÉZIEN, J.-M. (2010). Vr-cad integration : Multimodal immersive interaction and advanced haptic paradigms for implicit edition of cad models. *Computer-Aided Design*, 42(5):445 – 461. Advanced and Emerging Virtual and Augmented Reality Technologies in Product Design.
- BROOKE, J. (1986). System usability scale (sus) : a quick-and-dirty method of system evaluation user information. *Reading, UK : Digital Equipment Co Ltd*, 43.
- BRÜNKEN, R., STEINBACHER, S., PLASS, J. L. et LEUTNER, D. (2002). Assessment of cognitive load in multimedia learning using dual-task methodology. *Experimental Psychology*, 49(2):109–119.
- BUISINE, S., BOISADAN, A. et RICHIR, S. (2017). L'innovation radicale par la méthode de l'utilisateur extraordinaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*.
- BYRNE, C., MACDONALD, R. et CARLTON, L. (2003). Assessing creativity in musical compositions : flow as an assessment tool. *British Journal of Music Education*, 20(3):277–290.
- BYSTROM, K.-E., BARFIELD, W. et HENDRIX, C. (1999). A conceptual model of the sense of presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 8(2):241–244.
- CALDER, B. J. et STAW, B. M. (1975). Interaction of intrinsic and extrinsic motivation : Some methodological notes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 31(1):76–80.
- CALDERON-HERNANDEZ, C., PAES, D., IRIZARRY, J. et BRIOSO, X. (2019). *Comparing Virtual Reality and 2-Dimensional Drawings for the Visualization of a Construction Project*, pages 17–24.
- CASAKIN, H. (2004). Visual analogy as a cognitive strategy in the design process. expert versus novice performance. *journal of Design Research*, 4(2):197–217.
- CASCINI, G. et RISSONE, P. (2004). Plastics design : integrating triz creativity and semantic knowledge portals. *Journal of Engineering Design*, 15(4):405–424.
- CHANDLER, P. et SWELLER, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4):293–332.
- CHEAH, C. S. et LEONG, L.-M. (2019). Investigating the redundancy effect in the learning of c++ computer programming using screencasting. *International Journal of Modern Education & Computer Science*, 11(6).

- CHERRY, E. et LATULIPE, C. (2014). Quantifying the creativity support of digital tools through the creativity support index. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 21(4):21 :1–21 :25.
- CHESBROUGH, H. W. (2003). *Open innovation : The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press.
- CHESBROUGH, H. W. (2006). Open innovation : a new paradigm for understanding industrial innovation. *Open innovation : Researching a new paradigm*, 400:0–19.
- CHESBROUGH, H. W. (2012). Open innovation : Where we’ve been and where we’re going. *Research-Technology Management*, 55(4):20–27.
- CHRISTENSEN, P., GUILFORD, J., MERRIFIELD, P. et WILSON, R. (1960). Alternate uses. *Beverly Hills : Sheridan Psychological Services*.
- CIERNIAK, G. (2011). *Facilitating and Inhibiting Learning by the Spatial Contiguity of Text and Graphic : How Does Cognitive Load Mediate the Split-Attention and Expertise Reversal Effect ?* Thèse de doctorat, Eberhard Karls Universität Tübingen.
- CIPRESSO, P., WILSON, C. J. et SORANZO, A. (2015). The use of virtual reality in psychology : A case study in visual perception.
- CLAY, A., COUTURE, N. et NIGAY, L. (2009). Towards an architecture model for emotion recognition in interactive systems : Application to a ballet dance show. volume ASME-AFM 2009 World Conference on Innovative Virtual Reality de *World Conference on Innovative Virtual Reality*, pages 19–24.
- COOPER, R. G. (1990). Stage-gate systems : a new tool for managing new products. *Business horizons*, 33(3):44–54.
- COOPER, R. G. (2008). Perspective : The stage-gate® idea-to-launch process—update, what’s new, and nexgen systems*. *Journal of Product Innovation Management*, 25(3):213–232.
- COOPER, R. G. (2014). What’s next ? : After stage-gate. *Research-Technology Management*, 57(1):20–31.
- COSTA, P. T. et MCCRAE, R. R. (1992). Four ways five factors are basic. *Personality and Individual Differences*, 13(6):653 – 665.

- CRANFORD, K. N., TIETTMAYER, J. M., CHUPRINKO, B. C., JORDAN, S. et GROVE, N. P. (2014). Measuring load on working memory : The use of heart rate as a means of measuring chemistry students' cognitive load. *Journal of Chemical Education*, 91(5):641–647.
- CROPLEY, D. et CROPLEY, A. (2008). Elements of a universal aesthetic of creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 2(3):155.
- CROPLEY, D., CROPLEY, A. *et al.* (2005). Engineering creativity : A systems concept of functional creativity. *Creativity across domains : Faces of the muse*, 1(15):169–185.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (1996). *Creativity : Flow and the psychology of discovery and invention*. HarperPerennial.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (1997). Happiness and creativity. *The Futurist*, 31(5):S8.
- DAVIS, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3):319–340.
- DE ROUVRAY, A. (2006). *Intégration des préférences émotionnelles et sensorielles dans la conception de produits d'ameublement : proposition d'une méthode d'ingénierie affective*. Thèse de doctorat, Arts et Métiers ParisTech. Thèse de doctorat dirigée par Duchamp, Robert Génie industriel Paris, ENSAM 2006.
- DECI, E. L. (1971). Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. *Journal of personality and Social Psychology*, 18(1):105.
- DECI, E. L., KOESTNER, R. et RYAN, R. M. (1999). A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological Bulletin*, 125(5):627–668.
- DECI, E. L., OLAFSEN, A. H. et RYAN, R. M. (2017). Self-determination theory in work organizations : The state of a science. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 4(1):19–43.
- DECI, E. L. et RYAN, R. M. (1985). *Conceptualizations of Intrinsic Motivation and Self-Determination*, pages 11–40. Springer US, Boston, MA.
- DECI, E. L. et RYAN, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits : Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4):227–268.
- DESMET, P. M., PORCELIJN, R. et VAN DIJK, M. (2007). Emotional design ; application of a research-based design approach. *Knowledge, Technology & Policy*, 20(3):141.

- DIJKSTERHUIS, A. et MEURS, T. (2006). Where creativity resides : The generative power of unconscious thought. *Consciousness and Cognition*, 15(1):135 – 146.
- DORTA, T. V. (2004). Drafted virtual reality - a new paradigm to design with computers. *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*.
- DUNPHY, S. M., HERBIG, P. R. et HOWES, M. E. (1996). The innovation funnel. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(3):279 – 292.
- DUNSTON, P. S., ARNS, L. L., MCGLOTHLIN, J. D., LASKER, G. C. et KUSHNER, A. G. (2011). *An Immersive Virtual Reality Mock-Up for Design Review of Hospital Patient Rooms*, pages 167–176. Springer Netherlands, Dordrecht.
- ELIAV, E. et MIRON-SPEKTOR, E. (2015). The recovery effect : The creative potential of frequent interruptions. *Academy of Management Proceedings*, 2015(1):18083.
- FDIs, I. (2009). 9241-210 (2009). ergonomics of human system interaction-part 210 : Human-centered design for interactive systems (formerly known as 13407). *International Organization for Standardization (ISO). Switzerland*, 9241(2010).
- FDIs, I. (2018). 9241-11 (2018) ergonomics of human-system interaction—part 11 : usability : definitions and concepts. *International Organization for Standardization (ISO). Switzerland*, 9241(11).
- FEEMAN, S. M., WRIGHT, L. B. et SALMON, J. L. (2018). Exploration and evaluation of cad modeling in virtual reality. *Computer-Aided Design and Applications*, 15(6):892–904.
- FEIST, G. (2004). The evolved fluid specificity of human creative talent. *Creativity : From potential to realization*, pages 57–82.
- FEIST, G. J. (1998). A meta-analysis of personality in scientific and artistic creativity. *Personality and Social Psychology Review*, 2(4):290–309. PMID : 15647135.
- FLEURY, S., AGNÈS, A., VANUKURU, R., GOUMILLOUT, E., DELCOMBEL, N. et RICHIR, S. (2020). Studying the effects of visual movement on creativity. *Thinking Skills and Creativity*, 36:100661.
- FORLIZZI, J. et BATTARBEE, K. (2004). Understanding experience in interactive systems. *In Proceedings of the 5th Conference on Designing Interactive Systems : Processes, Practices, Methods, and Techniques*, DIS '04, page 261–268, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.

BIBLIOGRAPHIE

- FRITSCHER, B. et PIGNEUR, Y. (2014). Business model design : an evaluation of paper-based and computer-aided canvases. *International Symposium on Business Modeling and Software Design*, pages 236 – 244.
- FUCCI, M. (2011). *The Evolution of Digital Tools for Product Design*, pages 1–14. Springer London, London.
- FUCHS, P. (1996). *Les interfaces de la réalité virtuelle*. éditeur AJIIMD.
- FUCHS, P., MOREAU, G., ARNALDI, B. et GUITTON, P. (2006). *Le traité de la réalité virtuelle. Volume 4 : les applications de la réalité virtuelle*. École des Mines de Paris.
- GABRIEL, A., MONTICOLO, D., CAMARGO, M. et BOURGAULT, M. (2016). Creativity support systems : A systematic mapping study. *Thinking Skills and Creativity*, 21:109 – 122.
- GARCIA, R. et CALANTONE, R. (2002). A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology : a literature review. *Journal of Product Innovation Management*, 19(2):110 – 132.
- GARDNER, H. (1993). Creating minds : An anatomy of creativity seen through the lives of freud, einstein, picasso, stravinsky, eliot, graham, and gandhi. *New York : Basic*.
- GERHART, B. et FANG, M. (2015). Pay, intrinsic motivation, extrinsic motivation, performance, and creativity in the workplace : Revisiting long-held beliefs. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 2(1):489–521.
- GONÇALVES, F., CAMPOS, P. et GARG, A. (2015). Understanding ui design for creative writing : A pilot evaluation. *In Adjunct Proceedings of the INTERACT 2015 Conference*, pages 179–186.
- GOPALAKRISHNAN, S. et DAMANPOUR, F. (1997). A review of innovation research in economics, sociology and technology management. *Omega*, 25(1):15 – 28.
- GREEN, S. G., GAVIN, M. B. et AIMAN-SMITH, L. (1995). Assessing a multidimensional measure of radical technological innovation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42(3):203–214.
- GUILDFORD, J. P. (1959). Three faces of intellect. *American Psychologist*, 14(8):469–479.
- GUILFORD, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*.
- GUILFORD, J. P. (1968). *Intelligence, creativity and their educational implications*. Edits Pub.
- HAGE, J. (1980). *Theories of organizations : Form, process, and transformation*. John Wiley & Sons.

- HARRINGTON, D. M. (1999). Conditions and settings/environment. *Encyclopedia of creativity*, 1:403–412.
- HART, S. G. et STAVELAND, L. E. (1988). Development of nasa-tlx (task load index) : Results of empirical and theoretical research. In HANCOCK, P. A. et MESHKATI, N., éditeurs : *Human Mental Workload*, volume 52 de *Advances in Psychology*, pages 139 – 183. North-Holland.
- HASSENZAHL, M. (2007). The hedonic/pragmatic model of user experience. *Towards a UX manifesto*, 10.
- HASSENZAHL, M., BURMESTER, M. et KOLLER, F. (2003). *AttrakDiff : Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- HASSENZAHL, M., PLATZ, A., BURMESTER, M. et LEHNER, K. (2000). Hedonic and ergonomic quality aspects determine a software’s appeal. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’00, page 201–208, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- HASSENZAHL, M. et TRACTINSKY, N. (2006). User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2):91–97.
- HATCHUEL, A., LE MASSON, P. et WEIL, B. (2001). From r&d to rid : Design strategies and the management of innovation fields. In *8th international product development management conference*, pages 415–430.
- HATCHUEL, A. et WEIL, B. (2003). A new approach of innovative design : an introduction to ck theory. In *DS 31 : Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design*, Stockholm.
- HATCHUEL, A. et WEIL, B. (2008). C-k design theory : an advanced formulation. *Research in Engineering Design*, 19(4):181.
- HECHT, D., REINER, M. et HALEVY, G. (2006). Multimodal virtual environments : Response times, attention, and presence. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 15(5):515–523.
- HENNESSEY, B. A. (2010). The creativity—motivation connection. *The Cambridge handbook of creativity*, pages 342 – 365.

- HOFF, E. V. et ÖBERG, N. K. (2015). The role of the physical work environment for creative employees – a case study of digital artists. *The International Journal of Human Resource Management*, 26(14):1889–1906.
- HOLLAND, J. (1997). *Making vocational choices : A theory of vocational personalities and work environments (3rd ed.)*. Psychological Assessment Resources.
- HOLYOAK, K. J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. *The psychology of learning and motivation*, 19:59–87.
- HOUZANGBE, S. (2019). *Impact sur l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif de l'utilisation d'objets connectés portés pour la rétroaction physiologique*. Theses, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM.
- ILEVBARE, I. M., PROBERT, D. et PHAAL, R. (2013). A review of triz, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33(2-3):30–37.
- ISAKSEN, S. G. et al. (1998). *A review of brainstorming research : Six critical issues for inquiry*. Creative Research Unit, Creative Problem Solving Group-Buffalo Buffalo, NY.
- JETT, Q. R. et GEORGE, J. M. (2003). Work interrupted : A closer look at the role of interruptions in organizational life. *Academy of Management Review*, 28(3):494–507.
- JEZERNIK, A. et HREN, G. (2003). A solution to integrate computer-aided design (cad) and virtual reality (vr) databases in design and manufacturing processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11):768–774.
- KAPLAN, R. et KAPLAN, S. (1989). *The experience of nature : A psychological perspective*. CUP Archive.
- KASOF, J. (1997). Creativity and breadth of attention. *Creativity Research Journal*, 10(4):303–315.
- KAUFMAN, J. C. (2012). Counting the muses : development of the kaufman domains of creativity scale (k-docs). *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6(4):298.
- KAUFMAN, J. C., COLE, J. C. et BAER, J. (2009). The construct of creativity : Structural model for self-reported creativity ratings. *The Journal of Creative Behavior*, 43(2):119–134.
- KIM, J. (2011). *Modeling cognitive and affective processes of designers in the early stages of design : Mental categorization of information processing*. Thèse de doctorat, Arts et Métiers ParisTech.

- KIM, J. et WILEMON, D. (2002). Focusing the fuzzy front-end in new product development. *R&D Management*, 32(4):269–279.
- KLEPSCH, M., SCHMITZ, F. et SEUFERT, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8:1997.
- KLINGNER, J. (2010). *Measuring Cognitive Load During Visual Tasks by Combining Pupillometry and Eye Tracking*. Ph.d. dissertation, Stanford University, Department of Computer Science.
- KOEN, P., AJAMIAN, G., BURKART, R., CLAMEN, A., DAVIDSON, J., D’AMORE, R., ELKINS, C., HERALD, K., INCORVIA, M., JOHNSON, A., KAROL, R., SEIBERT, R., SLAVEJKOV, A. et WAGNER, K. (2001). Providing clarity and a common language to the “fuzzy front end”. *Research-Technology Management*, 44(2):46–55.
- KOEN, P. A., AJAMIAN, G. M., BOYCE, S., CLAMEN, A., FISHER, E., FOUNTOULAKIS, S., JOHNSON, A., PURI, P. et SEIBERT, R. (2002). Fuzzy front end : effective methods, tools, and techniques. *The PDMA toolbox 1 for new product development*.
- KOHN, N. W. et SMITH, S. M. (2011). Collaborative fixation : Effects of others’ ideas on brainstorming. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3):359–371.
- KOSMADOUDI, Z., LIM, T., RITCHIE, J., LOUCHART, S., LIU, Y. et SUNG, R. (2013). Engineering design using game-enhanced cad : The potential to augment the user experience with game elements. *Computer-Aided Design*, 45(3):777 – 795.
- KOSTNER, R., LOSIER, G. F., VALLERAND, R. J. et CARDUCCI, D. (1996). Identified and introjected forms of political internalisation : Extending self-determination theory. *Journal of Personality and social Psychology*, 70(5):1025–1036.
- LALLEMAND, C. et GRONIER, G. (2015). *Méthodes de design UX : 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Editions Eyrolles.
- LALLEMAND, C., KOENIG, V., GRONIER, G. et MARTIN, R. (2015). Création et validation d’une version française du questionnaire attrakdiff pour l’évaluation de l’expérience utilisateur des systèmes interactifs. *European Review of Applied Psychology*, 65(5):239 – 252.
- LAN, T., ERDOGMUS, D., ADAMI, A., MATHAN, S. et PAVEL, M. (2007). Channel selection and feature projection for cognitive load estimation using ambulatory eeg. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2007.

- LANJOUW, J. O. et SCHANKERMAN, M. (2004). Patent quality and research productivity : Measuring innovation with multiple indicators*. *The Economic Journal*, 114(495):441–465.
- LAUGWITZ, B., HELD, T. et SCHREPP, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In HOLZINGER, A., éditeur : *HCI and Usability for Education and Work*, pages 63–76, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- LAW, E. L.-C., ROTO, V., HASSENZAHN, M., VERMEEREN, A. P. et KORT, J. (2009). Understanding, scoping and defining user experience : A survey approach. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pages 719–728, New York, NY, USA. ACM.
- LE MASSON, P., WEIL, B. et HATCHUEL, A. (2006). *Les processus d'innovation : Conception innovante et croissance des entreprises*. Lavoisier Paris.
- LE MASSON, P., WEIL, B. et HATCHUEL, A. (2017). *Design Theory*. Springer.
- LECOSSIER, A. et PALLOT, M. (2017). Ux-ffe model : An experimentation of a new innovation process dedicated to a mature industrial company. In *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, pages 557–563.
- LEE, K. E., WILLIAMS, K. J., SARGENT, L. D., WILLIAMS, N. S. et JOHNSON, K. A. (2015). 40-second green roof views sustain attention : The role of micro-breaks in attention restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 42:182 – 189.
- LEE, K. M. (2006). Presence, Explicated. *Communication Theory*, 14(1):27–50.
- LEPPER, M. R., GREENE, D. et NISBETT, R. E. (1973). Undermining children's intrinsic interest with extrinsic reward : A test of the " overjustification " hypothesis. *Journal of Personality and social Psychology*, 28(1):129.
- LEWIS, J. R. et SAURO, J. (2009). The factor structure of the system usability scale. In KUROSU, M., éditeur : *Human Centered Design*, pages 94–103, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- LIMAYEM, M. et HIRT, S. G. (2003). Force of habit and information systems usage : Theory and initial validation. *Journal of the Association for Information Systems*, 4(1):3.
- LOGIE, R., BADDELEY, A., MANÉ, A., DONCHIN, E. et SHEPTAK, R. (1989). Working memory in the acquisition of complex cognitive skills. *Acta Psychologica*, 71(1):53 – 87.

BIBLIOGRAPHIE

- LUBART, T., MOUCHIROUD, C., TORDJMAN, S. et ZENASNI, F. (2015). *Psychologie de la créativité-2e édition*. Armand Colin.
- LUND, A. M. (2001). Measuring usability with the use questionnaire¹². *Usability interface*, 8(2):3–6.
- MAARAVI, Y., HELLER, B., SHOHAM, Y., MOHAR, S. et DEUTSCH, B. (2020). Ideation in the digital age : literature review and integrative model for electronic brainstorming. *Review of Managerial Science*, pages 1–34.
- MACDONALD, R., BYRNE, C. et CARLTON, L. (2006). Creativity and flow in musical composition : an empirical investigation. *Psychology of Music*, 34(3):292–306.
- MARTIN, P. (2014). *Modèle pour la conception immersive et intuitive : application à l'industrie automobile*. Thèse de doctorat, Université Paris Sud-Paris XI.
- MAYER, R. E. (1996). Learning strategies for making sense out of expository text : The soi model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. *Educational Psychology Review*, 8(4):357–371.
- MAYER, R. E. et MORENO, R. E. (2010). *Techniques that reduce extraneous cognitive load and manage intrinsic cognitive load during multimedia learning.*, pages 131–152. Cambridge University Press.
- MAYER, R. E. et PILEGARD, C. (2005). Principles for managing essential processing in multimedia learning : Segmenting, pretraining, and modality principles. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, pages 169–182.
- MEDNICK, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, 69(3):220–232.
- MIDLER, C. (1995). “projectification” of the firm : The renault case. *Scandinavian Journal of Management*, 11(4):363 – 375. Project Management and Temporary Organozations.
- MILLE, C., CHRISTMANN, O., FLEURY, S. et SIMON, R. (2020). Comparing creativity, user-experience and communicability linked to digital tools during the fuzzy phases of innovation. *In CHIRA 2020*.
- MILLE, C., FLEURY, S., PASI, S., FOURNIER, K., IZZOUZI, L., DUCHOSSOY, S., JEAN-LOUIS, T., CHRISTMANN, O. et RICHIR, S. (2019). Effets de stimuli externes non pertinents sur la créativité. *In EPIQUE*, page 8, Lyon, France. ARPEGE Science Publishing.

- MILLER, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2):81.
- MILLER, L. E. (2009). Evidence-based instruction : a classroom experiment comparing nominal and brainstorming groups. *Organization Management Journal*, 6(4):229–238.
- MINGE, M. et THÜRING, M. (2018). Hedonic and pragmatic halo effects at early stages of user experience. *International Journal of Human-Computer Studies*, 109:13 – 25.
- MIYAKE, A., EMERSON, M. J., PADILLA, F. et chan AHN, J. (2004). Inner speech as a retrieval aid for task goals : the effects of cue type and articulatory suppression in the random task cuing paradigm. *Acta Psychologica*, 115(2):123 – 142. Executive Control of Human Action.
- MOCHI, F. et MADJAR, N. (2018). Chapter 5 - interruptions and multitasking : Advantages and disadvantages for creativity at work. In REITER-PALMON, R., KENNEL, V. L. et KAUFMAN, J. C., éditeurs : *Individual Creativity in the Workplace*, Explorations in Creativity Research, pages 103 – 127. Academic Press.
- MOENAERT, R. K., DE MEYER, A., SOUDER, W. E. et DESCHOOLMEESTER, D. (1995). R d/marketing communication during the fuzzy front-end. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42(3):243–258.
- MORAND, P. et MANCEAU, D. (2009). *Pour une nouvelle vision de l'innovation*. Documentation française Paris.
- MORENO, R. et PARK, B. (2010). Cognitive load theory : Historical developement and relation to other theories. In PLASS, J. L., MORENO, R. et BRÜNKEN, R., éditeurs : *Cognitive load Theory*, pages 9 – 28. Cambridge University Press.
- NAGAMACHI, M. (1989). Kansei engineering approach to automotive. *Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan*, 43(1):94–100.
- NAGAOKA, S., MOTOHASHI, K. et GOTO, A. (2010). Patent statistics as an innovation indicator. In *Handbook of the Economics of Innovation*, volume 2, pages 1083–1127. Elsevier.
- NAGASAWA, S. (2002). Kansei and business. *Kansei Engineering International*, 3(3):3–12.
- NAISMITH, L. M., CHEUNG, J. J. H., RINGSTED, C. et CAVALCANTI, R. B. (2015). Limitations of subjective cognitive load measures in simulation-based procedural training. *Medical Education*, 49(8):805–814.

- NEATH, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic bulletin & review*, 7(3):403–423.
- NORMAN, D., MILLER, J. et HENDERSON, A. (1995). What you see, some of what's in the future, and how we go about doing it : Hi at apple computer. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, CHI '95, page 155, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- NORMAN, D. A. et DRAPER, S. W. (1986). *User centered system design ; new perspectives on human-computer interaction*. L. Erlbaum Associates Inc.
- NORMAN, D. A. et VERGANTI, R. (2014). Incremental and radical innovation : Design research vs. technology and meaning change. *Design Issues*, 30(1):78–96.
- NUNNALLY, J. C. (1994). *Psychometric theory 3E*. Tata McGraw-hill education.
- OCDE (2005). *Manuel d'Oslo : principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation*. OECD Publishing.
- OSBORN, A. F. et VEIGEL, E. W. (1949). *Your creative power : how to use imagination to brighten life, to get ahead*.
- OSTERWALDER, A. et PIGNEUR, Y. (2002). Business models and their elements. In *Position paper for the international workshop on business models, Lausanne, Switzerland*. Citeseer.
- OSTERWALDER, A. et PIGNEUR, Y. (2010). *Business model generation : a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.
- OTTEY, J., COMPANY, P., CONTERO, M. et CAMBA, J. D. (2018). Revisiting the design intent concept in the context of mechanical cad education. *Computer-Aided Design and Applications*, 15(1):47–60.
- PAAS, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4):429–434.
- PAAS, F., RENKL, A. et SWELLER, J. (2003a). Cognitive load theory and instructional design : Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1):1–4.
- PAAS, F., TUOVINEN, J. E., TABBERS, H. et GERVEN, P. W. M. V. (2003b). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1):63–71.
- PALINKO, O., KUN, A. L., SHYROKOV, A. et HEEMAN, P. (2010). Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-*

- Tracking Research & Applications*, ETRA '10, page 141–144, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- PETKOVIĆ, D., ISSA, M., PAVLOVIĆ, N. D. et ZENTNER, L. (2013). Application of the triz creativity enhancement approach to design of passively compliant robotic joint. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(1-4):865–875.
- PLANT, R. W. et RYAN, R. M. (1985). Intrinsic motivation and the effects of self-consciousness, self-awareness, and ego-involvement : An investigation of internally controlling styles. *Journal of Personality*, 53(3):435–449.
- PLUCKER, J. A. et MAKEL, M. C. (2010). *Assessment of Creativity*, page 48–73. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press.
- PUTMAN, V. L. et PAULUS, P. B. (2009). Brainstorming, brainstorming rules and decision making. *The Journal of Creative Behavior*, 43(1):29–40.
- RASMUSSEN, M., NØRKJÆR, G. A. et JENSEN, R. L. (2017). Bridging the gap between actors and digital tools in a knotworking design process. 1.
- REITER-PALMON, R., ILLIES, J. J. et KOBE-CROSS, L. M. (2009). Conscientiousness is not always a good predictor of performance : The case of creativity. *The International Journal of Creativity & Problem Solving*, 19(2):27.
- RIEUF, V. (2013). *Impact of the immersive experience on kansei during the early industrial design*. Theses, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM.
- RUNCO, M. (1999). *Divergent thinking.*, pages 577–582. San Diego, California : Academic Press.
- RYAN, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere : An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(3):450–461.
- RYAN, R. M. (1993). Agency and organization : Intrinsic. *Developmental perspectives on motivation*, 40(1).
- RYAN, R. M. et CONNELL, J. P. (1989). Perceived locus of causality and internalization : Examining reasons for acting in two domains. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(5):749–761.
- RYAN, R. M. et DECI, E. L. (1985). The “third selective paradigm” and the role of human motivation in cultural and biological selection : A response to csikszentmihalyi and massimini. *New Ideas in Psychology*, 3(3):259 – 264.

- RYAN, R. M. et DECI, E. L. (2019). Chapter four - brick by brick : The origins, development, and future of self-determination theory. volume 6 de *Advances in Motivation Science*, pages 111 – 156. Elsevier.
- RYU, K. et MYUNG, R. (2005). Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(11):991 – 1009.
- SCHEPERS, P. et Van den BERG, P. T. (2007). Social factors of work-environment creativity. *Journal of business and psychology*, 21(3):407–428.
- SCHIEFFER, A., ISAACS, D. et GYLLENPALM, B. (2004). The world café : part one. *World*, 18(8):1–9.
- SCHREPP, M., HINDERKS, A. et THOMASCHESKI, J. (2017). Construction of a benchmark for the user experience questionnaire (ueq). *IJIMAI*, 4(4):40–44.
- SCHUMPETER, J. A. et REDVERS, O. (1934). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. The Theory of Economic Development. An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle... Translated... by Redvers Opie.*
- SELART, M., NORDSTRÖM, T., KUVAAS, B. et TAKEMURA, K. (2008). Effects of reward on self-regulation, intrinsic motivation and creativity. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 52(5):439–458.
- SHNEIDERMAN, B. (2007). Creativity support tools : Accelerating discovery and innovation. *Commun. ACM*, 50(12):20–32.
- SHNEIDERMAN, B., FISCHER, G., CZERWINSKI, M., RESNICK, M., MYERS, B., CANDY, L., EDMONDS, E., EISENBERG, M., GIACCARDI, E., HEWETT, T., JENNINGS, P., KULES, B., NAKAKOJI, K., NUNAMAKER, J., PAUSCH, R., SELKER, T., SYLVAN, E. et TERRY, M. (2006). Creativity support tools : Report from a u.s. national science foundation sponsored workshop. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 20(2):61–77.
- SILVIA, P. J., WIGERT, B., REITER-PALMON, R. et KAUFMAN, J. C. (2012). Assessing creativity with self-report scales : A review and empirical evaluation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6(1):19.
- SIO, U. N. et ORMEROD, T. C. (2009). Does incubation enhance problem solving? a meta-analytic review. *Psychological bulletin*, 135(1):94.

BIBLIOGRAPHIE

- SPEIER, C., VESSEY, I. et VALACICH, J. S. (2003). The effects of interruptions, task complexity, and information presentation on computer-supported decision-making performance. *Decision Sciences*, 34(4):771–797.
- SRINIVASAN, R. et KRASLAWSKI, A. (2006). Application of the triz creativity enhancement approach to design of inherently safer chemical processes. *Chemical Engineering and Processing : Process Intensification*, 45(6):507 – 514.
- SWELLER, J. (1988). Cognitive load during problem solving : Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2):257–285.
- SWELLER, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4):295–312.
- SWELLER, J. (2005). *The Redundancy Principle in Multimedia Learning*, page 159–168. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press.
- SWELLER, J. (2009). Cognitive bases of human creativity. *Educational Psychology Review*, 21(1):11–19.
- SWELLER, J. (2010). *Cognitive Load Theory : Recent Theoretical Advances*, page 29–47. Cambridge University Press.
- SWELLER, J., van MERRIËNBOER, J. J. et PAAS, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design : 20 years later. *Educational Psychology Review*, pages 1–32.
- SWELLER, J., van MERRIENBOER, J. J. G. et PAAS, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3):251–296.
- SÉQUIN, C. H. (2005). Cad tools for aesthetic engineering. *Computer-Aided Design*, 37(7):737 – 750.
- TAMS, S., THATCHER, J., GROVER, V. et PAK, R. (2015). Selective attention as a protagonist in contemporary workplace stress : implications for the interruption age. *Anxiety, Stress, & Coping*, 28(6):663–686. PMID : 25626729.
- TORRANCE, E. P. (1966). *Torrance tests of creative thinking*. personnel press.
- ULRICH, R. S. (1981). Natural versus urban scenes : Some psychophysiological effects. *Environment and Behavior*, 13(5):523–556.
- ULRICH, R. S., SIMONS, R. F., LOSITO, B. D., FIORITO, E., MILES, M. A. et ZELSON, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3):201 – 230.

- VAN den BROECK, A., FERRIS, D. L., CHANG, C.-H. et ROSEN, C. C. (2016). A review of self-determination theory's basic psychological needs at work. *Journal of Management*, 42(5):1195–1229.
- VANDERVERT, L. (2003). The neurophysiological basis of innovation. *The international handbook on innovation*, pages 17–30.
- VENKATESH, V. et DAVIS, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model : Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2):186–204.
- VERWORN, B., HERSTATT, C. et NAGAHIRA, A. (2008). The fuzzy front end of japanese new product development projects : impact on success and differences between incremental and radical projects. *R&D Management*, 38(1):1–19.
- WALLAS, G. (1926). The art of thought, london : J. UK : *Jonathan Cape*.
- WARD, T. B. et KOLOMYTS, Y. (2010). Cognition and creativity. *The Cambridge handbook of creativity*, pages 93–112.
- WHITE, R. W. (1959). Motivation reconsidered : The concept of competence. *Psychological review*, 66(5):297.
- WHITESIDE, J. et WIXON, D. (1987). *Improving Human-Computer Interaction—a Quest for Cognitive Science*, page 353–365. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- WILLIAMS, K. J., LEE, K. E., HARTIG, T., SARGENT, L. D., WILLIAMS, N. S. et JOHNSON, K. A. (2018). Conceptualising creativity benefits of nature experience : Attention restoration and mind wandering as complementary processes. *Journal of Environmental Psychology*, 59:36 – 45.
- WILLIAMS, L. J. (1982). Cognitive load and the functional field of view. *Human Factors*, 24(6):683–692. PMID : 7160855.
- WILSON, J. R. (2000). Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, 31(6):557 – 567. Fundamental Reviews in Applied Ergonomics.
- WOLFE, B., SAWYER, B. D., KOSOVICHEVA, A., REIMER, B. et ROSENHOLTZ, R. (2019). Detection of brake lights while distracted : separating peripheral vision from cognitive load. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(8):2798–2813.
- YANG, X., LIN, L., CHENG, P.-Y., YANG, X., REN, Y. et HUANG, Y.-M. (2018). Examining creativity

- through a virtual reality support system. *Educational Technology Research and Development*, 66(5):1231–1254.
- ZARJAM, P., EPPS, J. et CHEN, F. (2011). Spectral eeg featuresfor evaluating cognitive load. In *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 3841–3844.
- ZHANG, X. et BARTOL, K. M. (2010). Linking empowering leadership and employee creativity : The influence of psychological empowerment, intrinsic motivation, and creative process engagement. *Academy of Management Journal*, 53(1):107–128.
- ZIJLSTRA, F. R. H., ROE, R. A., LEONORA, A. B. et KREDIET, I. (1999). Temporal factors in mental work : Effects of interrupted activities. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 72(2):163–185.
- ZUBAIR, A. et KAMAL, A. (2015). Work related flow, psychological capital, and creativity among employees of software houses. *Psychological Studies*, pages 321–331.

BIBLIOGRAPHIE

Annexe A

Annexe A : grille d'évaluation pour la méthode des juges de Cropley et Cropley

Numéro	Catégorie	Intitulé	Description
1	Efficacité	Exactitude	Le juge reconnaît que l'idée reflète fidèlement les faits ou techniques conventionnels
2		Performance	Le juge reconnaît que la solution fait ce qu'elle est censée faire
3		Pertinence	Le juge identifie les fonctionnalités de l'objet
4	Nouveauté	Diagnostic	L'idée aide le juge à reconnaître les défauts et lacunes de ce qui existe déjà
5		Prescription	L'idée aide le juge à voir comment ce qui existe déjà peut être amélioré
6		Pronostic	L'idée aide le juge à anticiper les effets probables des changements
7		Réplication	L'idée aide le juge à voir comment elle pourrait être transférée vers un nouveau contexte
8		Redéfinition	L'idée aide le juge à voir de nouvelles façons d'utiliser l'objet
9		Combinaison	L'idée aide le juge à générer de nouveaux mélanges d'éléments existants
10		Reconstitution	L'idée aide le juge à reconnaître qu'une approche précédemment abandonnée est toujours utile
11		Incrémentations	L'idée aide le juge à voir comment étendre le connu dans une direction existante
12		Redirection	L'idée aide le juge à voir comment étendre le connu dans une nouvelle direction
13		Invention	L'idée indique une approche que le juge considère comme radicalement nouvelle
14		Génération	L'idée aide le juge à voir la possibilité de construire des produits fondamentalement nouveaux, mais au moins potentiellement efficaces

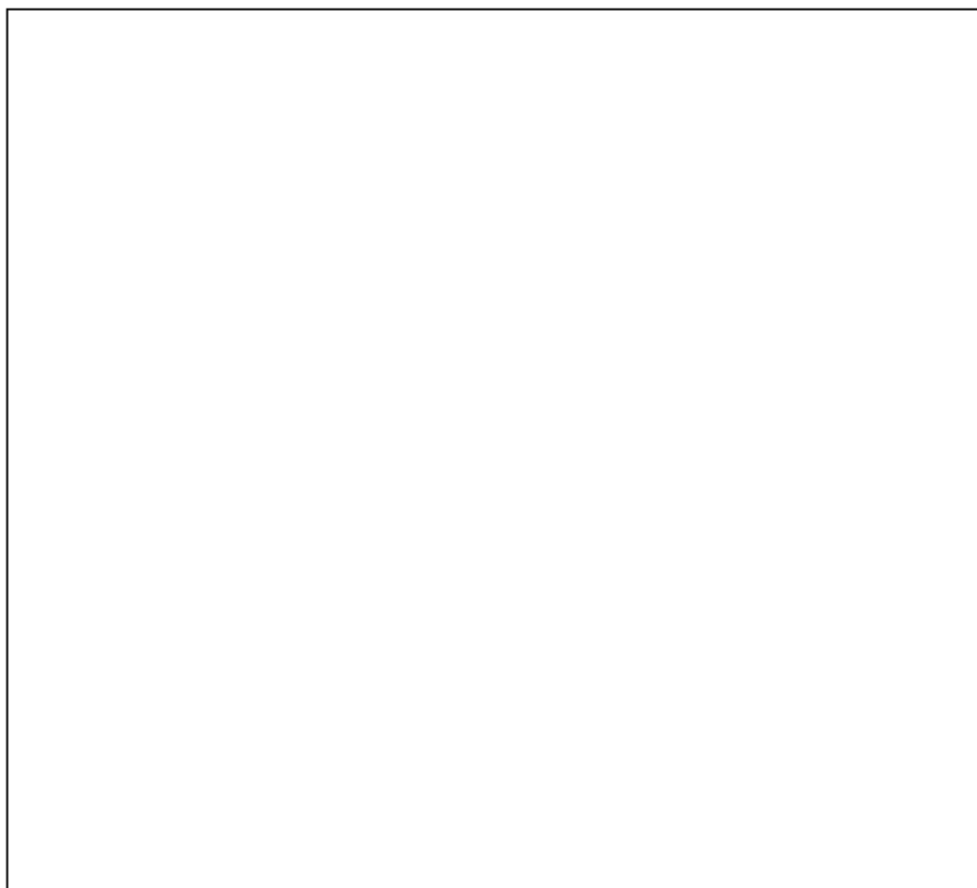
15		Reconnaissance	Le juge voit immédiatement que l'idée a un certain quelque chose
16	Élégance	Capacité à convaincre	Le juge est convaincu par l'idée
17		Aspect plaisant	Le juge trouve l'idée belle
18		Complétion	L'idée frappe le juge de part son élaboration et sa finition
19		Harmonicité	Le juge pense que les éléments de l'idée s'emboîtent de manière cohérente en interne
20		Fondamental	L'idée constitue une potentielle base générale pour des travaux futurs
21	Généralisation	Transférabilité	L'idée en offre de nouvelles au juge pour d'autres problèmes ne semblant pas avoir de rapport immédiat
22		Germination	L'idée suggère au juge de nouvelles façons de voir les problèmes existants
23		Caractère déterminant	L'idée attire l'attention du juge sur les problèmes auparavant passés inaperçus

Annexe B : Formulaire sur la communicabilité

Sujet n° :

Idée n° :

Selon vous, qu'elle est l'idée représentée ici (Apportez autant de détails que nécessaire) ?



Cette description correspond à votre idée d'origine :

Pas du tout
d'accord

☐☐☐☐☐☐☐☐☐

Tout à fait
d'accord

Résumé :

Ces travaux de recherche se sont intéressés à deux problématiques : (i) quelles sont les effets de notre environnement et de nos outils sur la créativité et (ii) comment nos outils influencent la compréhension de nos idées lorsque ces dernières sont conceptualisées. Nous avons répondu à ces deux problématiques à l'aide de deux études expérimentales. La première expérience a permis d'étudier l'impact de l'environnement et de la charge cognitive sur la créativité des utilisateurs. Nous avons complété notre réponse à la première problématique à l'aide d'une seconde expérimentation où nous avons confronté quatre outils, représentant un panel de solutions pouvant être utilisées dans des activités d'innovation. L'évaluation de l'expérience utilisateur nous a permis de constater des relations entre les qualités hédoniques et ergonomiques de ces différents outils et la créativité. En particulier, nous avons constaté que les qualités hédoniques des outils favorisent la divergence créative et que les qualités ergonomiques avantagent la production d'idées. Cette expérience a aussi pour objectif de répondre à notre deuxième problématique portant sur la capacité des outils à favoriser la communicabilité des idées. Nos résultats laissent apparaître que les éléments contextuels ajoutés dans l'environnement de l'idée favorisent la communicabilité. Les résultats obtenus dans nos expérimentations nous permettent de proposer un modèle permettant d'accompagner le choix de l'outil en fonction de la tâche de créativité réalisée.

Mots clés : Créativité, Expérience utilisateur, Réalité virtuelle, Interface homme-système, Innovation, Sciences cognitives

Abstract :

This research work focused on two issues : (i) what are the effects of our environment and tools on creativity and (ii) how our tools influence the understanding of our ideas when they are conceptualized. We addressed these two issues through two experimental studies. The first experiment studied the impact of the environment and the cognitive load on users' creativity. We completed our response to the first research question with a second experiment where we compared four tools, representing a panel of solutions that can be used in innovation activities. The evaluation of the user experience allowed us to observe relationships between the hedonic and ergonomic qualities of these different tools and creativity. In particular, we found that the hedonic qualities of the tools encourage creative divergence and that the ergonomic qualities favour the production of ideas. This experiment also aims to answer our second research question. Our results show that the contextual elements added in the idea's environment foster the communicability. The results obtained in our experiments allow us to propose a model to support the choice of the tool according to the creativity task carried out.

Keywords : Creativity, User Experience, Virtual reality, Human system interface, Innovation, Cognitive science