Nancy-Université
INPL

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.
Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur au même titre que sa version papier. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.
D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite entraîne une poursuite pénale.

Contact SCD INPL : scdinpl@inpl-nancy.fr

LIENS

Code de la propriété intellectuelle. Articles L 122.4
Code de la propriété intellectuelle. Articles L 335.2 – L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

NANCY UNIVERSITE-INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

ECOLE DOCTORALE RP2E (RESSOURCES, PROCEDES, PRODUIT, ENVIRONNEMENT)

EQUIPE DE RECHERCHE SUR LES PROCESSUS INNOVATIFS

La réalité virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de design

Application au programme INTERREG « Design dans la ville »

THÈSE

PRÉSENTÉE POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR
DE
L'Institut National Polytechnique de Lorraine

Spécialité : GÉNIE INDUSTRIEL,

Par

Ali KATTAN

Soutenance public le 22 Juin 2009

Jury

Simon RICHIR, Professeur, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers	Rapporteur
Abdelkhalak El Hami, Professeur, Institut National des Sciences Appliquées	Rapporteur
M. Roger CAMOUS, Professeur, Université de Montréal, Canada	Rapporteur
Samuel GOMES, Maître de Conférences, Habilitation à diriger des recherches, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard	Examinateur
Hugues BAUME, Designer, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard	Examinateur
Paul MAURAND, Architecte/Urbaniste	Invité
Patrick TRUCHOT, Professeur, Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (INPL)	Directeur de thèse
Benoît ROUSSEL, Maître de Conférences, Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (INPL)	Co-directeur de thèse

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS **8**

LISTE DES FIGURES **10**

LISTE DES TABLEAUX **12**

RESUME **13**

ABSTRACT **14**

INTRODUCTION GENERALE **15**

1. CADRE ET LIEU DE LA RECHERCHE **15**

2. CONTEXTE GENERAL DE LA RECHERCHE **16**

3. PROBLEMATIQUE ET MOTIVATION **17**

4. ORGANISATION DE THESE **20**

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL ET POSITIONNEMENT DE LA RECHERCHE **24**

1. ENVIRONNEMENT DE LA RECHERCHE **25**

1.1. LA CONCEPTION : DE L'IDEE AU PRODUIT EN PASSANT PAR LE PROCESSUS **26**

1.1.1. Le produit ***26***

1.1.1.1. Définition du produit 26

1.1.1.2. Dimensions du produit 26

1.1.1.2.1. La fonction d'échange : 27

1.1.1.2.2. La fonction d'usage : 27

1.1.1.2.3. La fonction d'estime : 28

1.1.2. Parle-t-on de conception ou de design ? ***29***

1.1.3. Le processus de conception ***30***

1.2. LES ACTEURS DE LA CONCEPTION : DU PROCESSUS CLOISONNE A L'INGENIERIE CONCOURANTE **32**

1.2.1. Les différents acteurs de la conception : Carrefour de disciplines ***32***

1.2.1.1. L'intervention du Marqueteur 33

1.2.1.2. L'intervention de l'Ingénieur-Concepteur 34

1.2.1.3. L'intervention de l'Ergonome 34

1.2.1.4. L'intervention du Designer 36

1.2.2. L'ingénierie concourante : une démarche pour faire travailler ces acteurs ensemble ***39***

1.3. OIC LES OBJETS INTERMEDIAIRES DE LA CONCEPTION **42**

1.3.1. Origine-définitions et le rôle de l'objet intermédiaire ***43***

1.3.2. Exemples de différentes formes de l'objet intermédiaire 45
1.3.2.1. Croquis ou esquisse : 46
1.3.2.2. Rough : 47
1.3.2.3. L'analyse de tendances conjointes (ATC) 47
1.3.2.4. Le mapping : 49
1.3.2.5. Les planches de catégorisation-ambiance-tendances 50
1.3.2.6. L'analyse de la valeur, l'analyse fonctionnelle et le CdCF 50
1.4. LA CHAINE NUMERIQUE DE LA CONCEPTION 51
1.4.1. Les principaux maillons de la chaîne numérique 52
1.4.1.1. La conception assistée par ordinateur (CAO) 53
1.4.1.2. La fabrication assistée par ordinateur (FAO) 54
1.4.1.2.1. La machine à commande numérique (prototypage rapide) 54
1.5. SYNTHESE DU CHAPITRE 1. 1 56
2. FOCALISATION SUR L'ACTEUR DESIGNER ET SA VISION ESTHETIQUE VERS LE PRODUIT 56
2.1. LE DESIGNER INDUSTRIEL 57
2.1.1. Les aptitudes du designer 57
2.1.1.1. Le designer est un généraliste 58
2.1.1.2. Le designer est Multi disciplinaire ou non-spécialiste : 58
2.1.1.3. Le designer est un créatif 59
2.1.2. Rôle de designer industriel 59
2.1.3. Place de designer dans le processus de conception 60
2.1.3.1. La création du produit et la communication autour d'un produit : 63
2.2. LE PRODUIT D'UN POINT DE VUE DESIGN : 64
2.2.1. Définition de l'esthétique 67
2.2.2. L'esthétique du produit : 68
2.2.2.1. Proposition d'un cadre de définition de l'esthétisme 69
2.2.3. Les facteurs esthétiques qui peuvent influencer l'adoption ou le rejet du design 71
2.2.3.1. Éléments de design 73
2.2.3.1.1. Le point et la ligne 73
2.2.3.1.2. La forme 74
2.2.3.1.3. L'espace 74
2.2.3.2. Principes de design 76
2.2.3.2.1. L'équilibre 76
2.2.3.2.2. Le rythme 76
2.2.3.2.3. La proportion 77
2.2.3.2.4. L'unité 78
2.2.3.2.5. L'ordonnancement des éléments 80
2.2.3.3. Synthèse sur les facteurs esthétiques 80

2.2.4. Problèmes d'évaluation esthétique 82
2.2.5. Des perceptions différentes pour un même produit 83
3. CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE 83
PARTIE II : PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE LA RECHERCHE 87
1. "PROBLEMATIQUE" LES OUTILS DE LA VISUALISATION EN DESIGN 87
1.1. L'OBJET DANS TOUS SES ETATS 88
1.2. LA VISUALISATION 90
1.2.1. Définition de la visualisation 90
1.2.2. À quoi sert la visualisation ? 91
1.3. LES OUTILS TRADITIONNELS DE LA VISUALISATION 93
1.3.1. Le dessin à main levée 93
1.3.2. La maquette physique 96
1.3.2.1. Les maquettes de recherche : 98
1.3.2.2. Les maquettes d'aspect 98
1.3.2.3. Les maquettes fonctionnelles 98
1.4. LES OUTILS NUMERIQUES DE LA VISUALISATION 99
1.4.1. La visualisation numérique 99
1.4.1.1. L'ordinateur et le numérique comme outil de visualisation 100
1.4.1.2. Le numérique comme instrument de conception 102
1.5. LES LIMITES LIEES AUX OUTILS DE VISUALISATION TRADITIONNELS ET NUMERIQUES UTILISES PAR LE DESIGNER AUJOURD'HUI 103
1.5.1. Limites lors de la création de l'objet 104
1.5.2. Limites lors de la communication autour de l'objet 105
1.6. ÉNONCE DE LA PROBLEMATIQUE 105
2. "HYPOTHESES" PROPOSITION D'INTEGRATION DE LA REALITE VIRTUELLE AU DESIGN 107
2.1. INTRODUCTION 107
2.2. DEFINITION DE LA REALITE VIRTUELLE 109
2.3. LES TROIS PLUS DE LA RV PAR APPORT DE LA CAO 110
2.3.1. L'immersion 112
2.3.2. L'interaction 114
2.3.3. La navigation 114
2.4. REALITE VIRTUELLE ET DESIGN 115
2.5. LES HYPOTHESES DE LA RECHERCHE 116
2.5.1. Première hypothèse : Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet. 117

2.5.2. Deuxième hypothèse : Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV. 118

PARTIE III : CADRE EXPERIMENTAL 121

1. LES METHODOLOGIES EXPERIMENTALES 122

1.1. LA METHODE EXPERIMENTALE RELATIVE A LA PREMIERE HYPOTHESE 123

1.1.1. Phase 1 : 123

1.1.2. Phase 2 : 123

1.1.3. Phase 3 : 124

1.2. LA METHODE EXPERIMENTALE RELATIVE A LA DEUXIEME HYPOTHESE 125

1.2.1. Phase 1 : 126

1.2.2. Phase 2 : 126

1.2.3. Phase 3 : 127

1.3. OUTILS DE VISUALISATION MIS EN ŒUVRE 129

1.3.1. Outils de visualisation Traditionnels (T) 129

1.3.2. Outils de visualisation Numériques (N) 129

1.3.3. Outils de visualisation Virtuelles (V) 129

1.3.3.1. Deep Exploration 129

1.3.3.2. Virtools V.3.5 130

1.3.3.3. Présentation de la plateforme de réalité virtuelle PREVERCOS 130

2. 1ERE SERIE D'EXPERIMENTATIONS POUR VALIDER HYPOTHESE 1 131

2.1. CADRE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS 131

2.2. PHASE 1 : QUESTIONNAIRE PRE-TEST 132

2.3. PHASE 2 : DEFINITION DES PROJETS DU TEST « PEDAGOGIQUE » 139

2.3.1. Expérimentation 1A 139

2.3.1.1. Appareil photo numérique pour seniors 139

2.3.1.2. Cabine olfactive pour parfumerie 139

2.3.1.3. Doudou 140

2.3.1.4. Fauteuil pour crèche 140

2.3.1.5. Borne interactive de location de vélo 141

2.3.1.6. Véhicule 3 roues: le CARVER 141

2.3.1.7. 4L New génération 142

2.3.2. Expérimentation 2A 142

2.3.2.1. Abribus 143

2.3.2.2. Mobilier petite enfance 143

2.3.2.3. Moto carrossé 144

2.3.2.4. Système domotique 144

2.3.2.5. Véhicule du futur 145
2.3.3. Expérimentation 3A 145
2.3.3.1. Canapé Convivial 145
2.3.3.2. Courses des Personnes âgées 146
2.3.3.3. Le Taille-haie électrique 146
2.3.3.4. Zone de repos du Parc 146
2.3.4. Synthèse des livrables pour toutes les séries d'expérimentation 147
2.4. PHASE 3 : ÉVALUATION DES PROJETS PAR DES EXPERTS SELON DES CRITERES ESTHETIQUES 149
2.5. CONCLUSION DE LA PREMIERE EXPERIMENTATION ET VALIDATION DE L'HYPOTHESE 1 151
3. 2EME SERIE D'EXPERIMENTATIONS POUR VALIDER L'HYPOTHESE 2 : 152
3.1. CONTEXTE GENERAL DE L'EXPERIMENTATION 152
3.1.1. Présentation du programme INTERREG 153
3.1.1.1. En quelques chiffres 153
3.1.1.2. Territoire concerné 154
3.1.1.3. Objectifs majeurs du programme INTERREG IIIA 154
3.1.1.4. Les parties participantes au programme 155
3.2. LE DEROULEMENT DU TEST COMMUNICATION ET LES RESULTATS 156
3.2.1. Phase 1 : la réalisation des projets à l'aide des outils T, N, V 157
3.2.1.1. Diversité des projets dynamiques pour le « test communication » 157
3.2.1.1.1. Projet des crèches du Pays de Montbéliard 157
3.2.1.1.2. Projet de l'aire d'autoroute d'Écot 158
3.2.1.1.3. Projet du Près la Rose 159
3.2.1.1.4. Projet de l'Île en Mouvement 160
3.2.1.1.5. Projet du banc de Taillecourt 161
3.2.1.1.6. Planning mis au point pour la réalisation et l'organisation des projets 162
3.2.2. Phase 2 : L'évaluation par les intervenants des projets 163
3.2.3. Phase 3 : L'analyse des résultats des projets INTERREG 165
3.3. CONCLUSION DE LA DEUXIEME EXPERIMENTATION ET VALIDATION DE L'HYPOTHESE 2 174
4. SYNTHESE GENERALE DES EXPERIMENTATIONS 175
APPORTS ET LIMITES DES TRAVAUX DE THESE : 176
5. APPORTS : 176
6. LES DIFFICULTES RENCONTREES 178
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE 180
7. CONCLUSION GENERALE 180
8. PERSPECTIVES DE RECHERCHE 182

RÉFÉRENCES **185**

ANNEXES **198**

1. QUESTIONNAIRE PRE-TEST **199**

2. QUESTIONNAIRE D'EVALUATION ESTHETIQUE « 1ERE SERIE D'EXPERIMENTATIONS **202**

3. QUESTIONNAIRE DE COMMUNICATION « 2EME SERIE D'EXPERIMENTATIONS **205**

4. RESULTATS DETAILLES DES CRITERES DE COMMUNICATION **211**

LEXIQUE DES ABREVIATIONS **212**

REMERCIEMENTS

Sans l'aide et le soutien de différentes personnes et organismes, ce travail n'aurait pu être réalisé. En premier lieu, le financement du gouvernement Syrien, a rendu possible notre séjour en France ainsi que le financement de mes études.

Je tiens particulièrement à remercier mon directeur de thèse M. Patrick TRUCHOT, Vice-président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, professeur à l'ERPI, pour m'avoir fait confiance depuis mon DEA, pour ses encouragements et de son soutien tout au long de ce travail.

Je remercie également M. Benoît ROUSSEL, Maître de Conférences à l'ERPI, et co-directeur de cette thèse, pour ses conseils et sa lecture minutieuse de ce document. De ta disponibilité, de ta motivation et d'avoir toujours été là, lors des moments inoubliables. Merci beaucoup, pour tout (mais, toucher pas mon scooter à Bitche!)

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à M. Simon RICHIR, Professeur de l'ENSAM (Paris), M. Abdelkhalak El Hami, Professeur de l'INSA (Rouen) et à M. Roger CAMOUS, Professeur de l'université de Montréal (Canada), de m'avoir fait l'honneur d'être rapporteurs de ma thèse. Je vous remercie pour l'intérêt que vous avez montré pour mon travail et pour vos nombreux commentaires.

Je voudrais remercier aussi les membres du jury M. Samuel GOMES, Maître de Conférences, Habilitation à diriger des recherches de l'UTBM, M. Hugues BAUME, Designer de l'UTBM et Paul MAURAND, Architecte/Urbaniste pour avoir accepté examiner de ces travaux.

J'exprime ma reconnaissance à M. Pascal Lhoste, professeur et directeur du laboratoire ERPI pour la confiance qu'il m'a accordée et les bonnes conditions de travail au labo.

Merci également à Jean-Claude Sagot, Professeur et responsable du département Ergonomie-Design et Ingénierie Mécanique de l'UTBM, qui m'a accueilli au sein de son équipe ERCOS. Pour la confiance que vous m'avez confié d'être membre-designer dans le cadre du programme INTERREG.

Mes remerciements s'adressent aussi à M. Garret d'Alstom, M. Boulin de General Motors, M.Solignat et M. Maurand d'avoir accepter participer au test industriel.

Je tiens ici à témoigner ma gratitude à l'ensemble des membres (passés et présents) de l'équipe ERPI et ERCOS : Je remercie tout particulièrement l'équipe de designers (Hugues, Marjorie, Thierry, Liesbet), Morad, Florence, Sébastien, Cyril pour votre aide et pour le temps que vous avez consacré pour l'évaluation des projets. Toute ma reconnaissance à Lucien Seichepine, c'est grâce à l'ensemble de tes « scripts » et des applications développées sur la plateforme PREVERCOS, que nous avons concrétisé certains de mes rêves.

Je tiens à témoigner ma reconnaissance toute particulière à Helmi (merci d'avoir m'aider à déchiffrer les tableaux Excel), merci à Nadine d'avoir me supporter pendant un long temps dans le même bureau. Mais aussi, à Riad, Evaristo, Guillaume, Hicham, Negar, Laurent, Wassim et Farah.

Je remercie vivement les groupes de projets FQ59, MN53 et FQ53 de l'UTBM de l'année 2006-2007 et 2007-2008 dont le travail et la collaboration ont permis la réalisation des expérimentations de ce travail de recherche.

Mes profonds remerciements vont à ma famille. Ma réussite est la votre. Merci à toi maman pour tes invocations et tes prières. Merci à toi papa pour tes conseils, à Dalal, Malaz, Anas, Houssam, Fatima et Rahaf.

Je m'excuse pour ceux que j'ai sans doute oubliés.

Enfin, à toi « Alloopi » Aya, merci … pour ta patience et ta compréhension à mon égard. Merci d'avoir toujours été là pour moi. En espérant que je pourrais l'être pour toi, pour « LoOli » Lujayn et « MimOo-abo el 3ezz » Yamen durant les heureux moments qui nous attendent.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : SCHEMA DE LA PREMIERE PARTIE « *L'ENVIRONNEMENT DE LA RECHERCHE* ». 25
FIGURE 2 : LES TROIS FONCTIONS PRINCIPALES DE LA CONCEPTION DE PRODUIT, D'APRES [LORENZ, '90; ULRICH, '00] 27
FIGURE 3 : LE PROCESSUS DE DESIGN SELON MARKUS [MARKUS, '69]. 31
FIGURE 4 : PROCESSUS DE CONCEPTION ITERATIF [AOUSSAT *ET AL.*, '00] 32
FIGURE 5 : CONCEPTION DE PRODUITS – CARREFOUR DE DISCIPLINES [AOUSSAT *ET AL.*, '98] 33
FIGURE 6 : ÉVOLUTION DES METIERS EN CONCEPTION SELON [MANTELET, '06]. 41
FIGURE 7 : REPARTITION DU TEMPS LORS DE LA CONCEPTION [CHARRON *ET AL.*, '98]. 41
FIGURE 8 : EXEMPLE DES MODES DE REPRESENTATION ET IMPLICATION DU DESIGNER, DE L'ATC ET DE LA CREATIVITE COLLECTIVE SELON [STOELTZLEN, '04]. 48
FIGURE 9 : EXEMPLE DE MAPPINGS SUR L'OFFRE EXISTANTE DANS LE SECTEUR DE CONCEPT-CARS DES ANNEES 2003, 2004 ET 2005 REALISE PAR R. KHOUDEIR [KHOUDEIR, '07]. 49
FIGURE 10 : EXEMPLE D'INTERFACE D'UN LOGICIEL CAO CATIA V5 DE DASSAULT SYSTEMES. 53
FIGURE 11 : MACHINE OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE « PROTOTYPAGE RAPIDE » CRE@CTION 55
FIGURE 12 : DES APTITUDES DU DESIGNER INSPIRES DU MODELE DE SCHULMANN [SCHULMANN, '95] 58
FIGURE 13 : PLACE DU DESIGNER DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION. 60
FIGURE 14 : PROPOSITION DE METHODE DE DESIGN COLLABORATIVE INTEGRANTE LE DESIGNER. 62
FIGURE 15 : LA CREATION ET LA COMMUNICATION DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION. 64
FIGURE 16 : LES COMPOSANTES DU PRODUIT SELON [QUARANTE, D '01] 67
FIGURE 17 : COMPOSITIONS ESTHETIQUES DU PRODUIT. 72
FIGURE 18 : LE MODELE HIERARCHIQUE A CYLINDRES D'UN CORPS HUMAIN PROPOSE PAR MARR ET NISHIHARA [MARR *ET AL.*, '77] 79
FIGURE 19 : VARIATION DE LA PERCEPTION DU PRODUIT SELON LES ACTEURS DE CONCEPTION. 83
FIGURE 20 : SCHEMA DE SYNTHESE DE LA PREMIERE DE NOTRE RECHERCHE. 84
FIGURE 21 : TRANSFORMATION DE L'OBJET DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION 89
FIGURE 22 : REPARTITIONS DES COUTS DIRECTS ET INDIRECTS AU COURS DE LA CONCEPTION D'UN PRODUIT [GRENIER, '89]. 89
FIGURE 23 : DU REEL AU VIRTUEL : UN CONTINUUM [GERBER, '04]. 109
FIGURE 24 : LES TROIS FONCTIONS PRINCIPALES DE LA RV 111
FIGURE 25 : EXEMPLE DE SYSTEMES D'IMMERSION : A GAUCHE UNE VISIOCASQUE, A DROIT CAVE™ DE PSA PEUGEOT CITROËN. 113
FIGURE 26 : EXEMPLE DE GANT DE DONNEES CYBERGLOVE®. 114
FIGURE 27 : SCHEMATISATION DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES DE RECHERCHE. 117
FIGURE 28 : METHODOLOGIE EXPERIMENTALE RELATIVE A LA PREMIERE HYPOTHESE. 125
FIGURE 29 METHODE EXPERIMENTALE RELATIVE A LA DEUXIEME HYPOTHESE. 128
FIGURE 30 PLATE-FORME DE REALITE VIRTUELLE PREVERCOS DU SET ERCOS DE L'UTBM QUE NOUS AVONS MISE EN ŒUVRE DANS LE CADRE DE NOTRE RECHERCHE 131

FIGURE 31 : L'INFLUENCE DE L'OUTIL SUR LE PROJET 134
FIGURE 32 : CAPACITE DE L'OUTIL A REALISER LES CONCEPTS 134
FIGURE 33 : L'UTILISATION DU CROQUIS AVANT DE LA CAO 135
FIGURE 34 : L'UTILISATION DE L'OUTIL LORS DE CREATION DE PROJET 136
FIGURE 35 : L'UTILISATION DE L'OUTIL LORS DE COMMUNICATION DE PROJET 136
FIGURE 36 : DEGRE D'EXPERIENCE DES PARTICIPANTS 137
FIGURE 37 : TEMPS DE REALISATION ESTIME SUR L'OUTIL DE VISUALISATION 137
FIGURE 38 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : APPAREIL PHOTO NUMERIQUE POUR SENIORS 139
FIGURE 39 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : CABINE OLFACTIVE POUR PARFUMERIE 140
FIGURE 40 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : DOUDOU 140
FIGURE 41 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : FAUTEUIL POUR CRECHE 141
FIGURE 42 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : BORNE INTERACTIVE DE LOCATION DE VELO 141
FIGURE 43 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : VEHICULE 3 ROUES: LE CARVER 142
FIGURE 44 : EXEMPLES DE PROJET FQ59 : 4L NEW GENERATION 142
FIGURE 45 : EXEMPLES DE PROJET MN53 : ABRIBUS 143
FIGURE 46 : EXEMPLES DE PROJET MN53 : MOBILIER PETITE ENFANCE 143
FIGURE 47 : EXEMPLES DE PROJET MN53 : MOTO CARROSSE 144
FIGURE 48 : EXEMPLES DE PROJET MN53 : SYSTEME DOMOTIQUE 144
FIGURE 49 : EXEMPLES DE PROJET MN53 : VEHICULE DU FUTUR 145
FIGURE 50 : EXEMPLES DE PROJET FQ53 : CANAPE CONVIVIAL 145
FIGURE 51 : EXEMPLES DE PROJET FQ53 : COURSES DES PERSONNES AGEES 146
FIGURE 52 : EXEMPLES DE PROJET FQ53 : LE TAILLE-HAIE ELECTRIQUE 146
FIGURE 53 : EXEMPLES DE PROJET FQ53 : ZONE DE REPOS DU PARC 147
FIGURE 54 : VARIATION DES NOTES MOYENNES EN FONCTION DES FACTEURS ESTHETIQUES POUR LES DIFFERENTS OUTILS 150
FIGURE 55 : COMPARAISON DES PERFORMANCES GLOBALES DES OUTILS 152
FIGURE 56 : TERRITOIRES CONCERNES PAR L'ACTION INTERREG IIIA 154
FIGURE 57 : LES PARTICIPANTS AU PROGRAMME INTERREG IIIA. 156
FIGURE 58 : CRECHES DU CCAS, A GAUCHE "LES VIRELITOUS" A DROITE "LES PETITS MOUSSES" 158
FIGURE 59 : PHOTO ET PLAN DE L'AIRE D'ÉCOT (ZONE D'ETUDE) 159
FIGURE 60 : PLAN GENERAL DU PARC PRES LA ROSE 159
FIGURE 61 : ZONE D'INTERVENTION DEVANT LE PAVILLON DES SCIENCES 160
FIGURE 62 : PLAN MASSE PROJET « ÎLE EN MOUVEMENT » 161
FIGURE 63 : EXEMPLE DU PLANNING MIS EN PLACE 163
FIGURE 64 : DEROULEMENT D'EVALUATION DE PROJETS INTERREG « TEST COMMUNICATION » 164
FIGURE 65 : SCORES POSITIFS ET NEGATIFS SUR L'IDENTIFICATION DE L'OBJET 165
FIGURE 66 : POURCENTAGE DES EVALUATEURS AYANT PU IDENTIFIER LA DIMENSION DE L'OBJET 166

FIGURE 67 : TAUX DE FIDELITE PAR RAPPORT A LA DIMENSION VOULUE DES REPONSES DES EVALUATEURS POUR CHAQUE OUTIL 167
FIGURE 68 : POURCENTAGE DES EVALUATIONS POSITIVES ET NEGATIVES SUR L'ASPECT MATERIAU 168
FIGURE 69 : TAUX DE RECONNAISSANCE DU MATERIAU ET DE LA COULEUR 168
FIGURE 70 : NIVEAUX DE REALISME DES RESULTATS DES PROJETS SUR LES OUTILS 169
FIGURE 71 : NIVEAUX DE COMPREHENSION DE L'OBJET 170
FIGURE 72 : POURCENTAGES DES NOTES TRADUISANT UNE ASSEZ BONNE PERCEPTION DES HUIT CRITERES 171
FIGURE 73 : RELATION ENTRE L'OUTIL ET LE DEGRE D'APPRECIATION DU PRODUIT 173
FIGURE 74 : PROPOSITION DE METHODE DE DESIGN COLLABORATIVE INTEGRANT LE DESIGNER. 176
FIGURE 75 : COMPOSITIONS ESTHETIQUES DU PRODUIT 177
FIGURE 76 : MODELE DESIGN ASSISTE PAR REALITE VIRTUELLE (DRV) PRESENTANT L'ENSEMBLE DES ACTIVITES DE DESIGN EN RV. 183

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : SYNTHESE DES CODES D'EXPERIMENTATIONS RELATIVES A LA PREMIERE HYPOTHESE, LEUR UV CORRESPONDANT ET LES OUTILS UTILISE 124
TABLEAU 2 : SYNTHESE DES CODES DES PROJETS RELATIFS A LA DEUXIEME HYPOTHESE 126
TABLEAU 3 : LES CRITERES PERÇUS A TRAVERS CHAQUE OUTIL 127
TABLEAU 4 : LES OUTILS UTILISES LORS DE TROIS EXPERIMENTATIONS 132
TABLEAU 5 : STATISTIQUE SUR LES ETUDIANTS PARTICIPANTS 132
TABLEAU 6 : DEGRE DE L'EXPERTISE DES ETUDIANTS 133
TABLEAU 7 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DE LA 1ERE PHASE 138
TABLEAU 8 : SYNTHESE DES TROIS EXPERIMENTATIONS ET LES PROJETS REALISES 148
TABLEAU 9 : MOYENNES DES NOTES ATTRIBUEES PAR LES EXPERTS 149
TABLEAU 10 : OUTILS UTILISES LORS DE REALISATION DES PROJETS INTERREG 157
TABLEAU 11 : VARIATION DE L'ESTIMATION DU PRIX PAR PROJET SELON LES OUTILS 169

RESUME

Notre recherche s'inscrit dans le domaine du génie industriel et se positionne plus précisément dans le design. L'objet général de cette thèse est d'intégrer la Réalité Virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de conception des produits nouveaux, afin d'améliorer la boîte à outils du designer, de le comparer et d'analyser son influence par rapport aux outils de représentation Traditionnels (T) et Numériques (N), d'aide à la création et à la communication des idées utilisés en Design. Pour les outils T et N, nous analyserons plus particulièrement le dessin, la maquette physique et les logiciels de Conception Assisté par Ordinateur (CAO).

Notre but est de proposer une méthode destinée à aider plus particulièrement deux acteurs de la conception (le designer et l'architecte) à mieux choisir leur outil de représentation durant le processus de design. Nous montrerons l'utilité d'intégrer la Réalité Virtuelle RV comme une nouvelle technologie à leur démarche de travail.

Ce travail est le résultat d'une recherche qui s'est déroulée au sein de l'Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI) de l'École Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels ENSGSI de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL). Une approche expérimentale basée sur deux cas (un pédagogique et un autre industriel), réalisée en collaboration avec l'Équipe ERCOS Ergonomie et Conception de Systèmes du Laboratoire Systèmes et Transports SET de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard UTBM. Les expérimentations menées nous permettent ainsi de dégager les rapports de la RV dans le processus de design. Ainsi, de montrer :

- une influence positive de la RV sur l'évaluation esthétique (selon la vision du designer) et technique (selon la vision des acteurs de la conception) du produit nouveau.
- une meilleure compréhension de l'objet par les intervenants spécialistes (industriels, décideurs..) et les non-spécialistes (utilisateurs, consommateurs..).

Notre recherche ouvre des perspectives pour élargir l'application de la RV dans d'autres projets et d'améliorer l'outil à travers de la naissance d'une série d'applications réservées au designer.

ABSTRACT

Our research is in the field of industrial engineering and it is positioned specifically in the design. The general purpose of this thesis is to integrate the immersive Virtual Reality as a tool of representation in the process of new products design to enhance the toolkit of the designer, to compare and analyze its influence by providing the tools of traditional (T) and digital (N) and to support the creation and communication of ideas used in Design. For these tools of T and N, we will analyze in particular drawing, mock-up and software for computer aided design (CAD).

Our goal is to propose a method to help especially the two actors of design (the designer and the architect) to choose the best tool for representation during the design process. We show the usefulness of integrating Virtual Reality VR technology as a new approach to their work.

This work is the result of research that took place within the research team on the innovative process (ERPI) from the Superior National School in Engineering of the Industrial Systems (ENSGSI) of the National Institute Polytechnic of Lorraine (INPL). An experimental approach based on two cases (educational and industrial), produced in collaboration with the team Ergonomics and System Design ERCOS of the Systems and Transport Laboratory (SeT) in the University of Technology of Belfort-Montbéliard UTBM. The experiments conducted allow us to identify the relationship of VR in the design process. Thus, to show:

- A positive influence of VR on the aesthetic evaluation (according to the vision of the designer) and technology (according to the vision of those involved in design) of new product.
- A better understanding of the subject specialists by stakeholders (industry, policy makers ...), non-experts (users, consumers ...).

Our research offers a potential to broaden the application of VR in other projects and improve the tool through the birth of a number of applications available to the designer.

INTRODUCTION GENERALE

Cette partie propose d'introduire nos travaux de thèse. Ces travaux ont été menés au sien de l'Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI) de l'Institut National Polytechnique de Lorraine INPL en collaboration avec l'Équipe ERgonomie et COnception de Systèmes (ERCOS) du laboratoire Systèmes Et Transports SET de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard UTBM.

Nous présentons, tout d'abord, l'environnement dans lequel se déroule notre recherche, en focalisant la lumière sur l'évolution de la communauté de conception, et comment elle a été influencée à travers le temps par l'apparition des nouvelles technologies. Puis, nous nous concentrons sur un des acteurs de la conception, le designer industriel, puis le produit du point de vu design. Nous montrerons que ce contexte pousse la société industrielle à replacer la variété de l'offre et de l'esthétisme au centre de sa préoccupation. Ensuite, nous traiterons les modes de représentations utilisés par le designer pour concevoir et communiquer le produit. C'est là où réside notre problématique de recherche. Cependant, nous constaterons que les outils de représentations utilisés par le designer aujourd'hui sont modestes pour répondre aux contraintes du métier.

Partant de ce constat, nous proposons de décrire le plan de notre mémoire de thèse qui a pour objectif l'élaboration d'une méthodologie intégrant la réalité virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de design.

1.CADRE ET LIEU DE LA RECHERCHE

Notre recherche s'inscrit dans le domaine du génie industriel et se focalise plus particulièrement sur les outils de visualisation intermédiaires utilisés dans la conception de produits nouveaux. Cette thèse a pour titre : *« La réalité virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de design Application au programme INTERREG »*.

L'objet général de cette thèse est d'intégrer la Réalité Virtuelle immersive RV comme un nouvel outil de visualisation dans le processus de design afin d'améliorer la « boîte à outils » du designer et d'analyser son influence par rapport aux outils Traditionnels T et Numériques

N de visualisation et d'aide à la création et à la communication des idées et des concepts utilisées en design.

Né de précédentes recherches [Kattan, '04] effectuées sur *« l'intérêt d'intégration de la réalité virtuelle dans le processus de conception industrielle et architecturale »* dans le cadre d'un DEA en sciences de l'innovation au sein de l'Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs ERPI de l'Institut National Polytechnique de Lorraine INPL, ce travail de doctorat est le résultat d'une recherche qui s'est déroulée au sein de l'ERPI en collaboration avec l'Équipe ERgonomie et COnception de Systèmes du laboratoire Systèmes (ERCOS) et Transports SeT de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard UTBM. Ainsi, les expérimentations se sont déroulées avec ERCOS durant la réalisation de projets industriels dans le cadre de programme INTERREG[1] et avec la formation des futurs ingénieurs-designers de l'UTBM durant les projets pédagogiques dans le cadre des Unités de Valeurs UV.

2.CONTEXTE GENERAL DE LA RECHERCHE

Dans un environnement actuellement à forte concurrence, le designer se doit d'innover et de proposer le meilleur concept qui correspond aux besoins réels et aux exigences des utilisateurs tout en respectant les facteurs fonctionnels, esthétiques, culturels, historiques et sociaux. L'appréciation de ces facteurs peut se faire sur des représentations du produit.

Il est important de signaler que dans notre travail le terme « designer » signifie autant le designer industriel que l'architecte intérieur/extérieur/urbaniste ; de même, le terme « objet » indique à la fois l'objet industriel et/ou architectural qu'elle soit par exemple : une brosse à dents, une voiture, ou un bâtiment...etc.

En accord avec Simon[Simon, '69] nous donnons une place déterminante à la représentation. Les représentations créées lors des différentes phases de processus de conception constituent une trace de l'évolution des idées. Juffe [Juffe, '00] souligne qu'on ne peut pas communiquer

[1] INTERREG III **Ergonomie et Design dans la Ville pour un espace de vie pour tous'** C'est un Programme franco-Suisse qui a pour objectif de renforcer la cohésion économique et sociale au sein de l'Union Européenne. L'UTBM amène ses compétences dans : l'ingénierie mécanique, l'ergonomie de conception, les méthodes et outils XAO. La HE-ARC suisse garantit : L'innovation, du Design, de la qualité des produits (Ce projet sera développé dans la partie 2ème série d'Expérimentations « industriels ».

si on ne dispose pas de techniques de communication, et [Akin, '86] ajoute que la représentation est la première composante nécessaire aux tâches de conception pour l'acquisition des connaissances.

Réaliser ces tâches revient à visualiser le futur projet à partir d'un modèle CAO très précis. Mais, il existe selon Dorta certaines incohérences en relation avec l'échelle de l'observateur et l'interface de visualisation [Dorta, '01]. Ou bien, d'évaluer le projet réellement sur une maquette physique, ce dernier processus étant figé, cher, répétitif et non modifiable. Dans tous les deux cas, le designer est un spectateur et la communication entre les parties impliquées est difficile [Kattan *et al.*, '06].

Pour y remédier, nous proposons un troisième choix : intégrer la Réalité Virtuelle (RV) dans le processus de conception de produits nouveaux. Notre objectif est d'appliquer la RV dans le domaine du design pour favoriser la collaboration entre le designer, les acteurs du métier et l'utilisateur du futur produit, ce qui améliorera la communication et favorisera le travail coopératif.

3.PROBLEMATIQUE ET MOTIVATION

Notre étude part de la problématique des outils de représentation du designer pour bien visualiser et représenter le projet dans les phases initiales du processus de design. Aujourd'hui il a à disposition des outils traditionnels, tels que : dessin, croquis, et maquette physique. Et des outils numériques issus de la Conception Assistée par Ordinateur. En effet, l'étude bibliographique et la pratique du métier nous amène à constater que ces outils T et N présentent des limites selon deux niveaux :

- Lors de la création et de l'évaluation esthétique de l'objet par le designer,
- Lors de la communication de l'objet représenté entre le designer et les autres.

Ceci nous a permis de formuler notre problématique de recherche :

> *«Le designer peut-il considérer la réalité virtuelle comme une technique de visualisation possédant ces critères de création et de communication pour le futur produit ? Et que peut-elle apporter au métier de design ? »*

En considération de ces limites, nous positionnons notre recherche et nous définissons nos hypothèses de recherche de la manière suivante :

H1 : « Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet. »

H2 : Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV.

L'objet général de cette thèse est donc d'intégrer la Réalité Virtuelle immersive RV comme outil de visualisation dans le processus de design afin d'améliorer la boîte à outils du designer et d'analyser son influence par rapport aux outils de représentation Traditionnels et Numériques d'aide à la création et à la communication des idées utilisées en design.

En effet, nous montrerons que la RV, utilisée comme outil de visualisation, contourne plusieurs difficultés rencontrées avec les outils T et N pour la représentation de l'objet. De même, nous montrerons que les environnements de la RV facilitent l'évaluation et la compréhension de l'objet (virtuel) par rapport à l'utilisation d'une représentation T et N. L'analyse de cette influence est limitée à la fois à l'observation de la RV seulement comme outil de visualisation immersive par rapport aux outils actuellement utilisés en design, et à sa comparaison avec le dessin fait à la main libre et la maquette physique comme outils T et les logiciels de CAO et de modélisation 3Dimensions (3D studio MAX v8 et CATIA v5 R17) comme outils N.

Dans ce travail, le processus de design est observé lorsqu'il est appliqué à deux disciplines : le design industriel et l'architecture urbaine. Le choix de ces deux disciplines tient de la pertinence du problème de l'échelle du projet. Malgré l'impact que peut éventuellement avoir l'usage de la RV sur ces deux disciplines, c'est en architecture urbaine que la RV paraît plus essentielle, vu l'échelle du projet et l'impossibilité de le visualiser physiquement avant sa construction.

Malgré la pluridisciplinarité des questions que nous avons utilisées lors de nos expérimentations, nous nous sommes concentrés sur l'aspect esthétique du produit dans le processus de design en laissant l'aspect fonctionnel, ergonomique et culturel à d'autres recherches en cours ou déjà faites dans nos laboratoires.

Cette recherche est de type exploratoire. Vu la difficulté d'évaluer l'aspect esthétique dans le processus de design, nous avons construit une méthodologie de recherche exploratoire afin d'évaluer les résultats du processus par des critères de design appartenant aux éléments et principes de design (forme, couleur, proportion…). Une analyse statistique a suivi pour mieux illustrer les différences des résultats.

Nos deux expérimentations se sont déroulées dans les locaux de l'ERCOS. Nous avons effectué la première expérimentation à partir de cas industriel réalisé sur plusieurs projets dans le cadre de programme INTERREG entre septembre 2006 et avril 2008. La deuxième expérimentation a été effectuée dans le cadre de trois expériences pédagogiques pendant les sessions d'hiver et de printemps 2007. Elles ont été réalisées à l'intérieur des UV : FQ59, MN53 et FQ53 de quatrième et cinquième années en conception mécanique[2]. Deux types de protocoles ont été suivis dans cette recherche. D'une part, les résultats et les représentations des projets INTERREG réalisés par des experts en design et par des étudiants ont été évalués par des industriels, décideurs et futurs utilisateurs. Les projets et les représentations de design industriel réalisés par les étudiants ont été évalués par des experts selon des critères esthétiques de design imposés par nous.

Ces résultats ont donné quelques réflexions pour des travaux futurs, « dessin assisté par réalité virtuelle » un modeleur 3D est proposé comme exemple du développement d'outils de création et de représentation sur la plate-forme tenant compte des connaissances apportées dans cette thèse.

[2] Les UV et les projets seront présentés dans la 1ère série d'expérimentation (Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

4.ORGANISATION DE THESE

Dans ce paragraphe nous présentons le plan de notre mémoire de thèse à travers la description des cinq prochaines parties qui composent ce mémoire.

La première partie intitulée **« Contexte général et positionnement de la recherche »** nous amènera à exposer l'environnement de notre recherche. Pour ce faire, nous ferons un bref survol historique du processus de conception de produits et des approches d'intégration les acteurs des métiers en conception. Ceci nous conduira à présenter les objets intermédiaires et la chaîne numérique de la conception puis à conclure que la communauté de la conception de produits nouveaux a vécue de nombres de mouvements : processus, métiers, technologie. Ensuite nous nous concentrons sur un des acteurs de conception qui est le « designer » et nous présentons son métier. Nous évoquerons également les manques liés à l'intégration du designer dans processus de conception. L'objectif ici est de montrer l'importance du métier du designer et ses spécificités et de pouvoir le placer face aux différents courants de conception.

Durant **la deuxième partie « Problématique et hypothèses de la recherche »**, nous nous attacherons à développer les éléments clés qui aboutiront à la formulation de la problématique et des hypothèses de résolution. Pour y parvenir, nous focaliserons dans un premier temps nos analyses sur les outils de visualisation utilisés "actuellement" par le designer lors de conception d'un produit nouveau. Nous avons regroupés ces outils en deux catégories : outils traditionnels et outils numériques. Ensuite, nous proposerons d'introduire une troisième génération de ces modes de visualisation qui est « la réalité virtuelle », très peu utilisée dans le milieu du design. Pour décrire ces différents modes de représentation, nous présenterons un courant de recherche lié à chacun d'eux. L'analyse bibliographique, nos expériences industrielles et pédagogiques nous permettront d'en dégager des manques et nous conduiront à énoncer la problématique et les hypothèses suivantes :

Problématique : «Le designer peut-il considérer la réalité virtuelle comme une technique de visualisation possédant ces critères de création et de communication pour le futur produit ? Et que peut-elle apporter au métier de design ? »

H1 : « Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet. »

H2 : Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV.

L**a troisième partie** de notre document sera l'objet de nos deux séries d'expérimentations. La première dans un cas pédagogique, de laquelle nous avons évalué l'état initial de l'outil de visualisation ainsi des participants au test. Ensuite, nous avons suivi la réalisation des projets d'étudiants et observé le comportement des projets. Enfin, nous avons tiré les éléments nécessaires afin de les évaluer par une équipe d'experts pour valider notre première hypothèse.

La seconde série industrielle a été réalisé dans le cadre du programme européen « INTERREG », où nous avons participé à la réalisation des projets réels pour mettre en application notre deuxième hypothèse de recherche. Ce choix de prendre une part active nous parait nécessaire au bon déroulement de nos travaux, à la fois pour intégrer au mieux notre démarche et pour appréhender au mieux l'impact de celle-ci.

La quatrième partie expose la contribution finale de nos travaux de thèse. Pour cela, nous présentons la méthodologie «Design assisté par Réalité Virtuelle» (D.R.V) qui a pour but d'intégrer de manière structurée la réalité virtuelle immersive au processus de design. Nous proposons notamment la définition de deux activités de conception (la création et la communication) à l'aide des outils de visualisation y compris D.R.V. ainsi de leurs applications lors de chaque étape du processus de conception (dès le première trait jusqu'à l'obtention d'un prototype validé). Pour mener à bien ces deux activités de conception et de communication du produit futur, nous avons notamment développé des outils d'évaluation qui permettent à la fois, d'aider le designer dans sa tâche d'évaluation esthétique et d'aider les

acteurs (ingénieurs, ergonomes…)et les interlocuteurs (décideurs, utilisateurs…) de la conception à interagir et évaluer le produit selon leur zone d'intervention.

La dernière partie permet de discuter, de conclure des travaux de thèses présentés et de tracer les perspectives de recherche qui en découlent.

PARTIE I :

CONTEXTE GENERAL ET POSITIONNEMENT DE LA RECHERCHE

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL ET POSITIONNEMENT DE LA RECHERCHE

Nous proposons dans cette partie de définir l'environnement de nos travaux de recherche, Cette première partie se décompose comme suit :

Chapitre 1 **Environnement de la recherche :** Dans ce chapitre nous aborderons l'évolution de la communauté de conception au cours du temps, de la naissance des métiers de conception jusqu'à nos jours, où la technologie a commencée à prendre sa place dans ce milieu. Pour définir les axes principaux de ces travaux, et le contexte général de cette étude, nous ferons une revue de la littérature sur les antécédents du produit ; le processus de conception ; les acteurs et les métiers de conception ; les objets intermédiaires et la chaîne numérique de conception.

Chapitre 2 **Focalisation sur l'acteur designer et sa vision esthétique vers le produit :** Ce chapitre a pour objet de focaliser particulièrement sur l'acteur « designer ». Nous évoquons les manques méthodologiques liés à l'intégration du designer au processus de conception. Nous poursuivrons ensuite par la mise en évidence du rôle du designer et proposerons un modèle intégrant le designer dans un processus de conception collaboratif. Nous terminerons ce chapitre par une analyse détaillée sur le produit d'un point du vue design, ses critères, ses caractéristiques et les problèmes liées à l'évaluation esthétique.

Chapitre 3 **Conclusion de la première partie.**

La Figure 1 synthétise les différents éléments que nous allons aborder dans cette partie.

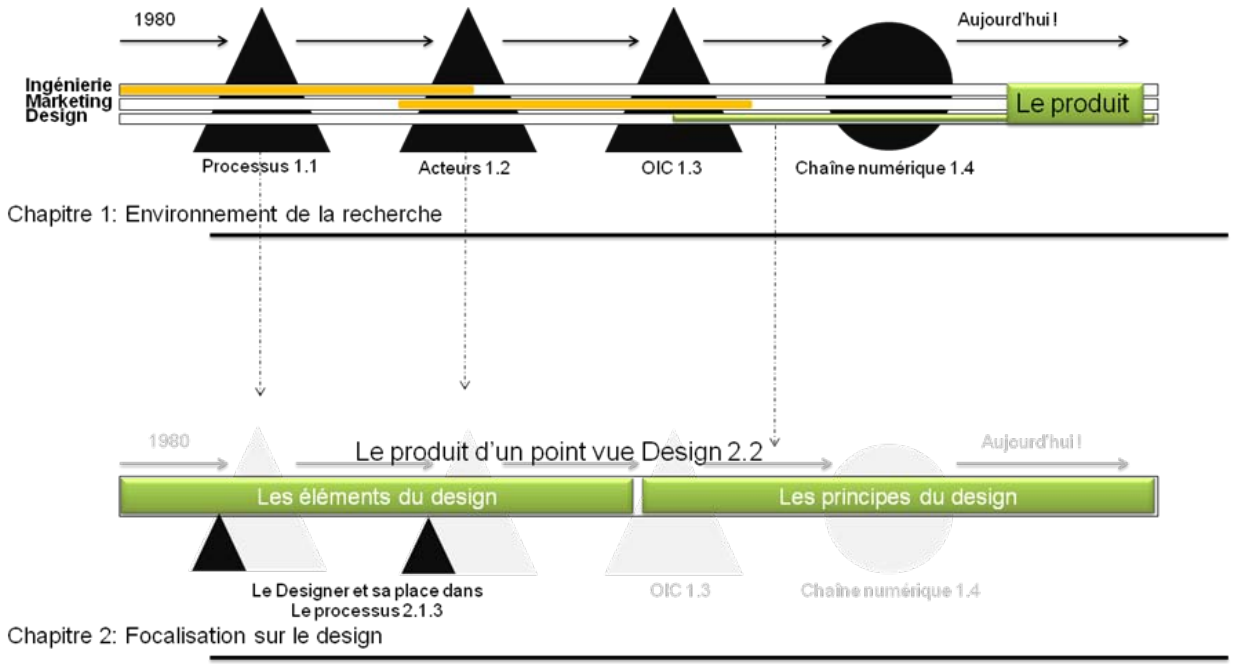


Figure 1 : Schéma de la première partie « *l'environnement de la recherche* ».

1.ENVIRONNEMENT DE LA RECHERCHE

En faisant une analyse synthétique de l'histoire de la communauté de la conception, nous observons un certain nombre de mouvements évolutifs (processus, acteurs, OIC et chaîne numérique). Ces derniers sont, d'une part le résultat d'une évolution selon les changements de paradigmes sur la façon de concevoir un produit nouveau, et d'une autre part, qu'ils font actuellement face à des nouvelles technologies pour concevoir ce produit.

Afin d'étudier l'environnement de notre recherche, nous présentons dans le chapitre :

1.1 Le processus de conception de produits nouveaux.

1.2 Les acteurs de la conception.

1.3 Les objets intermédiaires de la conception.

1.4 La chaîne numérique de la conception.

1.5 Synthèse.

1.1. La conception : de l'idée au produit en passant par le processus

1.1.1. Le produit

Le produit est au centre de la conception. Il construit l'image de marque de l'entreprise, il est au centre de toutes les préoccupations de l'entreprise. Avant d'être réalisable, il doit être pensé, projeté, maquetté. Son évolution rythme la conception, elle détermine son succès ou son échec. Dans notre recherche, tous les objets sont classés comme produits destinés aux utilisateurs : produits électroménagers, produits mobiliers ou tous genres d'équipements. On estime que le « produit » recouvre tous les biens, qu'il soit une brosse à dent, une chaise, une voiture, aménagement d'un parc ou un immeuble. Ils visent à satisfaire des besoins et améliorer la vie quotidienne de l'individu.

1.1.1.1. Définition du produit

Le produit est défini selon l'office de la langue française comme un « *Bien fabriqué par l'entreprise ; résultat d'une activité créatrice s'exerçant sur les matières. Ce résultat ne devient un produit que s'il répond à un besoin, ce qui le rend susceptible d'être vendu sous un nom qu'en individualise l'état et parfois même la qualité* ».

Il contient selon Gerhald une notion de transformation de l'abstrait au concret[Gerhald *et al.*, '88], d'une idée (neuve) à un produit (vendable) [Maître *et al.*, '92], d'un problème à une solution, du fonctionnel au structurel. Le produit va consister plus précisément en l'élaboration des quatre aspects liés entre eux : l'aspect fonctionnel [Chedmail *et al.*, '02], l'aspect esthétique [Mu, '92] [Kattan *et al*,, '06] et socioculturel [Ramzi, '03], et l'aspect économique de la réalisation [Vitrac, J P, '84; Maurel, '92; Vitrac, Jean-Pierre *et al.*, '93].

1.1.1.2. Dimensions du produit

A partir d'une analyse de différentes méthodes de conception de produit [Simon, '69], [Gerhald *et al*,, '88], [Lemoigne *et al.*, '92], [Hubka, Vladimir *et al.*, '96], [Duchamp, '88; Duchamp, '99], [Ulrich, '00], et à partir d'une analyse des apports des différentes disciplines qui interviennent dans le processus de création industrielle [Lebahar, Jean-Charles, '87; Lorenz, '90; Quarante, D '01], il devient possible d'identifier trois disciplines qui composent un produit nouveau : design, ingénierie et marketing (Figure 2).

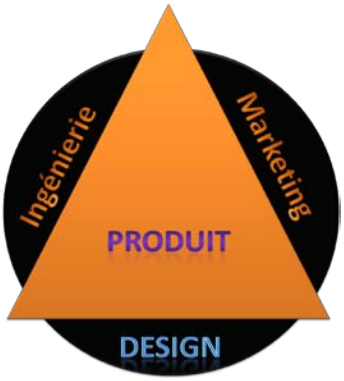


Figure 2 : Les trois fonctions principales de la conception de produit, d'après [Lorenz, '90; Ulrich, '00]

Emmanuel Chéné de son côté considère que le produit met en relation un ensemble de trois valeurs : la valeur d'échange, d'usage et d'estime [Chéné, '03].

1.1.1.2.1. LA FONCTION D'ECHANGE :

Cette notion s'inscrit en terme économique [Brime, '97]. Chéné fixe qu'elle s'inscrit temporellement au moment de l'acte d'achat ou de l'acquisition, et selon lui aussi, il faut distinguer prix et valeur [Chéné, '03]. Ainsi : *« dès que nous avons besoin d'une chose, elle a de la valeur, elle en a par cela seul, et avant qu'il soit question de faire un échange. Au contraire, ce n'est que dans nos échanges qu'elle a un prix, parce que nous l'estimons, par comparaison à une autre, qu'autant que nous avons besoin de l'échanger ; et son prix d'estime que nous faisons de sa valeur lorsque dans les échanges, nous la comparons avec la valeur d'une autre. Le prix suppose donc la valeur. Voilà pourquoi on est si fortement porté à confondre les deux mots. Il est vrai qu'il y a des occasions où l'on peut les employer indifféremment l'un pour l'autre ; cependant, ils expriment deux idées qu'il est nécessaire de ne pas confondre.* ***De deux choses, celle qui est d'une plus grande valeur vaut mieux, celle qui est d'un plus grand prix vaut plus.*** *Ce n'est pas être connaisseur que de juger la valeur des choses par le prix qu'elles coûtent »* précise Landais [Landais, '46].

1.1.1.2.2. LA FONCTION D'USAGE :

Touts les objets qui se trouvent autour de nous sont conçus, fabriqués, achetés et employés parce que nous les trouvons utiles, parce qu'ils nous rendent service au quotidien. Ils permettent une action (écrire, s'asseoir, avancer, visser, ranger, etc.), cette action est appelée fonction d'usage, qui traduit la partie rationnelle du besoin. Elle représente les fonctionnalités

liées au produit à concevoir. C'est une valeur propre et essentiel d'une chose [Landais, '46]. Maurel considère que la fonction d'usage caractérise le niveau d'utilité du produit et la qualité du service rendu [Maurel, '92].

La fonction d'usage est liée directement à l'utilisation du produit, c'est le service rendu par le produit. Elle est la même quel que soit son utilisateur, indépendamment de ses goûts et désirs. Elle est la conséquence d'un besoin (transporter, communiquer, écrire,…). En résumé, la fonction d'usage s'exprime par un verbe et on la trouve en posant la question « A quoi ça sert ? ». Évidemment, Certains produits possèdent plusieurs fonctions d'usage, ils permettent donc de réaliser plusieurs actions.

1.1.1.2.3. LA FONCTION D'ESTIME :

Comme nous l'avons cité les produits répondent à un besoin « fonction d'usage » mais aussi à des goûts « fonctions d'estime », qui traduit la partie subjective du besoin. Il s'agit des fonctions relatives à l'esthétique, la qualité... On démontre ces goûts en se posant la question « Est-ce que cela me plaît ? ». L'achat d'un objet est d'abord déterminé par la satisfaction d'un besoin. Mais, nous considérons que l'effet de séduction peut aussi influencer sur le consommateur. En effet, la forme de l'objet n'est pas uniquement déterminée par des fonctions techniques. L'esthétique et les effets de mode, qui sont des besoins aussi influencent l'achat.

Un produit se distingue par sa forme, ses couleurs, les matériaux utilisés et ses caractéristiques techniques. C'est ce qui séduira le client lors de l'achat et qu'on appelle la fonction ou la valeur d'estime[3]. Elle est liée au goût des utilisateurs et peut être différente d'une personne à l'autre (contrairement à la fonction d'usage). Vis-à-vis de notre recherche et de nos expérimentations, nous limitons notre investigation à la valeur d'estime que nous proposons de mieux cerner ultérieurement (voir chapitre 2.2).

La définition de produit et ses trois dimensions que nous venons de présenter nous conduit maintenant à approcher la « conception » et à parler aussi du « processus » dans lequel le produit se réalise.

[3] Fonction d'estime : fonction de service liée aux goûts des utilisateurs, donc perçues a priori différemment suivant l'utilisateur du produit. Ces fonctions correspondant à un besoin subjectif sont parfois appelées fonctions sensorielles Tassinari, R. (1992). Pratique de l'analyse fonctionnelle. Dunod.

1.1.2. Parle-t-on de conception ou de design ?

Avant de parler du processus, nous proposons de commencer par quelques définitions de la conception. La définition de la conception est difficile à établir à cause du contexte où se réalise cette activité créatrice, à la situation de travail et aux caractéristiques du monde réel. Pour représenter la difficulté à définir la conception, un penseur du processus de conception, Jones [Jones, '66], décrit la conception comme: «la performance d'un acte de foi très compliqué». À travers notre recherche bibliographique, nous avons vu que, la traduction anglaise par le mot design, sème la confusion entre les publications anglo-saxonnes et françaises, le terme design est abusivement limité en France au style, aux objets modernes, à l'esthétique etc. L'américain Edwin Layton indiquait dans ce sens *"From the point of view of modern science, design is nothing, but from the point of view of engineering, design is everything. It represents the purposive adaption of means to reach a preconceived end, the very essence of engineering[4]"* [Layton *et al.*, '76]. Selon l'ICSID[5] 2002: *Le design est une activité créatrice dont le but est de présenter les multiples facettes de la qualité des objets, des procédés, des services et des systèmes dans lesquels ils sont intégrés au cours de leur cycle de vie.* C'est pourquoi il constitue le principal facteur d'humanisation innovante des technologies et un moteur essentiel dans les échanges économiques et culturels. Le dictionnaire de l'académie française a définit la conception comme une activité de l'esprit en vue de la compréhension ou de l'élaboration de quelque chose. C'est une action de former le concept d'un objet et d'appréhender un objet par la pensée ; c'est une action de former dans son esprit, d'imaginer, d'inventer. H.A Simon cite dans son ouvrage que la conception est à la fois l'action d'élaborer quelque chose dans son esprit ou de le concevoir et le résultat de cette action [Simon, '69].

Nous retiendrons pour notre part la définition proposée par [Vitrac, J P, '84; Maurel, '92; Lim, '03] « La conception d'un produit va consister plus précisément en élaboration de l'aspect fonctionnel, esthétique socioculturel et l'aspect économique de la réalisation ».

[4] « Du point de vue des sciences modernes, la conception n'a aucune importance, mais du point de vue de la technologie, la conception est fondamentale. En permettant l'adaptation des moyens pour atteindre un objectif, la conception constitue l'essence même de la technologie. »

[5]ICSID: International Council of Societies of Industrial Design.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons au design de produits en tant que passage d'un état immatériel (idée, concept, forme, fonction) à un état matériel du produit (plan, maquette, prototype), disponible sur le marché. Ce passage d'un état immatériel à un état matériel peut se faire suivant différents processus. Donc, il nous semple important d'énoncer les différents processus de conception et de présenter un bref état de l'art dans ce domaine.

1.1.3. Le processus de conception

Ce chapitre définit tout d'abord le processus de conception puis il aborde ses évolutions et l'état de l'art dans ce domaine.

La conception et les processus de conception de produits sont aujourd'hui des thématiques de recherche entière. Ces problématiques de recherche et de développement suscitent ainsi un grand intérêt de la part des industriels. La compétitivité des entreprises dépend non seulement de leur maîtrise des technologies nécessaires à leur activité mais également à leur stratégie et de leur gestion du processus de design. Il est ainsi admis que 75% des coûts totaux de développement et d'industrialisation d'un produit sont déterminés dès le début de la conception [Bascoul, '99], [Midler, '97] et [Perrin, J, '01]. De plus, une étude réalisée par [Breton, '96] sur les facteurs de réussite des projets de conception montre que 12% des projets structurés aboutissent contre seulement 1 à 1,7% pour les projets non structurés.

C'est en 1970 que Rodenacker considère pour la première fois le processus de conception comme une transformation d'informations permettant de passer de l'abstrait au concret [Rodenacker, '70]. Suh définit la conception de produits comme le passage d'un espace fonctionnel à un espace physique [Suh, '01]. Cette notion de processus existe également dans la définition de Marc Le Coq qui voit dans la conception de produits le passage d'un état immatériel (idée, concept, fonctions) à un état matériel (plan, maquette, prototype) [Le coq, '92].

De nombreux travaux proposent ainsi différents modélisations du processus de conception. Même si tous ces modèles sont relativement similaires, on remarque certaines nuances. Vadcard considère le processus de conception comme une transformation depuis l'idée jusqu'à un produit [Vadcard, '96]. Ainsi [Perrin-Bruneau, '05] met en évidence que certains se concentrent essentiellement sur la transformation de l'idée en produit [Bakker, '95; Pahl *et al.*,

'99; Yannou, '02]. D'autres intègrent l'industrialisation du produit au processus de conception [Petitdemange, '85; Aoussat, '90; Jouineau, '93; Brezet *et al.*, '94; Ertas *et al.*, '94; Keoleian *et al.*, '95; Meinders, '97; Bocquet, '98; Hubka, V *et al.*, '98; Ullman, '02]. D'autres encore prennent en compte le projet global en intégrant la notion de planning et de stratégie de lancement [Brezet *et al*,, '94; Bakker, '95; Keoleian *et al*,, '95; Meinders, '97; Ullman, '02].

Nous ne cherchons pas ici à proposer une nouvelle définition, car nous constatons que toutes ces définitions du processus de conception se rejoignent sur le fond. Notre propos n'est pas d'effectuer une analyse approfondie des mécanismes mis en jeu par les acteurs lors d'une conception [Simon, '69], mais d'identifier des situations où les outils de représentation peuvent apporter une aide valorisant cette activité desquels nous discuterons plus particulièrement dans la deuxième partie de notre recherche.

En accord avec Mantelet, nous considérons qu'il existe trois niveaux de complexité durant le processus de conception : complexité intrinsèque au produit, complexité managériale et complexité des procédés de mise en œuvre [Mantelet, '06]. Un autre élément prépondérant est la nature cognitive du processus de conception, qui selon certain point de vue est une activité de résolution de problème [Parise, '97] [Roulin, '98], ce problème étant mal défini, ouvert, collectif et complexe [Lonchampt, '04]. Toutes ces dimensions manipulent des paramètres interdépendants de conception et de natures différentes [Aoussat, '90].

Nombreux recherches qui œuvrent dans ce sens, en proposant des concepts méthodologiques ou des démarches qui peuvent êtres de nature : convergente-divergente [Ulrich, '00] [Stoeltlen, '04], séquentielle selon le modèle de Markus et de Maver: analyse, synthèse, évaluation avec une boucle de retour entre l'évaluation et la synthèse permet au acteur de passer à une autre idée [Markus, '69] Figure 3, en spirale avec un axe des coûts ou itérative [Aoussat *et al.*, '00] Figure 4.

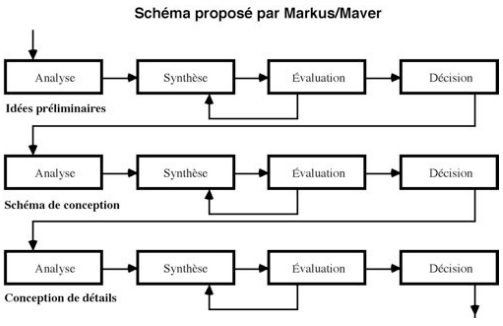


Figure 3 : Le processus de design selon Markus [Markus, '69].

AOUSSAT décline une démarche de conception en quatre phases Figure 4, où il définit les étapes de conception de produit, les acteurs, et les outils adéquats pour chaque étape. Ce processus se décompose suivant quatre phases. **La première phase** cherche à traduire le besoin, elle a pour finalité la mise en place du cahier des charges fonctionnel. **La seconde** est la phase créative de démarche ou l'interprétation du besoin: le groupe projet va rechercher de nouveaux concepts. La **troisième phase** est celle de la définition théorique du produit issu d'un concept choisi et débouche sur un prototype. Enfin, la **quatrième phase** est la phase de validation du produit.

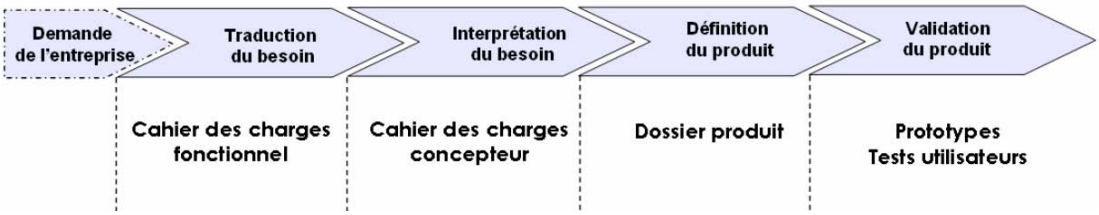


Figure 4 : Processus de conception Itératif [Aoussat *et al,*, '00]

En accord avec AOUSSAT, le processus de conception est un processus dynamique, évolutif dans le temps selon plusieurs phases qui peuvent différer selon le contexte où se réalisent. Généralement, on part d'une description du problème auquel les acteurs vont avoir faire face, puis on aboutit à la définition complète de solution, en passant par une réalisation successive de plusieurs phases ; le résultat d'une phase est le point de départ pour la phase suivante. Durant la réalisation de ces phases, chaque acteur de conception fait une partie de la mise en œuvre de certaines activités afin de les finaliser. Donc, le processus de conception est responsable du mouvement des phases qui permettent la naissance, la production, la commercialisation, la consommation et enfin la destruction ou le recyclage d'un produit.

1.2. Les acteurs de la conception : du processus cloisonné à l'ingénierie concourante

1.2.1. Les différents acteurs de la conception : Carrefour de disciplines

Nous venons d'exposer le processus de conception, nous retiendrons que la réalisation de tels processus nécessite l'intégration de différents acteurs qui doivent coopérer pour aboutir à un objectif commun. La conception peut donc être perçue comme une discipline transversale et

multi métiers dans laquelle la maîtrise des points de rencontre avec des disciplines métier carrefour est indispensable [Aoussat *et al.*, '98] [Duchamp, '99] [Perrin, J, '01]. La Figure 5 montre ainsi des disciplines comme l'ergonomie, le design, la qualité, le marketing et la fiabilité qui s'insèrent dans la conception de produits nouveaux. **Dans la mesure où notre objectif est de définir une méthodologie et des outils qui visent à être intégrées aux démarches de conception de produit nouveau « centrées design ».** Nous allons présenter brièvement les disciplines les plus concernées par la conception d'un produit dont « le design »[6]. Comme nous avons pu le voir, la conception est rarement un processus individuel. Ensuite, nous verrons comment des intervenants d'origines différentes ont adopté des nouvelles stratégies de conception collaborative.

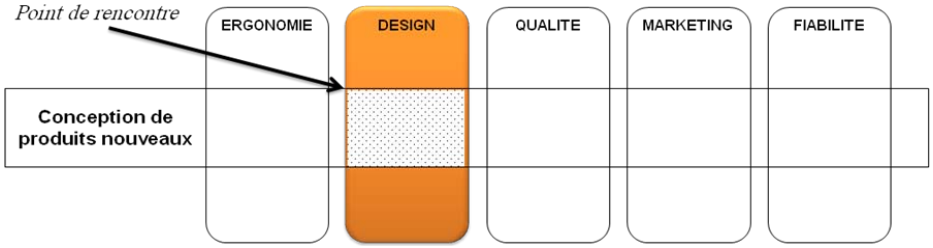


Figure 5 : Conception de produits – Carrefour de disciplines [Aoussat *et al,*, '98]

1.2.1.1. L'intervention du Marqueteur

L'association américaine du marketing (APCM) a donnée une nouvelle définition au marketing *« Marketing is the activity, set of institutions, and processes for creating, communicating, delivering, and exchanging offerings that have value for customers, clients, partners, and society at large. »* [Heath *et al.*, '08]. La notion du marketing a évoluée selon trois phases : **Phase de production**, de la fin du 19ème siècle à 1920, où les entreprises commercialisaient des produits satisfaisant les besoins essentiels de la société. **Phase de vente,** juste après la fin de la crise de 1929, les revenus ont augmenté et les gens commencent à souhaiter une nouvelle gamme de produits, la concurrence s'est accrue entre les entreprises qui ont commencé à prendre conscience qu'il ne suffit pas de produire pour vendre. **La phase de marketing** qui a commencé dans les années 50 après la seconde guerre mondiale, a été marquée une très forte augmentation du pouvoir d'achat et de la demande de biens et services.

[6] Nous détaillerons l'approche design dans le chapitre 2

Les habitudes d'achat évoluent ; le cycle de vie des produits se raccourcit. Cette phase est caractérisée par le passage des techniques de vente à la volonté de satisfaire les besoins des consommateurs.

Aujourd'hui un grand nombre d'entreprises dans le monde sont en phase de marketing, même si certaines d'entre elles sont encore en phase de vente, voire de production. D'autres encore, les plus modernes, ont commencé une phase sociétale à la suite d'une adhésion à une législation restrictive voire à une prise de conscience de l'impact de leurs décisions sur la société (questionnes liées à l'environnement, aux réactions négatives des consommateurs…).

1.2.1.2. L'intervention de l'Ingénieur-Concepteur

Selon le CNISF[7], ce métier est fondé sur l'utilisation de compétences à dominante scientifique ou technique, pour concevoir et mettre en œuvre la transformation de la matière, en ayant pour objectif la conception, la réalisation, l'exploitation ou la maintenance d'équipements, de produits ou de procédés répondant à un besoin d'utilisation défini, dans un contexte technologique économique et social donné.

Face aux nouveaux modes de consommation, l'ingénieur concepteur de produits doit se mobiliser pour mettre en place des nouvelles méthodologies lui permettant de mieux suivre le produit, de la conception à sa fabrication. Parmi les méthodes régulièrement appliquées au bureau d'études[8], tous secteurs confondus, Gérard indique l'**analyse fonctionnelle** et l'**analyse de la valeur** sont appliquées dans une large majorité. Viennent ensuite l'**ADMEC** (Analyse des modes de défaillances de leur effet et de leur criticité), la **CCO** (Conception à Coût Objectif), la méthode **DFA** (Design For Assembly met en avant la conception des produits pour leur montage) [El hami *et al.*, '04]. Finalement, la méthode DFM (Design For Manufacturing) [Gerard, '00].

1.2.1.3. L'intervention de l'Ergonome

Nous avons trouvé plusieurs définitions de l'ergonomie. L'origine du mot ergonomie construit à partir d'« ergon » (le travail) et de « nomos » (la loi, la règle), désignerait la

[7] CNISF Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France http://www.cnisf.org/

[8] Sources : Industrie et Techniques-N° 776- Novembre 1996

science du travail ou plus exactement les règles de travail [Minel, '03]. L'IEA[9] définit l'ergonomie de la façon suivante: *« Ergonomics (or human factors) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession data applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance. Ergonomists contribute to the design and evaluation of tasks, jobs, products, environments and systems in order to make them compatible with the needs, abilities and limitations of people ».* Cette définition met en avant les moyens utilisés par l'ergonomie, ses objectifs et ses domaines d'application. Dans l'Encyclopédie Universelle (1999), nous trouvons que l'ergonomie est une étude scientifique des conditions de travail, visant à leur amélioration et à l'accroissement de productivité. Simon considère la conception comme l'activité intellectuelle par laquelle sont imaginées quelques dispositions visant à changer une situation existante en une situation préférée [Simon, '91].

La SELF[10] détermine le rôle de cet acteur. *« Les ergonomes contribuent à la conception et à l'évaluation des tâches, du travail, des produits, des environnements et des systèmes en vue de les rendre compatibles avec les besoins, les compétences et les limites des personnes ».* Roussel dans ses travaux de recherche précise que l'ergonomie conduit à la synthèse de disciplines différentes et ne peut agir que dans une démarche multidisciplinaire, selon lui, il existe deux types d'intervention de l'ergonome : l'ergonomie est sollicitée pour améliorer des situations existantes (ergonomie de correction) ou l'ergonome peut être appelé dès le début d'un projet et participer ainsi pleinement à la réalisation de celui-ci (ergonomie de conception) [Roussel, '96] [Buaud *et al.*, '01]. L'ergonomie de conception permet d'aider à spécifier le problème du point de vue de l'utilisateur futur, de participer à la résolution du problème et à l'évaluation de l'adaptabilité du produit aux utilisateurs [Bonnardel, '92]. D'un autre point de vue, l'intervention de l'ergonome est d'analyser l'activité de conception donc de l'activité des concepteurs plutôt que de traiter de méthodes et d'outils d'ergonomie de conception [Fadier, '98]. Dans ce contexte, l'ergonome est considéré comme un observateur, car il s'intéresse à l'observation et à l'analyse des activités des concepteurs, d'un point de vue individuel, mais également collectif en abordant les dimensions cognitives et sociales

[9] IEA International Ergonomics Association http://www.iea.cc/

[10] SELF Société d'Ergonomie de Langue Française http://www.ergonomie-self.org/

[Mahdjoub, '07]. L'ergonome se propose ainsi d'identifier et de décrire les activités des concepteurs et les processus cognitifs… son rôle mute d'un rôle d'observateur à celui de Co-concepteur [Sagot, J. C. , '99].

Alors, il apparaît que l'utilisateur final avec ses besoins et ses attentes est placé au centre des préoccupations des concepteurs et donc au cœur de leur processus de conception [Mahdjoub, '07]. De ce fait, l'ergonome joue un rôle d'ergonome-concepteur, de Co-concepteur [Sagot, J. C. , '99]. D'autres travaux insistent surtout sur les méthodes spécifiques aux métiers. L'ergonome est sollicité ponctuellement par exemple lors d'études préliminaires pour analyser des situations existantes et définir le besoin lié au produit [Minel, '03] [Marsot, J, '02] [Duchamp, '99] [Roussel, '96]. Bonnardel définit **trois phases dans la conception : la représentation du problème, la génération de solutions et l'évaluation des solutions générées.** L'ergonomie de conception permet alors d'aider à spécifier le problème du point de vue de l'utilisateur futur, du participer à la résolution du problème et l'évaluation de l'adaptabilité du produit aux utilisateurs [Bonnardel, '92] [Sagot, J. C *et al.*, '03]. Nous retiendrons de ces différents extraits que l'ergonomie de produits permet d'identifier les besoins et attentes des utilisateurs, afin de mieux adapter le produit futur ou pour l'amélioration d'un produit déjà existant. Cela se fait, à travers une relation indissociable entre l'utilisation du produit (ergonomie) et son esthétique (design). Ce dernier sera développé dans le chapitre 2.2.

Donald Norman dans ses derniers écrits commence à proposer que l'on pourra augmenter l'utilisabilité des produits par l'esthétique, du fait même que les belles choses permettraient une expérience d'interaction agréable. Selon lui, *"Aesthetics matter: attractive things work better"* [Norman, '04].

1.2.1.4. L'intervention du Designer

« Le design industriel, est avant tout une démarche qui doit par nature, s'adapter aux évolutions sociales et économiques »

Denis Schulmann

Avec le temps, le mot **« Design »** est devenu un terme à la mode, utilisé dans des domaines très différents, et signifie concevoir en anglais. Il est apparu dans la langue française pour signifier à la fois dessein et dessin. Il associe donc deux éléments : **l'idée et sa**

représentation. Selon le dictionnaire international des arts appliqués et du design[11]. *« L'indétermination sémantique du mot design, aujourd'hui employé pour qualifier des pratiques créatives dans des domaines très diversifiés, induit des traductions et des interprétations différentes. Les traditions propres à chaque pays – Arts & Crafts[12] pour les Britanniques et les Américains, Art Nouveau[13] pour la presque totalité du monde, arts décoratifs et Art Déco pour la France, rationalisation et standardisation pour l'Allemagne, sociales pour la Scandinavie, politiques dans les pays totalitaires, artisanales dans les pays en développement – sont culturellement et économiquement fondatrices de la pratique du design »1996*. Donc, chaque pays a sa propre histoire. En Italie, les designers sont formés dans des grandes écoles, comme les architectes et les ingénieurs. En Allemagne, le Bauhaus[14] a déterminé une forte intégration du design dans l'industrie. Dans les pays scandinaves, ce sont les matériaux : verre, bois, etc. qui jouent le rôle d'élément moteur. En France, le design est enseigné dans des écoles d'Arts Appliqués. Il est très souvent rattaché à une discipline maîtresse. On trouve rarement de tels enseignements dans des écoles issues de l'ingénierie, du management, de l'économie, sauf quelques exemples tel EDIM[15] de l'UTBM, ENSGSI, UTC… . Tandis que, en Syrie, on trouve le designer à côté de l'architecte d'intérieur et de l'artiste dans une faculté des beaux arts.

[11] Dictionnaire international des arts appliqués et du design, Arlette Barré-Despond, Éd. Du Regard, 1996)

[12] Arts&Crafts fut un véritable vent de révolte contre l'industrialisation dominante de l'époque. Le but était principalement de moraliser l'art et de lutter contre la laideur des productions industrielles. Arts & Crafts s'inspirait de l'œuvre de John Ruskin, philosophe, sociologue et critique d'art, et de son disciple William Morris.

[13] Art Nouveau est un mouvement international très influencé par l'Arts&C rafts. En France l'Art Nouveau constitue une réaction à l'impressionnisme qui dissout les formes. Peut être caractérisé par un emploi exacerbé des lignes courbés et des motifs de la nature.

[14] Le Bauhaus (1919-1933) a été fondé en Allemagne par Walter Gropius et avait pour vocation de réunir plusieurs disciplines issues des Arts Plastiques (Peinture, sculpture…), des Arts Appliqués (Architecture…) de l'Artisanat (ébénisterie, fonderie…) autour de la création et de la conception. Le Bauhaus a ensuite été dissout par les nazis avant la deuxième guerre mondiale.

[15] Depuis la rentée scolaire 2007, l'UTBM (Université technologique de Belfort-Montbéliard, habilité par la CTI pour délivrer des diplômes d'ingénieur) a ouvert le département EDIM (Ergonomie Design Ingénierie Mécanique) forme à une démarche de conception innovante impliqué tout au long du projet où le design est une valeur ajoutée à un produit industriel.

Le design est une discipline née des problèmes posés par la production industrielle. Cette discipline est très largement développée durant tout le cours du XXe siècle. L'apparition de la machine à vapeur, l'électricité et de certains matériaux comme le plastique a complètement transformé la mode de fabrication des produits. Exemple de nos jours, sans le PVC, on n'aura jamais pu voir le fauteuil « Loulou Ghost, conçu pour Kartell 2008[16] ». Nous pensons aussi que les nouvelles technologies quelques soit leurs natures vont influencer non seulement sur le design comme métier mais aussi sur le designer, ses aptitudes et sa façon de travailler.

Depuis les années 1970 où le métier design est intégré dans la démarche de la conception de produits, ce mot ne signifie plus que le « stylisme ». Selon Danielle Quarante [Quarante, D, '94] [Quarante, D '01] le concept de « design » contient une double notion : à la fois ce qui peut projeter, se programmer, se préparer à l'avance et à la fois ce qui peut trouver une forme concrète, être un dessin, un modèle, un plan, le grand public ne reconnaît que la deuxième notion. C'est là où notre expérimentation se déroulera entre la création de l'objet par le designer et la communication sur l'objet avec les autres. Nous avons observé qu'aujourd'hui dans l'industrie, le design est perçu comme une activité technique permettant de trouver des solutions, ce qui est très similaire à la notion de « conception » lorsqu'elle sous-entend « conception de produits ». Alors que, pour nous « les designers » le design est un objet ayant une forme simple et une apparence épurée tout en tenant compte des contraintes liées à la conception : fonctionnelles, esthétiques, ergonomiques, techniques et productives.

La définition officielle du design industriel adoptée par Maldonado de l'organisme international ICSID[17] est la suivante : « Le design industriel est une activité créatrice qui consiste à déterminer les propriétés formelles des objets produits industriellement. Par propriétés formelles on ne doit pas entendre seulement les caractéristiques extérieures, mais surtout les relations fonctionnelles et structurelles qui font d'un objet ou d'un système d'objet une unité cohérente, tant du point de vue du producteur que du consommateur». L'UFDI[18] définit le design de la manière suivante: « La profession de créateur industriel a

[16] Un petit fauteuil en polycarbonate injecté en un seule moule. Transparent et coloré, stable, résistant aux chocs et aux agents atmosphériques http://www.kartell.it/global.aspx?idLingua=FR

[17] ICSID : (International Council of Industrial Design)

[18] L'UFDI Union Française des Designers Industriels est une organisation professionnelle regroupant deux organismes syndicaux : la Chambre Syndicale des Designers Industries (CSDI) qui rassemble les professionnels

pour vocation, après analyse technologique, économique et esthétique exhaustive, de créer les formes, matières, couleurs, structures permettant d'améliorer tous les aspects de l'environnement humain conditionnés par la production industrielle ».

1.2.2. L'ingénierie concourante : une démarche pour faire travailler ces acteurs ensemble

Vu la variété des disciplines et des méthodologies de la conception, il a fallu favoriser le travail entre les différentes disciplines qui interviennent dans la conception de produits.

Au début des années 90 la communauté de la conception de produits « entreprises, acteurs, chercheurs.. » a commencé à mettre en place des nouvelles stratégies pour qu'elle puisse faire face à l'évolution des modes de concurrence qui touchaient de nombreux secteurs. Durant cette période, la compétitivité entre les entreprises est passée du fait d'avoir le meilleur produit au meilleur coût avec un meilleur rapport qualité/prix au degré de leur capacité à produire et commercialiser rapidement des produits réellement innovants et complexes. Pour survivre, les entreprises doivent être réactives et répondre aux besoins de leurs clients par la mise sur le marché de nouveaux produits renouvelant ainsi en continu les gammes proposées. Rester compétitive, devient une obligation pour l'entreprise [Truchot *et al.*, '97] [Duchamp, '99]. Comme le précisent aussi Giard et Midler « la capacité à développer rapidement de nouveaux produits, dans de bonnes conditions de qualités et de coût, est évidement au cœur des stratégies concurrentielles modernes » [Giard *et al.*, '93]. Serge Tichkiewitch dans l'introduction de l'ouvrage « Conception de produits mécaniques » aborde ces récentes évolutions: *c'est dans un contexte complètement transformé que nous abordons cette nouvelle ère de la conception des produits et des systèmes, en ayant bien conscience qu'un tel problème doit aujourd'hui prendre en compte les aspects techniques, bien évidemment, mais aussi et surtout les aspects sociaux, organisationnels, économiques, écologiques…la conception de produits et ses modèles d'organisation sont devenus complexes* [Tichkiewitch, '98].

indépendants et les dirigeants de bureaux d'étude design et le Syndicat des Designers Industriels (SDI) qui accueille les salariés issus des bureaux d'étude design ou des entreprises industrielles.

Ces nouvelles stratégies associées multiplient le nombre de projets à gérer et le nombre de propositions à faire aux clients. Ainsi, il devint indispensable une meilleure coordination et communication entre des multiples acteurs ayant des profils différents, d'utiliser des outils de natures complètement différentes, et peu habitués à collaborer pour pouvoir anticiper les problèmes. Dans ce contexte, de nouveaux modèles d'ingénierie industrielle sont nées par plusieurs chercheurs, nommés ingénierie **concourante** [Solehnius, '92] [Jagou, '93], **simultanée**,(les acteurs travaillent en même temps) [Brissaud *et al.*, '98] **collaborative** [Gomes, '99] ou encore **intégrée** où les acteurs travaillent ensemble [Bocquet, '98]. Chéné montre dans ses travaux sur les outils d'aide à la décision en ingénierie concourante, la relation entre l'ingénierie simultanée, l'ingénierie intégrée et l'ingénierie concourante. Selon lui, l'ingénierie passe d'une approche métier cloisonnée à une approche groupée, ce qui permet une vision globale des problèmes mais aussi une capacité créatrice décuplée [Chéné, '03].

L'ingénierie concourante améliore la communication au sein des équipes projet en mettant en avant la coopération comme principe de coordination entre les acteurs [Perrin, J. , '01]. Le processus de développement devient ainsi le résultat d'interactions et d'itération entre plusieurs processus de conception : conception de produits, conception de processus de production, conception des activités, … [Duchamp, '99] [Aoussat *et al,*, '98] [Perrin, J. , '01]. Il devient de plus en plus pluridisciplinaire[19] par la participation de ces nouveaux acteurs : design, ingénierie, ergonomie et marketing (voir Figure 6). Ces « nouveaux acteurs » sont encouragés à exprimer le plus tôt possible leur point de vue sur l'artefact, le futur produit [Beguin, '97]. Ainsi, l'ensemble des acteurs agissent durant le cycle de vie du produit et apportent leurs contraintes pour définir le produit.

[19] Pluridisciplinaire : Accumulation, hétérogénéité, juxtaposition de points de vue des disciplines données. « On trouve ainsi dans la littérature multi, pluri, pluri, poly, inter : le dialogue et les échanges entre les disciplines ou encore transdisciplinaire : réflexion sur les données de chaque métier ». Degré de coordination entre les disciplines selon Jantsch. In Vinck, D. (2006). Dynamique d'innovation et de conception et rôle des objets intermédiaires. Université Pierre-Mendès-France. Autrans. Mantelet, F. (2006). *Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

D'ailleurs, [Minel, '03] [Maxant, '04] [Stoeltlen, '04] ont montré dans leurs recherches appliquées à l'industrie que les phases amont du processus de conception sont cruciales sur plusieurs niveaux et notamment sur la prise de décision portant sur le futur produit à concevoir [Boly, '04].

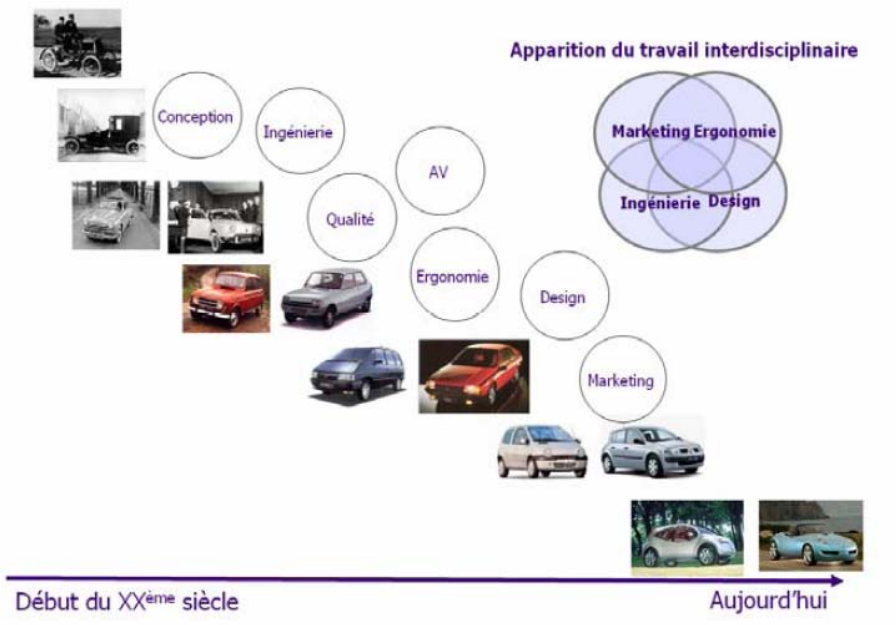


Figure 6 : Évolution des métiers en conception selon [Mantelet, '06].

Mantelet rajoute que, selon l'étude de Charron, la durée du processus de conception est réduite au maximum, puisque tout le monde travaille en parallèle, et non séquentiellement. [Mantelet, '06] Figure 7. Selon Stoeltzlen [Stoeltzlen, '04], l'ingénierie concourante permet de réduire quantitativement les délais grâce à la superposition des tâches.

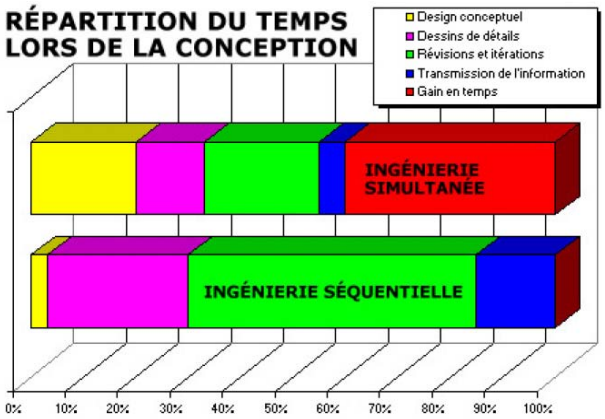


Figure 7 : Répartition du temps lors de la conception [Charron *et al.*, '98].

Nous avons montré que dans un contexte industriel, il s'avère que le développement d'un produit de l'idée à sa production est un processus complexe et pluridisciplinaire. Cette complexité réside dans l'intervention de plusieurs acteurs notamment : design, ingénierie, ergonomie et marketing. Nous considérons en accord avec [Stoeltzlen, '04] que le designer a potentiellement un rôle important à jouer dans le processus de conception.

Par la suite, nous allons aborder l'évolution des outils de coopération durant la conception et nous donnons quelques exemples de leurs utilisations.

1.3. OIC les Objets Intermédiaires de la Conception

Comme nous l'avons vu précédemment, il est nécessaire de créer des points de rencontres qui encouragent les équipes pluridisciplinaires à travailler de manière simultanée et intégrée. Cependant, nous ne sommes plus aujourd'hui dans l'ancienne vision individuelle et linéaire allant de l'idée à l'usage. Les acteurs de projet sont multiples et leurs interactions aussi diverses que nombreuses [Vinck, '06]. Nous constatons que le travail de la conception consiste alors à entrer en contact avec d'autres, à se faire comprendre et accepter, à décrocher les informations pertinentes de son point de vue, à se faire une idée de leur fiabilité et à confronter son point de vue. Le problème est, notamment, d'établir et de stabiliser ce que veulent les autres acteurs du projet. Souvent, les acteurs intervenant dans le processus de conception sont nombreux (une dizaine voire centaine dans le cas d'un nouveau modèle de voiture) et fort divers. Ils parlent des langages différents et ont des objectifs, des contraintes, des ressources, des habitudes de travail et des cultures diverses [Vinck, '99].

Pour saisir l'objet et réduire l'incertitude, il convient de suivre les acteurs et leurs interactions et enregistrer les transformations progressives des idées, des objets, des usages avec des clients et des acteurs eux-mêmes. Selon de nombreux auteurs [Bouchard, '97] [Fadier, '98] [Grosjean, '00] [Sagot, J. C *et al.*, '03] et [Marsot, J. *et al.*, '04], des difficultés subsistent encore dans la collaboration et des problèmes de communication sont nés entre les différents experts. Cela s'explique par les différences culturelles, la variété des connaissances, des savoir-faire, et la divergence des opinions [Mahdjoub, '07].

Les concepteurs ont ainsi besoin de représentations communes que l'on appelle Objets Intermédiaires (OIs) [Jeantet, '98], supposés être les vecteurs de la communication entre les gens de métiers [Vinck, '06]. La caractérisation de ces objets et leur suivi permettent de

visualiser les processus de conception et de mettre en évidence d'importantes différences d'un processus à l'autre [Mer, '04].

1.3.1. Origine-définitions et le rôle de l'objet intermédiaire

La notion d'objet intermédiaire a été forgée dans le cadre d'une enquête[20] portant sur les réseaux de coopération scientifiques, Vinck explique que les membres les plus actifs consacrent un temps considérable à produire et faire circuler, des « objets intermédiaires » [Vinck, '92; Vinck, '99]. Elle est utilisée également par Jeantet et Boujut pour définir les artéfacts « qui sont produits, qui circulent, orientent, contraignent ou qui sont mis à l'épreuve, critiqués, corrigés, complétés, bref qui constituent un support, quand ce n'est pas partenaire, au travail des acteurs engagés dans le processus » [Jeantet, '98] [Boujut, J.-F *et al.*, '03]. Cette notion a été introduite dans le domaine de la conception de produits pour représenter les supports de communication, les outils de médiation entre les différents acteurs de la conception ou bien encore les artefacts de représentation du futur produit [Boujut, J.-F *et al*,, '03].

Stoeltzlen dans ses travaux de recherche signale la différence entre une Représentation Intermédiaire (RI) et un Objet Intermédiaire (OI), selon elle: une représentation intermédiaire est une matérialisation, une instrumentation (physique ou non) partielle du futur produit à concevoir. Alors qu'un objet intermédiaire est une représentation intermédiaire, pouvant être générée par un acteur métier ou plusieurs acteurs de métiers différents, qui devient commune et partagée, discutée, transformée par des acteurs de métier différent au sein d'un groupe

[20] Il s'agit d'une enquête mené par Dominique VINCK portant sur les réseaux de coopération scientifiques, dans le domaine de la santé. Trois mille cinq cents équipes étaient mobilisées dans le cadre d'un programme de recherche européen pour former environ 120 réseaux à caractériser. Au cours de l'enquête, il est apparu que les membres les plus actifs de ces réseaux consacrent un temps considérable à concevoir, négocier, produire et faire circuler, des « objets » de toutes sortes : textes, supports informatiques, échantillons, instruments et animaux notamment que nous avions qualifié d'objets intermédiaires, sans préjuger ni de leur nature, ni de leur rôle. L'énergie qu'y consacrent les acteurs laissait supposer qu'ils introduisent quelque chose d'important dans l'action, qu'ils prolongent leur action, mais aussi qu'ils risquent de la transformer. Il apparut aussi que les détails de ces objets devaient être pris en compte pour comprendre l'action, les intentions, les relations et les résultats Vinck, D. (1992). Du laboratoire aux réseaux. Le travail scientifique en mutation. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes..

projet. Elle donne comme exemple, le croquis, est une représentation intermédiaire métier, il devient objet intermédiaire lorsqu'il est partagé par plusieurs acteurs différents, c'est à dire qu'il conduit à des échanges d'informations et des négociations, pour aboutir à une compréhension et à une construction commune de projet [Stoeltzlen, '04]. Selon Mer, l'objet intermédiaire doit servir de médiation entre les acteurs car il a un rôle de support de communication au sein du processus de conception [Mer *et al.*, '95].

Nombreux sont les auteurs qui ont confirmé que la notion d'objet intermédiaire a démontré, sa fécondité en tant qu'entrée empirique pour décrire et analyser les activités et l'organisation des bureaux d'études [Vinck *et al.*, '95] [Mer *et al,*, '95] [Blanco *et al.*, '96] [Laureillard *et al.*, '97] [Grégori *et al.*, '98] [Lavoisy *et al.*, '00] [Boujut, J.F *et al.*, '02] [Godjo *et al.*, '03; Lécaille, '03]. On y trouve quantité de dessins, maquettes en carton ou en pâte à modeler, prototypes etc. Ces différents états du concept sont considérés comme étant des « Objets Intermédiaires » OIs de la conception [Jeantet, '98].

Selon Boujut et Vinck trois points de vue de ces OIs ont été identifiés : la représentation, la traduction et la médiation [Boujut, J. F, '01] [Vinck, '06] :

- ***La représentation*** **:** les objets intermédiaires représentent les acteurs qui les ont conçus. Ils matérialisent des intentions ou des habitudes de travail ou de pensée, ils sont les traces et les marques de certains auteurs. Ils disent quelque chose de leurs auteurs et des conditions sociotechniques de leur production.

- ***La traduction*** **:** les objets intermédiaires ne se réduisent pas à l'intention (cahier des charges notamment) ou aux rapports sociaux qui président à leur production à cause de l'opacité dont ils sont la cause ; ils introduisent alors dans l'action des déplacements et des transformations. Ils jouent dans l'action.

- ***La médiation*** **:** les objets participent à la construction de compromis et de savoirs partagés entre les acteurs. Même l'auteur d'un objet (idée posée devant lui sous forme graphique, par exemple) se découvre interpellé par l'objet qu'il vient de commettre. Ainsi, un concepteur qui vient de faire un croquis à main levée pour faire comprendre

> son point de vue à ses collègues découvre, en regardant ce qu'il a dessiné, quelque chose auquel il n'avait pas pensé. L'objet intermédiaire introduit ainsi quelque chose dans l'action qui échappe en partie aux acteurs. L'objet est également médiateur dans la mesure où il supporte la confrontation des points de vue, par exemple en offrant des prises pour les acteurs en présence, en aidant ceux-ci à faire apparaître de nouvelles connaissances, solutions et approches.

L'observation fine des pratiques de Vinck a permis de montrer que les objets produits et mobilisés dans les interactions entre acteurs interviennent sur une gamme étendue dans le registre de l'action : faciliter, induire, rapprocher, empêcher, dissuader, rendre possible, etc. Ainsi, la présence de ces objets affecte de façon variable la qualité des échanges informels entre acteurs, la transmission plus ou moins fidèle d'un message et l'exploration plus ou moins ample des solutions. [Vinck, '06]. Pour Mer, il représente le futur produit et, en même temps, le processus dont il est le résultat [Mer *et al*,, '95].

1.3.2. Exemples de différentes formes de l'objet intermédiaire

Les OIs prennent un formalisme différent et évolutif selon la phase du processus de conception considéré. Ils passent de l'aspect simple et modulable (croquis ou maquette de recherche par exemple), à des représentations plus complexes réunissant un maximum de contraintes et recommandations au fur et à mesure que l'on se rapproche de la fin du projet (modèle du produit réalisé en Conception Assistée par Ordinateur par exemple) [Troussier, '99]. D'autres les considèrent comme une présentation graphique (image, …) ou autre (plan, programme, …) du concept avant que le résultat final (prototype ou présérie) de la conception globale ou du projet du développement ne soit réalisé. Donc à chacune des étapes, l'acteur fait appel à des "intermédiaires" qui restreignent, ralentissent et augmentent le temps et le coût d'un design. Pire encore, alors qu'il travaille avec le même objet, il le communique par différents médias à différents "intermédiaires" (dessins ou coordonnées chiffrées). Souvent, plusieurs objets sont produits et mobilisés. Parfois, les acteurs passent d'un objet à l'autre, le reconstruisent pour en engendrer un nouveau. A partir de son idée de création et jusqu'à sa réalisation, « un objet de conception » se présente sous différentes formes : idée, croquis, schémas, dessins, maquette numérique, prototype, etc. [Duchamp, '99].

Puisque l'une des importances de ces OIC est qu'ils rendent l'objet compréhensible par l'ensemble des acteurs concernés, voire l'utilisateur lui-même, on trouve plusieurs gammes d'outils telles que classiques et traditionnelles (dessin, maquette physique…), numériques provenant de logiciels divers de CAO (modélisation, prototype numérique, mannequin numérique…) ou encore virtuelle (prototypage et évaluation virtuel…) etc. Ces diverses Représentations Intermédiaires (RI) permettent d'évaluer par plusieurs métiers différents aspects du produit avant sa naissance. Cela est selon la nature du domaine d'application de ces outils. Par exemple, dans **le design,** ils servent à la création et à l'évaluation la forme, le style, les dimensions…, pour **l'ingénierie**, l'utilité se manifeste dans la conception, simulation, modélisation et analyse le produit techniquement, alors que pour **l'ergonomie,** les OIC sont utilisés pour analyser et évaluer le produit de point de vue des interactions avec l'utilisateur, de l'accessibilité, du confort etc. [Yang *et al.*, '07]. La circulation de ces objets devient le lieu de la construction de l'action collective.

Vinck [Vinck, '06] souligne que dans les travaux récents mobilisant la notion d'objet intermédiaire, l'attention s'est portée aussi sur les objets futiles, éphémères et peu codifiés [Blanco *et al.*, '01] [Monroy-Leon, '04]. Une seconde tendance est l'étude des objets intermédiaires en situation de médiation entre acteurs hétérogènes : processus cognitifs collectifs [Brassac *et al.*, '01] [Krafft, '04] [Teulier *et al.*, '04], aménagement des territoires et représentations de l'espace [Lardon *et al.*, '01], coopération entre métiers [Laureillard *et al.*, '99].

Afin de donner un exemple concret de ces OIC, nous citons à titre d'exemple, l'analyse faite par Stoeltzlen sur l'Analyse de Tendances Conjointes(ATC). L'auteur focalise sur les différents modes de représentation générés par le designer en phases amont du processus de conception de produits figure 10. Ils sont de natures visuelles et graphiques [Stoeltzlen, '04] telles que :

1.3.2.1. Croquis ou esquisse :

Il s'agit d'un dessin utilisé dès les premières phases de recherche. Il sert à matérialiser rapidement un grand nombre d'idées et de concepts et de les faire évoluer par confrontation et comparaison. Il reste volontairement imprécis non fini [Stoeltzlen, '04].

1.3.2.2. Rough :

Rendering en anglais, il se traduit par une perspective réaliste du produit [Flocon *et al.*, '94]. Quarante précise qu'il permet de se faire une idée très vivante du produit tel qui se présentera au final. Cela permet ainsi de comparer plusieurs concepts. « Le rough est le moyen idéal de communiquer visuellement le projet à l'entreprise » [Quarante, D '01].

1.3.2.3. L'analyse de tendances conjointes (ATC)

Elle s'agit d'une méthode développée par plusieurs chercheurs : [Christofol, *'95*], [Roussel, '96] [Bouchard, '97] et expérimentée par plusieurs projets industriels au sien du Laboratoire Conception de Produits et Innovation depuis 1995.

Cette méthode consiste d'abord à identifier les valeurs sociologiques, puis les secteurs influents. À partir de ces attributs identifiés, on définit un mapping axiologique lié au secteur d'application. Ensuite, on cherche des illustrations (images, photos..) qui représentent les valeurs déjà définis. Enfin, on positionne les illustrations de produits selon les mots et les axes identifiés. La démarche d'Analyse des Tendances Conjointes a pour finalité de générer les solutions concrètes en termes d'attributs de produits (forme, couleur, texture, usage) à partir des valeurs [Lim, '03]. En effet, cette méthode s'appuie sur une étude sociologique des valeurs actuelles ressenties par la population [Mantelet, '06]. Elle est un outil qui permet de prendre en compte indirectement le consommateur dans la conception de produits.

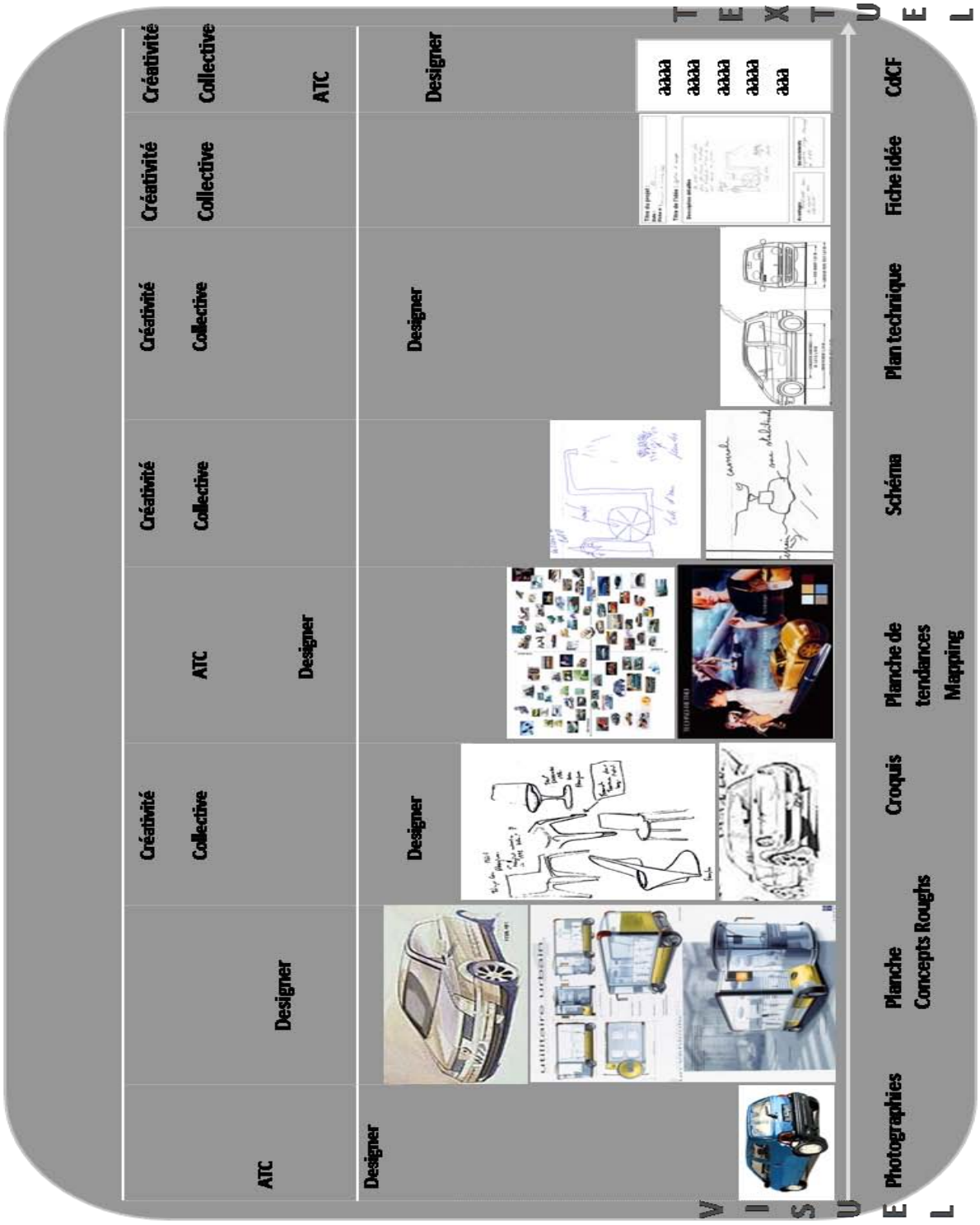


Figure 8 : Exemple des modes de représentation et implication du designer, de l'ATC et de la Créativité Collective selon [Stoeltzlen, '04].

1.3.2.4. Le mapping :

Le « mapping » est une représentation graphique en deux dimensions sur un système d'axes à plusieurs dimensions, utilisée pour positionner des éléments par rapport aux axes et les uns par rapport aux autres. Stoeltzlen précise que sur ces axes sont positionnées toutes les photographies issues de l'analyse de l'existant du secteur du produit à concevoir, l'analyse du mapping va permettre un positionnement du projet par rapport à l'existant [Stoeltzlen, '04]. Khoudeir rajoute que cet outil permet d'avoir une vision globale et illustrée du secteur [Khoudeir, '07].

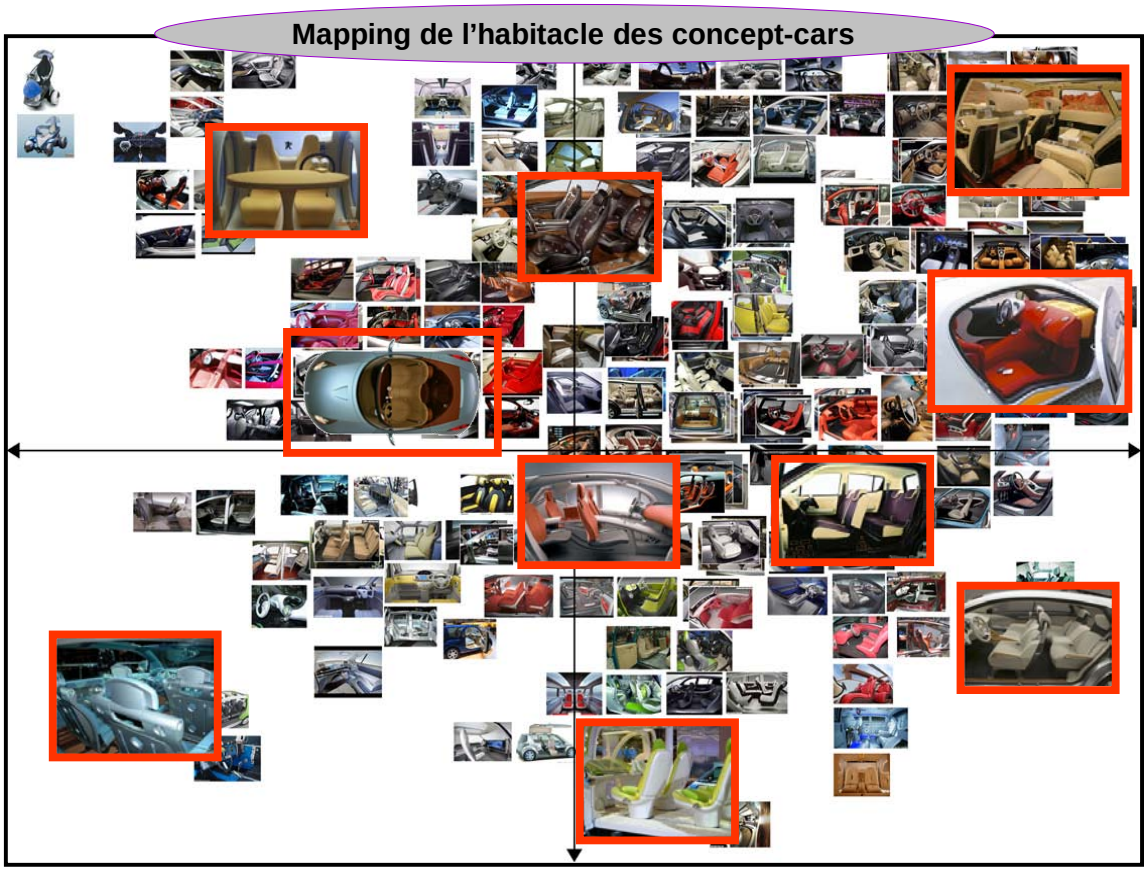


Figure 9 : Exemple de mappings[21] sur l'offre existante dans le secteur de concept-cars des années 2003, 2004 et 2005 réalisé par R. Khoudeir [Khoudeir, '07].

[21] Selon KHOUDEIR, nous avons classifié ces images en treize groupes. Cette classification nous a amené à dégager deux axes et deux diagonales stylistiques. Le premier axe horizontal s'étend du pôle « Architectural » au pôle « Organique ». Le deuxième axe vertical s'étend du pôle « Transcendance » au pôle « Rationalisme ». Puis, une diagonale s'étend du pôle « Science fiction » au pôle « Domestique». En fin, une deuxième diagonale

1.3.2.5. Les planches de catégorisation-ambiance-tendances

La planche de catégorisation est composée d'un ensemble d'éléments iconiques (photographies) sur un positionnement particulier. Elle sert à faire des analyses (formelles, texturales, colorées, technologiques…) [Stoeltzlen, '04]. Le résultat obtenu de cette planche permet de construire **la planche d'ambiance,** composée d'un ensemble de photos assemblées de façon spécifique pour trouver une ambiance à une thématique donnée. Enfin, l'outil **planche de tendances,** se pratique généralement de manière intuitive et informelle selon les secteurs et peut aussi se caractériser sous forme de cahier à l'aide des illustrations telles que des : photos, documents de presse, dessins, coloris, échantillons…etc. Ces planches définissent l'ambiance d'un environnement donné, et permettent une visualisation des éléments essentiels communiqués autour d'un produit futur. L'analyse de tendance se pratique dans le cadre de la veille stylistique. Selon Bouchard, la planche de tendance permet de construire la représentation cohérente d'une atmosphère afin de découvrir la structuration d'un univers perceptuel, composé à partir d'un ensemble de représentations icono-plastiques sélectionnées selon des critères donnés ou inhérents au concepteur, elle lui permet de visualiser mentalement des éléments à priori absents et éloignés dans l'espace et dans le temps [Bouchard, '97]. Dans ce contexte Christofol considère que l'outil planche de tendances, permet au concepteur d'identifier, d'investiguer et de représenter des univers en vue d'en comprendre la structuration chromatique, et de révéler des harmonies de couleurs pour concevoir la coloration d'un produit [Christofol, *'95*].

1.3.2.6. L'analyse de la valeur, l'analyse fonctionnelle et le CdCF

Selon la norme française norme NF X 50-150 **l'analyse de la valeur** est une méthode de compétitivité organisée et créative visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception, à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire. Habituellement, cette analyse se fait en deux phases : la phase d'analyse et de diagnostic pour bien définir le problème, analyser le produit, ses coûts et ses fonctions, puis la phase de

---

s'étend du pôle « Militaire » au pôle « Luxueux » Khoudeir, R. (2007). L'amélioration de l'habitabilité automobile de demain: L'application des principes de la construction architecturale de la maison dans la conception de l'habitacle des concept-cars. Thèse de doctorat en génie industriel de l'ENSGSI- INPL. Nancy..

créativité et d'innovation afin de trouver les réponses appropriées, rechercher et évaluer les solutions. **L'analyse fonctionnelle,** (AF) d'après la norme AFNOR[22] NF X 50-151, est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions du produit (matériel, logiciel, processus, service) attendues par l'utilisateur. Elle met en évidence chacune des fonctions principales, qu'elles soient d'usage ou d'estime (Pourquoi l'objet a-t-il été créé? Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire?...). L'hypothèse de base de la méthode est que le besoin du client est satisfait par l'utilisation d'un produit. L'AF se formalise le plus souvent sous la forme d'une schématisation [Plommet, '00]. Cette démarche traduit le rêve du client et débouche généralement sur **le cahier des charges fonctionnel** (CdCF) qui est la conclusion des travaux d'analyse de la valeur et d'analyse fonctionnelle, il s'agit d'un document par lequel le demandeur exprime son besoin pour le projet. Ce besoin doit être formulé en termes de fonctions que le futur utilisateur aura à accomplir. Le CdCF permet aussi :

- de provoquer chez le concepteur /réalisateur la conception et la réalisation du produit le plus efficient,
- de faciliter le dépouillement des propositions des acteurs,
- de favoriser le dialogue entre les partenaires.

1.4. La chaîne numérique de la conception

Dans un contexte d'entreprise étendue et de travail collaboratif, dont la tâche est de valider et de définir techniquement le produit imaginé (produit idéal) par les concepteurs pour le rendre fabricable (produit réel), a constitue un enjeu majeur de développement pour l'ensemble des domaines de la conception. Cependant, le développement des outils informatiques d'aide à la conception et à la fabrication est devenu indispensable. Dans ce contexte, la numérisation de pièces réelles et la mesure d'entités géométriques est devenu un point central dans la conception d'un objet pour réduire l'écart et la distance entre idéel/réel.

Nous avons vu précédemment que **la conception** permet d'imaginer, de formuler des solutions pour remplir des fonctions bien définies à l'intérieur d'un ensemble de contraintes.

[22] AFNOR Agence Française de Normalisation.

Ensuite nous avons évoqué, comment à chacune des étapes, le concepteur fait appel à des OIC «**la conception assistée**» qui restreignent, ralentissent et augmentent le temps et le coût d'un design. Maintenant, nous abordons la notion de **la conception assistée par ordinateur** et la chaîne numérique de la conception.

XAO, signifiant « X Assisté par Ordinateur » (DessinAO, ConceptionAO,.. FAO, CFAO…etc.)[23], autrement dit, la chaîne numérique, voilà des mots qui résonnent souvent à nos oreilles ces dernières années. Derrière ces mots, des concepts, mais aussi une nécessité de technologies adaptées, dont nous avions besoin pour faire passer de la théorie à la pratique aussi bien au niveau industriel que pédagogique. La chaîne numérique s'inscrit directement dans un projet plus large, celui de la gestion de la vie d'un produit : Product Life cycle Management en anglais dont les initiales sont P.L.M. En effet, la compétitivité industrielle nécessite l'optimisation de ce cycle de vie afin « gagner de l'argent pour faire vivre ses acteurs ». Dans le cadre de ce PLM, nous nous intéressons, au sous-système conception et fabrication, nous réservons les lignes suivantes pour présenter quelques outils de la chaîne numérique afin de montrer à quel degré les acteurs de la conception sont influencés par leurs instruments de travail.

1.4.1. Les principaux maillons de la chaîne numérique

Le traitement informatique nécessaire à la conception de produit reste lourd et fait appel à différents outils (Modeleurs géométriques et logiciels FAO, simulateurs d'usinage, commandes numériques). Différentes méthodologies existent pour transmettre les informations d'un outil à un autre, et l'utilisation de post-processeurs est une étape incontournable.

Ces techniques sont le fruit de l'évolution des systèmes informatiques, et intéressent de plus en plus les concepteurs eux-mêmes. Utilisé d'abord pour la partie la plus technique et matérielle de la fabrication de l'objet, l'ordinateur s'intègre de plus en plus en amont du processus qui mène de l'idée au produit [L'Hegarat, '96]. Ils sont considérés comme une bonne solution pour la maîtrise du PLM. Tout comme un tableur va permettre aux gestionnaires de faire des **simulations**, puis des **prévisions**, et enfin de **suivre le réel** afin de

[23] Ces outils seront décrits ultérieurement

réagir en cas de dérives, la chaîne numérique va permettre ces trois étapes au niveau du cycle de vie du produit.

1.4.1.1. La conception assistée par ordinateur (CAO)

Chronologiquement, commenceront la conception d'un produit à la saisie du besoin qui débouche sur le cahier des charges fonctionnel. Le dessin, le produit va donc être une réponse à ce cahier des charges fonctionnel. Les fonctions de produit vont trouver, au fur et à mesure de la conception, leur réalisation à travers des fonctions techniques elle-même, étant le résultat d'assemblages et de formes. Si l'on ne veut pas détruire dès le départ la chaîne numérique, on dit souvent « ne pas couper la chaîne », Cette intention de conception sous-tend bien sûr le cahier des charges fonctionnel.

Afin de ne pas briser la chaîne numérique, le concepteur doit faire passer son intention de conception au travers de ses constructions formes ou assemblages. À chaque fois que le cahier des charges impose une flexibilité, le concepteur va devoir paramétrer les formes, les jeux où les positions relatives afin de satisfaire cette flexibilité.

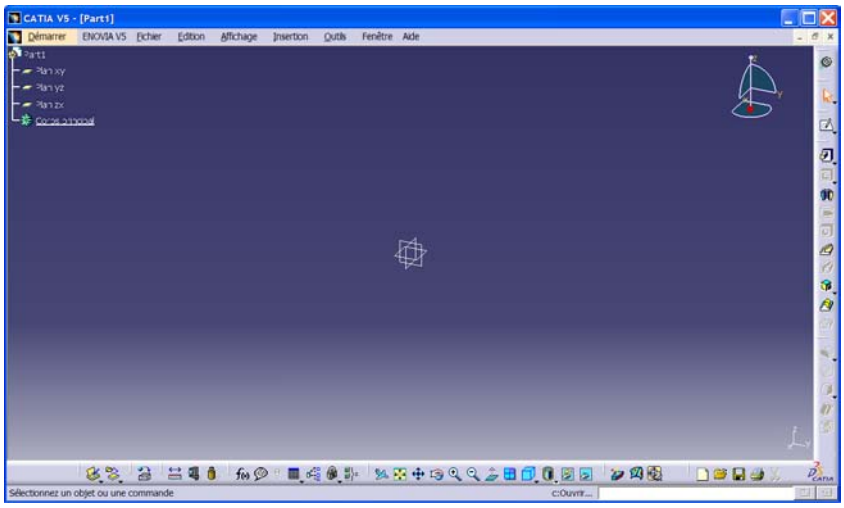


Figure 10 : Exemple d'interface d'un logiciel CAO CATIA V5 de Dassault Systèmes.

Il est important ici de noter qu'il existe une différence fondamentale entre le Dessin Assisté par Ordinateur DAO et la CAO. Le DAO est une planche à dessin électronique commandée par informatique, il s'git donc d'un moyen d'obtenir la représentation d'un dessin par traitement informatique d'un ensemble de données graphiques. À la fin d'un travail de DAO, sur la sortie papier. En CAO, en revanche, si l'on veut garantir la chaîne numérique, le

concepteur doit tout d'abord poser les formes fonctionnelles puis coter au fur et à mesure. Il faut donc dès le premier trait savoir où l'on va. Avançons sur notre chaîne numérique, le maillon suivant est la FAO.

1.4.1.2. La fabrication assistée par ordinateur (FAO)

Depuis quelques années, d'autres concepts sont apparus dans les descriptifs de produits informatiques : la CFAO Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur. Le principe de base de la FAO est de pouvoir reprendre la géométrie de la pièce afin de pouvoir générer le code qui pilote la machine à commande numérique. Là encore la difficulté est de ne pas rompre la chaîne. Anciennement, le bureau d'études exportait les pièces dans un format. Le fabricant essaie d'importer ce fichier. L'import effectué, il fallait nettoyer la géométrie. En trois dimensions par exemple, il fallait refaire quelques raccords ou supprimer quelques surfaces inutilisées, bref effacer les « petits problèmes d'importation ». Le problème résidait dans le fait que le fabricant devait le refaire à chaque modification du dessin. Aussi, souvent, le fabricant n'a pas envie de « s'embêter » la plupart du temps, surtout dans le cas de formes sont simples, il redessinait la pièce et va ressaisit la géométrie sur le module de dessin incorporé à son logiciel. Ces actions brisaient la chaîne numérique. Afin de maintenir la chaîne numérique cohérente, on trouve plusieurs solutions logicielles de FAO peuvent générer une géométrie de pièce à partir de celle issue du bureau d'études en fonction des impératifs de production. La performance du logiciel pourra être évaluée en mesurant le temps nécessaire à obtenir une géométrie compatible avec la fabrication suite à une modification du bureau d'études.

Donc, nous pouvons dire qu'à partir du noyau central de la CAO sont apparus des logiciels de FAO et de robotique.

1.4.1.2.1. LA MACHINE A COMMANDE NUMERIQUE (PROTOTYPAGE RAPIDE)

Une machine outil à commande numérique est une machine outil automatique dont les moteurs sont actionnés par un ordinateur capable d'exécuter un programme d'usinage. Ce programme édité par l'opérateur et transmis par un autre système informatique FAO comporte une suite d'instructions de mouvements (commande des axes).

Continuons à parcourir notre chaîne numérique. Le fabricant va donc choisir et simuler des solutions, des procédés d'usinage ou de prototypage. La FAO joue ici un rôle d'aide à la

décision important. Grâce aux techniques de prototypage rapide, vient une étape moins virtuelle : la fabrication de la première pièce. Aujourd'hui, il est possible de réaliser directement à partir d'un modèle informatique CAO un prototype tridimensionnel solide sur une machine de prototypage rapide Figure 11.



Figure 11 : Machine outil à commande numérique « prototypage rapide » Cré@ction

Nous venons de retracer les grandes étapes de la chaîne numérique en la parcourant en détail. Cela nous a permis de mettre en évidence de nouveaux concepts et de nouvelles démarches intégrés au processus de conception. Mais tout ceci nous permet surtout de voir l'évolution de la « boîte à outils » utilisable en conception et son impact sur l'acteur de conception, le produit et le processus en lui même qu'il ne faut pas le négliger.

1.5. Synthèse du chapitre 1. 1

Dans le chapitre précédent, nous avons exploré l'histoire de la conception de produit en passant par quatre grandes étapes. Tout d'abord, nous avons défini le produit et ses valeurs principales, et nous avons analysé les différents processus de conception permettant au produit de se former. La complexité du produit moderne nous a amené à évoquer la naissance de certains métiers, ainsi de citer quelques acteurs indispensables dans le projet de conception. Cette diversité de disciplines métiers a conduit à l'apparence de nouvelles stratégies de conception [Gomes, '08] qui ont favorisés leur intégration, nommés concourante, simultanée, collaborative ou encore intégrée selon le contexte où se réalise le projet. Ensuite, il a fallu développer des outils pour assurer l'échange collectif et l'interaction entre les acteurs concernés, et pour permettre de suivre la transformation progressive de l'idée jusqu'à le produit final. Pour ce faire, nous avons présenté une série d'exemples d'OIC suivie de la chaîne numérique de conception, une nouvelle génération plus adapté à l'ingénierie concourante.

Pour résumer, le produit nouveau comme la conception peut donc passer par plusieurs phases et contient plusieurs disciplines et métiers. Un de ces métiers est celui de notre recherche « le design ». Nous considérons que les méthodes développées par ce métier ne sont que peu « visibles ». En effet, nous constatons qu'il est difficile, dans la littérature, de trouver des modèles proposant l'intégration du design dans le processus de conception. De plus, très peu de références traitent le métier de façon professionnelle contrairement à d'autres disciplines de conception. Pour ce faire, nous réservons le chapitre suivant pour focaliser la lumière sur le design, son métier et sa propre vision du produit.

2.FOCALISATION SUR L'ACTEUR DESIGNER ET SA VISION ESTHETIQUE VERS LE PRODUIT

Dans ce chapitre nous allons présenter le designer comme un acteur important dans un projet de conception, en passant par ses aptitudes, son rôle, sa place dans le processus de conception. Nous poursuivrons par une analyse détaillée sur le produit d'un point vue design.

2.1. Le designer industriel

Le designer est surtout l'avocat de l'esthétique.

Comme nous l'avons vu à travers les définitions dans le paragraphe 1.2.1.4, la profession du designer est importante dans le cycle de vie d'un produit. Ainsi, son rôle est inséparable de ce dernier. *« Le design vise à réconcilier l'art et l'efficacité, l'ergonomie et l'économie, la qualité et la productivité, les relations humaines et la fonctionnalité »*[24]. Le designer se trouve à mi-chemin entre l'artiste et l'ingénieur. Pour l'artiste, l'œuvre est unique ou presque, l'art est une finalité. Pour le designer, avant de commencer tracer son dessin, il subit toutes sortes de contraintes, industrielles, économiques, sociétales et environnementales (durable) pour rendre son produit fabricable en série.

C'est ainsi que le designer emprunte à plusieurs autre disciplines, il implique des préoccupations diverses qui vont de l'esthétisme à la mise en place du fonctionnalisme en passant par l'ergonomie, la sociologie pour arriver à la fabrication en série. Dans ce contexte, le design n'est plus un outil de restyling mais devient une démarche stratégique, participant aux phases amont et à l'élaboration du projet [Magnard, '02].

2.1.1. Les aptitudes du designer

Le fait de parler du designer et de ses aptitudes nous semple important, car une grande partie de notre travail se déroule avec lui et avec ses outils. Schulmann a schématisé les caractéristiques et les aptitudes du designer sur la Figure 12.

[24] Thierry GAUDAN, 2100, « Odyssée de l'espèce », 1993, document Payot.

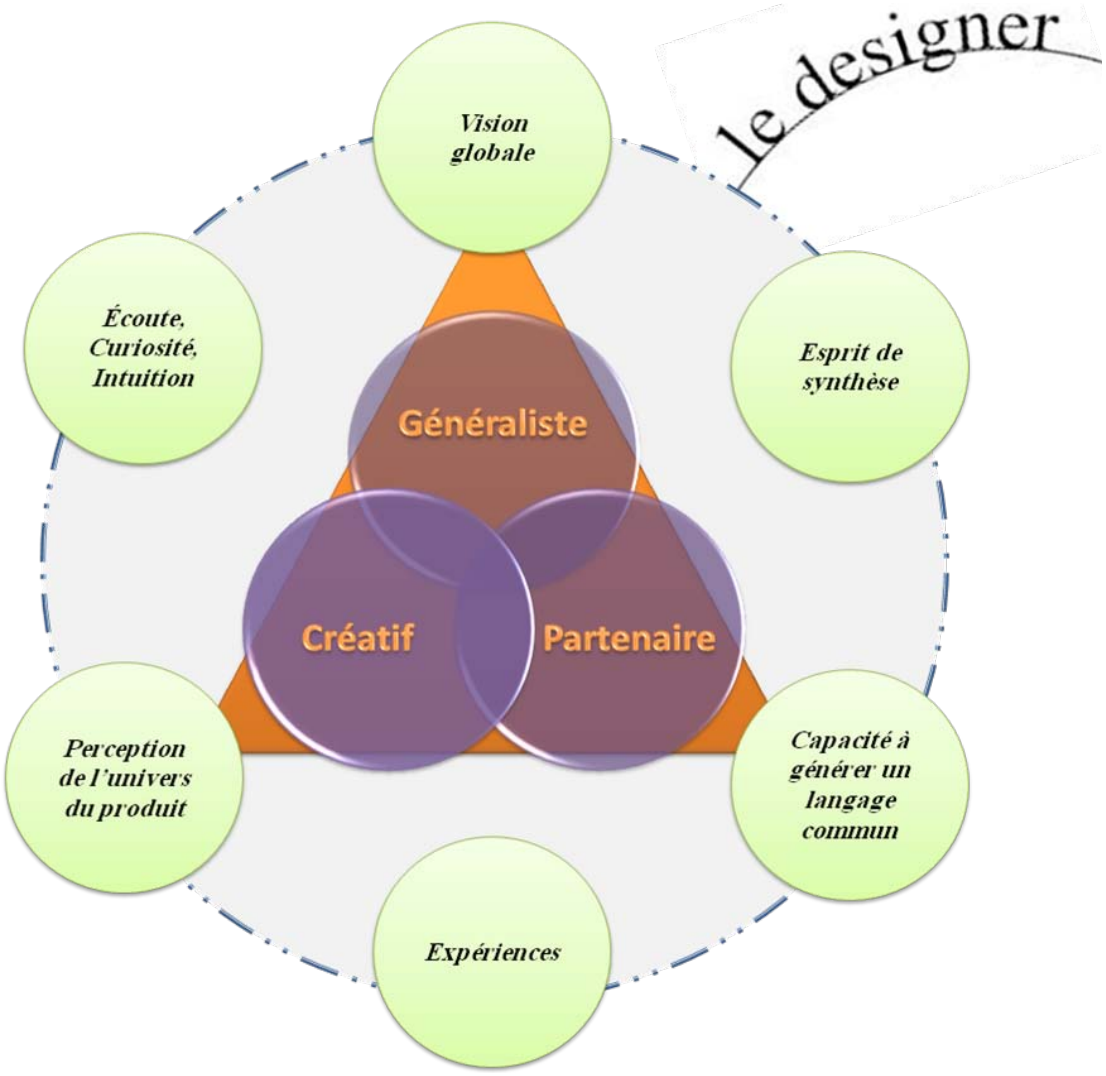


Figure 12 : Des aptitudes du designer inspirés du modèle de Schulmann [Schulmann, '95]

2.1.1.1. Le designer est un généraliste

Le designer est **un généraliste** qui a une méthode spécifique d'analyse et de résolution de problèmes liés au développement d'un nouveau produit. Il travaille pour toute sorte de secteurs d'activité et d'entreprises. Il possède une richesse d'expériences dont il fait profiter ses clients.

2.1.1.2. Le designer est Multi disciplinaire ou non-spécialiste :

Une approche marketing, des connaissances sur les procédés de fabrication, les matériaux, des connaissances en ergonomie et un sens artistique qui lui permet de composer entre les formes

et les couleurs. **On peut dire que son travail ne se limite pas à la seule perception esthétique comme il est trop souvent perçu.**

2.1.1.3. Le designer est un créatif

Par sa façon de remettre l'existant en question, le designer doit être créatif. Il utilise une méthode de travail qui lui permet d'ouvrir un éventail de possibilités sans perdre de vue la réalité du problème qui lui est soumis. En regardant les objectifs qu'il doit atteindre, il a besoin d'être de certaines attitudes : La curiosité (tout l'intéresse, il observe tout, actualité sociale, culturelle, les tendances, l'actualité technique...), l'intuition, l'imagination, sa capacité d'écouter, son esprit d'analyse et de synthèse. Ce qui est important à citer pour notre recherche, est sa capacité à imaginer, **traduire sa pensée et la représenter afin de la dialoguer avec les autres.** Ses outils qui lui permettent de faire ceci seront développés durant la deuxième partie.

2.1.2. Rôle de designer industriel

En lien fort avec ses aptitudes personnelles, on trouve que le designer tend de plus en plus à être impliqué dans la stratégie globale de l'entreprise. Il facilite la prise de décision, et favorise les synergies entre les différents acteurs. Le designer industriel apporte à l'équipe de conception son approche intuitive, son esprit de synthèse, sa connaissance des utilisateurs et ses qualités de représentations bi et tridimensionnelles [Christofol, *'95*]. Il joue un rôle de double sens, créateur et communicateur de l'information, et avec le sens harmonique qu'il possède, il assure les relations produit-acteurs et produit-utilisateurs. Selon Bouchard, il est en position intermédiaire entre le consommateur et l'industrie [Bouchard, '97]. Le designer peut prendre un rôle plus large de son métier, et peut apporter un plus aux autres métiers. Louis Kemp in [Vinck, '06] montre ainsi comment le travail esthétique des urbanistes influence les méthodologies de conceptions des autoroutes. Il participe à la recherche d'une activité créative et conceptuelle, c'est-à-dire de la création d'un concept à sa formalisation.

Après avoir présenté le designer, ses aptitudes et son rôle, il nous semble important d'exposer notre proposition de situer le designer et de trouver sa place parmi les acteurs dans le processus de conception.

2.1.3. Place de designer dans le processus de conception

La conception d'un nouvel objet est souvent un travail collectif qu'il faut organiser et orchestrer [Giard *et al*,, '93]. Nous avons montré dans le chapitre 1.1.3 les processus de conception appliqués sur plusieurs travaux par plusieurs auteurs. Afin de citer notre place en tant que designers dans le processus de conception, nous allons présenter la démarche que nous avons suivie durant la réalisation de projets (Figure 13). Car, nous n'avons pas trouvé « d'après notre recherche bibliographique » un modèle qui propose de situer l'ensemble des acteurs, notamment, le designer dans les phases de conception et le moment d'intervention de chaque acteur.



Figure 13 : Place du designer dans le processus de conception

Les étapes décrites dans la méthode proposée dans la Figure 13 doivent être considérées comme une série de points de repères, dont on peut s'éloigner ou être modifiées selon la nature de l'étude ou le contexte du projet.

Le Brief marketing et Cahier des Charges design sont **la synthèse des analyses préliminaires** relatives au nouveau produit à créer. Ils évoluent en fonction du déroulement de l'étude. Ils doivent comporter l'ensemble des éléments dont le designer à besoin pour apporter la meilleur réponse possible au problème soumis par l'entreprise[25]. A ce moment, le designer commence à inventorier toutes les données liées au projet, à l'entreprise et au marché afin qu'il puisse élargir ses recherches sur l'existant, la cible, les tendances et l'univers du produit. Comme résultat de cette étape, une proposition de trois **thématiques ou axes de recherche pour le futur produit** à partir d'un cahier d'idées et/ou une maquette conceptuelle, cela permet au designer d'exprimer l'idée du projet pour corriger et enrichir l'idée. Ensuite, une comparaison

[25] Nous utiliserons le terme « entreprise » mais il peut être le client de l'agence, dans notre cas par exemple : Les structures petite enfance (CCAS), La société AVIA…etc.

et réflexion est faite sur les trois thèmes pour choisir avec l'entreprise celui devant être développé. Au cours de **la phase créative**, le designer va développer la thématique de recherche retenue, en prenant en considération la fonction d'usage et la fonction d'estime du produit, afin de proposer au client trois **avant projet**[26]. Généralement ces trois produits sont différenciés en :

- Un produit respectant strictement les moindres de données fournit dans le cahier des charge de l'entreprise.
- Un produit élargissant le cahier des charges : Une proposition qui va au-delà des objectifs prévus. Ici le talent et la créativité du designer se manifestent.
- Un produit hors du cahier des charges : Lors de sa recherche créative le designer peut avoir découvert des concepts débordants du cahier des charges. Qui ne sont pas utilisable dans le cadre actuel, mais qui peuvent faire apparaître des idées utilisables à court terme.

[26] Le nombre trois étais notre proposition pour certains projet. Mais, il possible qu'il soit plus au moins.

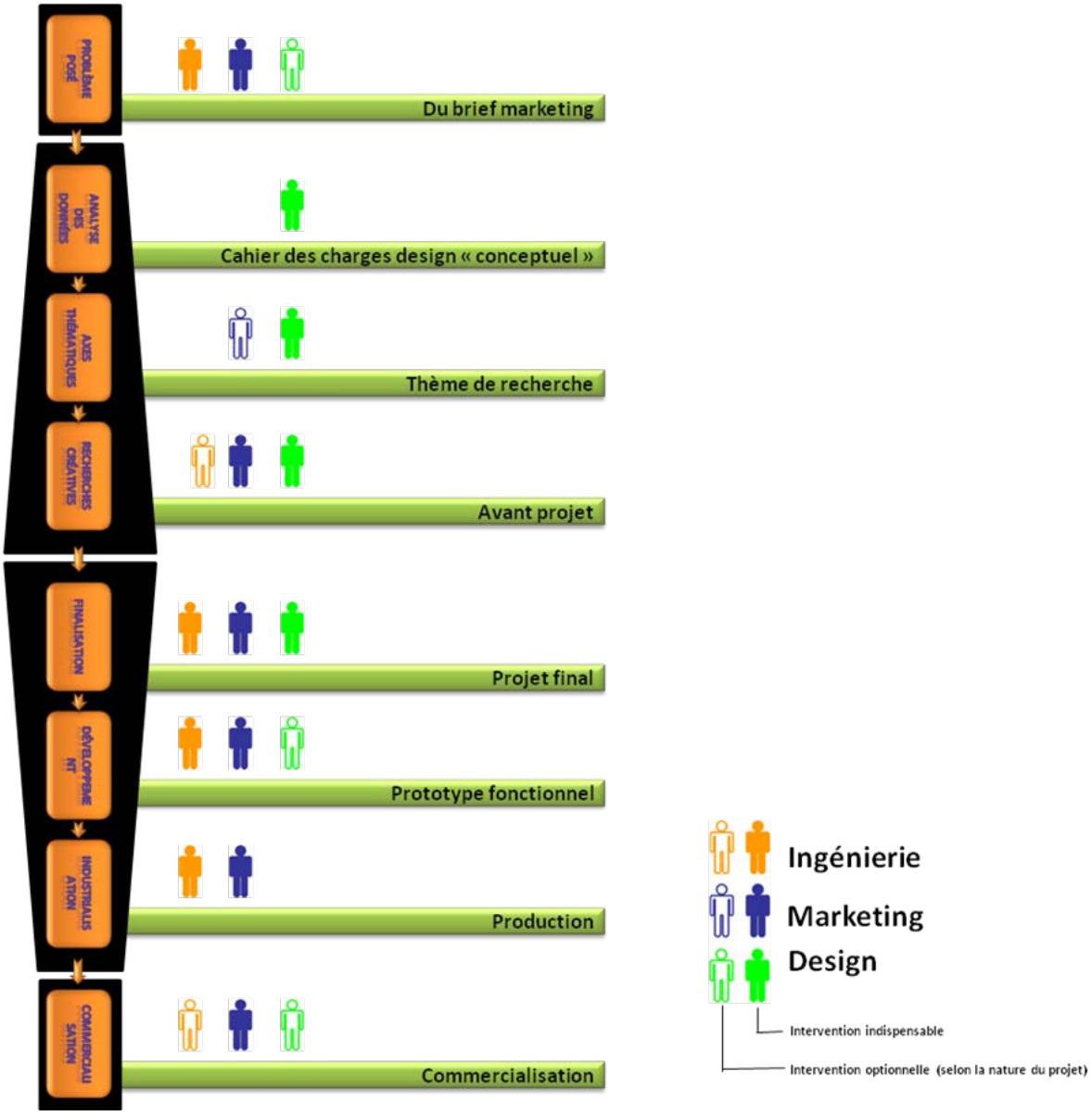


Figure 14 : Proposition de méthode de design collaborative intégrante le designer.

Le designer va présenter son travail (les trois propositions) et va aider le client à valider et choisir son avant projet. Une étape de **finalisation de la création** pour enrichir le projet final à partir des mises au point techniques et esthétiques, choix des matériaux. Pour cela, le designer utilise la 3D rendu réaliste, mise en situation du produit dans son environnement, scénario d'utilisation, maquette fonctionnelle et/ou maquette d'aspect « pour valider l'esthétique du produit et faire le test-utilisateur » et bien évidemment des plans techniques nécessaires à la fabrication. Souvent, le designer n'intervient pas à la phase de

développement, car il s'agit de la mise au point des solutions techniques et de répondre aux questions liées aux contraintes de productivités, coûts, qualité…etc.

Nous venons de présenter le designer, son rôle et sa place dans le processus de conception. Nous allons maintenant présenter notre propre vision sur les deux grandes étapes suivies par le designer lors de la conception de produits nouveaux.

2.1.3.1. La création du produit et la communication autour d'un produit :

La démarche générale de conception consiste à projeter au préalable des attendus pour le futur produit et à mettre en œuvre ensuite différents modèles permettant de prédire les performances tout au long du processus de conception, afin de gérer l'incertitude. Cette démarche implique une projection dans l'avenir et une prédiction des résultats. D'après notre expérience en design durant la réalisation des projets pédagogiques et industriels, chacune des phases du processus de conception d'un produit nouveau, quelque soit la nature du projet, est basée sur une alternance entre deux activités majeures : La création de l'objet et la communication sur l'objet (Figure 15).

Par création-communication. Nous entendons la création graphique ou le design conceptuel et la communication graphique de l'objet. La première est un processus formatif qui porte sur la conception et la maturation des idées ; la deuxième est un processus explicatif qui présente des idées complètement formées aux autres. La création graphique, c'est comme se parler à soit même visuellement. Tandis que la communication graphique serait de parler visuellement aux autres. Habituellement, l'idéation graphique précède la communication graphique. Le « penseur visuel » doit en premier lieu découvrir et développer une idée pour ensuite la communiquer [Marshall, '92]. Les instruments utilisés par le designer lors de l'idéation ou lors de la communication sont nombreux (graphiques, physiques ou numériques).

Selon nous, ces outils permettent au designer de prendre sa place et de jouer pleinement son rôle, non seulement de concevoir et de présenter ses concepts mais aussi d'échanger avec chacun des acteurs de conception et de les faire travailler ensemble. Nous pouvons dire qu'ils sont comme un crayon pour l'écrivain, qui lui sert à la fois pour rédiger le message, ensuite, le texte est le moyen d'expression. Le fait d'utiliser la réalité virtuelle immersive comme média graphique pour la création et pour la communication nous permettra d'évaluer son influence sur le processus.

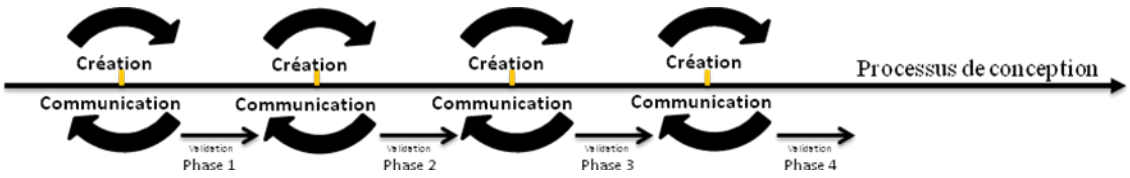


Figure 15 : La création et la communication dans le processus de conception.

Nous venons de présenter le métier du designer, ses aptitudes, son rôle et sa place parmi les autres acteurs de conception. Nous allons maintenant nous intéresser au produit d'un point de vue design, suivie d'une analyse détaillée des caractéristiques esthétiques du produit.

2.2. Le produit d'un point de vue design :

« Le design naît toujours d'une idée.

Il est la forme donnée à cette idée. »

Emmanuel Dietrich

Un des objectifs principaux en conception de produit est de satisfaire le mieux possible les goûts et les besoins des clients[27]. Là où la société industrielle replace la variété de l'offre et de l'esthétisme au centre de sa préoccupation. Ainsi, comme l'indiquait Hetzel: « L'esthétique prend une place grandissante face à des consommateurs qui ne considèrent plus fonctions et formes comme antinomiques, ayant non seulement appris à lire ces différents éléments mais possédant également les compétences pour les interpréter et le signifier » [Hetzel, '96]. Depuis les années 1950, le culte du beau renaît effectivement et touche les domaines les plus variés de notre vie. Nous parlons, par exemple, de chirurgie esthétique, de design de l'objet, d'art décoratif, de mise en page de documents numériques. Même dans le jeu de simulation de marché Markstrat développé par l'INSEAD : *une des caractéristiques essentielles du produit, prise en compte dans le choix du consommateur, est l'esthétique, au même titre que la performance du produit ou son prix*[28].

[27] Correspond à la définition de l'attribut « qualité » selon l'AFNOR : Aptitude d'un produit ou service à satisfaire les besoins exprimés ou implicites de l'utilisateur.

[28] Source en ligne : www.escp-eap.net/conferences/marketing/2008_cp/Materiali/Paper/Fr/Ezan_Lagier.pdf

Généralement, un produit, qui représente ce qui est nécessaire à l'utilisateur, ou désiré par lui (explicite ou implicite, existant ou potentiel), peut se décomposer en deux parties :

- **Une part objective :** qui est perçue de la même manière par tous les utilisateurs, et qui peut être définie indépendamment de l'utilisateur. Dans cette approche objective, l'objet réunit à priori un certain nombre de critères et de normes définis, certifiant qu'il est, à titre d'exemple, beau ou fonctionnel en soi et que personne ne pourrait le contester. Nous nous retrouvons, dans ce cas, dans le cadre de la tradition classique où l'art est assimilé à la beauté [Lacoste, '86]. Aboudrar identifie ici trois âges dans l'esthétique objectiviste. Il a été considéré, dans un premier temps, que les récepteurs devaient **connaître** les règles de l'art pour pouvoir **ressentir** une émotion esthétique et être capables de **formuler un jugement** correspondant [Aboudrar, '00].
- **Une part subjective :** qui elle dépend des goûts de l'utilisateur. Cette part subjective n'est généralement pas verbalisée par l'utilisateur, voire inconsciente, et son évaluation est globale [Petiot, '04]. l'esthétique subjective se centre sur la problématique du goût, c'est-à-dire sur la capacité subjective, individuelle à juger le beau. Kant inaugure ainsi avec son traité « Critique de la faculté de juger » une théorie du jugement esthétique, se centrant sur le plaisir et les émotions [Kant, '90]. L'appréciation esthétique, se traduisant par un jugement esthétique du type : « c'est beau », se fonde alors sur le plaisir immédiat et intense provoqué par l'objet, et par là-même sur la satisfaction. Une discipline importante du design industriel, la *sémantique produit*, étudie les qualités symboliques des formes dans le contexte de leur utilisation, et l'application de cette connaissance au design de formes [Krippendorff *et al.*, '84]. Elle est intimement liée aux valeurs culturelles [Ramzi, '03] et symboliques de l'utilisateur et à ses capacités perceptives. Cette part subjective du besoin concerne par exemple les aspects esthétiques, de style, de couleur [Christofol *et al.*, '94].

Globalement, l'aspect esthétique d'un produit est une source de plaisir pour le consommateur. L'influence du design et de l'esthétique est largement reconnue comme étant un facteur important du développement et de la réussite d'un produit. De plus, lorsqu'un individu est mis en présence d'un objet design, ses attributs esthétiques font naître des émotions. Ainsi l'apparence de l'objet peut surprendre, amuser, attirer… ce qui amène l'individu à l'adoption

ou le rejet de l'objet. Donc, nous pouvons dire que l'esthétique d'un produit est un facteur important lors de la décision du consommateur. Ce dernier, cherche à avoir des objets non seulement pour leur utilité, mais aussi dans l'objectif de satisfaire un besoin matériel. Autrement dit, les biens ne sont plus seulement achetés pour leur fonctionnalité mais aussi parce qu'ils incorporent un discours esthétique, qui atteste de leur valeur et révèle la personnalité d'un utilisateur. Si le consommateur a appris à percevoir la dimension esthétique des marchandises et la revendique en tant que valeur intrinsèque du produit, on ne sait néanmoins pas grand-chose sur la façon dont les consommateurs construisent leur rapport au beau dans le domaine du produit. Devant cette problématique, nous consacrons ce chapitre afin d'analyser l'aspect esthétique du produit et proposer un modèle au designer pour élaborer le produit qui corresponde aux valeurs du consommateur liées au style, à la perception, et au design. En conclusion, le designer se trouve en contact direct avec le consommateur, son but est d'adapter l'apparence d'un produit aux attentes esthétiques du consommateur lors de sa création formelle. D'où la nécessité de faire une étude approfondie sur l'aspect esthétique de produit.

Dans l'univers des produits, on trouve que le style d'un objet se rapporte seulement à la forme extérieure, alors que le design inclue deux considérations primordiales, tel que la forme et la fonction. Nous avons concentré notre recherche sur les facteurs esthétiques (harmoniques) et fonctionnelle entourée dans la Figure 16. Ce modèle est proposé par Quarante montrant les différents facteurs qui composent un produit. Selon l'auteur, un produit, est considéré comme un « tout » composé des facteurs harmonique, culturels, sociaux, fonctionnels, historiques et technologiques.

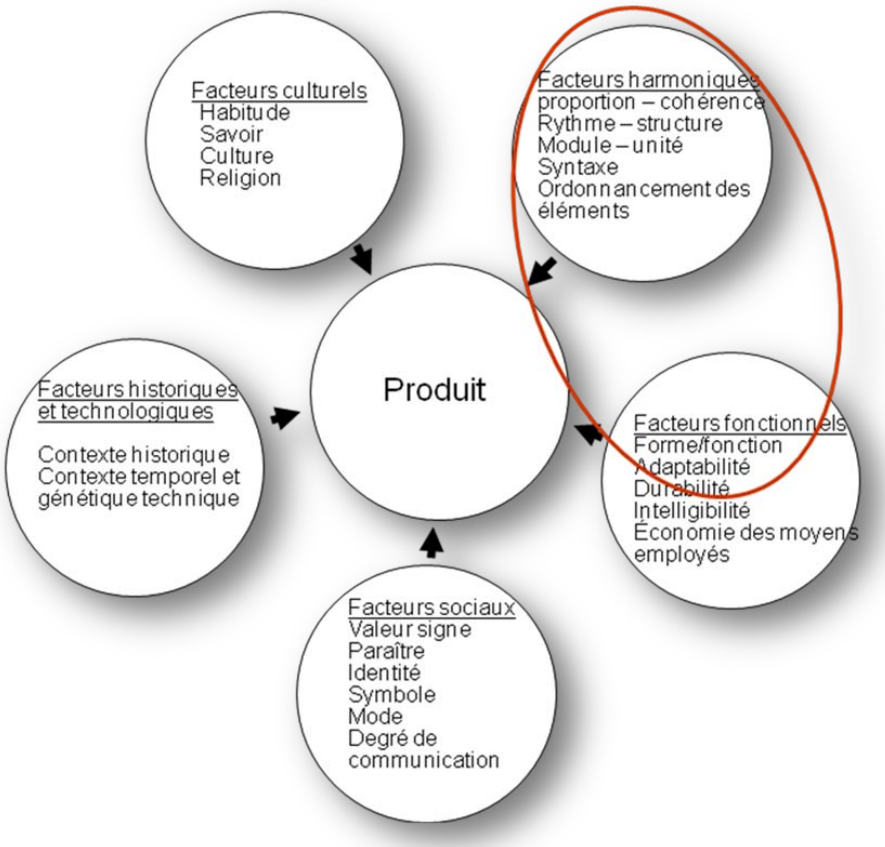


Figure 16 : les composantes du produit selon [Quarante, D '01]

2.2.1. Définition de l'esthétique

Le chemin est long de la notion de science - ou théorie - ou philosophie - à celle de sentiment de plaisir. Le mot "esthétique" a été employé avec sa signification moderne, au sujet de la poésie, par le philosophe allemand Alexander Baumgarten dans "Réflexions sur la poésie" (1735). Auparavant, pour parler du beau et juger de l'art, on employait les termes « manières» ou « goûts ». Le terme esthétique (aesthetis en grec) se réfère à la sensibilité et au sentiment. Il désigne : « tout ce qui relève du sentir, de la sensibilité, en son double sens de sensation et de sentiment » [Vieillard-Barron, '86]. Aristoste explique que l'on ne peut réduire l'esthétique au seul domaine de l'art mais qu'il doit inclure toutes les perceptions sensibles de l'homme, et plus que toutes les autres, les perceptions visuelles. D'ailleurs dans son ouvrage « Critique de la faculté de juger », Kant explique qu'un jugement esthétique est à la fois subjectif et universel, « *se dit du jugement lorsqu'il considère les formes des choses de manière à en tirer un sentiment de plaisir* » [Kant, '90].

Chaque auteur, quand il parle de l'esthétique, a dans l'esprit une esthétique particulière au domaine traité. Il semble qu'au cours des siècles, la définition la plus générale ait peu varié, et tourne autour d'une théorie des sensations, un grand débat sur la question de savoir si l'esthétique est une branche de la philosophie ou une science. Nous extrairons de la littérature, qu'il s'agit, en réalité, **de réactions individuelles, d'opinions, quelquefois influencées par l'époque ou par une culture, une civilisation.**

Pour éviter de prendre le long chemin des définitions de l'esthétique, nous nous concentrerons sur l'**esthétique visuelle**, qui est selon nous : **la caractéristique de tout objet visuel, quel qu'il soit, dont les composantes sont reliées de façon spécifique dans des rapports de cohérence tels qu'ils lui donnent une valeur attirante et qui éveillent chez nous un plaisir désiré.**

2.2.2. L'esthétique du produit :

On ne peut pas créer un objet sans porter une grande attention à sa beauté.

Nous avons pu voir que l'aspect esthétique d'un produit est une source de plaisir pour le consommateur. Le sens populaire de design, que l'on retrouve dans l'expression : « quel objet design !» qui recouvre généralement un objet à l'esthétique recherchée. Le design est ici défini comme une sorte d'esthétisme de l'objet, industriel ou non. D'autre définition, recouvre la précédente, mais élargit considérablement le champ d'investigation du design industriel. Selon cette seconde définition, que nous retenons : un objet au design réussi, sera non seulement agréable à regarder, mais aussi facile à utiliser au quotidien (rangement, ergonomie des fonctions, l'intégration de l'objet dans son environnement, duré de vie, etc.), moins cher à produire, plus rentable à commercialiser, à fabriquer, et lorsque le cas le permet, sa destruction en fin de vie sera aussi pensée et mise en place.

Reconnecterons-nous sur l'esthétique selon le point de vue de designer, et l'influence potentiel de cet aspect sur l'utilisateur et sur sa décision. L'idée que l'individu est plus ou moins sensible aux propriétés esthétiques des éléments qui constituent son environnement. Dans la littérature, cette intuition que l'individu a pour définir ce qui est beau ou non est appelée « sensitivité esthétique ». L'absence d'une liste de critères bien définis pour mesurer l'esthétique de produit rend la tâche du designer très difficile. On ne bénéficie pas de beaucoup de modèles aidant le designer à la création et l'évaluation esthétique du produit.

Plusieurs questions se posaient au début de notre recherche, **pourquoi dit-on de tel objet qu'ils sont « design » et pas d'autre ? Qu'est ce qui nous amène à aimer ou à rejeter visuellement un objet ?** Afin d'étudier ces questions, nous avons choisi de nous focaliser sur l'aspect esthétique du produit, et de chercher les réponses dans cette zone seulement. Cette partie du travail permet, en effet, de clarifier et classifier, les caractéristiques propres à l'esthétique d'un produit. Elle est à la fois une référence pour le designer lors de la création et de l'évaluation esthétique d'un produit, et une aide d'appréciation à la perception esthétique lors de la hiérarchisation des préférences (communication) des produits pour les non designers.

2.2.2.1. Proposition d'un cadre de définition de l'esthétisme

Nous avons en mémoire le fameux slogan du français Raymond Loewy immigré aux États-Unis *« La laideur se vend mal »!* [Loewy, '63]. Cette attention esthétique qui était l'apanage des œuvres d'art, créations uniques par excellence, est aujourd'hui transposée à l'objet le plus banal, dupliqué en séries, pour nourrir l'expérience hédoniste et émotionnelle du consommateur [Hirschman *et al.,* '82]. Dès lors, la frontière devient floue entre l'art et les productions marchandes. Comme le souligne Pernin, les œuvres du passé servent à promouvoir les produits du présent [Pernin, '06]. Nous citons ici quelques exemples : Citroën utilise le territoire pictural de Picasso pour lancer la marque éponyme. Des artistes s'invitent dans l'univers commercial pour inventer des visuels à vocation marchande. Dali crée le logo des sucettes Chupa Chups, Piet Mondrian signe celui de 3M. On pourrait multiplier les exemples à l'envi pour illustrer cet encastrement de l'art dans la sphère marchande induisant par là-même une métamorphose du regard de la part du consommateur.

Donc, afin de connaitre les caractéristiques qui rendent à l'objet sa beauté, et de répondre aux questions posées concernant la perception de l'esthétique d'un produit, nous avons cherché les différents aspects esthétiques du design étudiés par plusieurs auteurs [Krippendorff *et al*,, '84] [Macdonald, '01] [Lipovetsky *et al.*, '00] [Dumouchel, '99] [Quarante, D '01]. De nombreux auteurs ont ainsi établi, dans ce même esprit, des recherches sur la relation esthétique à l'objet [Dufrenne, '53] [Fodor, '83] [Genette, '97] [Gombrich, '87] [Goodman, '68], démontrant notamment que les dimensions utilitaires du produit interviennent dans le processus de perception esthétique, mais que la dimension symbolique semble aussi occuper une place importante. Aucun d'entre eux n'est cependant arrivé à atteindre plus précisément à

la sensibilité, l'attitude et le comportement esthétiques du designer. Nous avons trouvé que chaque auteur a sa propre vision et sa façon de décrire l'esthétique, en traitant le sujet littérairement, philosophiquement...etc. Mais, un point commun entre eux, est que l'esthétique elle-même est considérée comme l'une des fonctions à remplir par l'objet.

Danielle Quarante, dans son ouvrage éléments de design industriel montre que les éléments qui caractérisent l'esthétique, font appel à plusieurs facteurs [Quarante, D '01] :

- Des facteurs purement émotionnels
- Des facteurs cognitifs
- Des facteurs intellectuels
- Des facteurs psycho-physiologiques

C'est au premier, les facteurs purement émotionnels (esthétiques), que nous allons essentiellement nous intéresser.

D'une manière générale, les méthodes de conception ne sont pas adaptées pour intégrer la part des fonctions de nature subjective (comme par ex. l'esthétique ou l'évaluation de la qualité perçue [Qualls *et al.*, '95]). Les évaluations font plus appel aux avis et opinions subjectives des designers qu'à des méthodes basées sur de véritables bases théoriques [Warrel, '01]. D'où vient la complexité de notre travail. Nous retiendrons de ces citations que selon les méthodes de conception actuelles, l'aspect esthétique du produit est très peu présenté méthodologiquement, son évaluation est subjective, très influencée aux avis des designers et non pas à des règles, qu'il existe un écart entre la perception du designer et celui de son interlocuteur.

Il est très important de signaler que :

- pour le designer : l'esthétique de l'objet ne peut être qu'une résultante [Quarante, D '01]. Alors, le souci réside dans l'intégration de l'esthétique dans la conception des produits. Et de savoir quels sont les outils qui permettent au designer de le faire dès les phases amont de conception ?
- pour l'objet design : les facteurs qui caractérisent l'esthétique sont liés à la perception propre à chacun d'entre nous. Autrement dit, ils sont attachés au subjectif. Cela rend

l'évaluation de l'esthétique d'un objet extrêmement complexe. Car si l'homme possède un sens inné pour percevoir une large gamme de qualités esthétiques d'un produit, il est extrêmement difficile de détecter quelles proportions sont mauvaises dans l'évaluation d'une forme, et plus encore d'expliciter les règles qui conduisent à un sentiment d'harmonie et de beauté [Macdonald, '01]. Cette part subjective concerne par exemple les aspects esthétiques, de style, de couleur [Christofol *et al*,, '94] d'un produit.

Afin de mieux comprendre l'aspect esthétique d'un produit et la vision purement professionnelle du designer, nous proposons de les détailler dans le paragraphe suivant.

2.2.3. Les facteurs esthétiques qui peuvent influencer l'adoption ou le rejet du design

"Un objet est une idée mise en proportion."

Sylvain Dubuisson

De nos jours, l'utilisateur ne recherche plus des produits que pour leur utilité. En effet le produit, en plus de satisfaire un besoin matériel, doit lui apporter, le sourire, la séduction et la satisfaction esthétique, à travers des formes élaborées, la pureté de leurs lignes, couleurs, matériaux, etc. Certaines formes élaborées depuis de nombreuses années par la pureté de leurs lignes ou leur simplicité fonctionnelle sont encore largement acceptées actuellement [Quarante, D '01]. L'esthétique peut être alors une des raisons de : « conservez un objet pendant sept ans et vous finirez par lui trouver une utilité. *Proverbe irlandais* ».

Tout comme le langage verbal, musicale…etc., le langage esthétique possède son propre vocabulaire qui permet d'exprimer et de communiquer des informations. Un produit étant souvent collectionné et défini par diverses considérations et caractéristiques esthétiques : la forme, la couleur, les matériaux…etc. Ils sont pris en compte par le designer de manière consciente ou inconsciente lors de la conception d'un produit. Il est difficile d'étudier les composants esthétiques, dont la combinaison lors de la création, fait naître un produit « design » capable d'engendrer le plaisir du designer et du consommateur.

Il y a beaucoup de concepts fondamentaux qui sont à la base du domaine du design. Ils sont souvent catégorisés différemment dépend de la philosophie ou de la méthodologie d'enseignement.

Pour définir une base pour notre approche recherche, la première chose que nous devons faire, est de les organiser, afin d'avoir un cadre pour cette discussion.

Nous pouvons regrouper tous les fondements du design en deux catégories : éléments et principes. Nous allons examiner dix de ces composants, nous les avons regroupés en deux parties : les éléments du design et les principes du design. Ils sont les axiomes de notre profession. Nous considérons qu'ils sont applicables à toutes les disciplines de conception y compris l'architecture, pas exclusivement au design. Ils peuvent se schématiser de la façon suivante :

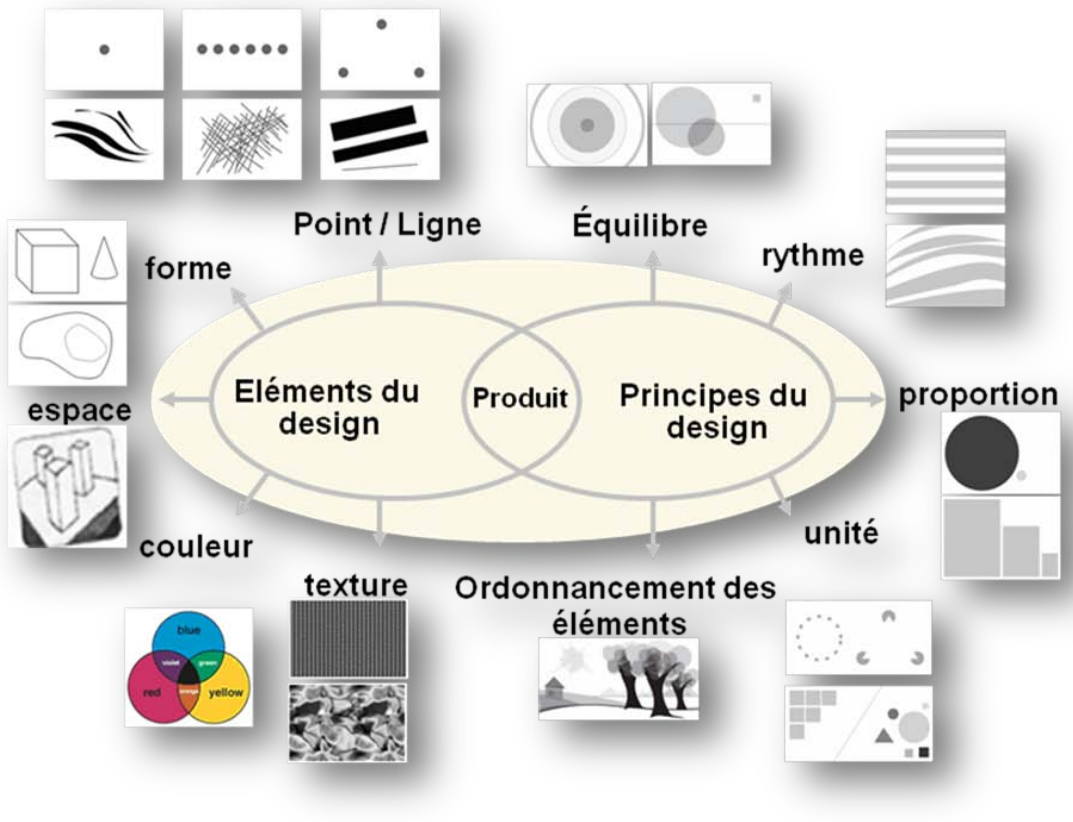


Figure 17 : Compositions esthétiques du produit

Commençons en nous concentrant sur les éléments du design. Plus spécifiquement, nous allons étudier les éléments suivants : ligne, forme, espace, couleur et texture.

2.2.3.1. Éléments de design

Tous les objets qui nous entourent sont créés à travers ces éléments du design, et rien ne peut exister sans ces ingrédients. L'écrivain américain George Santayana souligne que : *« La forme artistique naît lorsque le plaisir esthétique résulte d'une combinaison d'éléments qui n'ont individuellement que peu ou pas de valeur »* [Santayana, '04]. Dans cette optique, nous considérons qu'il existe au moins cinq éléments nécessaires : ligne, forme, espace, couleur et texture. Ils sont pour nous des ingrédients indispensables d'un objet, dont la combinaison lors de la création du produit, fait naître une forme esthétique capable d'engendrer le plaisir du designer et du consommateur. L'influence de ces éléments sur l'objet est la responsabilité du designer. Souvent, elle réside dans sa performance à les manipuler.

2.2.3.1.1. LE POINT ET LA LIGNE

Un point est un élément qui a une position mais pas d'extension. Il s'agit d'une seule marque dans l'espace, dont la localisation est précise mais limitée. La ligne dans notre domaine, est définie comme une promenade entre une série de points, ou encore, elle est un point en mouvement. Exemple, entre le point « A » et le point « B », il existe « une communication visuelle » nous amène à percevoir une ligne, la présence d'un troisième point décalé de ces deux derniers oblige nos yeux à dessiner visuellement un triangle. L'orientation des points détermine la direction de ligne. Par la suite, ces lignes créent les formes dans l'espace qui sont le résultat naturel de plusieurs points dans l'espace.

Une ligne est un élément caractérisé par une longueur et une direction dans un espace. Elle crée des contours et des formes et est souvent utilisée par le designer pour transmettre un sentiment particulier. Par exemple, selon sa position, elle peut exprimer l'équilibre, l'infinie, la symétrie, l'ordre ou le déséquilibre, la rigueur…etc. L'orientation des lignes peuvent également impliquer certains sentiments. Les horizontales impliquent la tranquillité et de repos, les verticales impliquent le pouvoir et la force, tandis que, les obliques et les courbes impliquent le mouvement, l'action et le changement. Les lignes sont aussi utilisées pour créer une perspective et les lignes dominantes sont souvent utilisées pour créer un sens de continuité dans une composition ce qui permet à la description de surfaces et de volumes.

2.2.3.1.2. LA FORME

La forme est le résultat du groupement entre plusieurs lignes et surfaces qui composent la forme et le volume en trois dimensions « 3D ». Elle est l'ensemble des contours d'un objet résultant de la structure de ses parties. C'est « un ensemble dont les propriétés sont invariantes sous les transformations de couleur, de lumière, de volume, de place, de matériau, d'orientation » [Attneave *et al.*, '56] [Alluisi, '60]. Plus simplement, la forme peut être définie comme tout élément visuel doté d'un contour. Elle est considérée comme un squelette de l'objet. La perception des formes est un processus dynamique qui transforme l'objet perçu en image, et où le percevant organise le réel par sa présentation. Ainsi, Bouchard souligne qu'on ne peut pas confondre le référent (l'objet réel) et sa représentation (fruit de l'analyse mentale) [Bouchard, '97].

2.2.3.1.3. L'ESPACE

Les concepts d'espace et de formes sont interdépendants et ne peuvent être dissociés [Borja de Mozota, '00]. L'espace est une distance qui se déploie dans toutes les directions et se présente en trois dimensions : profondeur, largeur, hauteur. L'espace est défini et déterminé par les formes et les volumes. Elle est positif « le plein ou la masse » quand les formes et les volumes existes, et négatif quand ces derniers sont absents « le vide ou l'environnement ». Même la lecture du vide et du plein peut être équilibrée par le designer sur l'objet en lui-même. L'espace négatif dans le design est aussi important que la zone positive.

1.1.1.1.1.1 La couleur

La couleur est la réponse de l'œil à des longueurs d'ondes différentes dans le spectre visible. Elle est décrite avec les mots : teinte, valeur et saturation ou intensité. Il y a beaucoup de systèmes et de théories de couleurs différents. Nous ne rentrerons pas dans ce genre de détail. Nous allons nous concentrer sur l'influence de la couleur comme un élément de design sur le produit.

Les effets psychologiques des couleurs sont largement indissociables des représentations symboliques - bien souvent culturelles - ainsi que des préférences esthétiques. Ramzi rajoute dans ce sens que les couleurs se traduisent par des évocations précises dans l'esprit du consommateur et donnent un message selon la culture [Ramzi, '03]. Plusieurs études ont montré que le bleu et le rouge sont des couleurs plus stimulantes que le jaune et le vert. Elles

ont pu être établi aussi que la couleur bleue génère des effets plus positifs que la couleur rouge, indépendamment des préférences [Bellizi *et al.*, '89] [Bellizi *et al.*, '92]. Les couleurs chaudes tendraient cependant à susciter une plus grande excitation ou stimulation que les couleurs froides qui auraient au contraire des vertus sédatives [Divard *et al.*, '01] [Kwallek *et al.*, '88]. Nous pouvons dire que le choix des couleurs peut avoir une influence sur le niveau d'attention et de stimulation. En plus, du point vue métier de design, la couleur a aussi un effet sur la perception des surfaces, des volumes et des formes. Les couleurs et les formes qui leur sont associées ne produisent pas les mêmes effets. Les couleurs claires ou froides par exemple, donnent le sentiment qu'un local est plus grand que dans la réalité, contrairement aux couleurs chaudes ou sombres qui ont un caractère "saillant" [Déribéré, '96]. Dans certains cas, l'absence de la couleur renforce notre perception de la forme.

1.1.1.1.1.2 La texture

La texture fait référence aux matériaux utilisés (marbre, parquet, acier, plastique, verre, bois…). Chaque matériau a sa symbolique. Inscrite dans l'imaginaire des consommateurs, elle découle de son histoire et de l'usage qui en a été fait. De même, chaque matériau induit une qualité perçue qui lui est propre et qui peut varier selon les domaines d'utilisation et les profils de consommateurs. La texture est utilisée pour donner l'apparence d'une surface. La texture est un phénomène à la fois visuel et tactile. Elle détermine la qualité de surface d'un objet et fait référence à la sensation que l'on peut voir ou sentir. On peut classer la texture selon différents points de vue :

- Texture naturelle ou artificielle (selon la composition de texture);
- Texture visuelle ou tactile (selon la modalité de perception, voir-toucher);
- Texture virtuelle ou réel (en fonction de la représentation de la texture modèle CAO-maquette physique).

L'étude de Aoki et Zuo montre que le toucher de la surface du matériau aide l'individu à exprimer des sensations tels que, dur-souple, confortable-inconfortable [Aoki *et al.*, '85] [Zuo *et al.*, '01]. Contrairement au visuel qui ne permet pas de « sentir » le tactile. La texture joue un rôle important dans la perception de l'ensemble du produit, elle reflet la valeur et la beauté.

2.2.3.2. Principes de design

Les principes de design sont des outils utilisés pour mettre en forme les éléments de design. Certaines combinaisons d'éléments de design (ligne, forme, espace, couleur et texture) fonctionnent mieux que d'autres. Cela est expliqué par quelques lignes directrices qui aident le designer à harmoniser son travail. Ces lignes directrices appelées les principes de design : de l'équilibre, le rythme, la proportion, l'ordonnancement des éléments, et de l'unité.

2.2.3.2.1. L'EQUILIBRE

L'équilibre est une stabilité qui résulte l'examen d'un objet et d'une comparaison avec nos idées de la structure physique. C'est l'arrangement d'objets dans un design spécifié en fonction de leur poids visuel dans la composition. L'équilibre existe généralement sous deux formes : symétrique et asymétrique.

- L'équilibre symétrique a lieu quand le poids d'une forme est réparti uniformément autour d'un axe central vertical ou horizontal. Dans des circonstances normales, il prend les mêmes formes des deux côtés de l'axe. Notre corps est un exemple de ce type d'équilibre. Quand la symétrie a lieu avec des formes similaires mais pas identiques, cela est appelé symétrie approximative.
- L'équilibre asymétrique : se produit quand le poids de la forme n'est pas réparti uniformément autour d'un axe central. Cela implique l'arrangement d'éléments de tailles différentes de sorte qu'ils s'équilibrent mutuellement grâce à leur poids visuel respectif. Il s'agit souvent d'une forme majoritaire équilibrée par un grand nombre de formes plus petites. Ces types d'équilibre peuvent aussi être applicables à la couleur et à la texture.

Cet équilibre visuel peut être atteint, à titre d'exemple, par le recours à des analogues de couleur et de tonalité de couleur. Il peut également être réalisé grâce à la similitude de forme, la couleur ou la taille de texture. Cependant trop de similitude peut conduire à l'ennui. Dans ce cas, le déséquilibre est souhaitable pour casser le rythme et ajouter une variété visuelle au produit.

2.2.3.2.2. LE RYTHME

Il est difficile de décrire ce qui est un rythme dans un projet design. Le rythme fait référence à l'apparition régulière et de répéter des éléments de l'objet et/ou dans son environnement

comme dans la musique il se réfère régulièrement à l'apparition de certaines notes de musique au fil du temps. Sauf qu'en design le rythme est visuel. Il permet à l'œil de l'observateur de passer d'une partie à une autre, que ce soit cet objet réel ou présenté sur un dessin ou un modèle.

Il y a différents types de rythmes, souvent définis par le ressenti lors de l'évaluation :

- régulier : un rythme régulier se produit quand les intervalles entre les éléments, et souvent les éléments eux-mêmes, sont similaires en taille ou en longueur.
- Fluide : un rythme fluide donne un sens de mouvement et est souvent plus organique de nature.
- Progressif : un rythme progressif affiche une séquence de formes ou de couleur à travers une progression d'étapes.

Créer un rythme dans un produit est possible par faire:

- Répétition de la couleur, forme, texture, ligne, ou lors de la création de l'espace.
- Variation de la taille des objets (ou les éléments d'un objet), formes, lignes ou en séquence (petites et grandes).
- Utiliser une progression de teintes de couleurs et de passer d'une teinte à une autre.

Donc, le rythme est la répétition ou l'alternance de plusieurs éléments dans un format visuel, souvent avec un intervalle visuel défini entre eux. Le rythme peut créer un sens de mouvement, et peut définir des motifs et des textures. Autrement dit, c'est l'effet qui fait bouger notre œil autour d'un objet, (redoublement, plus progressivement, en alternance, le changement de couleur).

2.2.3.2.3. LA PROPORTION

La proportion se réfère à la relation entre une partie de l'objet et/ou de son environnement avec une autre partie ou à l'ensemble de la combinaison. C'est la réponse à comment l'objet remplit l'espace, ou encore la façon avec laquelle les éléments de l'objet sont reparties entre eux-mêmes et entre un objet entier et une de ses parties. Il s'agit d'une comparaison entre non seulement des dimensions et de formes comme il est connu, mais aussi entre l'ensemble parties de l'objet. Par exemple, la relation visuelle équilibrée entre la quantité de la couleur et

de la texture et leur distribution sur l'objet. Plus largement, il s'agit d'une bonne proportion qui assure l'harmonie et l'équilibre entre les parties d'un objet dans son ensemble.

Des proportions différentes à l'intérieur d'une composition peuvent interagir avec différents types d'équilibre ou de symétrie, et peuvent aider à établir le poids et la profondeur visuels. Dans les exemples ci-dessous, nous remarquerons que les éléments plus petits ont l'air de reculer vers le fond tandis que les éléments plus gros s'approchent du devant.

La forme finale est le résultat des principes ou lois de l'unité de la forme : lois de l'équilibre, de la bonne proportion, du rythme, de l'harmonie, de l'accent et du mouvement. Mathieu et Le Ray ont par exemple montré qu'il existe des angles et des formes géométriques qui sont universellement (à travers le temps et l'espace) source de beauté et d'harmonie [Mathieu *et al.*, '02]. Selon ces auteurs, l'attrait pour des structures angulaires est universel car elles induisent des sentiments de sérénité et de calme. Verizer de son côté a aussi montré l'importance des bonnes proportions et la préférence générale pour le nombre d'or[29] [Verizer, '93]. Ainsi, les formes qui suivent les lois de la Gelstalt (c'est à dire qui suivent les lois de l'ordre des éléments, de la proportion, de l'unité, de la symétrie et de l'harmonie) devraient engendrer un faible niveau d'excitation [Holbrook *et al.*, '85]. Finalement, la préférence de formes s'orienterait vers un degré modéré d'irrégularité et de désordre. Ainsi, les designs très conventionnels ne sembleraient pas assez stimulants et les designs trop novateurs seraient trop dérangeants [Bloch, '95] [Bloch *et al.*, '03].

2.2.3.2.4. L'UNITE

Le concept d'unité décrit la relation entre la globalité d'une composition et les parties individuelles qui la composent. Elle recherche l'aspect d'un design donné qui est nécessaire à la liaison de la composition, afin de lui donner un sens d'unité ou au contraire de la morceler et lui apporter la variété. Nous citons l'exemple du corps humain comme unité et sous unités proposé par Marr et Nishihara [Marr *et al.*, '77] in [Palmer, '90] figure 19.

[29] Le nombre d'or (« golden section ») encore appelé « la divine proportion » est un rapport précis grâce auquel les constructions, les œuvres d'art sont réalisées et appréciées. Un site lui est consacré http://www.nombredor.be

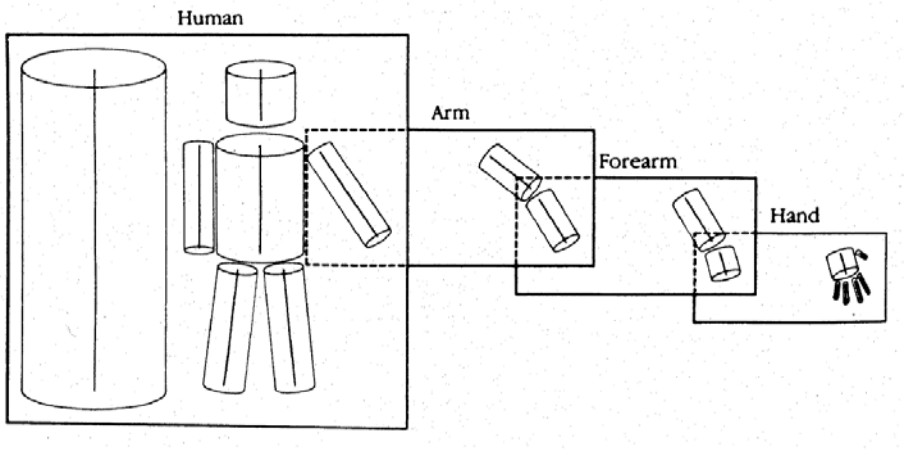


Figure 18 : Le modèle hiérarchique à cylindres d'un corps humain proposé par Marr et Nishihara [Marr *et al*,, '77]

L'unité dans le design est un concept qui vient de certaines théories Gestalt de la perception visuelle et de la psychologie, spécifiquement celles traitant de l'organisation de l'information visuelle par le cerveau humain en catégories ou groupes. La théorie Gestalt[30] en elle-même est assez longue et complexe, traitant de divers niveaux d'abstraction et de généralisation. Selon cette théorie, la forme n'est pas perçue comme l'addition de ses constituants, mais est considérée comme une entité cohérente, un tout qui est différent de la somme de ses parties. Entre autres, Behrens a conclu trois lois principales de la Gestalt [Behrens, '98] :

- La complétion : c'est l'idée que nos yeux ont tendance à imaginer et à dessiner mentalement l'information manquante quant on perçoit qu'il manque certaines parties d'un objet. Ce dernier peut être déconstruit en une seule unité ou en groupes d'unités plus petites. Dans les exemples ci-dessous, nous remplissons compulsivement l'information manquante pour créer les formes.
- La continuité visuelle : est traduit par le trajet visuel de l'œil entre le point le plus attirant dans objet vers une ou plusieurs lignes directionnelles prédominantes. Ou encore, de trouver des points rapprochés tendent à représenter des formes lorsqu'ils sont perçus.

[30] Gestalt est un mot allemand traduit par "forme". La théorie de la forme "Gestalt" a été fondée en 1910 par Max Wertheimer, Kurt Koffka et Wolfgang Köhler.

- La proximité et la similarité: ce sont des lois servent à grouper l'ensemble d'unités de l'objet selon leur relation sémantique. D'abord, les plus proches les unes des autres, si la distance ne permet pas de regrouper les unités, nous nous attacherons ensuite à repérer les plus similaires (soit par formes, couleurs, taille, etc.).

Enfin, nous insistons sur le fait que trop d'uniformité peut être ennuyeux. En même temps, une trop grande variété détruit l'unité.

2.2.3.2.5. L'ORDONNANCEMENT DES ELEMENTS

Il s'agit d'organiser les divers éléments dans un cadre "cohérent", cela commence d'abord avec l'utilisation de la richesse des contradictions : (harmonie-contraste de couleur, proportionnelle- disproportionnelle de forme, etc.). Ensuite, par trouver l'endroit approprié à chaque élément selon son aspect fonctionnel et visuel à travers de voir plusieurs possibilités d'arrangement. Bien qu'il semble qu'il y a une préférence innée pour l'ordonnancement des éléments dans le design, Berlyne a montré que la nouveauté, la complexité et la variété de la forme produisent de la stimulation [Berlyne, '74]. Il précise que les facteurs de nouveauté et de complexité visuelle interagissent pour déterminer le plaisir. Une familiarité modérée est préférée à une familiarité extrême et à une nouveauté extrême. Ainsi, les formes qui suivent les lois de la Gelstalt (c'est à dire qui suivent les lois de l'ordre des éléments, de la proportion, de l'unité, de la symétrie et de l'harmonie) devraient engendrer un faible niveau d'excitation [Holbrook *et al*,, '85]. Finalement, la préférence de formes s'orienterait vers un degré modéré d'irrégularité et de désordre. Ainsi, les designs très conventionnels ne sembleraient pas assez stimulants et les designs trop novateurs seraient trop dérangeants [Bloch, '95].

2.2.3.3. Synthèse sur les facteurs esthétiques

Nous venons d'explorer les concepts fondamentaux de l'aspect esthétique du design. Nous avons vu aussi comment ces éléments et les principes du design sont la base de construction n'importe quel objet car ils nous permettent d'élaborer une variation de propositions infinies. Ces critères peuvent être utilisés comme langage de communication pour exprimer différentes sensations. Nous les considérons comme l'alphabet qui nous aide à faire passer notre message écrit par le designer et lu par les autres.

Ils nous offrent une manière de non pas seulement concevoir l'objet, mais aussi de l'évaluer avec des "règles". Nous considérons que ces aspects « éléments et principes du design »

affectent le designer, la maîtrise de sa profession, et fournit un guidage et des outils avec lesquels il peut commencer et valider son travail durant toute les phases de design. L'utilisation de ces idées centrales assure une base solide sur laquelle n'importe quel design peut évoluer. Nous avons vu également qu'afin de mieux discuter de ces concepts, nous devons nous éloigner de notre méthode "traditionnelle" pour concevoir et évaluer l'objet, et "décortiquer" l'objet avec une vision esthétique spécifique. C'est là que nous trouverons les axiomes de notre profession. Bien évidemment, Il y a beaucoup d'autres concepts liés aux éléments et aux principes du design. Ceux-ci peuvent comprendre des termes spécifiques qui sont basés d'une certaine manière sur un ou plusieurs des critères énoncés plus haut.

D'ailleurs, il nous semble très important de signaler, que notre but par cette analyse n'est pas de proposer des normes du design, mais plutôt, d'expliquer les influents qui rendent au produit sa beauté, et en quoi consiste un jugement esthétique. Notre but est d'aider à mieux comprendre le processus créatif chez le designer et de lui conférer une cohérence visuelle par sa structure apparente. Car, l'expérience professionnelle et pédagogique du design, très souvent nous a révélé d'excellents projets conceptuels ont été modifié "ou souhaite être modifié" lors de la phase d'exécution. Essentiellement, parce que le designer n'avait pas compris ou appliquer les critères visuels de la composition. Ou tout simplement, parce que l'outil utilisé ne l'a pas aider.

Finalement, il ne faut pas oublier que les critères esthétiques que nous avons traités plus haut sont définis par les individus qui ont appris. Donc, il n'existe pas un style imposé par les designers, mais des centaines de produits personnalisés par ceux qui les conçoivent et achetés par ceux qui les choisissent. De ce fait, nous somme d'accord avec Philippe Starck qui trouve le design "inutile" et veut changer de métier[31]. Autrement dit, ce qui est "beau" pour l'un peut très bien être "laid" pour l'autre.

[31] Source en ligne http://www.bloguidon.com/2008/03/27/philippe-starck-trouve-le-design-inutile-et-veut-changer-de-mtier/ lors d'un entretien à un magazine allemand (AFP) à Berlin 27/03/2008 la star française du genre, Philippe Starck, proclamant son intention de changer de métier d'ici deux ans. « … J'étais un producteur de matérialité. J'en ai honte. A l'avenir, je veux être un fabricant de concepts. Ce sera plus utile...Dans deux ans, j'arrêterai, c'est sûr. Je ferai autre chose, je ne sais pas encore quoi. Ce sera une nouvelle forme d'expression. Une nouvelle arme, plus rapide, plus violente et plus légère que le design » P. Starck 2008.

2.2.4. Problèmes d'évaluation esthétique

Cette part subjective concerne par exemple les aspects esthétiques, de style, de couleur [Christofol *et al,,* '94] d'un produit. Elle regroupe les fonctions dont l'évaluation de la satisfaction ne peut pas être effectuée autrement que par les canaux sensoriels de l'utilisateur et l'analyse de ses perceptions. Dans certains cas, suite à ces analyses, des modèles objectifs fiables peuvent être mis au point pour des attributs au départ subjectifs, comme par exemple l'ergonomie ou le confort, les rendant alors « objectifs ». En revanche, la construction de tels modèles est dans d'autres cas beaucoup plus délicate, soit parce que le nombre de variables influentes est considérable, soit parce qu'il existe effectivement une très grande subjectivité dans les évaluations des utilisateurs. Par exemple, l'évaluation de l'esthétique d'une forme est extrêmement complexe. Car si l'homme possède un sens inné pour percevoir une large gamme de qualités esthétiques d'un produit, il est extrêmement difficile de détecter quelles proportions sont mauvaises dans l'évaluation d'une forme, et plus encore d'expliciter les règles qui conduisent à un sentiment d'harmonie et de beauté [Macdonald, '01]. Les travaux sur le nombre d'or par exemple (« modèle » établissant une proportion privilégiée entre certaines dimensions), principalement en architecture, montrent que les designers utilisent intuitivement dans certains cas ce rapport privilégié mais n'en font pas une utilisation consciente [Lipovetsky *et al,,* '00].

Or, pour des fonctions de nature subjective (comme par ex. l'esthétique ou l'évaluation de la qualité perçue [Qualls *et al,,* '95]), l'appréciation de l'utilisateur est toujours globale et non décomposable. On constate de plus que pour le design de formes, ou pour des activités de stylisme, on n'utilise pas ce paradigme qui consiste à spécifier puis évaluer. Les évaluations font plus appel aux avis et opinions subjectives des designers qu'à des méthodes basées sur de véritables bases théoriques [Warrel, '01]. Or, afin de maîtriser l'impact du produit, son contenu sémantique doit être défini à priori et surtout maîtrisé et évalué lors du processus de conception. C'est ainsi que l'objet en design industriel se distingue fondamentalement de l'objet d'art, pour lequel l'intention de communiquer n'est pas explicite et le contenu sémantique n'est pas défini à priori. Kant rajoute « Le beau serait un produit du sens esthétique. En ce sens, ce qui est beau, ce n'est pas un objet, mais sa représentation » [Kant, '90].

2.2.5. Des perceptions différentes pour un même produit

Nous avons constaté des différences importantes, montrées expérimentalement dans les travaux de Hsu, entre la perception du produit qu'en a le designer et la perception qu'en a le groupe d'utilisateurs auquel il s'adresse [Hsu *et al.*, '00]. En fait, l'utilisateur simplifie considérablement les informations présentées sur le produit dans la figure suivante et construit une perception globale. Très souvent, cette dernière est fondée sur la connaissance et la vision personnelle et/ou professionnelle que l'on possède. Généralement, cette perception faite par l'utilisateur est différente de celle du designer ou même pour l'utilisateur et les autres acteurs de la conception (Figure 19). Une des raisons principales de cette diversité de lecture est, selon nous, l'outil de représentation utilisé par le designer. Ces outils sont l'objet de notre deuxième partie.

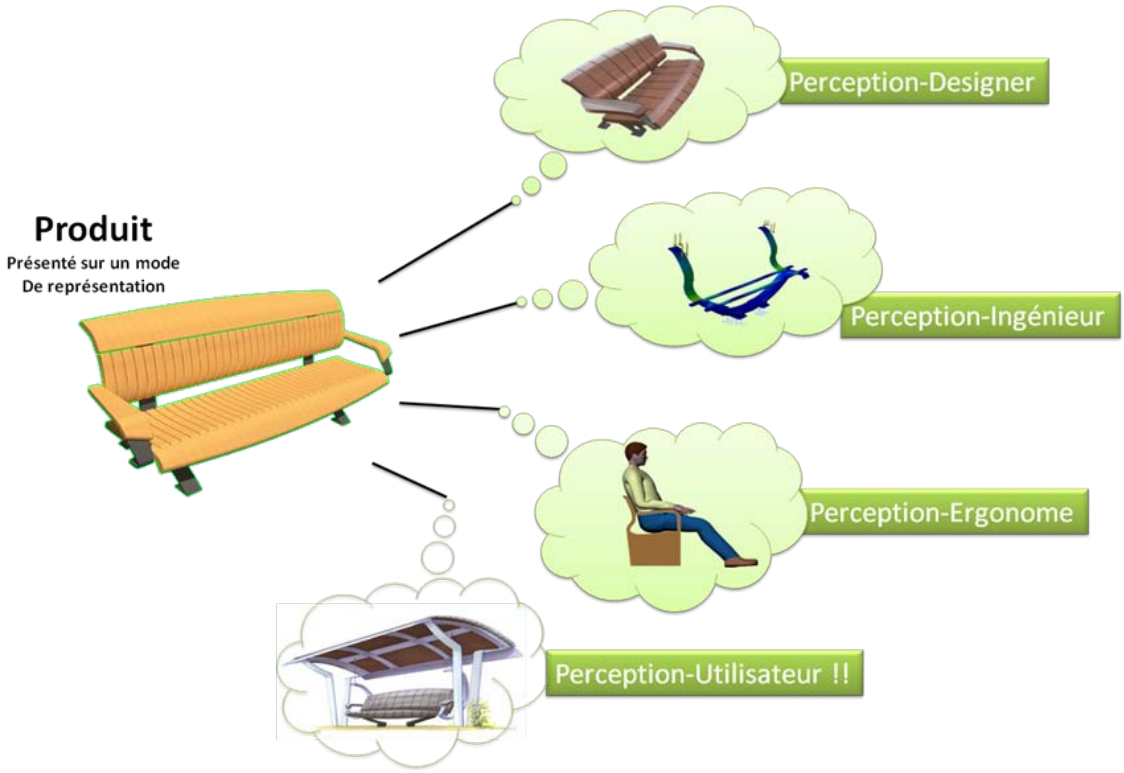


Figure 19 : Variation de la perception du produit selon les acteurs de conception

3.CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

La figure suivante synthétise notre première partie et positionne les éléments des chapitres que nous venons d'aborder.

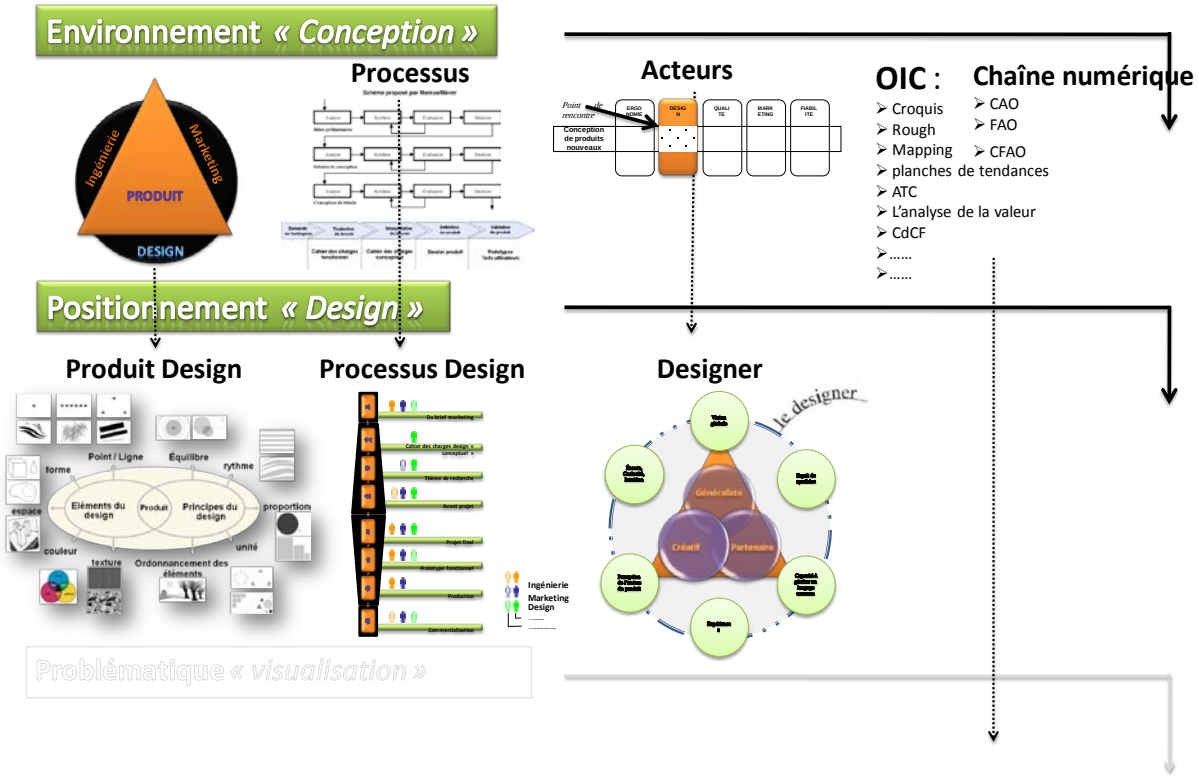


Figure 20 : Schéma de synthèse de la première de notre recherche.

Nous avons initié cette partie par un positionnement scientifique relatif aux différents domaines concernés à la conception du produit. Cette démarche avait pour but d'identifier les éléments nécessaires à la compréhension de l'environnement de notre recherche. Or, ce contexte a été abordé, du fait de sa complexité et de son évolution à travers le temps, suivant plusieurs aspects : l'objet de la conception, le processus, les acteurs et leurs outils. Ce système fait, d'une manière très claire, l'objet de la recherche en Génie Industriel. Notre objectif est de nous positionner en tant que designers dans ce milieu. Après avoir mis en évidence les disciplines carrefours, nous avons défini la nouvelle méthodologie de l'ingénierie concourante et souligné comment les OIC et la chaîne numérique ont aujourd'hui une vraie place dans ces disciplines. Une de ces disciplines était la notre « le design », étant professionnels dans ce domaine. Nos analyses bibliographiques ont montré un manque de l'aspect méthodologique du design dans la conception. Nous souhaitons apporter de nouvelles connaissances du design pour améliorer le processus de conception afin de concevoir des « objets design » de manière structurée sur un marché de plus en plus compétitif. Pour cela et dans un premier temps, nous nous sommes placés dans un cadre précis de conception collaboratif à travers le modèle que

nous avons développé durant nos projets de recherche. Ce modèle (voir Figure 14) propose d'intégrer le designer avec d'autres acteurs maîtres dans un processus de conception collaboratif et détermine son rôle et la zone d'intervention tout au long de processus. De même, pour remplir le manque lié au produit de point de vue design, nous avons proposé un guide (

Figure 17) destiné au designer et aux autres acteurs de la conception en analysant les attributs esthétiques du produit. Nous considérons que ce guide peut aider le designer lors de la création et de l'évaluation esthétique du produit. Il sera utilisé pendant notre première série d'expérimentation. Enfin, les propositions que nous avons formulées dans cette partie tiennent compte du designer et de sa profession dans un processus de conception collaboratif. Ce qui nous amènera à étudier dans la partie suivante ses outils de représentation intervenant à tout moment de la conception, en lui permettant de concevoir le produit design et de communiquer avec les autres parties de la conception.

PARTIE II :

PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE LA RECHERCHE

PARTIE II : PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE LA RECHERCHE

Nous venons d'expliquer le positionnement de notre recherche dans la communauté de conception. Après avoir exposé la problématique de société de conception liée au manque de l'aspect méthodologique du design dans la conception et proposé deux modèles de solutions (paragraphe 2.1.3 et 2.2.3), nous allons maintenant aborder la deuxième partie de ce document dédiée à la problématique de notre recherche et aux hypothèses de résolution.

Elle se compose des chapitres suivants :

1."PROBLEMATIQUE" LES OUTILS DE LA VISUALISATION EN DESIGN

Nous avons vu au cours de notre première partie comment on ne peut dissocier le designer de son environnement de conception ; il est un des acteurs des professions dédiées au produit, et il est un élément du processus qui fait interagir tout les acteurs pour accomplir un produit. Après avoir vu le contexte de la recherche dans lequel le designer agit, nous allons nous approcher de la problématique de la recherche. La question que nous retiendrons comme objet de recherche est centrée sur les objets intermédiaires de conception qui font l'interaction « produit-processus-acteurs » et plus particulièrement ceux qui sont attachés au designer, c'est-à-dire les objets intermédiaires de design. Face à cette orientation, nous nous concentrons sur un axe plus restreint qui est la dimension visualisation des OIC et les outils associés. C'est en effet lors de ces actions que le designer peut travailler et s'exprimer, entre autre. (CF [Stoeltlen, '04] [Stoeltlen *et al.*, '07]).

Au cours de ce chapitre, nous allons analyser certains de ces outils de visualisation utilisés actuellement par le designer en essayant de détecter les signes faibles dans ce domaine. Ceci nous amènera à fonder quelques réflexions sur le métier. Par exemple, à ce que sera demain le designer moderne ? Quel sera le métier demain ? Quel sera son instrumentation et quelle sera sa « boîte à outils » du futur? Mais avant ça, nous proposons de décrire l'évolution du produit à travers le temps dans le processus de conception.

1.1. L'objet dans tous ses états

L'objet de design au départ est mental [Bonnardel *et al.*, '97] puis au fur et à mesure de l'évolution du raisonnement, de la création, des choix, des alternatives appliquées, l'objet va prendre forme soit par un dessin (esquisse), soit par une description schématique ou encore textuelle. L'objet représenté a alors un statut dit intermédiaire [Jeantet *et al.*, '96] [Gregory *et al.*, '97]. Il sera le support de confrontations avec les futurs utilisateurs, de réflexions du designer, de discussions avec les acteurs de conception. L'objet est dit conçu, c'est-à-dire prêt à être réalisé, lorsque la solution au problème posé au départ est communément admise comme satisfaisante par tous les acteurs du projet de conception, les futurs utilisateurs, les industriels et bien évidemment les décideurs compris. Ce passage de l'abstrait au concret est expliqué dans la figure suivante (Figure 21) qui résume l'évolution de la visualisation du produit à travers le temps dans le processus. À cette étape, de l'utilisation de ces différents Objet Intermédiaire de Design (OID) durant toutes les phases du projet, il nous semble important de revenir sur notre modèle (Figure 14) qui propose de placer et d'intégrer le designer dans une méthode de travail de collaborative. En effet, à chaque point d'intervention, les designers doivent utiliser des outils pour concrétiser les étapes du processus, pour qu'ils puissent par la suite présenter à un groupe d'évaluation des concepts formalisés. Pour chacune des étapes, nous avons pu identifier un groupe d'outils de visualisation impliqués dans le projet. Cette progression correspond à une réduction progressive du degré d'abstraction du projet.

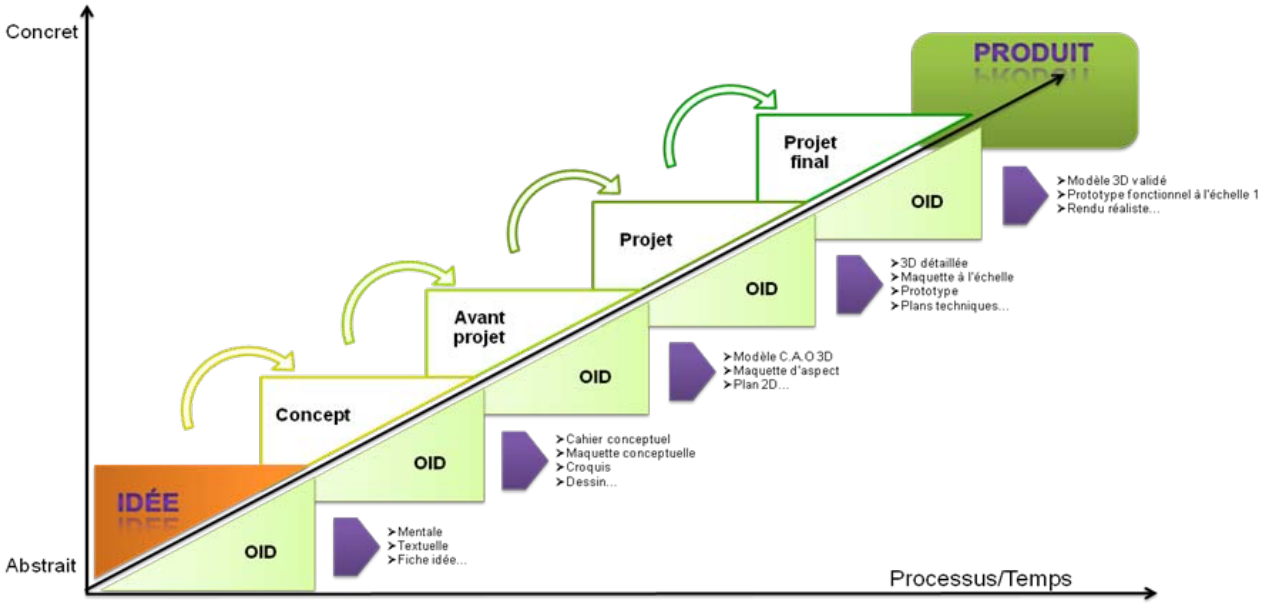


Figure 21 : Transformation de l'objet dans le processus de conception

D'ailleurs, cette transformation de l'objet de son état mental « idée » en passant par des variétés de choix indispensables pour arriver à son état physique « produit 0 », est forcement accompagnée d'une augmentation des coûts du produit. Conformément aux travaux de Grenier qui montrent que « ces choix conditionnent les coûts du produit et les investissements industriels » [Grenier, '89] Figure 22. Cette variation des coûts sera une piste de réflexion lors de nos analyses des résultats.

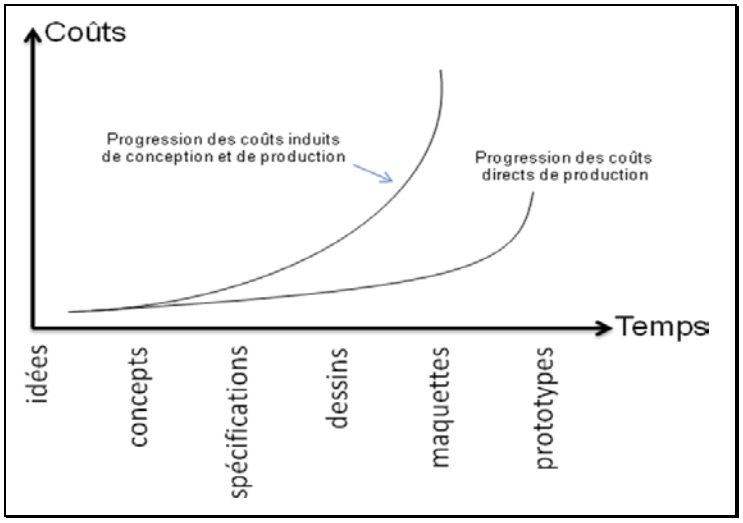


Figure 22 : Répartitions des coûts directs et indirects au cours de la conception d'un produit [Grenier, '89]

Désormais, notre cible est constituée des outils de la visualisation qui permettent au designer de traduire son idée mentale en produit finale.

1.2. La visualisation

À travers l'histoire du design et de l'architecture, les designers n'ont cessé de se doter d'outils pour mieux visualiser et concevoir l'objet et pour se rapprocher de sa « réalité future », de manière à intégrer et à formaliser de manière cohérente tous les facteurs esthétiques et fonctionnels que nous avons montré antérieurement, et de faciliter la communication d'informations entre les différents acteurs du projet. Pour s'exprimer, le designer a différents outils de visualisation à sa disposition, avant d'en parler, nous proposons de définir le thème de ce chapitre qui est la « visualisation ».

1.2.1. Définition de la visualisation

La visualisation est l'habileté à construire, manipuler et interpréter des images dans notre tête [Osberg, '97]. La visualisation a été décrite comme «les paysages internes de nos perceptions» [Samuels *et al.*, '75]. C'est un processus personnel qui permet de percevoir intérieurement l'essence d'un objet, d'une personne, d'un concept, ou d'un processus [Kosslyn, '83]. La visualisation est une partie de la représentation qui signifie littéralement : « représenter à nouveau ». Cependant, une représentation peut prendre plusieurs formes : écrite, orale ou visuelle. Contrairement à la visualisation qui ne prend que la forme visuelle. Cadoz considère la représentation comme « toute démarche qui consiste à remplacer un objet, un phénomène ou une entité abstraite (représentant) par un autre objet ou phénomène (représenté) en assurant une certaine correspondance de propriétés entre les deux » [Cadoz, '94]. Par ailleurs, le courant théorique actuel [Viratelle, '03] [Johansson, '04] suggère que le besoin de représentation est essentiel à tout acte créatif et dans toutes les phases du processus de design puisque c'est le seul moyen connu aujourd'hui. En générale, il existe deux types de représentations utilisées en design : « internes-externes ».

- Des représentations internes (mentales) : Selon Porada, la création se traduit premièrement par une série d'images mentales (floues et/ou précises) qui doivent se matérialiser le plutôt possible pour devenir « le repère de la création » [Porada, '94]. La plus grande faiblesse de ces images mentales réside dans la saturation de la

mémoire à court terme qui ne peut enregistrer qu'un certain nombre d'opérations mentales, ce qui peut provoquer un manque d'attention et fausser la suite du processus. Pour Tversky, il faut limiter les activités cognitives des concepteurs surtout dans les cas où le manque d'expérience et la complexité du projet envisagé produisent des erreurs dans les modèles mentaux affectant ainsi la suite des opérations [Tversky, '93]. Il est alors indispensable pour un designer d'utiliser des supports externes, une extension cognitive tout au long des activités qui sollicitent lourdement ses capacités. Ces représentations externes des images mentales vont solliciter le système visuel pour soulager la charge cognitive, et c'est là le grand intérêt de la représentation mais surtout la visualisation.

- Des représentations externes (graphiques et visuelles) : Ici, les designers font appel aux représentations graphiques afin de garder une trace des nombreux flashs ! « idées mentales » créatifs qui les traversent. En d'autres termes, la représentation visuelle permet de fixer l'image mentale et de la rendre physique. Dans les premières phases de design, les designers ont tendance à utiliser les croquis pour extérioriser leurs idées et les garder physiquement en mémoire, leur permettant ainsi de disposer d'un historique des idées. D'autres visualisations permettent aux designers de communiquer, échanger, analyser, valider et faire évoluer leurs idées seront étudiées plus tard. Une fois l'extraction des informations accomplie, ces représentations servent ensuite à alimenter la réflexion du designer le poussant ainsi à faire évoluer ses premières idées : c'est ce que désigne Schön dans son célèbre ouvrage « the reflective practitioner : how professional think in action » [Schön, '83].

Dans cette thèse, nous traitons essentiellement les « représentations visuelles » externes

1.2.2. À quoi sert la visualisation ?

Sur ce dernier type de représentation visuel, Langendorf souligne l'importance de la visualisation [Langendorf, '92]:

- Pour avoir une bonne compréhension de n'importe quel objet, il est nécessaire de l'observer à partir de multiples points de vue en utilisant une variété d'information.

Ceci traite surtout d'une expression complète de l'objet pour mieux le comprendre. Se limiter seulement à une partie ne donne pas toujours une bonne idée de l'ensemble.

- La compréhension d'une information complexe peut être améliorée si l'information est visualisée. La visualisation aide à la conceptualisation en augmentant la compréhension et la créativité dans la solution de problèmes. Selon McKim, la réflexion visuelle est une manière importante de penser [McKim, '80].
- La visualisation aide dans la communication avec les autres. Le travail en groupe est très significatif dans la pratique professionnelle. Le travail multidisciplinaire joue un rôle important pour le succès du projet et une bonne communication entre les membres d'une équipe de designers est souhaitable.

Dans ce même contexte, Gross rajoute que dans le processus, l'interface de visualisation du design conceptuel doit offrir la possibilité d'exprimer les abstractions, l'ambiguïté et l'imprécision par le biais d'une interface qui permette un comportement interactif [Gross *et al.*, '96]. Ce comportement est proposé par Furness avec un troisième type de visualisation dans le cadre du «Visual Thinking», selon lui, le processus créatif est amélioré lorsque les trois processus (visuel, mental et psychomoteur) sont actifs [Furness, '87]. Dorta rajoute que l'image visuelle devient plus forte lorsque les résultats d'une activité psychomotrice sont intégrés avec ceux d'une observation visuelle [Dorta, '01]. À titre d'exemple, l'architecte Norman Foster décrit : « Comment est-ce possible de concevoir un plan, une section et une élévation d'un bâtiment sans esquisser les espaces tridimensionnels sur les marges du papier ; sans les avoir sentis avant à travers un crayon ? » in [Kruijff, '98]. Ceci nous amène à penser que le rendu réaliste et la perception visuelle sont deux aspects forts de l'activité de conception.

Au niveau du design, le lien fondamental qui existe entre représentation visuelle « visualisation » et conception est reconnu, mais c'est depuis peu qu'intervient l'apport des divers moyens de représentations dans les différentes étapes du processus de design [Chandrasekaran, '99]. Cet intérêt découle de la volonté des chercheurs à comprendre ce qui se passe dans la tête des designers (l'idée mentale) lorsqu'ils conçoivent, comment émergent les idées et concepts et comment ils les extériorisent. C'est sous cet angle de représentation visuelle, visualisation ou simulation que notre travail va donc se situer. Derrière ces mots, des outils et des instruments permettent au designer de visualiser et de simuler le projet, lui

donnent la possibilité de communiquer et de traiter l'information de design. Nous allons maintenant présenter et analyser des échantillons de ces différents outils de visualisation utilisés par designer. Selon notre synthèse de l'évolution et de l'histoire de ces outils, nous les avons regroupés en deux groupes d'outils : un premier d'outils traditionnels et un deuxième d'outils numériques.

1.3. Les outils traditionnels de la visualisation

Le designer a utilisé, tout au long de l'évolution de son métier, des outils pour traiter et mieux visualiser l'information nécessaire pour la réalisation d'une tâche ou d'un travail spécifique. D'ailleurs, ces outils sont proches de ceux de l'architecte. Par le passé, les designers n'utilisaient pas les technologies que nous connaissons maintenant pour représenter et visualiser les objets. Les décisions étaient souvent prises et appliquées directement à la maquette et au projet en exécution. L'objet était conçu de cette manière, partant d'une perception générale de la forme, des proportions et de ses problèmes à travers d'un média de visualisation qui permettrait d'améliorer le design et, par le fait même, d'éviter les erreurs de conception. Le dessin et la maquette sont considérés comme les plus anciennes méthodes de visualisation utilisés par le designer et l'architecte pour simuler la réalité. D'ailleurs, elles gardent toujours leur place dans le métier. Par contre, si elles possèdent des avantages, nous verrons qu'elles possèdent aussi des inconvénients comme, par exemple, des incapacités à bien visualiser l'objet et l'environnement d'une façon réaliste. Voyons en détail ces outils traditionnels et comment ils sont utilisés par le designer.

1.3.1. Le dessin à main levée

Dessiner c'est apprendre à voir

Petit J[32]

Habituellement, le designer attaque le design conceptuel avec le crayon et le papier. Cela est dû à la simplicité de l'outil comme interface (crayon, feutre, marqueur..). Malgré de nombreux avantages offerts par les autres outils tels que l'ordinateur, le dessin reste un outil important pour le designer, il préserve sa place durant une partie importante de son travail.

[32] Petit J., Le Corbusier, Dessins, Genève, Forces Vives, 1966, p.12.

Cet outil est considéré comme partie intégrante des activités de conception créative. Il est défini comme l'outil prépondérant de la pensée, « the most important Thinking tool » [Hakkarainen *et al.*, '00] [Goël, '95]. Le mot dessin recouvre plusieurs expressions : croquis, sketch, esquisse, plans, sections, élévations, perspective, etc. Dans cette étude, nous allons essentiellement nous intéresser au dessin lorsqu'il est fait à main levée seulement. Car, une de ses particularités est de pouvoir esquisser le plus rapidement et instinctivement possible. Le dessin est en effet vu par les spécialistes de la psychologie cognitive comme une représentation de l'activité mentale, permettant à la concrétisation de concepts. Selon Lebahar, le concepteur fait une comparaison mentale entre une série d'hypothèses et de solutions possibles, en les exprimant directement avec la main [Lebahar, Jean Charles, '83]. Pour Le Corbusier, le dessin est un langage, une science, un moyen d'expression et un moyen de transmission de pensée [Corbusier, '68]. Lockard argumente que l'acte du dessin à main levée permet à notre cerveau de «voir, comprendre et répondre» l'information [Lockard, '73]. Hebert de son côté avance que les dessins sont la signification principale de la pensée du designer [Hebert, '93]. Graves rajoute que les esquisses sont essentielles dans le design et servent de «référence» pour être utilisées, transformées ou prises lors d'une composition ultérieure [Graves, '77].

Mais dans quel sens un tel outil sert alors le designer dans le processus de design ?

De façon générale, le designer dessine pour à la fois « écrire » son idée mentale sur un support matériel, mais aussi pour qu'il puisse « lire » observer son dessin. Cet échange pensée/dessin contient un grand nombre d'informations. C'est justement de l'observation du dessin et de la découverte de ces idées et informations sous-jacentes que va apparaître une réaction, entraînant la naissance de nouvelles idées [Suwa *et al.*, '99]. Dans ce sens, il s'établit une « conversation visuelle » entre le concepteur et ses croquis, permettant l'évaluation et l'exploration de nouvelles idées [Schön, '83] [Goël, '95]. La réflexion se fonde sur la relation établie entre la pensée et sa représentation sous forme de croquis [Huot, '05]. Cross qualifie alors la conception de réflexive : « le concepteur doit maîtriser un genre de médium. Le croquis, permettant aux idées partiellement formées d'être exprimées et réfléchies : d'être prises en considération, développées, rejetées, et reconsidérées. » [Cross, '02]. De nouvelles esquisses (jusqu'à 80 par styliste) et évaluations peuvent être effectuées jusqu'à une adéquation suffisante au CdC [Bouchard, '97]. Dès lors, le dessin ne peut que favoriser les

décisions importantes lors des phases préliminaires de conception. À ce stade, le dessin devient aussi le support physique de révisions, raffinements et modifications. Une des techniques souvent utilisée par les designers, et spécialement les architectes, pour réaliser ces retouches, est d'utiliser des calques transparents. Cela facilite la création de séries de dessins. Ce qui permet d'avoir des versions d'évolutions différentes. Leur combinaison va aussi produire des solutions encore plus raffinées « pas forcement précises ». selon Huot, Le concepteur expérimenté utilise le dessin pour générer des configurations qui peuvent alors « réveiller » des concepts ou objets qu'il n'avait pas encore portés au premier plan de sa pensée et qui peuvent être des solutions au problème posé [Huot, '05]. Nous en déduisons que pour chercher ces « idées cachées », le dessin comme outil de visualisation joue un rôle important lors de cette phase créative du processus qui consiste à générer rapidement une grande variété d'idées. Comme le confirme Suwa, l'esquisse permet la découverte de nouvelles idées visuelles et graphiques d'une façon inespérée [Suwa *et al,*, '99].

Néanmoins, le dessin comporte certaines limites. Dorta considère que les esquisses sont ambiguës et peuvent souvent être mal interprétées [Dorta, '01]. Elles offrent une information incomplète, dans le sens où l'idée est perçue partiellement même si dessinée en perspective. Cependant, l'ambiguïté des dessins est vue par les professionnels différemment. Selon McCall elle est considérée comme un avantage dans la conquête de la complexité du design [McCall *et al.*, '97], pour Suwa, l'ambiguïté aide aussi le designer à développer de nouvelles idées [Suwa *et al,*, '99]. Gross conclut que les designers préfèrent l'utilisation du papier et du crayon parce qu'ils supportent l'ambiguïté, l'imprécision et une augmentation de la formalisation de l'idée, en plus de permettre l'exploration rapide des solutions [Gross *et al,*, '96]. Contrairement à d'autres, l'imprécision permet de prolonger la prise de décisions par rapport à la position ou à la dimension exacte.

Pour notre part, nous considérons que le dessin est un bon outil pour faire de combinaison entre plusieurs esquisses antérieures qui n'ont jamais été vues ensemble et par des nouvelles options de la proposition permettant d'observer le design à partir d'un nouveau point de vue. Afin d'assurer ceci, une bonne maitrise de l'outil « dessin » est nécessaire, ce qui n'est pas toujours évident chez certains designers y compris les professionnels. Malgré certaines normes du dessin, l'esquisse permet d'exprimer un haut niveau de caractéristiques propres au designer [Gross *et al,*, '96]. Mais nous sommes d'avis que lorsque nous montrons un dessin

fait à main levée au client, celui-ci a souvent une vision partiellement voire différente de celle du designer. Enfin, nous, « designers », reconnaissons et interprétons aisément nos propres dessins. De l'autre côté, les non-designers engagent beaucoup d'efforts pour le faire. À l'exception des dessins en perspectives colorés et très élaborés. Dans ce cas, ils prennent beaucoup de temps à réaliser, ils ne sont plus pratiques lorsque plusieurs ajustements doivent être testés directement sur eux. Finalement, les perspectives à main levée, tout en étant très intuitives et dynamiques, peuvent aussi être tricheuses. Le designer comme les autres peut avoir une fausse perception des proportions de l'objet, dû au fait qu'elles ne sont pas calculées, donc inexactes. Les perspectives calculées[33] sont très exactes, mais prennent beaucoup de temps à élaborer. Nous pourrions dire, par le fait même, qu'elles sont statiques. Lorsque le designer est confronté à ce genre de difficultés, il essaye de trouver d'autre outil facilitant la mise en volume des formes. Un de ces outils est la maquette.

1.3.2. La maquette physique

Parallèlement au dessin « esquisses et perspectives », et dans le but de mieux traduire son idée et faire comprendre aux autres sa proposition de design, le designer utilise la maquette. Ce genre de visualisation peut être construit à n'importe quelle échelle « réduite ou agrandie », même en grandeur réelle. L'efficacité majeur réside dans le fait de pouvoir expérimenter les formes, d'appliquer une certaine texture et couleur sur les surfaces puisqu'elles sont fondamentalement tridimensionnelles. Lorsqu'elles sont exposées à la lumière, les effets d'ombrages sont obtenus sans aucune modification par l'échelle [Dorta, '01]. Les maquettes d'après Zobel permettent aussi la possibilité d'un mouvement illimité [Zobel, '95].

À tout moment, le designer a besoin de comprendre l'espace et la forme, et pour cela, la meilleure manière de représentation devrait être la simulation exacte de cet espace et de cette forme. Dans certain cas, ce n'est pas faisable ni économiquement, ni techniquement, notamment en architecture, car les installations ne sont habituellement pas disponibles pour

[33] La perspective calculée est une représentation graphique de l'objet en trois dimensions (hauteur, profondeur et largeur), elle est définit selon certains principes de construction. Il en existe plusieurs types : axonométrie (durant la période du Modernisme), isométrique (ici, les trois directions de l'espace sont représentées avec la même importance), avec un ; deux ou trois points fuites. Elles ont adoptées au début du vingtième siècle par Gropius et Le Corbusier et remplacées la perspective linéaire de Brunelleschi.

permettre la construction d'une maquette en grandeur réelle. Seuls des laboratoires spécialisés peuvent réaliser des modèles d'espaces en grandeur réelle pour étudier leurs effets [Abadi Abbo, '96]. Pour cette raison, l'échelle dans les maquettes est utilisée pour montrer la forme de l'objet. Sous cet aspect, Porter en étudiant la relation de l'échelle entre la maquette et l'être humain, a créé l'effet de « Gulliver », faisant référence au syndrome du village de jouets. et caractérisé par le fait d'observer notre propre taille physique par rapport à celle du modèle. Dans la plupart des cas, nous essayons de contourner en plaçant la maquette proche de l'œil, en gardant l'autre fermé et en bougeant le modèle doucement jusqu'à adopter un point de vue normal en relation à l'objet. Or, le résultat n'est pas satisfaisant et ne permet le mouvement que sur le périmètre du modèle. Il en résulte que l'observateur regarde habituellement le modèle à partir d'un point de vue surélevé, point de vue que personne n'est capable d'obtenir sur un modèle en grandeur réelle. Ni la promenade à l'extérieur du modèle, ni la vue surélevée ne représentent l'expérience traditionnelle de l'espace architectural [Porter, '79].

En design industriel, le phénomène des maquettes est perçu différemment. Ici la maquette se présente comme un outil traditionnel efficace. D'une part, puisque l'objet de design est souvent petit, il est possible de travailler à l'échelle réelle, ce qui implique un travail de conception direct sur la maquette. Cela signifie que la prise de décisions et la validation des formes, des détails et des textures de l'objet sont faits directement sur l'objet de design, comme l'artiste prenant directement des décisions sur l'œuvre en construction. D'autre part, même lorsque l'échelle est utilisée, elle sera généralement moins importante qu'en architecture (1/2, 1/3, etc. au lieu de 1/50, 1/100, etc. en architecture) [Dorta, '01]. Vu cette différence, la déformation de la perception et l'effet de Gulliver se voient réduits. Lalande rajoute une autre différence entre la maquette en design et en architecture, en soulignant le fait que la maquette en design peut devenir un prototype fonctionnel [Lalande *et al.*, '98].

Néanmoins, les points communs entre toutes les maquettes sont qu'elles sont à la fois difficiles et longues à construire, ne sont pas modifiables et chères comparativement aux autres modes de visualisation. Finalement, les maquettes en design sont habituellement une description abstraite des formes de l'objet qu'elles représentent. Le degré d'abstraction est déterminé par le niveau de résolution donné à la forme, l'échelle, la texture et la couleur. Lors d'une bonne résolution de ces aspects, la maquette devient indiscernable de l'objet réel. Nous

pouvons distinguer trois différents types de maquettes : la maquette de recherche, la maquette d'aspect et la maquette fonctionnelle.

1.3.2.1. Les maquettes de recherche :

Elles sont des réalisations rapides plus au moins finalisées de l'idée, et considérées comme outils premiers de la conception. Elles sont pour objectifs :

- Modeler l'idée en 3D sans détails,
- Prendre le produit en mains et de l'observer,
- Faire évaluer l'idée globalement, ainsi de son aspect formel.

On peut profiter de cette mise en volume pour réfléchir à certaines contraintes techniques et fonctionnelles.

1.3.2.2. Les maquettes d'aspect

Elle s'agit d'une maquette de travail dont l'apparence correspond à celle du produit final. Très favorable chez les designers et les stylistes pour évaluer et valider l'aspect esthétique. Son coût est relativement élevé, et elle représente le futur produit avant son développement technique. Enfin, cette maquette physique est souvent utilisée lors d'une phase de mise au point. Pendant celle-ci, la finalisation du design extérieur et intérieur se poursuit sur deux supports développés en parallèle : une maquette physique et une autre numérique.

1.3.2.3. Les maquettes fonctionnelles

En général, elles représentent l'aspect fonctionnel du produit. Nous citons quelques objectifs de ces maquettes :

- Implanter les différents composants techniques du produit,
- Valider l'architecture interne et externe du produit,
- Faire un premier test fonctionnel.

1.4. Les outils numériques de la visualisation

« Les ordinateurs sont inutiles.

Ils ne savent que donner des réponses »

P. PICASSO[34]

Nous avons exposé antérieurement dans le chapitre (1.1.4) la chaîne numérique de la conception, ainsi que ses technologies et ses outils. Dans ce présent chapitre, et parmi la grande diversité de ces outils de la chaîne numérique, nous allons nous intéresser plus particulièrement à ceux qui permettent la visualisation. Comme pour de nombreux métiers, l'outil informatique occupe une place de plus en plus importante dans le design. Pour en mesurer ses apports dans ce domaine, nous allons essayer d'identifier les fonctionnalités proposées et leurs implications dans l'activité de design.

1.4.1. La visualisation numérique

Grâce à l'informatique d'aujourd'hui, les modèles tridimensionnels du projet peuvent être vus lors de chaque étape de conception. Des déplacements instantanés et des agrandissements *« zooms »* permettent de se rapprocher des détails des éléments de design pour un examen plus approfondi. Pour les présentations, le mouvement dynamique *« animation »* des images générées par l'ordinateur simule plus efficacement l'objet dans l'espace que les vues individuelles. Cependant, différents chercheurs se sont aussi rendus compte de la puissance de l'outil informatique pour le travail graphique, considérant des études qui exposent l'importance du dessin pour le designer dans le processus de conception [Lebahar, Jean Charles, '83].

Hall [Hall, '88] fait une distinction intéressante entre la visualisation informatisée et la conception assistée par ordinateur. Selon lui, la CAO traite de la construction graduelle d'une entité tridimensionnelle dans l'ordinateur pour la conception, pour la déduction et ensuite pour la production par la machine des plans bidimensionnels en vue de la construction de l'objet.

[34] Peintre et sculpteur espagnol (1881-1973) généralement considéré comme le plus grand artiste du XXe siècle. Inventeur de formes uniques, innovateur dans les styles et les techniques, il fut l'un des artistes les plus prolifiques de son temps. Source enligne : http://www.dicocitations.com/citations/citation-43913.php

La visualisation travaille essentiellement dans la direction contraire. Les données des objets tridimensionnels sont traitées par l'ordinateur produisant une image en perspective qui montre comment sera l'objet pour un observateur à une position spécifique et selon une condition d'éclairage définie. Dorta rajoute que l'existence d'un système de visualisation informatisé peut faire une grande différence lors de l'évaluation d'une proposition de design [Dorta, '01]. Car, une fois les détails d'un objet modélisés et stockés dans l'ordinateur, un nombre illimité de vues peut être examiné. Contrairement au dessin à main levée, pour avoir une nouvelle vue de l'objet, il faut réaliser un nouveau dessin.

L'ordinateur est intégré dans le processus de design, mais est utilisé, dans la plupart des cas, seulement comme un outil de dessin plus rapide et plus raffiné. Il y a donc ici différentes théories et tendances qui définissent l'utilisation du numérique dans le design :

1.4.1.1. L'ordinateur et le numérique comme outil de visualisation

De par les capacités de calcul et de représentation qu'ils offrent, les outils numériques ont rapidement été perçus comme pouvant aider à la conception, en particulier en design : simulations, visualisation rendus graphiques, etc. Lors des premières étapes de conception, qui sont aussi les plus créatives en termes d'émergence et de brassage des idées, les designers ont besoin d'évaluer les dimensions, l'aménagement ou encore la qualité des espaces [Maher *et al.*, '00]. Pour les représenter, la maquette analogique fut longtemps considérée comme le meilleur outil à la disposition des designers [Davidson *et al.*, '96]. Cependant, cette visualisation présente la lacune de ne pas avoir le sentiment d'être "présent visuellement" à l'intérieur du projet[35], de pouvoir y circuler librement et de disposer de points de vue intéressants surtout pour les espaces intérieurs. Une solution a été proposée, celle d'introduire des mini-caméras dans la maquette physique permettant ainsi aux utilisateurs de contrôler le mouvement de ces caméras et par conséquent « naviguer » à l'intérieur et à l'extérieure des espaces conçus [Bosselmann, '92]. Avec l'avènement des logiciels de CAO dans les années 80-90, il se produit une meilleure compréhension de l'objet puisque les utilisateurs de ces systèmes informatiques peuvent disposer de différents points de vue du projet, mais surtout, les images de synthèse produites permettent une boucle de rétroaction plus rapide [Maher *et al*,, '00]. Il est évident que ces logiciels de CAO qui, en deux décennies ont vu leur utilisation

[35] Quant le cas le permet.

se généraliser dans les bureaux de designers, constituent un médium riche pour la représentation des idées de design. Toutefois, la recherche dans ce domaine [Bertol, '97] [Leclercq *et al.*, '02] fait part d'un manque d'outils informatisés dans les premières étapes du processus de conception. La plupart des logiciels de CAO (Dassault systèmes, Autodesk…) étant destinés et utilisés par les professionnels comme outils pour communiquer le projet et non comme aide aux phases amonts du processus de conception. Mais depuis quelques années, au niveau académique et commercial, des applications destinées aux phases créatives du design apparaissent. Au niveau commercial, des applications comme : Free form[36], sketchUp 3D de @Last Software commencent aussi à être employées par les professionnels. Pour le monde scientifique, on peut citer des solutions comme ceux développés par l'équipe de recherche LUCID de l'université de Liège, qui propose l'outil ESQUISE, est un prototype d'outil informatique pour l'architecte basé sur l'interprétation du dessin dans les premières phases de conception. L'idée directrice de ces travaux est d'insérer de manière transparente l'outil informatique dans la conception, par le concept que Pierre LECLERCQ nomme *l'interface absente* [Leclercq *et al.*]. Dans le cadre académique, « un atelier de design informatisé », à l'École d'architecture de l'Université Laval, permet aux étudiants de concevoir uniquement avec le système informatique[37]. Cet atelier vise à développer par des activités pratiques, la compréhension et l'expression des idées nécessaires à l'élaboration d'un projet d'une architecture virtuelle à l'aide d'un système informatique (ordinateur + logiciels + base de données 3D + réseau = Second Life) et d'un processus de conception par collaboration en ligne.

Nous pouvons déduire que les technologies informatiques au service de visualisation en design, intéressent de plus en plus non seulement les commerciales mais aussi les chercheurs et les académiques. Cette popularisation de l'informatique a stimulé le développement et la commercialisation de nouveaux logiciels spécialisés, des nouvelles interfaces graphiques faciles d'apprentissage et d'utilisation et qui n'exigeait aucune connaissance en programmation. Nous avons remarqué aussi que les architectes ont suivi cette tendance et ont

[36] Est une nouvelle approche naturelle de la création par l'ordinateur. Elle repose sur l'utilisation d'un système à retour de force « Sensable Technologies ». Ceci, laisse les créateurs utilisent leur sens tactile tout en modelant sur l'ordinateur.

[37] Source en ligne : http://www.arc.ulaval.ca/communs/pdf/plan115.pdf

développé des logiciels de modélisation et des systèmes de CAO pour le travail en 2D et 3D. Des logiciels commerciaux de C.A.O. sont aussi devenus très populaires dans les bureaux d'architectes. Contrairement aux designers, qui préfèrent toujours utilisés les outils traditionnels qu'ils maitrisent lors de travail créatif.

1.4.1.2. Le numérique comme instrument de conception

Les exigences de la fabrication en design en général ont changé avec le temps. Les designers se sont rendu compte que la conception basée principalement sur l'expérience et l'intuition n'est pas adaptée à ces exigences. Depuis que l'informatique est accessible pour un travail pratique, les designers ont vu en elle un excellent instrument pour les assister lors de la conception. De cette vision, l'ordinateur n'est plus considéré comme auxiliaire à la conception, il a occupé la place d'un outil indispensable. Place ouvrant même des possibilités inédites, selon l'architecte de renom Franck O. GEHRY : « The Guggenheim museum in Bilbao and the Walt Disney Concert Hall (in Los Angeles) could not exist today if we hadn't met Dassault, because there was no way to explore these kinds of shapes and make them economically feasible » [Day, '04]. Christophe Dupont, directeur Process de développement design chez Renault, rajoute que grâce à la combinaison des logiciels AutoStudio, Maya d'Alias et des prototypes physiques dans la phase design, Renault a diminué de près d'un tiers les temps de développement de la Mégane II[38]. Pour Xavier Melkonian, Design Channel Manager d'Alias France, *« Le design numérique permet de diminuer le nombre de maquettes physiques nécessaires à la prise de décision et donc de baisser les coûts. Une maquette échelle 1 d'une voiture revient à environ 150 000 euros ! En quelques années et grâce au numérique, on est passé de dix à trois maquettes réelles chez les constructeurs automobiles les plus avancés… Et n'oublions pas les outils de validation temps réel prennent une place toujours plus importante du fait du raccourcissement constant du time to market. »*[39]

Maintenant, si l'on écarte toute considération de publicité pour les logiciels utilisés par l'équipe de designers, ces témoignages situent tout à fait la situation actuelle de l'informatique dans le processus de design : la conception et la validation technique et matérielle est possible. Le point commun à tous ces logiciels, qu'ils soient dits de synthèse d'image, de

[38] En ligne : http://cad-magazine.com/pdf/articles/renault_design_combine_numerique.pdf

[39] En ligne : http://cad-magazine.com/pdf/articles/le_design_industriel_cet.pdf

CAO, de DAO ou autre, est la nécessité de saisir une visualisation numérique des objets à concevoir et à représenter. Ici, on rejoint ce que nous avions précédemment exposé sur les liens et itérations entre création-communication-validation. La CAO comme l'outil traditionnel va être la trace de ces opérations de création et de communication.

La modélisation 3D extrêmement précise. Mais, pour le moment, l'informatique n'a pas aidé le designer dans sa démarche première, dans les premières étapes de la conception[40]. Par contre, la CAO offre la possibilité, par des modèles construits au fur et à mesure du projet, d'orienter des choix de conception ou de vérifier des contraintes qui n'ont pas encore été prises en compte dans les premières phases [Huot, '05]. Cela facilite la correction de certains défauts de conception, ainsi qu'une production aisée des plans techniques, des prévisions de coûts en fournissant des fichiers pour alimenter la chaîne numérique de conception.

La CAO est donc largement utilisée dans le design. Malgré cela, nous avons observé lors des journées de rencontres des professionnels, dans des magazines spécialisés en design ou encore dans les ateliers de design, les craintes qu'émettent nombre de designers (surtout les experts d'entre eux « les plus âgés ») au regard de la place que prend la CAO dans leur domaine. Beaucoup semblent s'inquiéter d'une possible disparition du dessin classique et de maquette physique au profit des technologies informatiques. Même si nous ne partageons ces craintes qu'avec l'importance du dessin dans la conception créative, nous comprenons toutefois ces inquiétudes, probablement la conséquence de leurs références en matière de logiciels, ou la complexité de maîtriser ces logiciels. Enfin, il reste à imaginer, même si c'est incertain, que les outils actuels de CAO deviennent les papiers/crayons de demain.

1.5. Les limites liées aux outils de visualisation traditionnels et numériques utilisés par le designer aujourd'hui

Bien que décrits par de nombreux auteurs dans la littérature, les outils traditionnels et numériques de visualisation révèlent une insuffisance dans le processus de design. Une discussion interminable, entre ceux qui voient à travers du dessin l'outil de créativité et de rapidité pour traduire les idées du designer, comme le rappelle Klercker, la créativité est dépendante de la vitesse et de la facilité [Klercker, '95]. Et ceux qui considèrent la maquette

[40] Franck O. GEHRY dit d'ailleurs dans le même article qu'il est incapable d'allumer un ordinateur...

physique comme outil indispensable pour s'approcher et toucher l'objet. Contrairement à d'autres qui prouvent que ce genre d'outils est insuffisant pour la validation technique, ils utilisent les outils numériques pour y parvenir et alimenter la chaîne numérique de conception. Mais selon Gross, la CAO élimine le pouvoir suggestif de l'esquisse [Gross *et al*,, '96]. De plus, l'interaction entre la souris et les listes des menus d'un logiciel CAO reste difficile à utiliser par le designer en comparaison avec le crayon et le papier.

Nous proposons de résumer ces limites selon deux niveaux qui dissocient l'utilisation de ces outils par les designers en général : pour la création de l'objet design, et pour la communication autour de l'objet avec les non-designers.

1.5.1. Limites lors de la création de l'objet

Ces limites ou incapacités proviennent des obstacles auxquels les designers sont confrontés pour percevoir et concevoir l'objet design. Ils sont les suivants :

- L'abstraction : selon Dorta, le concepteur doit interpréter l'information abstraite pour comprendre et percevoir l'objet 3D [Dorta, '01]. Il est évident que certains designers possèdent une capacité de compréhension et de maîtrise des problèmes liés directement à la conception du produit de type formel, ou lors de l'évaluation esthétique. Or, ces capacités sembles moins poussées, particulièrement chez des designers novices ou moins expérimentés [Kavakli *et al.*, '99], ou encore chez les étudiants [Gero, '02]. Ces difficultés proviennent d'un paradoxe : les outils traditionnels de visualisation sont principalement bidimensionnels (croquis, perspective et dessin à main levée.) et l'objet de design est principalement en 3D.
- Le champ de vision humain : il existe certaines incohérences en relation avec l'échelle de l'observateur et l'outil de visualisation. En design urbain et architectural particulièrement, la maquette physique se présente comme un petit objet face à un géant « effet de Gulliver ». Le champ de vision humain normal se trouve déformé lorsque le designer essaie de percevoir et évaluer les caractéristiques esthétiques, la forme et l'espace de l'objet à l'échelle. Bien que les outils numériques aient pu résoudre une partie de cette problématique. Mais, il est encore difficile de gérer à l'écran la recherche de volumes et sa modification. De plus, l'utilisation de l'informatique peut représenter pour certains designers une barrière réduisant

l'accessibilité au caractère intuitif de leurs projets. C'est pourquoi le recours à la maquette physique reste dans ce sens indispensable. Sauf que cette dernière prend beaucoup de temps à produire, souvent répétitive car elle n'est pas modifiable et onéreuse.

1.5.2. Limites lors de la communication autour de l'objet

D'autres types de limites sont attribuables au moment de la communication de proposition de design entre le designer et les autres. À titre d'exemple, le problème de la réduction des informations de l'objet dans l'espace contenues dans le modèle CAO sont perdues au passage vers la représentation 2D ! (sur l'écran). En effet, les perspectives issues du modèle 3D apparaissent sur notre écran comme des représentations 2D [Dumas, '00]. Ceci réduit notre perception de l'espace. De plus, avec les solutions informatiques de CAO disponibles sur le marché, un aspect du travail du designer est caché : celui de la communication et de l'échange d'informations entre les différents acteurs d'un projet par la collaboration [Ahmed, '05]. En effet, ces logiciels sont généralement destinés au travail individuel, ce qui laisse les autres comme des spectateurs devant la proposition du designer. Le dessin de son côté, comme méthode de communication, est relié à deux objectifs importants. Le premier objectif réside dans l'expérience du designer à maîtriser l'outil, un designer pourrait avoir une idée (perception) parfaitement précise de l'objet mais ne saurait traduire exactement cette vision sur le papier. Ce type de limite, peut influencer directement le deuxième objectif de l'outil (la communication) et entraîne quelques fois une déformation, mauvaise compréhension de l'objet présenté ou un manque d'information dans le processus de design soit pour le designer lui-même, ou pour ses collèges, clients ou usagers éventuels. Marshall [Marshall, '92], en faisant l'analyse des médias graphiques de visualisation en design, décrit : *«!... Si un média peut apporter un élément d'harmonie entre le créateur et ses idées, il peut donc aider le processus de design. Si, d'un autre côté, le média distrait continuellement le concepteur en attirant l'attention inutilement sur lui-même, il en affectera le processus!»*.

1.6. Énoncé de la problématique

Comme nous l'avons vu dans la première partie en parcourant la problématique de société de conception et l'état de l'art de la recherche dans ce domaine, le designer est impliqué

directement dans la stratégie globale de la conception et avec les autres métiers. Il implique des préoccupations diverses qui vont de l'esthétisme à la mise en place du fonctionnalisme en passant par l'ergonomie pour arriver au produit final. En focalisant sur le métier du designer nous avons montré que pour atteindre l'objectif final (le produit), il était important de construire une méthodologie de conception collaborative intégrante le designer. Par contre, nous avons aussi soulevé le fait que pour que les différents acteurs du projet puissent se comprendre et avancer des projets de plus en plus complexes, des outils tels OIC et chaîne numérique de conception deviennent indispensables.

Notre centre de préoccupation étant le designer et ses outils, nous avons focalisé, dans cette présente partie, sur les outils actuels utilisés par cet acteur. Après présentation de chacun d'eux, nous avons proposé de classer les outils en 2 catégories : outils traditionnels et outils numériques. Ceci constitue ce que nous appelons la « boite à outil » du designer.

Nous avons vu comment l'objet design est inconcevable sans l'outil de visualisation, ce dernier jouant un rôle principal à la fois pour l'objet lors de sa création et de son évaluation, mais aussi pour le designer lors de sa communication avec les interlocuteurs du projet. Par contre, suite à une analyse bibliographique et à des observations de la pratique de ces outils traditionnels et numériques de visualisation dans le métier, nous pensons que cette « boîte à outil » mérite d'être compléter par l'intégration de la RV.

Pour résumer, les outils de visualisation traditionnels et numériques utilisés par le designer aujourd'hui révèlent une insuffisance dans le processus de design et présentent des limites selon deux niveaux :

Lors de la création et de l'évaluation esthétique de l'objet par le designer,

Lors de la communication de l'objet représenté entre le designer et les autres.

C'est à partir de l'ensemble des éléments exposés que nous proposons la problématique suivante :

«Le designer peut-il considérer la réalité virtuelle comme une technique de visualisation possédant ces critères de création et de communication pour le futur produit ? Et que peut-elle apporter au métier de design ? »

Face à cette problématique, le chapitre suivant propose donc de définir les apports envisageables par le futur système de conception et de visualisation en design (la réalité virtuelle), en se focalisant sur, sa définition, ses applications, son insertion dans le processus de design et leur adaptation au designer (plutôt que le contraire!). Nous terminerons ce chapitre par la formulation de nos hypothèses de recherche.

2."HYPOTHESES" PROPOSITION D'INTEGRATION DE LA REALITE VIRTUELLE AU DESIGN

« Le design innovateur, excitant, et visionnaire a toujours été amené par de nouvelles technologies et matières »

Werner Aisslinger[41]

2.1. Introduction

Réalité Virtuelle (RV). Ce nom, volontairement contradictoire, cache beaucoup de choses. Selon Gerber ces adjonctions forment une sorte de continuum, dans lequel on passe graduellement de la réalité «pure», celle où tout est «réel», à la virtualité «pure», celle où tout est «virtuel». La Figure 23 illustre ce continuum, avec les principales techniques à ce jour selon le degré de réel et de virtuel qu'elles mélangent [Gerber, '04]. Nous considérerons dans la suite de cette thèse la réalité virtuelle comme étant celle proche de la virtualité pure « en ce qui concerne le produit », et de la réalité pure « en ce qui concerne l'utilisateur ». Autrement dit, le produit et son environnement sont virtuels et l'utilisateur est réel. Dans cette situation, l'un des enjeux majeurs est de procurer à l'utilisateur un sentiment d'immersion dans le projet. Pour certains, la réalité virtuelle doit remplacer tous nos repères habituels. Pour d'autres, elle doit simplement améliorer ce qui pose problème où est limitant dans le monde réel. La réalité virtuelle prend une place de plus en plus importante de nos jours : notamment

[41] http://www.school-portal.co.uk/GroupHomepage.asp?GroupID=55398

pour la conception de produits [Richir, '03], l'industrie y voit un moyen de faire du prototypage virtuel à moindre frais[42], les musées y trouvent un moyen de faire visiter des lieux ancestraux disparus, les chimistes peuvent explorer les molécules comme jamais auparavant, les psychiatres et les médecins y voient un moyen de soigner et d'opérer. Sans oublier l'origine de ses applications « moins humaines ! » dans l'armée américaine pour apprendre aux pilotes novices à voler dans une cabine de simulation. Les raisons de ces démarches étaient les coûts et les dangers engendrés par ce genre de formation. Cependant, même si son avenir semble prometteur, comme le signal Alain Berthoz[43] , « *la RV va jouer un rôle décisif dans années à venir* ». Elle est une discipline très récente, et souffre à ce titre de nombreuses faiblesses. Sans parler du matériel souvent cher et sophistiqué, les équipements de RV restent moins accessibles au grand public, comme c'était le cas pour les ordinateurs depuis quinzaines d'années. Contrairement à aujourd'hui, on trouve au moins un PC et un ordinateur portable dans un bon nombre de foyers.

[42] Nous citons ici l'exemple des travaux réalisés par Petit chez PSA Peugeot-Citroën, l'auteur montre que l'utilisation d'un CAVE™ de RV a permis, dans le cadre de la conception d'un poste de conduite, de multiplier les hypothèses de recherche en un temps très court. Selon lui, il a été possible d'étudier 13 hypothèses en moins de 2 mois grâce aux outils de RV. Cela a permis de ne réaliser qu'une maquette physique au final, soit un gain financier évalué à 120 K€…même si ces outils sont utilisés de manière de plus en plus importante par les grands groupes industriels, ils sont encore loin d'être intégrés dans la culture des ingénieurs qui les utilisent Petit, O. (2006). *La réalité virtuelle au service de la conception d'un véhicule*, Conférence SIA – « La réalité virtuelle aujourd'hui dans l'automobile, applications dans la conception produit/process ». ADN – PSA Peugeot-Citroën Velizy..

[43] Alain Berthoz est professeur au collège de France. Il est le directeur du laboratoire de physiologie de la perception et de l'action CNRS. Il est l'auteur des ouvrages « le sens du mouvement » 1997 et « la décision » 2003.

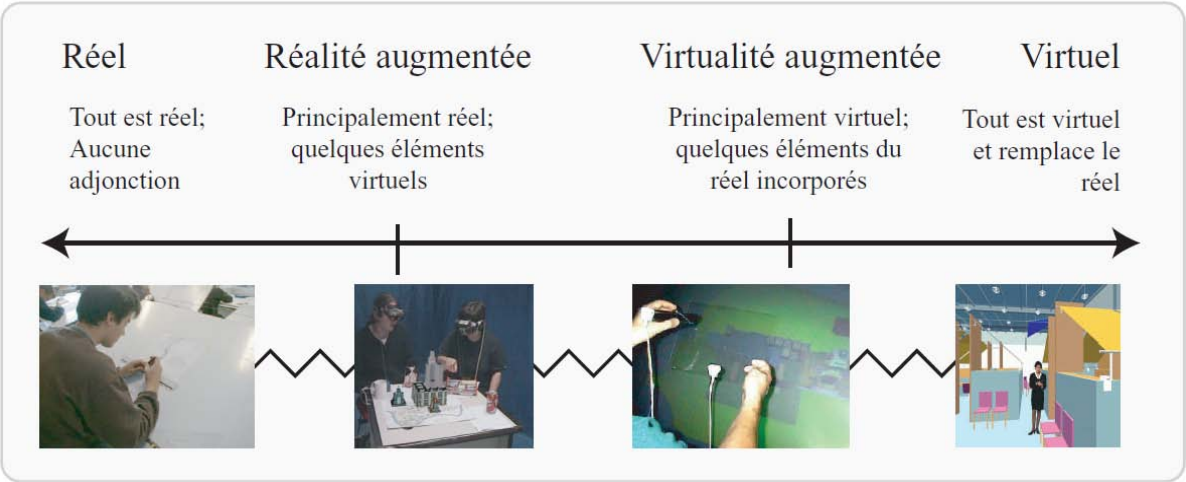


Figure 23 : Du réel au virtuel : un continuum [Gerber, '04].

Dans le but de développer nous hypothèses de recherches, nous proposons au cours de ce chapitre de définir la RV, ses caractéristiques ainsi que les avantages que peut apporter cette technologie dans le domaine de design. Finalement, nous concluons en montrant dans quelle mesure la RV peut être un outil de travail pour le designer.

2.2. Définition de la réalité virtuelle

C'est en 1986 que Jaron Lanier[44] employa pour la première fois le terme de « réalité virtuelle ». C'est la traduction de l'expression anglaise « virtual reality ». Aujourd'hui du fait de la jeunesse de ce domaine, il n'existe cependant pas à ce jour de consensus général sur une définition unique. Mais, nous trouvons différentes définitions pour décrire la réalité virtuelle, définitions qui varient parfois considérablement d'un auteur à l'autre et d'un domaine à l'autre selon les fonctions, les techniques et les applications de la RV. Nous citerons quelques-unes d'entre elles :

Il y a d'abord l'aspect « finalité de la réalité virtuelle » :

- La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou plusieurs) une activité sensori-motrice dans monde artificiel, qui est soit imaginaire, soit symbolique, soit une simulation de certains aspects du monde réel [Fuchs, P, '96]. Dans notre cas, il s'agit d'étudier un futur produit, qui n'est pas encore matérialisé.

[44] Lors du salon professionnel Texpo'89 à San Francisco (USA) http://www.well.com/user/jaron/

- Selon Fuchs et Moreau, « la réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs » [Fuchs, P *et al.*, '06].

Ensuite, il y a le côté sensoriel et cognitif sur l'approche psychologique de la RV :

- La RV reste avant tout une construction mentale de l'observateur face aux stimulations sensorielles qui lui sont fournies par les artefacts technologiques [Schneider, '01].

Enfin, les chercheurs du domaine vont opter pour une définition technique de la RV et vont se concentrer sur l'interface de celle-ci :

- La réalité virtuelle se réfère aux environnements tridimensionnels générés par ordinateurs, immersifs, interactifs, multi-sensoriels et centrés sur l'utilisateur, ainsi qu'à la combinaison des technologies requises pour construire ces environnements [Cruz-Neira, '93].

Toutes ces définitions apportées par différents auteurs permettent de caractériser la RV comme tout système procurant à ses utilisateurs la sensation d'**immersion** dans des **espaces virtuels** et permettant une **interaction** avec les éléments qui composent ces derniers. Des artéfacts informatiques peuvent être utilisés pour accroître la sensation d'immersion sensorielle dans ces espaces virtuels, avec une présence physique dans ces espaces. L'ensemble de ces notions d'immersion, espace virtuelle et interaction fonctionnent en temps réel. Dans ce contexte, Bowman résume l'interaction dans la RV par quatre tâches élémentaires qui sont : le contrôle du système qui permet d'effectuer l'ensemble des opérations de gestion de l'application, la sélection d'une cible, la manipulation d'un élément de l'environnement virtuel et la navigation dans cet environnement [Bowman, D. A *et al.*, '99]. Dans le cadre de nos travaux de recherche, la navigation est la tâche d'interaction qui nous intéresse le plus.

2.3. Les trois plus de la RV par apport de la CAO

Rappelons-nous que pour le designer, la visualisation est une activité importante, puisqu'elle lui permet d'avoir une rétroaction sur les idées de design qui sont proposées. Dans l'évolution

de la CAO, en design, nous constatons que les changements sont dus, la plupart du temps, au désir de visualiser le projet. Ceci a commencé avec la CAO en deux dimensions, alors que l'ordinateur fonctionnait comme un instrument de dessin, d'expression, d'illustration et de conception en 2D du projet. Plus tard, l'augmentation de la puissance de traitement et de la capacité de stockage de l'ordinateur a ouvert le terrain à la troisième dimension. La technologie sert maintenant à la visualisation des volumes et des perspectives du projet dans la phase de conception ou de présentations finales. L'idée a toujours été de se rapprocher d'une visualisation et une simulation réelle. C'est-là où la RV entre dans l'activité du design.

La RV se présente comme une évolution de la conception et de la visualisation assistée par ordinateur. Elle cherche à solutionner les limites non-résolues d'une visualisation du projet par la modélisation et l'animation par la CAO. Sa richesse réside dans les potentialités qu'elle seule peut offrir. La RV, par rapport à la modélisation et l'animation en CAO, comporte trois aspects identifiés comme importants : l'immersion, l'interaction et la navigation en temps réel Figure 24.

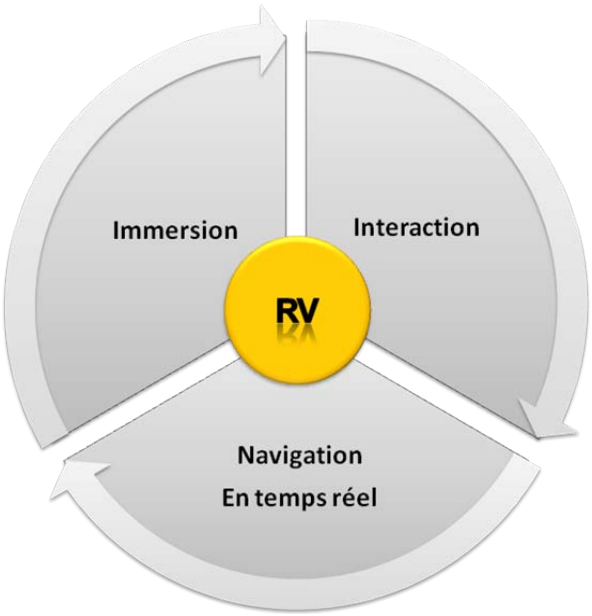


Figure 24 : les trois fonctions principales de la RV

2.3.1. L'immersion

L'un des grands attraits de la réalité virtuelle réside dans le fait qu'elle puisse procurer à l'utilisateur le sentiment de faire partie du monde virtuel ou des projets qui s'y présentent, comme s'il y était « pour de vrai ! ». L'immersion physique d'une personne dans un environnement virtuel se fait par l'information sensorielle (vision, odorat, touché, goût, audition). Nous pourrons parler d'"Immersif total" lorsque la totalité des sens de l'utilisateur sont sollicités, même si en pratique, il n'existe aujourd'hui aucune solution complète totalement immersive. Dans notre travail, nous nous limitons à la partie visuelle seule. Il s'agit donc d'occulter la perception visuelle de l'environnement réel de l'utilisateur pour afficher en lieu et place une image du monde virtuel. Selon Fuchs, une définition de l'immersion correspondrait au degré et à la qualité avec lesquels l'interface du système contrôle les entrées sensorielles pour chaque modalité de perception et d'action, l'immersion peut alors se décrire dans les termes des dispositifs logiciels et matériels particuliers [Fuchs, P *et al*,, '06]. Pour ce type de systèmes de visualisation immersive, ce sont des technologies dites immersives[45] qui sont utilisées

Figure 25 : la stéréoscopie active ou passive, les visiocasques HMD (Head-Mounted Display), ou encore des systèmes plus sophistiqués tels que les CAVE[46].

[45] Pour plus de détails sur ces technologies immersives, il est possible de consulter Fuchs, J., G. Moreau and J. P. Papin (2001). *Le traité de la réalité virtuelle*. Nantes : Les Presses de l'Ecole des Mines..

[46] CAVE « Cubic Automatic Virtual Environment ».



Figure 25 : Exemple de systèmes d'immersion : A gauche une Visiocasque[47], à droit CAVE™ de PSA Peugeot Citroën[48].

Dans le cadre de cette étude, ce premier type de RV immersive dans une CAVE sera utilisé[49]. Une technologie immersive est plus riche au niveau de la quantité des informations sensorielles, ... et du nombre de modalités perceptives possibles, qu'une technologie non-immersive [Slater *et al.*, '01]. Un deuxième système *semi-immersif* est les « workbenchs », il s'agit d'une table où l'image est projetée par un système vidéo. L'utilisateur est devant cette table et agit directement dessus. Troisièmement, le *non-immersif* lorsqu'il utilise un affichage de type « desktop display » [Psotka, '95], bien que ce modèle du langage VRML[50] soit interactif et navigable en temps réel et le rendu réaliste de la CAO. Mais, Comme Huriet le souligne, l'image de synthèse reste une image, et celui qui la regarde en est le spectateur [Huriet, '98]. Pour nous, il ne donne pas le sentiment d'être présent et cela réduit le contact de l'utilisateur avec le modèle affiché sur l'écran ce qui peut influencer sur la visualisation. En accord avec Queau, « avec le virtuel, l'homme cesse d'être le spectateur d'une image pour devenir acteur dans l'image » [Queau, '00], nous pensons aussi que le passage au virtuel se caractérise par l'immersion dans le projet et l'interaction avec cette dernière.

[47] http://www.immersion.fr/

[48] http://www.psa-peugeot-citroen.com/fr/magazine/magazine_doss_c1.php?id=235

[49] Une plate-forme de RV immersive PREVERCOS sera abordée dans notre protocole de recherche.

[50] VRML : Virtual Reality Mark-Up Langage est un langage de description de scène tridimensionnelle.

Du point de vue de nos travaux de recherche, ce qui nous intéresse est de savoir la quantité et la validité d'informations transmises par l'outil de visualisation, et non pas de mesurer le degré d'immersion.

2.3.2. L'interaction

Outre l'affichage et le sentiment d'immersion, un aspect important de tout environnement virtuel est la possibilité d'interaction entre l'utilisateur et l'environnement virtuel. Cette notion d'interaction fait intervenir l'intermédiaire d'un périphérique spécialisé. Les offres commerciales de ces périphériques varient entre ceux que l'utilisateur «tient en main», et ceux que l'utilisateur «revêt» Figure 26. Souvent, ils sont équipés d'un système de «capteur du mouvement», ce qui permet de connaître l'orientation et la position des points mobiles concerné dans l'espace. Certains périphériques « gestuels » comme les joysticks par exemple peuvent servir pour contrôler, sélectionner un objet ou naviguer dans l'espace virtuel.



Figure 26 : Exemple de gant de données CyberGlove®.

2.3.3. La navigation

Cette partie traite du concept de navigation dans la RV immersive, même s'il y a une similitude entre la navigation dans le réel et le virtuel. La différence principale entre la navigation dans l'environnement réel et virtuel se situe au niveau des modes et des techniques de navigation qui sont propres à chaque réalité. Darken et Peterson spécialistes en cognition spatiale, rappellent qu'il y a une confusion dans la littérature sur les termes « navigation », « déplacement » ou encore « exploration » [Darken *et al.*, '02]. Ainsi, la navigation dans un environnement réel ou virtuel se définit par ses composantes motrice et cognitive qui sont

inter-reliées [Bowman, D.A, '02]. Il existe plusieurs modes de déplacement, selon Les métaphores réelles qui font appel à des comportements réalistes et/ou naturels comme le déplacement en mode « poste de conduite » ou sur « un tapis roulant »…etc. Le deuxième est une navigation virtuelle où l'utilisateur contrôle l'objet par le joystick, son but étant de connaître, comprendre et évalue le nouvel projet qu'il explore. Cette possibilité de naviguer à l'intérieur du projet virtuel à l'échelle 1 comme s'il y était pour de vrai sans un plan préétabli est introuvable ailleurs. L'animation de la CAO propose une navigation dans le projet, mais elle est toujours limitée par un temps d'exécution et une vue déterminée.

2.4. Réalité virtuelle et design

Nous avons vu comment l'objet design est inconcevable sans représentation. Hier, uniquement les maquettes physiques et les croquis, et aujourd'hui les applications informatiques, permettent de concevoir et de projeter les pensées des designers. Pour demain, nous pensons qu'il faut bien sûr disposer de plusieurs outils de représentation mais il est probable que les technologies de la RV immersives et interactives proposent une multitude de potentialités et peuvent devenir un complément très intéressant pour d'autres médiums dans toutes les étapes du processus de design. En plus, cette association permettrait peut-être de mieux créer et communiquer le projet par le designer dès le début de projet dont nous parlions précédemment. D'un autre côté, et devant les résultats intéressants obtenus par les chercheurs et les industriels par l'application de la RV dans divers domaines centrés sur la conception [Petit, '06] , la mécanique [Duncan *et al.*, '07], [Mahdjoub, '07], l'ergonomie [Chedmail *et al*,, '02], [Fischer *et al.*, '04] [Chitescu *et al.*, '03] l'assemblage et la fabrication [Shewchuck *et al.*, '02] et sur le style [Bordegoni *et al.*, '05], [Schkolne *et al.*, '01]. Vu l'absence de son utilisation par le designer d'aujourd'hui, il nous semble que cette nouvelle technologie mérite d'être intégrer à « la boîte à outils » du designer. Nous croyons qu'elle peut apporter une réponse adéquate pour résoudre notre problématique de recherche.

Notre propos est axé sur les apports potentiels de telles technologies pour la profession de designer et pour la formation en design pour la visualisation des propositions. Nous en revenons donc à l'insertion de nouveaux outils (RV) de travail dans la démarche de design, de telle manière que le designer et les intervenants au projet soient les seuls à décider s'ils vont les utiliser ou non. Par contre, notre préoccupation n'est pas de savoir si les designers

utiliseraient systématiquement de tels outils. Notre démarche ne consiste pas non plus à imposer de nouvelles méthodes de visualisation.

2.5. Les hypothèses de la recherche

Dans ce chapitre, nous exposerons les hypothèses proposées pour résoudre notre problématique de recherche énoncée précédemment. Nous souhaitons apporter une réponse globale à cette question, sans rentrer forcément dans le détail technique de l'outil RV. Notre objectif est de proposer des réponses pragmatiques en nous basant sur l'étude de cas de projets pédagogiques et industriels réels.

La définition et la description que nous avons données de la RV est tout d'abord en adéquation avec les besoins liés aux outils de visualisation utilisés en design évoqués précédemment (cf. chapitre 1.3 et 1.4). De plus il apparaît aussi que cette technologie dispose de trois fonctions principales (l'immersion, l'interaction et la navigation en temps réel). Ces dernières ne sont pas disponibles dans les outils T et N. Cela nous amène à nous positionner dans un contexte de recherche comparatif où nous étudierons donc l'influence de la RV par rapport aux outils T et N sur le processus de design.

Nous proposons tout d'abord de représenter la problématique et les hypothèses de la recherche dans le schéma suivant que nous détaillerons dans le prochain paragraphe.

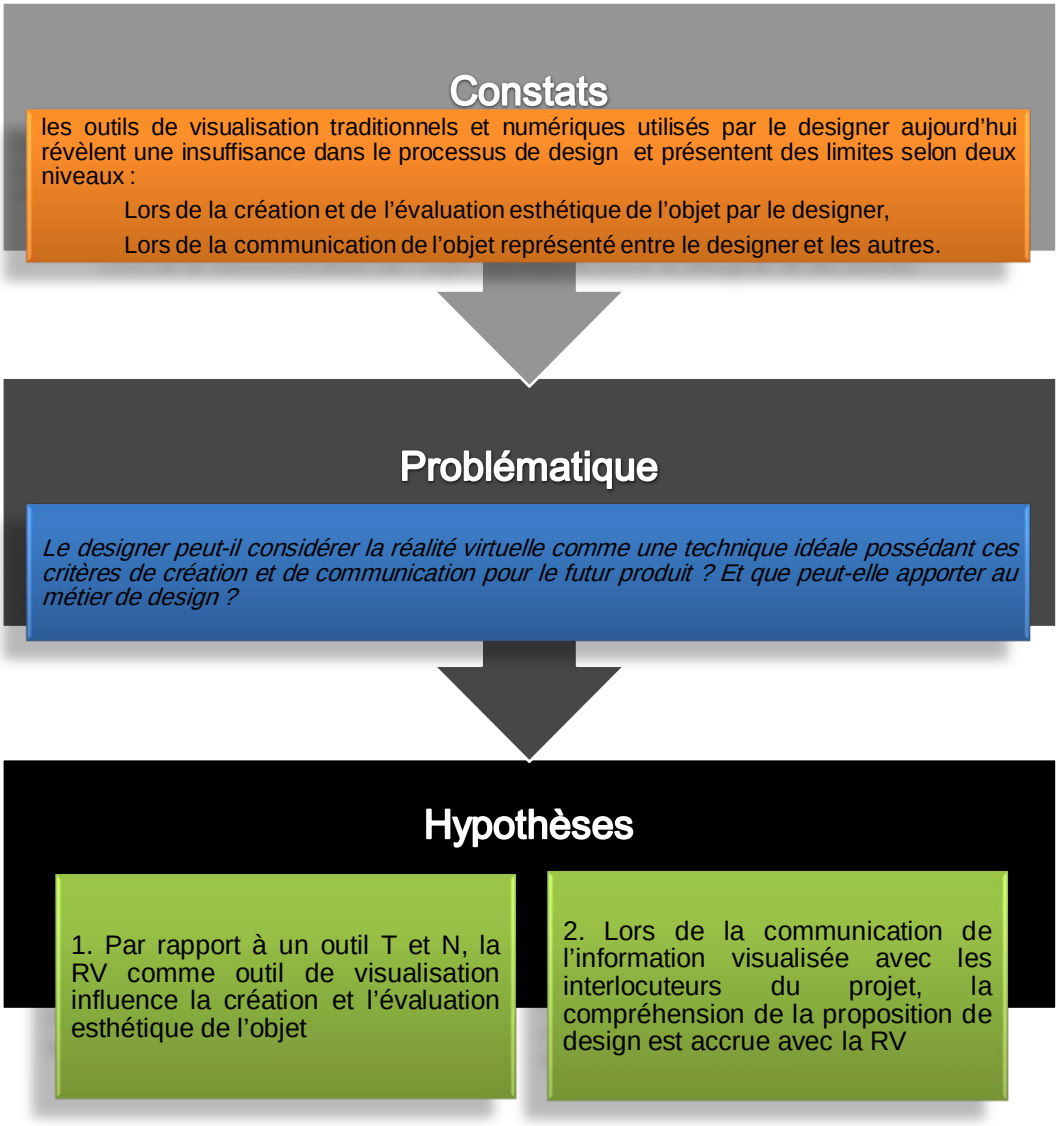


Figure 27 : Schématisation de la problématique et des hypothèses de recherche.

2.5.1. Première hypothèse : Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet.

Notre première hypothèse concerne la phase de création et d'évaluation esthétique de l'objet dans un processus de design. Nous avons vu au cours de notre première partie de ce document que le produit est soumis à plusieurs contraintes pendant la période de sa conception dont les critères esthétiques gérer par le designer. De nombreux chercheurs ont démontré ainsi que les OIC et la chaîne numérique de conception devient des outils indispensables pour la construction de projet et la validation de ces contraints. Dans cette présente partie, et en

abordant les outils T et N de visualisation du designer nous avons exposé les limites liées à ces outils vis-à-vis la pratique du design. Ensuite, nous avons abordé le sujet de la RV comme outil utilisé par la communauté de conception dans plusieurs domaines, tout en montrant que l'objectif des systèmes immersifs est de placer l'usager dans un environnement virtuel qui peut être manipulé directement. L'intégration de la RV comme l'a identifié Mahdjoub peut de manière avantageuse intégrer le futur opérateur réel des concepts en cours de conception en permettant l'étude du système Homme Réel, Produit Virtuel, Environnement Virtuel [Mahdjoub, '07]. L'intention est que l'usager interagisse avec l'environnement d'une manière intuitive. Pour cela, nous avons montré que l'usager utilise un équipement spécifique et sophistiqué comme les lunettes pour produire une immersion visuelle totale, le joystick et les gants pour permettre le mouvement libre dans tous les axes (x, y et z) et la manipulation directe de l'environnement.

Nous pensons que placer un utilisateur particulier, le designer acteur de la conception devant le futur produit à l'échelle un dans environnement virtuel peut potentiellement lui offrir une nouvelle façon de percevoir, de synthétiser et de s'immerger plus facilement dans le projet pour évaluer les différents critères esthétiques. Nous postulons que l'intégration de ce type d'outil de visualisation peut aider le designer à mieux évaluer le projet selon différents points de vue dont l'esthétique.

Dans cette optique, nous formulons notre première hypothèse :

H1 : « Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet. »

2.5.2. Deuxième hypothèse : Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV.

Nous avons montré que la particularité de l'activité du designer est basée sur une alternance entre deux activités majeures : création-communication (Cf : 2.1.3.1 p60). Le paragraphe précédent s'est intéressé à l'utilisation de l'outil lors de la création du produit. Maintenant, nous allons nous intéresser à l'outil lorsqu'il est utilisé par le designer pour la communication visuelle du projet. En accord avec Vinck [Vinck, '06], nous pensons que l'outil de

visualisation comme OIC joue un rôle important dans le processus de conception et peut influencer sur la compréhension du projet. Aux Vues de l'importance et la difficulté de cette tâche, pour mesurer l'impact de l'outil de visualisation sur la compréhension des interlocuteurs du projet, nous ferons appel aux outils actuellement utilisés par le designer et nous proposons de formuler notre deuxième hypothèse de la façon suivante :

> *H2 : Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV.*

Au cours de cette partie, nous avons formulé la problématique de notre recherche ainsi que les deux hypothèses de solution. Nous allons maintenant les vérifier dans un cadre expérimental qui fera l'objet de la troisième partie de ce document.

PARTIE III :

CADRE EXPERIMENTAL

PARTIE III : CADRE EXPERIMENTAL

Dans cette troisième partie, nous allons expérimenter nos hypothèses de recherche. Pour ce faire, nous avons choisi comme moyen d'action la mise en pratique dans le cadre de deux séries de projets :

La première dans un cas pédagogique, de laquelle nous avons évalué le niveau initial des participants au test pour réaliser et utiliser l'outil de visualisation. Ensuite, nous avons suivi la réalisation des projets d'étudiants et observé le déroulement des projets. Enfin, nous avons tiré les éléments nécessaires afin de les évaluer par une équipe d'experts pour valider notre première hypothèse.

La seconde série industrielle a été réalisée dans le cadre du programme européen « INTERREG », pour lequel nous avons participé à la réalisation des projets réels. Ce choix de prendre une part active nous parait nécessaire au bon déroulement de nos travaux, à la fois pour intégrer au mieux notre démarche et pour appréhender l'impact de celle-ci.

Cette troisième partie de notre document est structurée de la manière suivante :

Chapitre 3.1 : **Les méthodes expérimentales.** Ce chapitre fait l'objet de la présentation des méthodes expérimentales, ainsi que les outils de visualisation utilisés pour la vérification de nos deux hypothèses.

Chapitre 3.2 : **1ère Série d'expérimentations dans un cadre « pédagogique ».** La première expérimentation vise à intégrer la réalité virtuelle dans des projets étudiants pour étudier son influence par apport à ses homologues physique et numérique lors de création et de l'évaluation du projet.

Chapitre 3.3 : **2ère Série d'expérimentations dans un cadre « industriel ».** La deuxième expérimentation vise à dévoiler les implications tant positives que négatives de l'usage de la RV, comme outil de communication entre les interlocuteurs et le produit par rapport à d'autres outils traditionnels et numériques utilisés en design.

1.LES METHODOLOGIES EXPERIMENTALES

Cette recherche en design est basée sur le paradigme expérimental pratique. L'approche tient compte de la problématique des outils T et N de visualisation. La méthode de ce travail se base sur les analyses des expériences issues de projets réels réalisés à l'aide de l'outil T, N et V pour vérifier les hypothèses proposées dans la partie précédente.

Pour arriver à explorer, expliquer l'influence de la RV immersive et valider nos hypothèses, nous avons adopté une méthodologie avec expérimentation basée sur deux expériences empiriques. Comme nous l'avons évoqué antérieurement [Marshall, '92], le processus de design comporte deux activités principales qui sont la création et la communication. Conséquemment, la première expérience est un « pédagogique » touchant la création et l'évaluation esthétique de l'objet et la deuxième est un idem « industrielle » sur des cas réels touchant la communication. Toutefois, intervenir sur des projets réels n'est pas sans conséquence pour notre recherche ; cela demande d'animer les projets à l'aide de tous les outils y compris DRV, ce qui requiert également de l'investissement en temps pour maitriser l'outil qui était complètement nouveau pour nous, pour assurer un bon déroulement dans des conditions réelles. Comme il a été dit plus haut, nous traitons le processus de design dans la pratique réelle. Il est possible d'observer des théories dans le domaine, mais l'idée est d'arriver à des résultats représentatifs pour le travail quotidien réel du designer en tant qu'acteur de conception et enseignant chercheur.

Comme on le verra plus loin, le test pédagogique évaluera l'hypothèse H1 et de son côté, le test industriel évaluera l'hypothèse H2 en utilisant trois groupes d'outils de visualisation. Pour les outils traditionnels, nous avons utilisé le dessin à main levée et la maquette physique. Les logiciels *3Ds MAX et CATIA*[51] sont considérés comme outils numériques. Enfin, une plate forme de réalité virtuelle immersive *PREVERCOS* a été utilisée comme outil pour la visualisation virtuelle. Ce choix de faire varier les outils (T, N, V) et ceux qui les utilisent (étudiants, designers et interlocuteurs) nous parait nécessaire pour contrôler une plus grande quantité de variables associées à un outil dans une tâche de design donnée.

[51] Ces logiciels avec la plate forme de réalité virtuelle seront présentés dans ce même chapitre.

Nous allons dans ce chapitre formuler tout d'abord les deux méthodes expérimentales vérifiant nos hypothèses. Ensuite, nous représenterons les outils de visualisation utilisés lors de deux expérimentations.

1.1. La méthode expérimentale relative à la première hypothèse

La première méthode expérimentale mise en place pour vérifier notre première hypothèse, se déroule dans le cadre de trois Unités de Valeur (UV) dans les filières : Ergonomie, Design et Ingénierie Numérique (EDIN) et Conception Développement de Produits (CDP) de l'UTBM. Nous avons supposé dans le paragraphe 2.5.1 que : **Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet.** Cette première méthode expérimentale porte sur la réalisation de projets pédagogiques en utilisant des outils de visualisation dont la RV. Pour valider notre première hypothèse, nous proposons de suivre la méthode suivante composée de trois phases :

1.1.1. Phase 1 :

Dans un premier temps, un questionnaire a été soumis aux étudiants participants à l'expérimentation. Il est appelé « *questionnaire pré-test* » selon le modèle de l'annexe 1. Ce questionnaire a pour objectifs :

- La collecte d'informations générales sur le participant ;
- L'évaluation de son expertise sur les outils de conception (Dessin, Maquette, CAO, RV). Cette expertise est évaluée selon l'obtention durant la formation par l'étudiant d'une ou plusieurs Unités de Valeur (UV) correspondante à chaque outil.
- L'évaluation de l'impression « *à priori* » de l'étudiant sur l'adaptabilité de l'outil par rapport à la visualisation de l'objet de conception
- La connaissance des outils que l'étudiant utilise habituellement pour la réalisation de projet.

1.1.2. Phase 2 :

Dans un second temps, les étudiants participants ont dû réaliser des projets dans un contexte d'utilisation d'outils de visualisation et de livrables que nous avons demandés. Les expériences liées à ce test ont été effectuées à trois reprises à l'occasion de trois UV : FQ59 Ergonomie et design des interfaces Homme-Machine, MN53 Réalité virtuelle pour la

conception et FQ53 Relation produit-marché-client et design industriel, dans les sessions universitaires d'automne 2006 et de printemps 2007. À chaque module un code d'expérimentation a été attribué. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** suivant résume ces codifications ainsi que les outils utilisés pour donner les livrables demandés.

Code expérimentation	UV	Outils utilisés
1A	FQ59 : Ergonomie et design des interfaces Homme-Machine	T et N
2A	MN53 : Réalité virtuelle pour la conception	N et V
3A	FQ53 : Relation produit-marché-client et design industriel	T, N et V

Tableau 1 : Synthèse des codes d'expérimentations relatives à la première hypothèse, leur UV correspondant et les outils utilisé

1.1.3. Phase 3 :

L'ensemble des résultats de projets des trois UV ont été soumis à une évaluation par des experts designers selon une grille de critères esthétiques que nous avons proposés au paragraphe 2.2.3. Cette évaluation est obtenue selon un questionnaire présenté dans l'annexe 2. Enfin, nous avons analysé et soulevé les différences statistiquement significatives des outils de visualisation dans l'ensemble des projets.

La méthodologie peut donc être schématisée de la manière suivante :

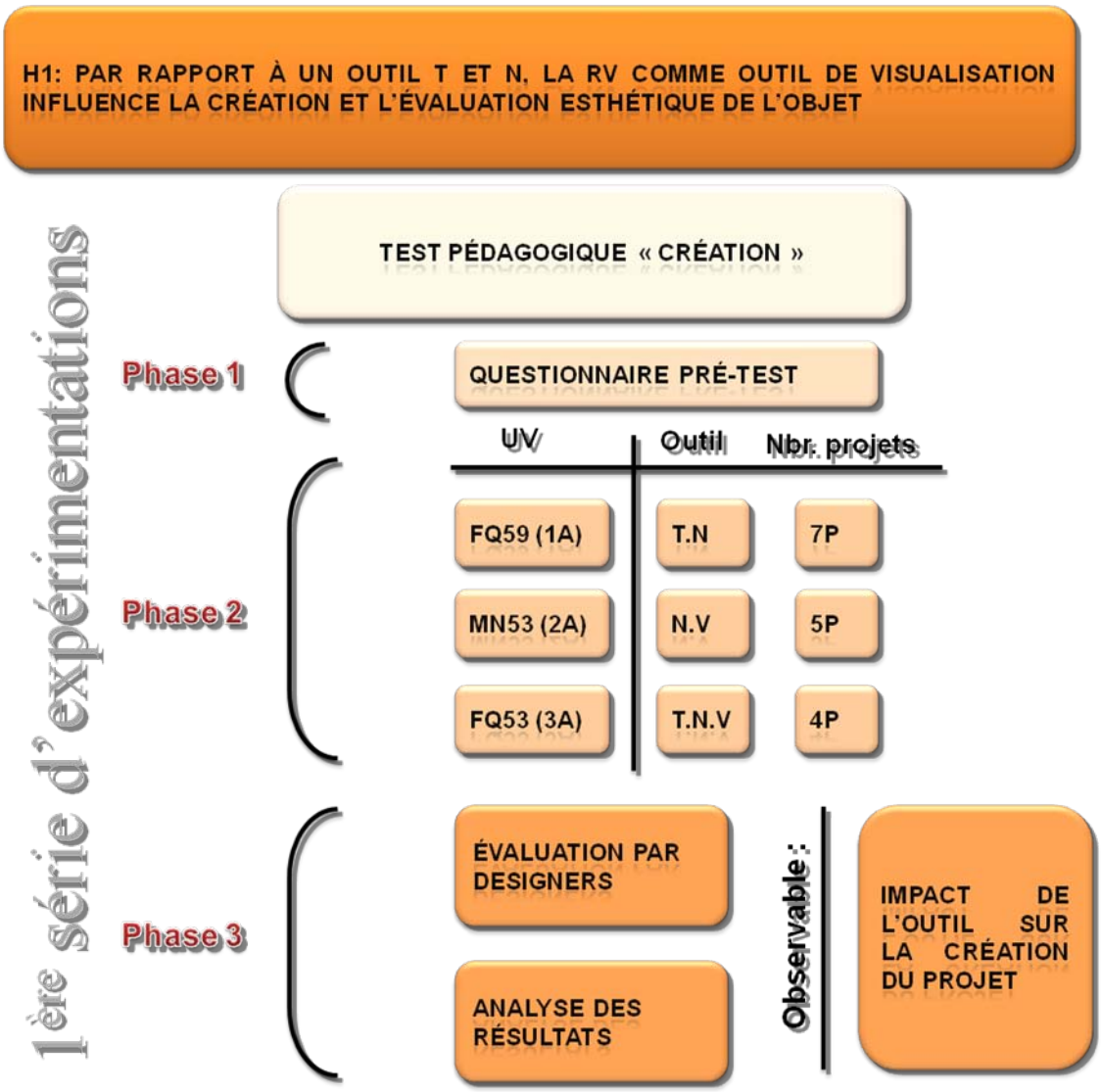


Figure 28 : Méthodologie expérimentale relative à la première hypothèse.

1.2. La méthode expérimentale relative à la deuxième hypothèse

L'objectif de cette deuxième série d'expérimentations, réalisée dans un contexte industriel, est de vérifier notre deuxième hypothèse de recherche. Nous avons supposé dans le paragraphe 2.5.2 que : **Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV.**

Pour valider cette hypothèse, nous avons participé à la réalisation de cinq projets industriels à l'aide des outils T, N et V. Nous avons testé leur compréhension auprès des interlocuteurs des projets, à savoir industriels, décideurs, utilisateurs et tous les autres acteurs de la conception

(ergonomes, ingénieurs…). Cette expérimentation a été menée dans le cadre du programme européen INTERREG intitulé *« Design dans la Ville »*. Nous proposons de suivre la méthode suivante composée de trois phases :

1.2.1. Phase 1 :

Dans un premier temps, nous avons réalisé une série de projets de grande diversité, où nous avons mis en œuvre notre modèle qui propose d'intégrer le designer dans un processus de conception collaboratif (C.F 1.2.1.3). Ces cinq projets sont présentés par le Tableau 2 :

Codification	Projet	Outils utilisés
P1	Projet des crèches du Pays de Montbéliard	T et V
P2	Projet de l'aire d'autoroute d'Écot	N et V
P3	Projet du Près la Rose	T, N et V
P4	Projet de l'Île en Mouvement	T, N et V
P5	Projet du banc de Taillecourt	T, N et V

Tableau 2 : Synthèse des codes des projets relatifs à la deuxième hypothèse

En parallèle de l'utilisation des outils T et N, nous avons développé et paramétré l'application de la plateforme de réalité virtuelle PREVERCOS.

1.2.2. Phase 2 :

Les résultats de l'utilisation des outils pour ces projets ont été présentés aux interlocuteurs (industriels, décideurs, utilisateurs, consommateurs.). En premier lieu, l'objectif de cette étape est d'évaluer leur capacité à identifier les caractéristiques de l'objet (fonction, dimension, couleur, matériaux…). En deuxième temps, l'objectif est d'évaluer leur niveau de compréhension du projet selon huit critères de perception et ce pour chaque outil. Ces critères sont présentés par le Tableau 3 :

Numéro	Critères de perception de l'objet
1	Identité visuelle (forme, couleur, style…)
2	Usage (fonction, accessibilité, adaptabilité, ergonomie)
3	Sécurité
4	Innovation
5	Environnement de l'objet
6	Durabilité/Écologie
7	Qualité, Performance
8	Avantages/inconvénients

Tableau 3 : Les critères perçus à travers chaque outil

Ces évaluations sont obtenues par le biais d'un questionnaire, présenté dans l'annexe 3.

1.2.3. Phase 3 :

Dans cette phase, nous analysons les réponses des questionnaires. Ce qui permettra d'évaluer l'impact des différents outils de visualisation sur la communication du projet et par conséquent de valider la deuxième hypothèse de recherche.

Notre deuxième méthode expérimentale est résumée dans le schéma suivant :

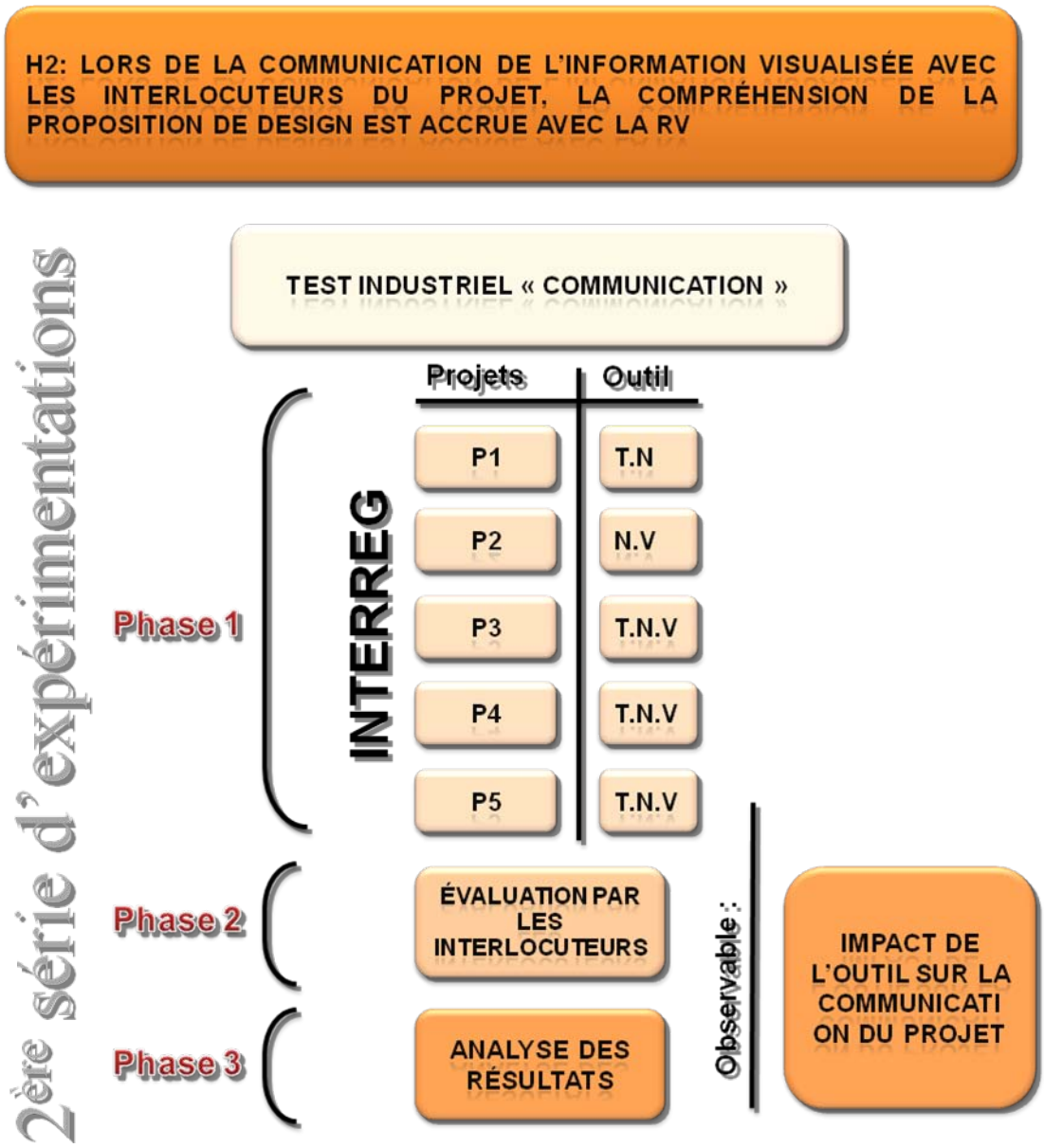


Figure 29 Méthode expérimentale relative à la deuxième hypothèse.

Avant de détailler nos expérimentations et de développer les résultats obtenus, nous proposons de présenter les outils de visualisation mis en place pendant les tests, notamment celui de la RV.

1.3. Outils de visualisation mis en œuvre

Pour réaliser nos deux séries d'expérimentations, nous avons utilisé un ensemble d'outils de visualisation T, N et V, qui font partie d'outils dédiés à la conception de produits dont dispose l'ERCOS de l'UTBM. Ils seront présentés selon trois groupes d'outils :

1.3.1. Outils de visualisation Traditionnels (T)

Deux médias traditionnels ont été utilisés : le dessin (Td) fait à main levée et la maquette physique (Tm). Ils sont déjà développés dans le chapitre 1.3.

1.3.2. Outils de visualisation Numériques (N)

En plus que l'outil traditionnel dessin (Td) et maquette (Tm), nous avons choisi d'utiliser seulement deux logiciels de modélisation et de visualisation numérique de type CAO : 3D Studio MAX 8 de la société Autodesk® et CATIA V5 R16 de Dassault Systèmes. Le choix de ces deux logiciels revient à plusieurs raisons. Tout d'abord, ils sont complémentaires pour la création précise et la visualisation des projets dans notre domaine. Ensuite, ils permettent une modélisation numérique 3D exploitée dans l'environnement de RV. Une forte utilisation dans l'industrie et pour cette raison, la population déjà formée à ces logiciels.

1.3.3. Outils de visualisation Virtuelles (V)

Deux environnements utilisés pour réaliser la visualisation virtuelle « softwares et hardwares ». Nous présenterons tout d'abord les deux logiciels indispensables pendant nos travaux pour passer à la partie matérielle qui est la plateforme de la réalité virtuelle PREVERCOS et ses interfaces.

1.3.3.1. Deep Exploration

Devant les multiples tâches de la création et la validation du projet, le designer est confronté à transférer le fichier 3D d'un logiciel à un autre. Par exemple, afin de pouvoir travailler sous le logiciel 3ds Max, qui permettra d'une part d'appliquer des textures plus poussées, et d'autre part de l'introduire dans un environnement et après avoir créer une pièce avec Catia, il est indispensable de l'exporter dans un format de fichier que 3ds reconnaît. Le transfert sous 3Ds

Max se fait grâce au logiciel Deep Exploration, qui est capable de traiter un grand nombre de formats 3D pour les faire migrer vers d'autres applications. Deep Exploration permet d'effectuer un nettoyage du fichier, et de se séparer de composants qui ne sont pas des géométries (courbes, repères, points, etc.) avant de l'implanter dans un environnement déjà riche en composants. Néanmoins, Ces étapes sont particulièrement longues et fastidieuses.

1.3.3.2. Virtools V.3.5

Une fois la modélisation de l'ensemble des parties de l'objet réalisée sous 3Ds MAX ou CATIA, il fallait unir ces différents composants dans un seul et unique fichier et le convertir à l'aide du Deep Exploration vers Virtools™. Ce dernier est développé par la société Dassault Systèmes, est utilisé pour réaliser les développements sur la plateforme de RV. Virtools est un ensemble de technologie pour la visualisation et l'interaction 3D en temps réel. Il est très connu dans le milieu du design de jeu vidéo.

Dans le cadre de notre travail de recherche Virtools a été utilisé pour deux raisons : tout d'abord, comme outil intermédiaire entre la version numérique du fichier 3D et son homologue virtuel sur la plate forme de RV. Mais aussi, par sa capacité à produire des multiples interactions avec le projet en temps réel. Grâce à son moteur de comportement (A behavioral engine), il agit comme une bibliothèque d'applications « Script » qui permet concevoir des actions de tout genre dans l'environnement virtuel, ex : monter un escalier, ouvrir une porte…etc. En dehors du fait que ce logiciel est difficile à manipuler par les non informaticiens, Virtools est un outil intéressant pour notre recherche car il permettra de créer des environnements virtuels dont les éléments pourront être dotés de comportements spécifiques programmables grâce à son outil script "Virtools Scripting Language" (VSL) qui autorise l'accès au Virtools SDK (Software Development kit).

1.3.3.3. Présentation de la plateforme de réalité virtuelle PREVERCOS

La plateforme de réalité virtuelle PREVERCOS du Set ERCOS de l'UTBM est constituée d'un système de visualisation stéréoscopique sur 3 écrans (2 murs de 2.10x2.80 m et un sol de 2.80x2.80 m) qui restitue virtuellement les espaces et les objets à étudier. Muni de lunettes spécifiques, l'utilisateur peut alors voir l'environnement virtuel. Quatre caméras équipent également la salle. Elles suivent la position et l'orientation (d'un joystick, de lunettes, d'une main, d'une tête…) et par là même de l'individu qui les porte. Des gants de données

récupèrent les informations relatives à la gestuelle des doigts de l'utilisateur, Ce système de capture de mouvement permet de s'immerger dans l'espace virtuel et d'interagir avec lui. Enfin, un système de commande par joypad sans fil et d'un autre vocale par l'intermédiaire d'un micro cravate et d'un système sonore spatial.

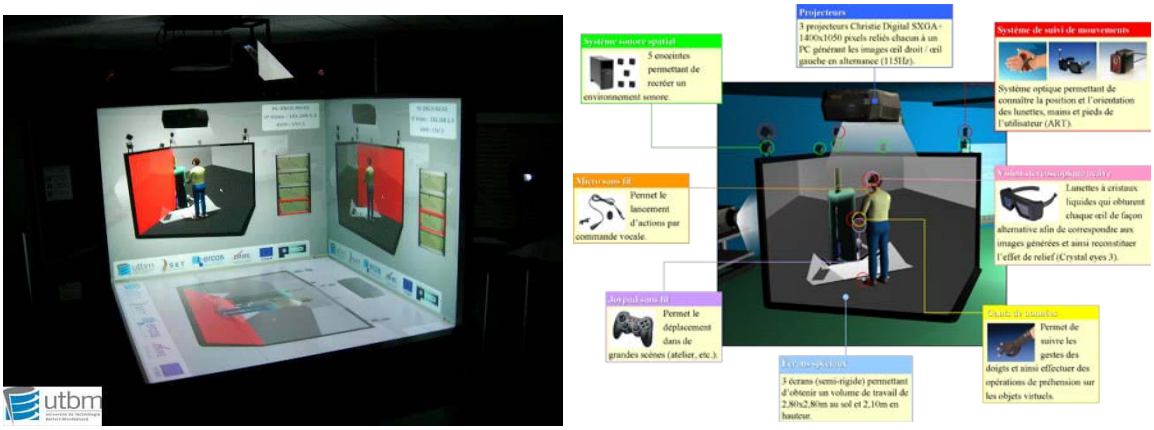


Figure 30 Plate-forme de réalité virtuelle PREVERCOS du SeT ERCOS de l'UTBM que nous avons mise en œuvre dans le cadre de notre recherche

2.1ERE SERIE D'EXPERIMENTATIONS POUR VALIDER HYPOTHESE 1

L'objectif de cette première série d'expérimentations, réalisée dans un contexte pédagogique, est donc de vérifier notre première hypothèse de recherche. En effet, nous avons supposé que **« par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet ».**

Nous allons tout d'abord présenter le cadre de l'étude qui a donné lieu à des projets pédagogiques que nous définirons dans un second temps. Enfin nous analyserons les résultats des évaluations et nous terminerons cette série d'expérimentations par une conclusion.

2.1. Cadre de l'étude et objectifs

Cette première expérimentation s'est déroulée dans le cadre de trois UV (FQ59, MN53, FQ53) nommées expérimentations 1A, 2A, 3A dans les filières EDIN et CDP de l'UTBM. L'échantillon des trois expériences était formé de 69 étudiants et étudiantes qui sont pour la plupart en quatrième et cinquième année d'études, d'une tranche d'âge qui varie entre 21 et

25 ans. Ils vont répondre chacun au questionnaire de la phase 1 de la démarche d'expérimentation décrite dans la page 123.

Les étudiants ont travaillé en groupe pour les trois expérimentations (1A, 2A, 3A), chaque équipe étant composée de trois à cinq membres. À la fin des projets, chaque groupe doit rendre un livrable selon les outils utilisés pour chaque expérimentation selon le Tableau 4.

Code expérimentation	Outils utilisés				
	T		N		V
	T dessin (Td)	T maquette (Tm)	3Ds max	Catia	PREVERCOS
1A	X	X	X	X	
2A			X	X	X
3A	X	X	X	X	X

Tableau 4 : Les outils utilisés lors de trois expérimentations

Notre première série d'expérimentations se déroule selon les trois phases principales suivantes :

2.2. Phase 1 : Questionnaire pré-test

Tout d'abord, nous avons interrogé les étudiants sur quatre points : informations générales, expertises sur les outils de conception, adaptabilité des outils et les habitudes d'utilisation par rapport à ces derniers.

Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode d'enquête par questionnaire fermé (voir Annexe 1) en laissant une possibilité d'ouverture si l'étudiant veut donner un commentaire sur certaines questions. Pendant la formalisation de ce questionnaire, nous avons essayé de respecter les instructions évoquées par Rea et Parcker [Rea *et al.*, '97] ainsi que le « guide de réalisation de questionnaire et de sondage » de [D'Astous, '00].

Sur le plan des informations générales, nous avons obtenu un taux de réponses exploitable de 90%.

Participants	Questionnaires complétés	Taux en %
69	62	89.85

Tableau 5 : Statistique sur les étudiants participants

Le niveau de connaissance et de pratique des étudiants sur les outils de conception a été évalué selon l'obtention des unités de valeur correspondantes à chaque groupe d'outils. Il s'est avéré que 45.20% des participants ont obtenu l'UV relative à l'outil traditionnel de visualisation (dessin et maquette) et d'initiation au design industriel. Les réponses ont montré aussi que 96.8% des participants ont déjà acquis une formation dédiée à la CAO particulièrement sur le logiciel Catia et méthodologie de conception (outil N). Par contre, seulement 21% d'entre eux ont suivi une formation dédiée à la réalité virtuelle pour la conception (outil V). Ces résultats sont synthétisés par le Tableau 6.

	UV relative à l'outil T	UV relative à l'outil N	UV relative à l'outil V
Taux d'obtention	45.20%	96.8%	21%

Tableau 6 : Degré de l'expertise des étudiants

Selon le Tableau 6, nous pouvons dire que presque tous les étudiants avaient été préalablement formés et possèdent déjà une expérience suffisante en CAO et ont eu une introduction théorique à la méthodologie de conception. Ils sont moyennement formés au design industriel et à l'aspect esthétique du produit. Nous notons également qu'ils sont peu nombreux (21%) à maîtriser l'outil de réalité virtuelle pour la conception. Il est important de souligner que les étudiants ne connaissaient pas l'outil RV auparavant. Ils ont tous été formés de la même façon à l'aide d'exercices dirigés. Dans l'analyse des résultats, l'habilité des étudiants à maîtriser les outils de visualisation sera prise en compte.

Tout d'abord, nous avons remarqué qu'il y a un consensus général sur le fait d'utiliser les outils de visualisation (T, N et V) a une influence globale sur le projet (voir Figure 31). Nous allons essayer de comprendre la nature de cette influence.

2. À votre avis est-ce que l'outil (dessin, maquette, CAO,..) a une influence sur le projet design ?

Dessin	Oui ☐	Non ☐
Maquette	Oui ☐	Non ☐
CAO	Oui ☐	Non ☐

Si oui donnez un exemple.....

.....

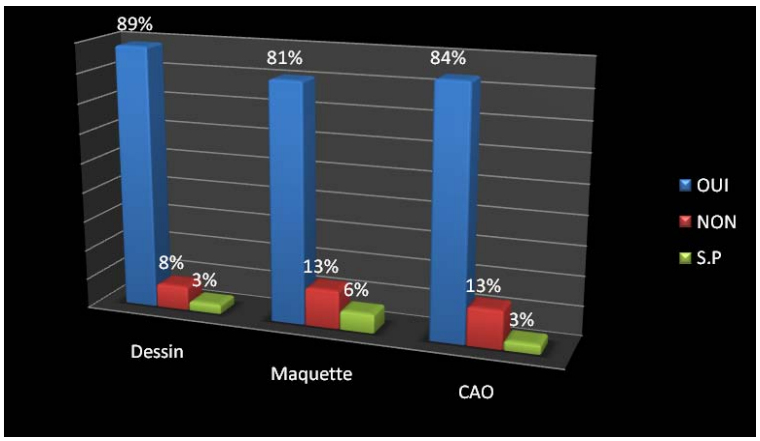


Figure 31 : L'influence de l'outil sur le projet

Parmi les outils de conception, la Figure 32 montre que les élèves pensent que la CAO est l'outil qui permet le plus facilement une bonne réalisation des concepts en comparaison à la maquette et au dessin.

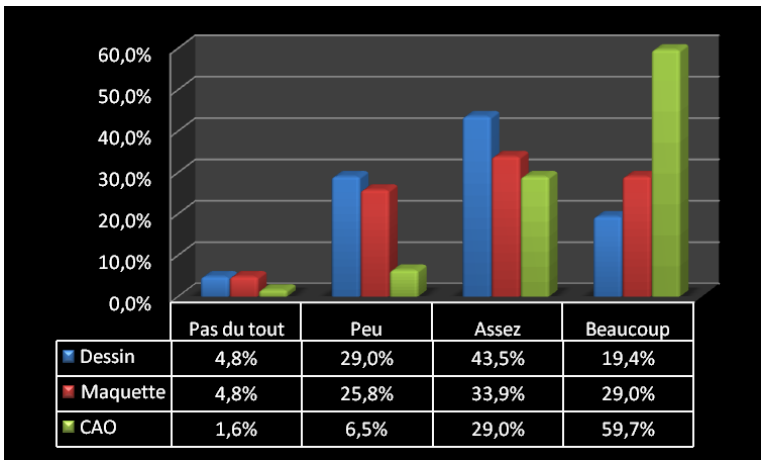
3. Je suis capable d'imaginer des formes dans l'espace.

Oui ☐ Non ☐ passez au suivant

Si oui : L'outil (dessin, maquette, CAO,..) permet de réaliser mes concepts

Dessin	Pas du tout ☐	Peu ☐	Assez ☐	Beaucoup ☐
Maquette	Pas du tout ☐	Peu ☐	Assez ☐	Beaucoup ☐
CAO	Pas du tout ☐	Peu ☐	Assez ☐	Beaucoup ☐

Pourquoi.....



	Pas du tout	Peu	Assez	Beaucoup
Dessin	4,8%	29,0%	43,5%	19,4%
Maquette	4,8%	25,8%	33,9%	29,0%
CAO	1,6%	6,5%	29,0%	59,7%

Figure 32 : Capacité de l'outil à réaliser les concepts

Parmi les arguments évoqués par les étudiants en faveur de la CAO, on peut citer :

- *« Avec la CAO on fait ce que l'on veut, ça se modifie facilement, si on n'est pas doué en maquette elle ne reflétera pas le concept… »*

- *« Pas très bon en dessin, pas assez de temps pour une maquette physique… »*
- *« plus facile en CAO de se représenter dans l'espace par rapport à un dessin… »*
- *« CAO: Catia, trop difficile pour le surfacique…pas à l'aise avec le crayon. »*

Malgré l'intérêt que possède la CAO, la Figure 33 montre que la majorité des étudiants (environ 80%) utilisent le plus souvent les croquis sur papiers avant la CAO. On trouve environ le même pourcentage pour une utilisation du croquis pendant la CAO. Ce qui prouve que l'utilisation du dessin est pratiquée tout au long du processus de conception.

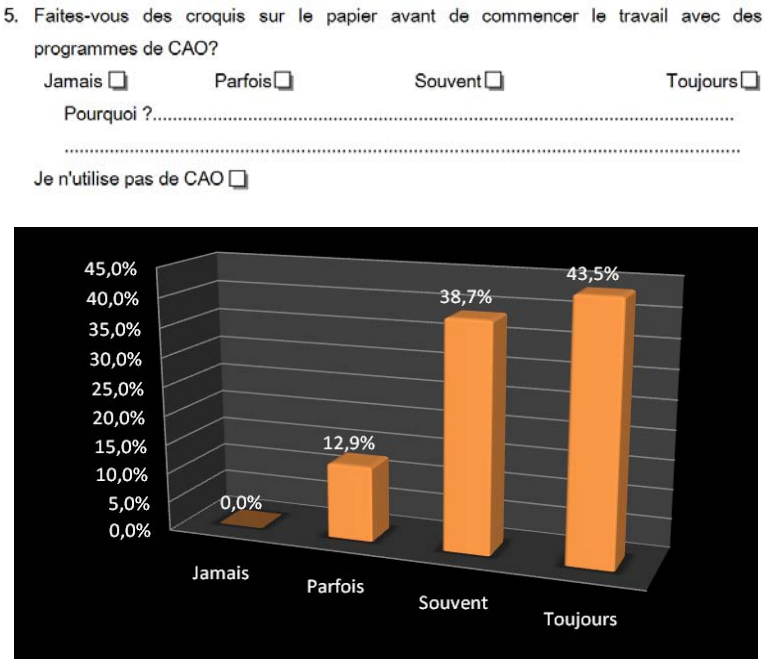


Figure 33 : L'utilisation du croquis avant de la CAO

Parmi les arguments évoqués par les étudiants en faveur du dessin, on peut citer le gain du temps, la facilité de l'organisation du projet et une vraie aide au dimensionnement.

Nous avons également voulu voir l'influence de chaque outil sur la création de projet et la communication au tour de projet. Sur le plan de la création, la Figure 34 montre que le dessin est estimé comme un outil de création de l'objet à hauteur de 80% (somme des pourcentages des personnes ayant répondu passionnément et beaucoup).

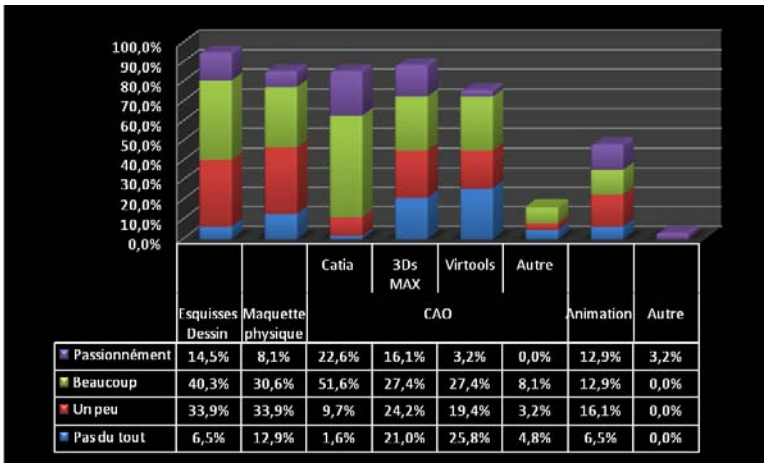


	Esquisse dessin	Maquette physique	Catia	3Ds MAX	Virtools	Autre	Animation	Autre
			CAO					
Passionnément	38,7%	1,6%	14,5%	3,2%	1,6%	1,6%	1,6%	4,8%
Beaucoup	43,5%	8,1%	24,2%	14,5%	11,3%	1,6%	3,2%	0,0%
Un peu	14,5%	32,3%	33,9%	29,0%	9,7%	9,7%	12,9%	0,0%
Pas du tout	0,0%	50,0%	22,6%	43,5%	58,1%	3,2%	27,4%	0,0%

Figure 34 : L'utilisation de l'outil lors de création de projet

Cette figure montre aussi que la maquette, 3Ds max ainsi que Virtools ne sont pas des bons outils de création.

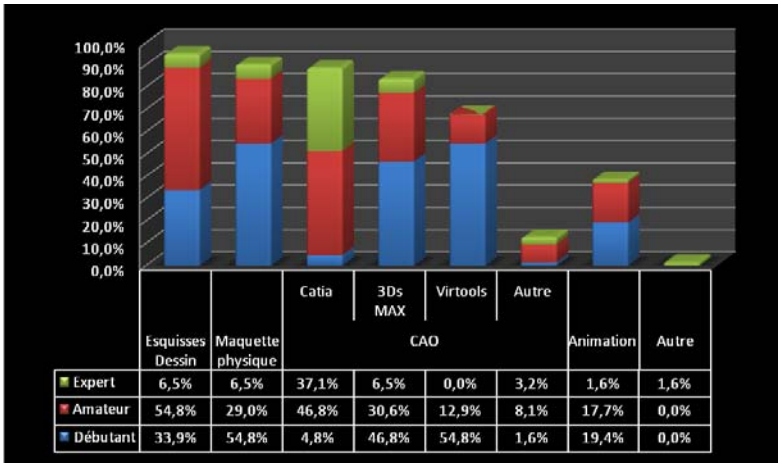
Sur le plan de la communication (voir Figure 35), le dessin est considéré comme un bon outil, ce qui n'est pas le cas de la maquette. Par contre, Catia est considéré comme un bon outil de communication.



	Esquisses Dessin	Maquette physique	Catia	3Ds MAX	Virtools	Autre	Animation	Autre
			CAO					
Passionnément	14,5%	8,1%	22,6%	16,1%	3,2%	0,0%	12,9%	3,2%
Beaucoup	40,3%	30,6%	51,6%	27,4%	27,4%	8,1%	12,9%	0,0%
Un peu	33,9%	33,9%	9,7%	24,2%	19,4%	3,2%	16,1%	0,0%
Pas du tout	6,5%	12,9%	1,6%	21,0%	25,8%	4,8%	6,5%	0,0%

Figure 35 : L'utilisation de l'outil lors de communication de projet

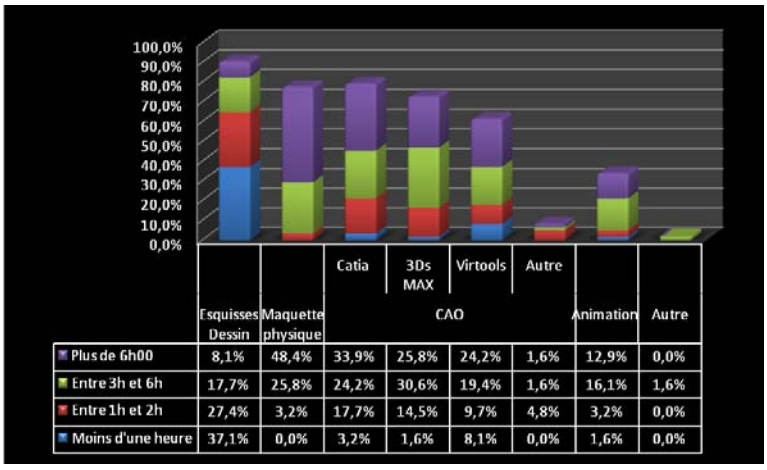
D'autre part, la Figure 36 donne le degré d'expérience estimé par les étudiants pour les différents outils. Les étudiants pensent avoir un niveau débutant ou amateur pour tous les outils à l'exception de Catia, pour lequel ils s'estiment comme étant experts.



	Esquisses Dessin	Maquette physique	CAO: Catia	CAO: 3Ds MAX	CAO: Virtools	CAO: Autre	Animation	Autre
Expert	6,5%	6,5%	37,1%	6,5%	0,0%	3,2%	1,6%	1,6%
Amateur	54,8%	29,0%	46,8%	30,6%	12,9%	8,1%	17,7%	0,0%
Débutant	33,9%	54,8%	4,8%	46,8%	54,8%	1,6%	19,4%	0,0%

Figure 36 : Degré d'expérience des participants

Enfin, sur la question du temps estimé pour la réalisation de la représentation graphique, on trouve que la maquette est l'outil qui prend le plus de temps par rapport à l'outil numérique et le dessin. Selon la Figure 37, la maquette prend plus de 3h pour 75% des étudiants, contrairement au dessin qui prend moins de 2h pour 65% des étudiants.



	Esquisses Dessin	Maquette physique	CAO: Catia	CAO: 3Ds MAX	CAO: Virtools	CAO: Autre	Animation	Autre
Plus de 6h00	8,1%	48,4%	33,9%	25,8%	24,2%	1,6%	12,9%	0,0%
Entre 3h et 6h	17,7%	25,8%	24,2%	30,6%	19,4%	1,6%	16,1%	1,6%
Entre 1h et 2h	27,4%	3,2%	17,7%	14,5%	9,7%	4,8%	3,2%	0,0%
Moins d'une heure	37,1%	0,0%	3,2%	1,6%	8,1%	0,0%	1,6%	0,0%

Figure 37 : Temps de réalisation estimé sur l'outil de visualisation

Nous allons essayer de synthétiser les résultats de la phase de pré-test en faisant le lien entre les différentes constations.

Outil	Création	Communication	Expérience	Temps	Degré d'expertise (formation)
Dessin	Très bon	Bon	Amateur	<2h	Moyen
Maquette	Mauvais	Mauvais	Débutant	>>3h	Débutant
3Ds max	Mauvais		Débutant	>3h	Moyen
Catia		Très bon	Amateur-Expert	>3h	Très bon
Virtools	Mauvais		Débutant		

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats de la 1ère phase

D'après cette synthèse, il apparait que la maquette est un outil qui répond le moins à la création et la communication autour du projet. En plus, elle nécessite beaucoup de temps pour être réalisée. Cette estimation peut être expliquée par le fait que les étudiants manquent d'expérience et ne sont pas formés à cet outil, contrairement à Catia (outil N) pour lequel les étudiants sont très bien formés et ont une bonne expertise. Il apparait ainsi que Catia est un très bon outil de communication.

Bien qu'ils aient un degré d'expertise moyen et un niveau d'expérience « amateur » pour l'outil dessin, les étudiants considèrent que ce dernier est un très bon outil de création et de communication. En tenant compte de leur niveau d'expertise, nous pensons que ce jugement n'est pas fiable, il est probablement guidé par la facilité et la rapidité d'utilisation de l'outil dessin.

Ainsi, nous avons montré que, pour les élèves, certains outils de visualisation traditionnels et numériques utilisés par le designer aujourd'hui révèlent une insuffisance dans le processus de design et présentent des limites.

Dans la suite, nous allons présenter la deuxième étape de la démarche d'expérimentation qui consiste à réaliser les projets.

2.3. Phase 2 : Définition des projets du test « pédagogique »

Dans la phase 2, nous allons présenter la réalisation des projets dans le cadre de la première série d'expérimentation. Rappelons que ces expérimentations ont été réalisées dans le cadre de trois UV. Un code a été attribué à chaque UV ainsi que les outils T, N ou V à utiliser d'après le Tableau 4.

2.3.1. Expérimentation 1A

Ce test examine l'activité de création à l'aide de l'outil T et N. Chaque équipe doit présenter à la fin du projet au minimum cinq dessins à main levée, une maquette physique et une modélisation CAO numérique pour l'ensemble du projet. Nous présenterons ci-dessous les énoncés des projets tels qu'ils sont donnés aux étudiants avec des illustrations d'exemples de résultats.

2.3.1.1. Appareil photo numérique pour seniors

Dans le cadre de ce projet, les étudiants ont travaillé sur la conception d'un appareil photo numérique destiné aux seniors. Aujourd'hui les seniors semblent effrayés par la technologie numérique. Le but de ce projet était donc de développer un appareil adapté à cette cible en termes de design et d'ergonomie de l'interface.



Figure 38 : Exemples de projet FQ59 : Appareil photo numérique pour seniors[52]

2.3.1.2. Cabine olfactive pour parfumerie

L'objectif est de concevoir une cabine olfactive dédiée à la promotion de parfums en parfumerie. Le client peut sélectionner de parfum suivant son profil (aide au choix du

[52] A. AURIAULT, D. GENSONNET, T. MALASSAGNE

consommateur de parfum) et restituer de son choix par bandelette parfumée autour d'ambiances: Olfactives, Sensorielles, Lumineuses, Sonores.



Figure 39 : Exemples de projet FQ59 : Cabine olfactive pour parfumerie[53]

2.3.1.3. Doudou

Le projet consiste à concevoir un « doudou communiquant ». Le but de ce dernier consiste en la conception d'un doudou interactif pour les enfants âgés de 3 à 6 ans, particulièrement lorsque ceux-ci sont séparés de leurs parents.



Figure 40 : Exemples de projet FQ59 : Doudou[54]

2.3.1.4. Fauteuil pour crèche

Il s'agit d'une étude pour une crèche portée sur la réalisation d'une chaise permettant de réduire les contraintes au niveau dorsal des puériculteurs lors de la prise des repas et des goûters.

[53] G. NURDIN, G. CHARLES, C. PORTE, S. BELIER

[54] T. GUIGNARD, S. RIUTORT, J. WEISTROFFER



Figure 41 : Exemples de projet FQ59 : Fauteuil pour crèche[55]

2.3.1.5. Borne interactive de location de vélo

Le vélo semble devenir un moyen de transport privilégié par les citadins. Chaque grande ville d'Europe possède aujourd'hui son circuit de location de vélo en libre service. L'équipe de ce projet a travaillé sur la conception d'une borne interactive reliée à une gestion centrale.



Figure 42 : Exemples de projet FQ59 : Borne interactive de location de vélo[56]

2.3.1.6. Véhicule 3 roues: le CARVER

La base de ce sujet est le véhicule de chez CARVER. Un véhicule 2 places à vocation plutôt sportive, dont l'originalité est sa conception, à mi-chemin entre la voiture et la moto. Il a été demandé aux étudiants de créer l'intérieur de ce véhicule.

[55] C. Chiavelli, C. Decodts, M. Ordinaire, N. Plantard

[56] F. CHARRASSIER, C. CHIAVELLI, R. LAGRANGE, N. PIGNIER

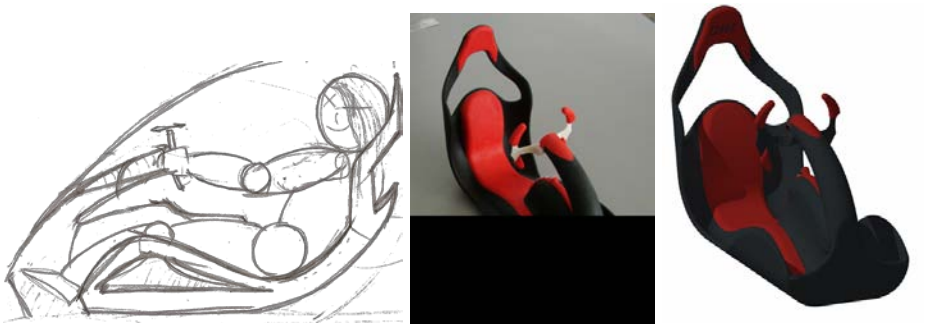


Figure 43 : Exemples de projet FQ59 : Véhicule 3 roues: le CARVER[57]

2.3.1.7. 4L New génération

Dans ce projet, les étudiants ont été amenés à travailler sur le design d'une 4L Trophy New Generation et sur l'ergonomie de la planche de bord. L'objectif étant de concevoir un nouveau véhicule mêlant style rétro de la 4L existante avec la modernité des véhicules actuels. Au niveau de la planche de bord, le but est de faire en sorte qu'elle soit adaptée en termes d'ergonomie et de design aux futurs utilisateurs de cette 4L.



Figure 44 : Exemples de projet FQ59 : 4L New génération[58]

2.3.2. Expérimentation 2A

Les groupes de cette UV ont utilisés les outils N et V seulement. Chacun des groupes a remis à la fin du projet un fichier CAO présentant le projet final et un modèle virtuel paramétré sur le logiciel Virtools et prêt à être visualisé sur la plate-forme PREVERCOS. Voici les cinq projets de l'expérimentation 2A.

[57] G. Besoin, C. Decodts, M. Ordinaire, N. Plantard, B. Salles

[58] F. Guyard, C. Joubert, S. Nallet, S. Servet

2.3.2.1. Abribus

Le but de ce projet est de mettre en situation de fonctionnement l'abribus dans son environnement urbain. Ainsi de visualiser une activité humaine et logistique, c'est-à-dire le bus et les utilisateurs autour de l'abri intégrer dans l'environnement.



Figure 45 : Exemples de projet MN53 : Abribus[59]

2.3.2.2. Mobilier petite enfance

Ce projet porte sur la modélisation de différents mobiliers du coin repas dans une crèche. L'objectif était de concevoir un mobilier destiné à faciliter la prise des repas des enfants entre un an et trois ans.

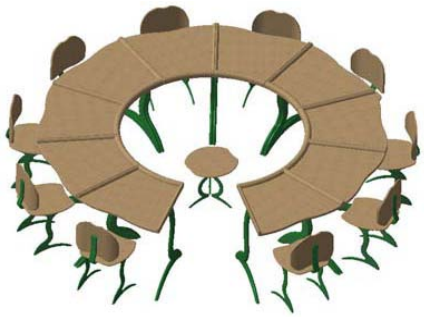


Figure 46 : Exemples de projet MN53 : Mobilier petite enfance[60]

[59] G. Dufour, G. Sieurin, B Bidaux, J.C. Cancian

[60] B. DECOSNE, R. JENNEVIN, A. MELLUISH, O. RULLAND, J. SENTENAS

2.3.2.3. Moto carrossé

Le but du projet est de modéliser les parties générales de la moto carrossée et de concevoir par la suite une application interactive sous le logiciel Virtools permettant de changer la couleur de la carrosserie et d'activer des accessoires comme les feux, les essuie-glaces, etc.



Figure 47 : Exemples de projet MN53 : Moto carrossé[61]

2.3.2.4. Système domotique

L'objet de ce projet est de modéliser les différentes parties d'une maison et d'y intégrer une application interactive. Ceci fait donc intervenir deux logiciels pour les étudiants : 3Ds MAX pour la partie modélisation de la maison et Virtools pour la partie application interactive.



Figure 48 : Exemples de projet MN53 : Système domotique[62]

[61] G. BESOIN, C. DECODTS, A. PEREZ, N. PLANTARD, B. SALLES

[62] F. CHARRASSIER, N. FARIAULT, T. GUIGNARD, T. MALASSAGNE, J. MONNEY

2.3.2.5. Véhicule du futur

Cette étude porte sur l'aspect extérieur de véhicule du futur, c'est-à-dire sur le design du véhicule, et non sur sa motricité. Ce projet a été couplé avec l'UV FQ59 lors d'un projet sur l'habitacle de la voiture.



Figure 49 : Exemples de projet MN53 : Véhicule du futur[63]

2.3.3. Expérimentation 3A

L'objectif de cette UV est permettre aux étudiants d'analyser la relation produit-marché client de produits de consommation et appliquer une démarche de design industriel. Tout en utilisant tous les outils de visualisation (T, N et V).

2.3.3.1. Canapé Convivial

Le sujet est de repenser le canapé de façon à favoriser le vis-à-vis entre les interlocuteurs d'une discussion et dont la conception soit axée sur la convivialité.



Figure 50 : Exemples de projet FQ53 : Canapé Convivial [64]

[63] J. HUART, K. KO, G. RIBAUX, P. SEGGIO, F.VAUTHIER

[64] S. CHAKIB, G. LI, J.L. POGNON, Z. XIANG

2.3.3.2. Courses des Personnes âgées

La problématique de ce projet tour autour de trouver un système permettant d'aider les personnes âgées dans leurs courses.



Figure 51 : Exemples de projet FQ53 : Courses des Personnes âgées[65]

2.3.3.3. Le Taille-haie électrique

Le but est de concevoir un taille-haie électrique facilitant l'utilisation. L'équipe d'étudiants doit prendre en compte le guidage du câble, la répartition du poids et la prise en main.



Figure 52 : Exemples de projet FQ53 : Le Taille-haie électrique[66]

2.3.3.4. Zone de repos du Parc

Le sujet est orienté vers du mobilier propre à une zone de repos dans un parc public.

[65] T. KIFFER, J. PAILLOUX, J. ZETTOR

[66] J. MAYSSE, T. PARRET



Figure 53 : Exemples de projet FQ53 : Zone de repos du Parc[67]

2.3.4. Synthèse des livrables pour toutes les séries d'expérimentation

À la fin des trois séries de projets, les équipes ont remis les documents T, N et V comme preuve du résultat final de projet (7 projets 1A, 5 projets 2A et 4 projets 3A) pour un total de 16 projets. Il est important de mentionner que d'autres projets ont participé aux tests mais les équipes n'ont pas pu compléter leurs projets, soit en T, N ou V. Ces projets ne seront pas présentés. Le Tableau 8 ci-dessous présente les projets réalisés ainsi que les livrables donnés par les étudiants.

[67] M. N'DOYE, T. RUBAN, T. VOVINH

Projets du test pédagogique		Outils de visualisation utilisés				
		Tradtionnels		Numériques		Virtuels
		Dessin	Maquette	3Ds MAX	CATIA	RV
1A	P1 : Appareil photo numérique pour seniors	X	X		X	
	P2 : Cabine olfactive pour parfumerie	X	X		X	
	P3 : Doudou	X	X		X	
	P4 : Fauteuil pour crèche	X	X		X	
	P5 : Borne interactive de location de vélo	X	X	X		
	P6 : Véhicule 3 roues: le CARVER	X	X		X	
	P7 : 4L New génération	X	X		X	
2A	P1 : Abribus			X	X	X
	P2 : Mobilier petite enfance			X	X	X
	P3 : Moto carrossé			X	X	X
	P4 : Système domotique			X		X
	P5 : Véhicule du futur			X	X	X
3A	P1 : Canapé Convivial				X	X
	P2 : Courses des Personnes âgées				X	X
	P3 : Le Taille-haie électrique			X		X
	P4 : Zone de repos du Parc			X	X	X

Tableau 8 : Synthèse des trois expérimentations et les projets réalisés

Pour résumer, les étudiants nous ont remis l'un des livrables suivant (selon la nature du projet et l'outil utilisé).

- Dessin
- Maquette
- Fichier CAO sur Catia
- Fichier CAO sur 3Ds max
- Fichier sur le logiciel Virtools prêt à être visualisé sur la plate-forme PREVERCOS

Notons que pour permettre de visualiser les modèles CAO 3D (provenant de 3Ds Max et Catia) sur la plateforme de RV, nous avons converti les fichiers des projets dans un format

d'échange permettant d'être pris en charge par le logiciel intermédiaire Virtools (cf. 1.3.3.2) qui gère la visualisation dans ce genre d'environnement virtuel. **Cette phase de conversion entre les deux environnements N et V ne permet pas de conserver certaines caractéristiques techniques ou esthétiques liées au modèle CAO. Le résultat est donc un fichier 3D, soumis aux contraintes d'incompatibilité de deux environnements.**

2.4. Phase 3 : Évaluation des projets par des experts selon des critères esthétiques

Dans l'objectif de valider notre première hypothèse, nous allons effectuer une évaluation finale du résultat des projets, réalisée par un groupe de 6 experts (professeurs et professionnels en design, ayant pour certains plus de 10 ans d'expériences). Ces experts doivent évaluer les projets selon une grille de 10 facteurs esthétiques (présenté dans le paragraphe 2.2.3). Chaque expert attribut une note entre 0 et 6 pour les projets et leur livrables d'après les outils T, N ou V. Cette note évalue la qualité de perception des 10 facteurs esthétiques de chaque outil de visualisation. Pour tester la validité de ces critères esthétiques, plusieurs réunions ont été nécessaires pour construire une grille d'évaluation. Ainsi, un questionnaire a été préparé et rempli par les experts pour chaque projet (voir annexe 1). À l'issu de ces séances d'évaluation, nous disposons de 80 questionnaires utilisables (80=5 experts*(7 projets 1A+ 4 projets 2A+ 5 projets 3A)). Nous avons ensuite calculé, par facteur esthétique, les moyennes des notes attribuées pour chaque outil. Ces valeurs sont données par le Tableau 9.

OUTILS	point/ ligne	forme	couleur	espace	texture	rythme	équilibre	proportion	Ordonn-ancement	unité
Dessin	2,68	2,65	0,65	2,31	0,76	2,28	2,69	2,60	2,75	2,53
Maquette	4,48	5,09	4,07	4,98	3,95	4,75	4,85	4,96	4,84	4,93
CATIA	3,96	4,78	4,13	4,50	3,75	4,57	4,59	4,81	4,72	4,73
3DS max	3,76	4,56	4,31	4,39	3,90	4,25	4,54	4,46	4,60	4,65
plate-forme	3,97	5,13	4,52	5,49	4,20	4,82	5,26	5,51	5,62	5,12

Tableau 9 : Moyennes des notes attribuées par les experts

Ces valeurs sont utilisées pour tracer un graphique qui va permettre de comparer les performances de chaque outil de visualisation en fonction des facteurs esthétiques.

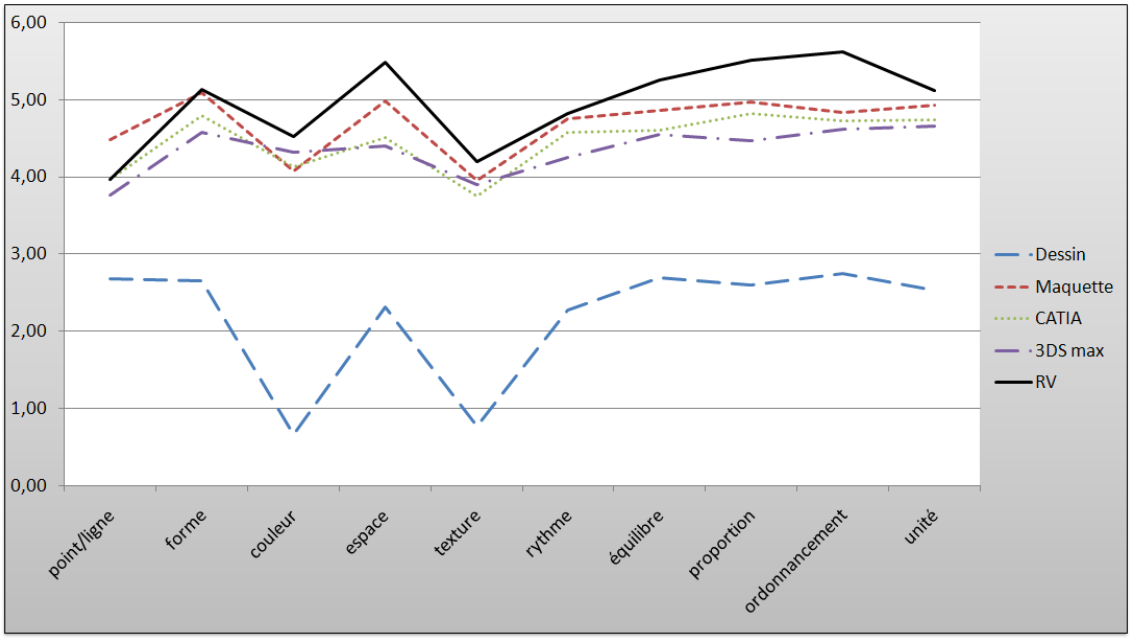


Figure 54 : Variation des notes moyennes en fonction des facteurs esthétiques pour les différents outils

Dans un premier temps, nous constatons que l'outil dessin est le moins performant pour l'évaluation esthétique du projet. En effet, les notes pour l'outil dessin sont inférieures à ceux des autres sur tous les critères. Ceci est en contradiction par rapport aux constatations obtenues lors de la phase 1 (voir Figure 34). Durant cette phase, nous avons trouvé que les étudiants ont donné une bonne appréciation pour l'utilisation du dessin lors de la phase de la création de projet. D'autre part, la maquette est considérée par les experts comme étant un bon outil de visualisation. Elle obtient des scores supérieurs à 4 sur tous les facteurs esthétiques. À l'opposé, les étudiants ont évalué l'outil maquette comme étant un mauvais outil lors de la création de projet. Cette contradiction s'explique par le manque d'expérience des étudiants dans l'utilisation des outils traditionnels (dessin et maquette).

Dans un deuxième temps, nous constatons d'après la Figure 54 que la maquette physique se distingue par de bonnes performances lors de l'évaluation des facteurs point/ligne, forme et espace. Ceci s'explique par le fait que la maquette offre la possibilité à l'évaluateur de mieux percevoir l'objet dans l'espace et de le toucher.

Par ailleurs, nous observons une baisse sensible des performances de l'outil dessin pour le facteur couleur et texture. Ce phénomène est observable pour tous les outils sans exception. En effet, il est difficile de mettre en place les vraies couleurs et textures sur un dessin. Pour les outils numériques cette baisse s'explique par l'utilisation de texture par défaut par les étudiants dans les logiciels Catia et 3Ds max. Il est vrai que ces derniers permettent une qualité de rendu réaliste mais ils exigent certains paramétrages difficiles à mettre en place. Ce qui n'a pas été forcément fait pour tous les projets des étudiants.

Enfin, à l'exception du facteur point/ligne, la visualisation virtuelle est meilleure sur tous les points. Elle se révèle être très performante pour les facteurs ordonnancement des éléments, proportion et espace. Ceci s'explique par le fait que cet outil permet à l'évaluateur de mieux percevoir le projet dans l'espace ainsi de se rendre compte de dimensions réelles (échelle 1/1). D'ailleurs, cette constatation justifie une proximité des performances de la réalité virtuelle avec celles de la maquette. En effet, l'outil maquette permet lui aussi une bonne perception des facteurs d'esthétique qui sont rapport avec les aspects sensoriels du produit. Sur l'aspect point/ligne, la maquette est meilleure car elle possède un bon niveau de précision sur le contour et la forme de l'objet.

2.5. Conclusion de la première expérimentation et validation de l'hypothèse 1

Pour synthétiser, nous proposons de comparer les performances globales des cinq outils de visualisation utilisés lors de notre première série d'expérimentation. Pour cela, nous avons calculé les moyennes des scores de chaque outil pour les dix facteurs esthétiques (ce calcul est réalisé sur la base du Tableau 9). Les valeurs obtenues permettent de tracer le diagramme de la Figure 55.

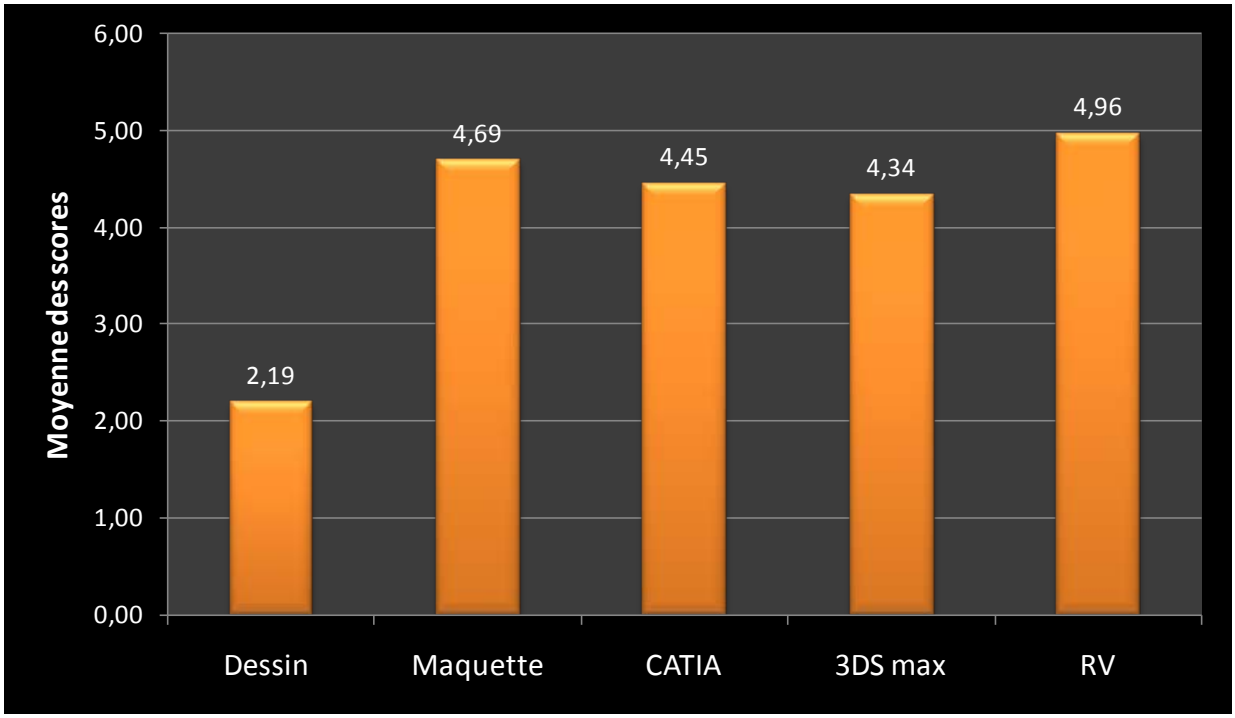


Figure 55 : Comparaison des performances globales des outils

D'après la Figure 55, il apparait clairement que la réalité virtuelle est l'outil le plus performant qui répond le plus à la visualisation des projets, ainsi qu'à l'évaluation esthétique. La maquette physique est l'outil qui s'approche le plus des performances de la réalité virtuelle. Cette observation nous permet de confirmer notre première hypothèse énoncée dans le paragraphe 2.5.1 en répondant que (« *Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence positivement la création et l'évaluation esthétique de l'objet*).

3. 2EME SERIE D'EXPERIMENTATIONS POUR VALIDER L'HYPOTHESE 2 :

3.1. Contexte général de l'expérimentation

L'objectif des expérimentations qui suivent est de valider notre hypothèse 2 à savoir : **« Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV ».**

En effet, nous voulons démontrer que la RV peut optimiser la conception du produit et sa compréhension au moment de sa présentation aux interlocuteurs (industriels, décideurs, futurs

utilisateurs, ingénieurs, ergonomes…). L'objectif est de leur permettre de mieux étudier et évaluer le projet selon la vision et le domaine de compétence de chacun.

Nous présenterons dans cette partie le contexte général dans lequel notre « test communication » s'est déroulé, à savoir le programme INTERREG. Ensuite, nous présenterons les sujets industriels traités lors de cette deuxième série d'expérimentations. Enfin nous analyserons les résultats et nous terminerons par une conclusion.

3.1.1. Présentation du programme INTERREG

Le projet de collaboration franco-suisse conduit entre l'UTBM et l'école suisse HE-ARC, composé de plusieurs sujets d'études, fait partie d'une action intercommunautaire d'ampleur européenne appelée INTERREG III. Ce programme d'initiative communautaire a pour objet de favoriser la coopération trans-européenne afin de développer un territoire européen équilibré et harmonieux. Il s'appuie sur l'idée que les frontières nationales au sein de l'Union européenne ne doivent pas être un obstacle à l'essor économique et social des différentes régions transfrontalières. Afin de mener à bien cet objectif, le programme INTERREG soutient financièrement des projets visant à améliorer les relations trans-européennes, grâce à l'appui du FEDER (Fonds Européen de Développement Régional) et des collectivités locales des régions impliquées.

Ce programme est divisé en trois volets :

- Volet INTERREG IIIA : Coopération transfrontalière
- Volet INTERREG IIIB : Espaces transnationaux
- Volet INTERREG IIIC : Coopération interrégionale

C'est dans le cadre des objectifs du volet INTERREG IIIA (coopération transfrontalière) qu'est impliqué le projet de coopération franco-suisse UTBM – HE-ARC.

3.1.1.1. En quelques chiffres

Le volet INTERREG IIIA est décomposé en de nombreux secteurs, chacun de ceux-ci s'intéressant à une coopération frontalière (coopération France-Espagne, France-Angleterre). On ne s'intéressera ici qu'au secteur qui concerne nos travaux de recherche, celui s'intéressant à la coopération franco-suisse.

- **4,5 millions d'habitants sont concernés,** dont 55% de la population côté Suisse et 45% côté France ;
- **41,4 millions d'euros de subventions** pour les projets pour la période 2000 – 2006 dont 27 millions d'euros de crédits communautaires apportés par le (FEDER).

3.1.1.2. Territoire concerné

Le volet INTERREG IIIA concerne directement les zones vertes présentes dans la Figure 56 qui comprend **5 départements français** (le Territoire de Belfort, le Doubs, le Jura, l'Ain et la Haute-Savoie) et **6 cantons suisses** (les cantons du Jura, de Neuchâtel, de Berne, de Vaud, de Genève et du Valais).



Figure 56 : Territoires concernés par l'action INTERREG IIIA

3.1.1.3. Objectifs majeurs du programme INTERREG IIIA

Les projets susceptibles d'êtres soutenus par le biais de l'action INTERREG IIIA doivent orienter leurs résultats selon les trois axes suivants :

1. Encourager l'aménagement concerté et coordonné du territoire
2. Renforcer l'attractivité de l'espace de coopération en valorisant ses ressources naturelles, culturelles, touristiques et patrimoniales
3. Favoriser les échanges dans le domaine de l'emploi, de la formation et améliorer l'environnement économique

Notre projet est classé dans la mesure 9 de l'axe 3 : Soutenir des actions en matière d'enseignement supérieur, de recherche et de transfert de technologie. Ce projet présent deux volets de coopérations :

- des projets communs en mobiliers et aménagements urbains, avec des objectifs industriels et économiques.
- une collaboration pédagogique : mise en place de nouvelles formations, de modules et diplômes communs aux deux établissements.

Dans le cadre de nos travaux de recherches nous allons nous intéresser aux résultats du premier volet seulement.

Cinq objectifs majeurs ont été proposés :

- Développer des **méthodologies** de **design et d'ergonomie** applicables à l'architecture et à l'urbanisme
- Conduire une **réflexion appliquée** sur le mobilier urbain de villes suisses et françaises
- Innover sur le plan des **procédures décisionnelles** par un apprentissage collectif et un **processus participatif**
- Permettre le **dialogue critique** et encourager les **échanges** culturels, administratifs et économiques
- **Développer** et **concevoir** des **produits nouveaux** et **innovants** intégrant les **facteurs fonctionnels, ergonomiques et esthétiques.**

3.1.1.4. Les parties participantes au programme

Les projets d'études sont chacun menés en coopération par différentes entités, (Figure 22) :

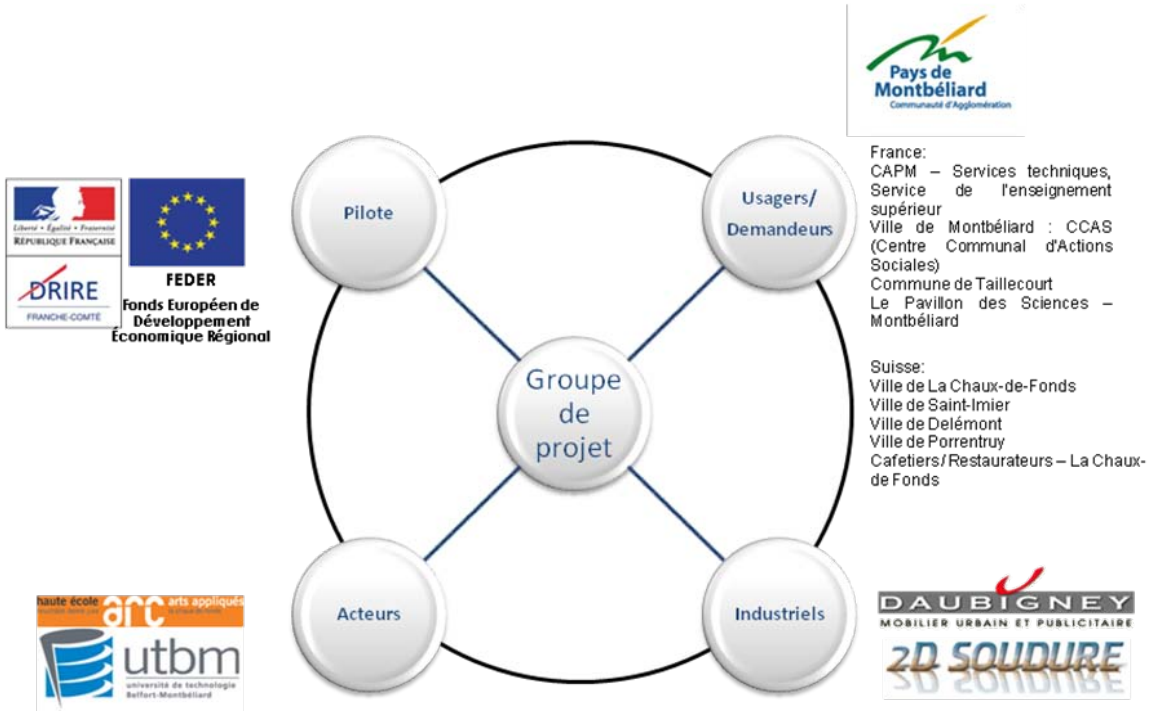


Figure 57 : Les participants au programme INTERREG IIIA.

- le pilote : coordination, valorisation, promotion,
- l'usager : la collectivité ou le grand public maître de l'étude,
- les acteurs : les designers, ergonomes, graphistes, concepteurs mécanicien, informaticiens intervenant dans l'étude,
- les industriels : pour les questions liées à l'industrialisation et réalisation de prototypes. C'est dans ce contexte de coopération internationale que se déroule notre deuxième série d'expérimentations dans le cadre du programme INTERREG IIIA franco-suisse entre l'UTBM et l'école de design suisse HE-ARC. Tous les projets amenés au cours de ce programme tournent autour de la thématique **« Ergonomie et Design dans la Ville pour un espace de vie pour tous »**.

3.2. Le déroulement du test communication et les résultats

La deuxième série d'expérimentations sera présentée selon les trois phases suivantes :

Tout d'abord, nous présenterons les cinq projets industriels réalisés par des experts en design à l'aide de l'outil T, N et RV. Ensuite, les résultats de cette phase de réalisation seront évalués avec les interlocuteurs des projets. Le but de l'évaluation est d'étudier l'impact de l'utilisation

de la RV en comparaison aux outils traditionnels et numériques lors de la communication du projet. Enfin, nous analyserons les résultats de l'expérimentation menée.

3.2.1. Phase 1 : la réalisation des projets à l'aide des outils T, N, V

Cinq projets sont à réaliser durant cette phase ***par une équipe d'experts en design***. Cette phase nous a permis d'utiliser les outils T, N, V pour réaliser les projets dans un cadre concret avec des interlocuteurs déterminés. Le tableau suivant récapitule les outils de visualisation utilisés lors de chacun des projets.

Outils - Projet	Outil T		Outil N	Outil V
	T.d	T.m		
P1	X	X	X	
P2			X	X
P3	X	X	X	X
P4	X	X	X	X
P5	X		X	X

Tableau 10 : Outils utilisés lors de réalisation des projets INTERREG

Nous allons dans un premier temps présenter les projets. Ensuite, nous allons aborder le planning mis au point pour la réalisation et l'organisation des projets.

3.2.1.1. Diversité des projets dynamiques pour le « test communication »

Voici donc une présentation succincte des différentes études mises en place dans le cadre du programme INTERREG, études que nous avons pu mener à bien durant nos travaux de recherche.

3.2.1.1.1. PROJET DES CRECHES DU PAYS DE MONTBELIARD

Les structures Petite Enfance du Centre Communal d'Action Sociale (CCAS) (Figure 23) de Montbéliard accueillent à la journée des enfants de 10 semaines à 6 ans. Ces établissements, adaptés aux enfants tant au niveau de leur confort que de leur sécurité, sont équipés de mobilier (tables, chaises, toilettes ...) de très petite hauteur, afin de favoriser l'autonomie des

enfants. Les puéricultrices et les assistantes doivent donc se baisser, se relever, s'asseoir au niveau de l'enfant de très nombreuses fois dans une journée. Le mal de dos est ainsi une cause importante d'arrêts de travail.

L'étude a pour objectif de **concevoir du mobilier pour la prise des repas en crèches** (une table et des chaises ainsi qu'une chaise pour donner le biberon) adapté à la fois à l'enfant comme à l'adulte sur l'aspect **dimensionnel**, mais également sur l'aspect **esthétique**, afin que le mobilier s'intègre parfaitement à l'ambiance des crèches.



Figure 58 : crèches du CCAS, à gauche "Les Virelitous" à droite "Les petits mousses"

3.2.1.1.2. PROJET DE L'AIRE D'AUTOROUTE D'ÉCOT

Située entre Besançon et Montbéliard sur l'autoroute A36, l'aire de repos d'Écot (Figure 24) fait l'objet d'une extension et d'une réhabilitation des services proposés. La société AVIA, propriétaire de l'aire d'autoroute, désire relier les deux parties de l'aire situées de chaque côté de l'autoroute par un pont, permettant ainsi aux utilisateurs de reprendre l'autoroute en sens inverse en passant par la station. Cette modification permettrait à cette station service située juste avant un péage de bénéficier d'une fréquentation importante. La compagnie AVIA a ainsi demandé, dans le cadre du projet INTERREG et avec le soutien de la CAPM, de réaliser **une pré-étude complète de l'aménagement de l'espace extérieur de cette aire de repos**, mais aussi de faire une proposition **d'aménagement de l'intérieur des bâtiments, en particulier pour un espace de promotion régional.** Cette étude doit porter sur la conception d'un système qui puisse satisfaire les critères suivants, dans l'ordre décroissant de priorité :

- ✓ **La mise en place d'un signal**, d'un symbole représentatif de la région (concepts de signaux, architecture symbolisant la région, œuvre d'art, …) ;
- ✓ **La mise en place d'un belvédère** sur le site ;

- ✓ L'implantation d'une **zone de repos (**aires de jeux, unité de restauration, pique-nique..).



Figure 59 : photo et plan de l'Aire d'Écot (zone d'étude)

3.2.1.1.3. PROJET DU PRES LA ROSE

Le Parc du Près la Rose (Figure 60) est un parc à caractère scientifique situé en plein centre ville de Montbéliard. Le Pavillon des Sciences, organisme chargé des animations du parc, propose au grand public une série d'activités expliquant de manière ludique certains principes scientifiques.

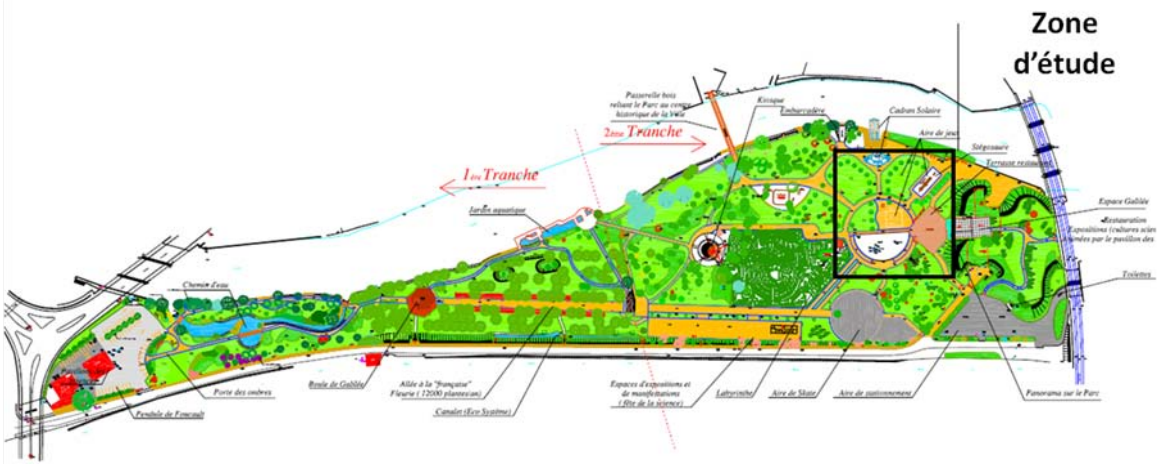


Figure 60 : Plan général du parc Près la Rose

C'est dans cette optique que le Pavillon des Sciences s'est intégré dans le cadre du projet INTERREG, afin de déterminer plusieurs propositions d'**aménagement d'un espace vierge situé devant le Pavillon des Sciences**, au centre du parc (Figure 61), par l'implantation de

mobilier urbain, permettant l'intégration d'informations scientifiques. En accord avec l'organisme concerné, nous avons fixé pour la conception des mobiliers et l'aménagement de l'espace trois grandes thématiques :

- **la convivialité :** amplifier les possibilités d'échange et de rencontre avec les autres personnes fréquentant le parc, tout en gardant une zone de détente ;
- **L'information :** le lieu doit intégrer des supports d'information pour des données de nature scientifique en rapport avec les expositions se déroulant au sein du Pavillon des Sciences ;
- **Le jeu :** en rendant le mobilier le plus amusant possible et intégrant la notion de ludisme, de jeu.



Figure 61 : Zone d'intervention devant le Pavillon des Sciences

3.2.1.1.4. PROJET DE L'ÎLE EN MOUVEMENT

Voué à la culture scientifique et technique. Il aura pour objectif de faire découvrir au grand public les principes physiques ayant attrait au mouvement. Ce parc, d'une superficie totale de 12 hectares (Figure 27) fait partie de l'extension du Parc du Pré la Rose, le site est à la fois un parc scientifique, technique et un espace de détente ludique et paysager, qui devra permettre à chacun d'aborder des concepts scientifiques à la pointe de la recherche par l'expérience et l'approche empirique, notamment sur le thème du mouvement. Le projet « Ile en Mouvement » a déjà fait appel à des partenaires (laboratoires, association…) pour la réalisation d'un labyrinthe culturel et scientifique, qui a constitué un évènement de préfiguration.



Figure 62 : Plan masse projet « Île en Mouvement »

Suite à plusieurs entretiens entre le responsable du parc et des représentants de l'équipe ERCOS, un thème d'étude a été défini autour de l'aménagement du parc. Il s'agit d'un travail de réflexion et de proposition sur du mobilier, aménagements, à destination en particulier des personnes à mobilité réduite que ce soit pour les questions matérielles (accessibilité, mobilier adapté, les offres d'activités interactives, signalétique adaptée) ou pour la perception (appropriation des attractions proposées, perception du mouvement, découverte des animations). Cette thématique intègre parfaitement le cadre du programme INTERREG « Ergonomie et Design dans la ville ».

Ces propositions sont constituées de deux projets d'études distincts représentant deux objectifs spécifiques :

- Une étude sur **l'accessibilité** et les solutions de **transport** adaptées aux personnes à mobilité réduite, aux enfants et aux personnes âgées,
- Une étude sur un concept **d'aires de repos** adaptées aux personnes à mobilité réduite et malvoyantes.

Cette étude doit pouvoir aboutir à des recommandations concernant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite sur les animations et les infrastructures du parc.

3.2.1.1.5. PROJET DU BANC DE TAILLECOURT

Dans le cadre du renouvellement du mobilier urbain de la commune de Taillecourt, l'équipe ERCOS s'est vue sollicitée par le Maire de cette ville **afin de concevoir un banc public accompagné d'un abri**, spécifiques à la commune. Ce projet a pour but sous-jacent de **réaliser du mobilier urbain spécifique à la ville de Taillecourt**. On réalise donc pour ce

faire une étude basée sur une approche pluridisciplinaire, mêlant ergonomie, design et fonctionnalité.

Après avoir présenté succinctement les différents projets composant le programme INTERREG réalisés au sien de l'équipe ERCOS de l'UTBM en collaboration avec la HE ARC, intéressons-nous à présent à la planification et l'organisation des projets.

3.2.1.1.6. PLANNING MIS AU POINT POUR LA REALISATION ET L'ORGANISATION DES PROJETS

Afin de mener à bien tous les projets énoncés ci-dessus, il nous a fallu mettre en place une planification. Cette dernière avait un double objectif. Premièrement, la planification permet d'assurer l'avancement des projets qui se sont déroulés pratiquement en même temps tout en respectant certains délais imposés. Deuxièmement, elle permet une meilleure organisation entre les acteurs professionnels internes (5 designers, 4 ingénieurs mécanique, 2 ergonomes et un informaticien) et externes (industriels, demandeurs, utilisateurs). Elle permet également l'application d'une méthodologie de travail collaborative et pluridisciplinaire. Ceci doit permettre de conduire à la fois une **approche conceptuelle classique,** une **recherche stylistique-Design** et une **démarche ergonomique et technique**. Une telle étude nécessite donc une méthodologie de travail permettant aux **intervenants des différents corps de métier de pouvoir travailler en harmonie sur les projets**. À ce stade, nous avons pu dans un premier temps utiliser notre méthode de design collaborative intégrante le designer (C.F Figure 14).

C'est autour de cette base de conception pluridisciplinaire que nous avons pu réaliser les études dans le cadre du projet INTERREG. Voici donc un exemple du planning pour un projet que nous avons pu mettre au point (Figure 63). **On y retrouve les différentes phases de chaque discipline** détaillée ci-dessus, synchronisées entre elles par des dates de début et de fin de tâches.

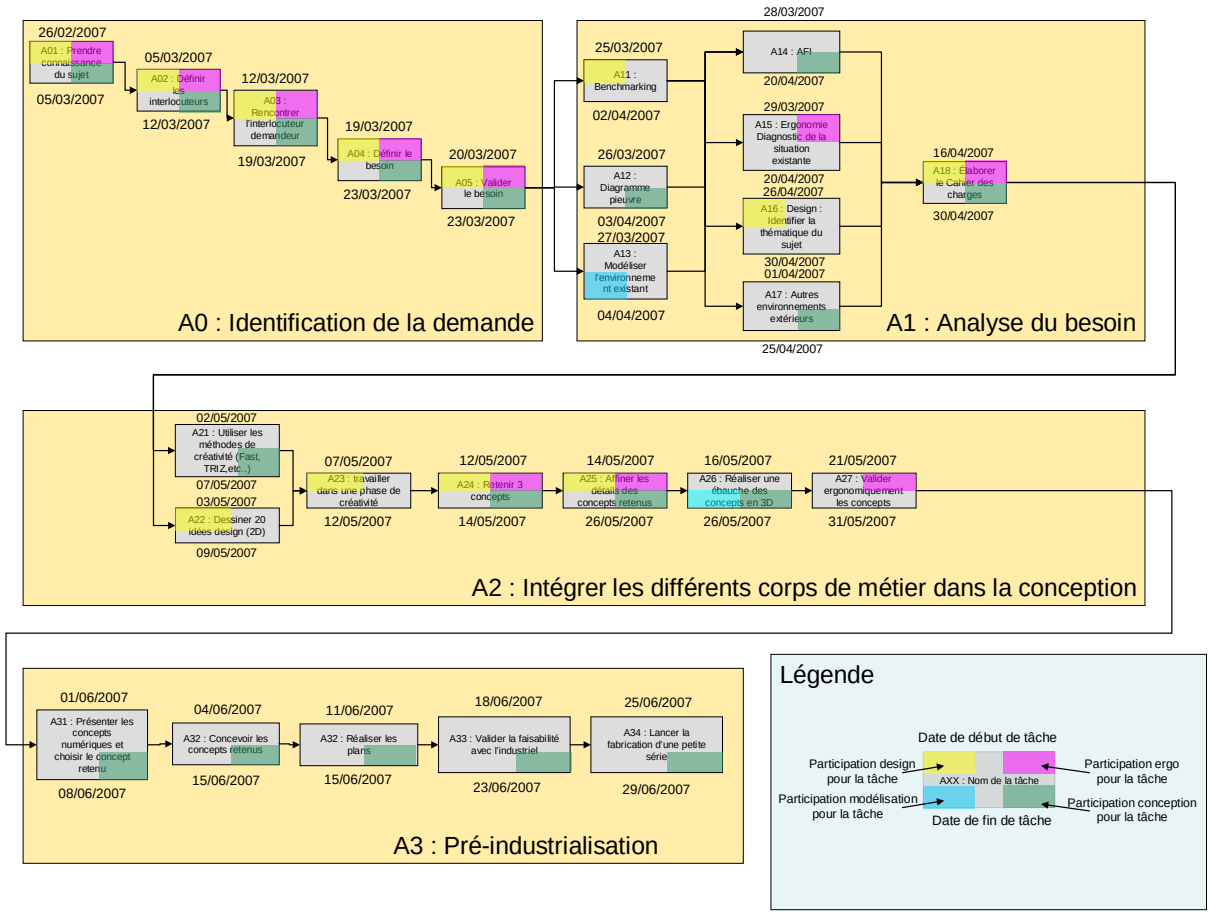


Figure 63 : Exemple du planning mis en place

Dans ce cadre, un autre outil de conception collaborative a été utilisé : ACSP (Atelier Coopératif de Suivi de Projets). Cet environnement est le fruit de nombreux travaux [Gomes, '99] [Gomes *et al.*, '01] [Gronier, '04] qui a été développé au sein de l'équipe ERCOS et expérimenté dans plusieurs projets industriels dont INTERREG.

3.2.2. Phase 2 : L'évaluation par les intervenants des projets

À l'issue de la phase précédente de réalisation de projets, nous avons pu avoir les données T, N et V nécessaires pour effectuer la deuxième phase de notre expérimentation.

De même que lors de la phase 2 de la 1ère série d'expérimentation (voir paragraphe 1.1.2), il est indispensable de convertir les fichiers provenant de la CAO dans un format d'échange utilisable dans l'environnement virtuel.

Pour valider notre deuxième hypothèse de recherche, nous avons construit tout d'abord un questionnaire destiné aux interlocuteurs des projets. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les éléments de communication utilisés lors de la réalisation des projets INTERREG et qui nous semblent importants pour tout projet de ce genre. Dans ce contexte, plusieurs commentaires et suggestions reçues par les interlocuteurs ont fait l'objet d'une nouvelle révision à notre questionnaire avant de prendre sa structure finale (voir Annexes 3).

Ensuite, nous avons fait appel à une équipe d'interlocuteurs externes au projet pour répondre à notre questionnaire d'évaluation de l'ensemble des résultats de visualisation. Nous avons eu l'accord de cinq industriels-décideurs (Alstom, Général-Motors) et de six utilisateurs (architectes, urbanistes, économistes, ingénieurs…). Notons que ces évaluateurs ne sont pas impliqués dans les projets de manière directe (ni dans la décision ni pendant la réalisation). En effet, pour évaluer les réponses aux questionnaires des personnes impliquées dans le projet, il nous semble adéquat de présenter les résultats finaux des projets pour évaluation à des interlocuteurs qui n'ont pas vécu l'évolution de projet dès les premiers traits du dessin jusqu'à son prototype final.

C'est dans ce sens, et afin d'éliminer l'influence possible d'un outil de visualisation donné sur un autre dans le même projet, nous avons établi un ordre de passage aléatoire pour la présentation des résultats à évaluer. Le tableau suivant représente deux axes : les lignes présentent les projets visualisés sur quatre modes de représentation (sauf zones barrés pour certains projets où l'outil n'a pas été utilisé), les colonnes représentent les évaluateurs. Enfin, les zones de croisement entre les deux axes indiquent l'ordre de passage de l'évaluateur donné sur le résultat réalisé avec un outil de représentation pour un projet donné.

Projets	Outils	Utilisateur 1	Utilisateur 2	Utilisateur 3	Utilisateur 4	Utilisateur 5	Utilisateur 6	Industriel 1	Industriel 2	Industriel 3	Décideur 1	Décideur 2	Décideur 3
P1	dessin	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2
	maquette	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3
	CAO	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4
	RV												
P2	dessin												
	maquette												
	CAO												
	RV	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4
P3	dessin	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4
	maquette	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
	CAO	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2
	RV	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3
P4	dessin	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3
	maquette	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4
	CAO	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
	RV	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2
P5	dessin	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2
	maquette												
	CAO	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4
	RV	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1

Figure 64 : Déroulement d'évaluation de projets INTERREG « test communication »

Ainsi, tous les projets ont été visualisés avec les mêmes caractéristiques de représentation (dessins numérisés, CAO sur l'écran, maquette physique à échelle 1/10 et une scène virtuelle à travers une navigation en temps réel). Notons que dans la plupart des cas, nous avons utilisé 3Ds max comme outil N. En tenant compte de la difficulté de former les évaluateurs à l'utilisation de l'interface CAO et RV, dans certains cas, nous avons manipulé l'interface pour eux, dirigeant la navigation selon leur volonté lors de l'examen de projets.

Dans la partie suivante, nous allons aborder l'ensemble des réponses au questionnaire composé de 8 questions. Les résultats présentés sont calculé sur « tous les 5 projets visualisés à l'aides de l'outil T, N et V » sur la moyenne des réponses des évaluateurs par projet.

3.2.3. Phase 3 : L'analyse des résultats des projets INTERREG

La première question sert pour l'identification générale de l'objet.

Td.1 Que représente cet objet pour vous ? (nom, fonction, lieu où il se trouve, qui l'utilise ?)
……...
……...

Les réponses des évaluateurs sont notées selon leurs pertinences par rapport aux quatre caractéristiques de l'objet recherchées (nom, fonction, lieu, utilisation). Une bonne réponse sur une caractéristique donne lieu à une note de 1, à une mauvaise réponse est attribué une note négative de -1, l'absence de réponse pour une caractéristique donne lieu à une note de 0. La somme des scores positifs et la somme des scores négatifs pour tous les projets et toutes les réponses par outils sont présentées dans la Figure 65.

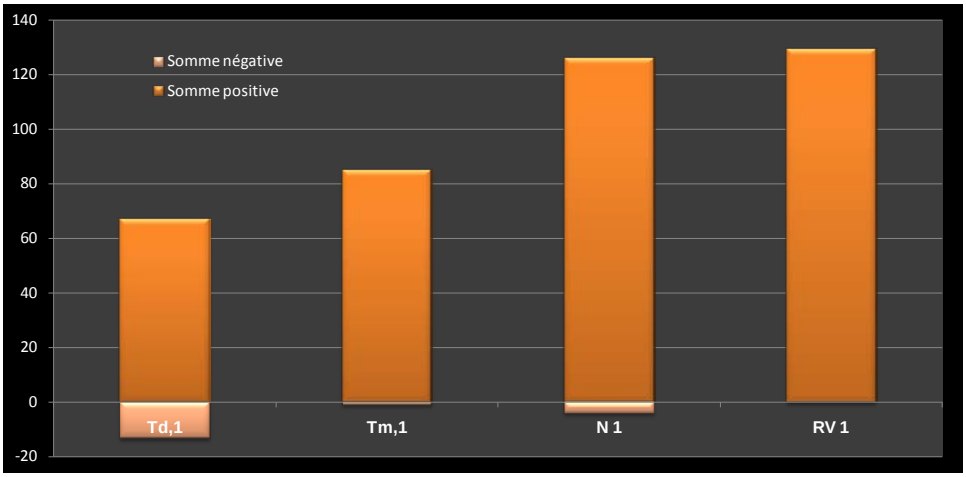


Figure 65 : Scores positifs et négatifs sur l'identification de l'objet

Nous observons que l'outil dessin est celui qui donne le plus de difficultés pour identifier l'objet (score négatif le plus élevé par rapport aux autres outils et score positif le moins élevé). D'autre part, la réalité virtuelle et l'outil numérique sont ceux qui permettent de bien identifier l'objet. La RV se distingue par l'absence d'un score négatif.

La question 2 s'intéresse plus particulièrement à l'aspect dimension de l'objet.

Td.2 Est-ce que vous pouvez déduire les dimensions réelles de l'objet ?
Oui ☐ Non ☐
Longueur……
Largeur……
Hauteur……...

Nous avons fait la somme des fois où les évaluateurs ont pu reconnaître les dimensions de l'objet pour tous les projets.

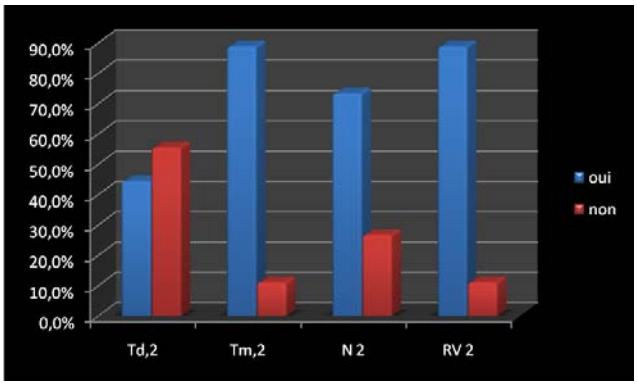


Figure 66 : Pourcentage des évaluateurs ayant pu identifier la dimension de l'objet

Nous remarquons d'après la Figure 66, que l'outil dessin est celui qui donne le moins de facilité à reconnaître l'aspect dimensionnel de l'objet, contrairement à la maquette physique qui permet une bonne reconnaissance des dimensions. En effet, la maquette à l'échelle ou à une échelle réduite permet de trouver facilement les dimensions exactes. La réalité virtuelle a des performances similaires. D'autre part, nous avons voulu déterminer avec plus de précision la fidélité de la reconnaissance des dimensions pour chaque outil. Pour cela, nous avons attribué une note de 0 à 6 selon que l'évaluateur a trouvé une valeur proche ou pas de la dimension exacte. Moyenne des réponses des 9 évaluateurs sur l'ensemble des 5 projets.

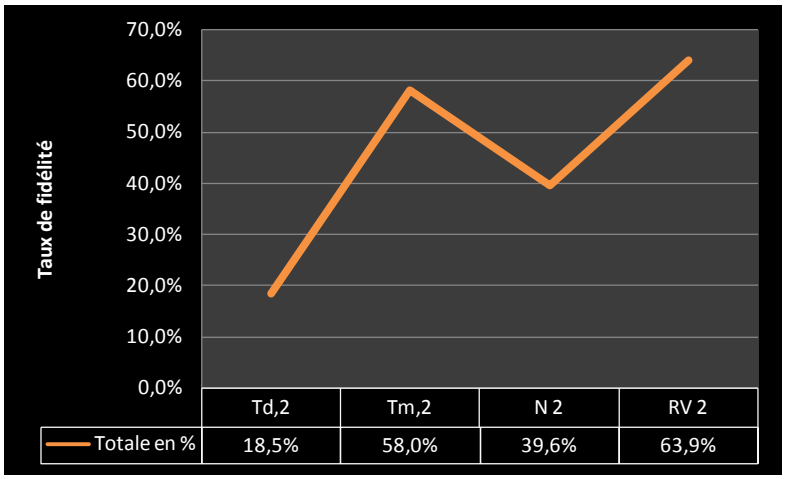


Figure 67 : Taux de fidélité par rapport à la dimension voulue des réponses des évaluateurs pour chaque outil

La Figure 67 confirme les premières constatations puisque le dessin possède la plus faible fidélité contrairement à la maquette et à la RV. Nous observons aussi que l'outil numérique a des performances inférieures par rapport à ces deux derniers. Ceci s'explique par le fait que dans cet outil, l'absence de l'environnement de l'objet ne facilite pas la reconnaissance des dimensions, ce qui était le cas de certains projets. Notons enfin que la RV a des performances légèrement supérieures par rapport à la maquette.

La troisième question de notre questionnaire traite de l'aspect matériau.

Td.3 Est-ce que vous pouvez distinguer le/les matériaux utilisé(s) dans cet objet ?
Si oui cochez le/les et complétez par la couleur que vous voyez.
Oui ☐ Non ☐

☐ Bois……	☐ Métal……
☐ Plastique……..	☐ Verre……
☐ Pierre……..	☐ Marbre……..
☐ Tissus……...	☐ Peinture……

☐ Autres ……..

On trouve d'après la Figure 68 que tous les outils, à l'exception du dessin, permettent d'identifier le matériau de l'objet. Ceci s'explique par la difficulté d'appliquer les matériaux pour un dessin à main levée. Ceci est plus facile sur les outils numérique et la maquette.

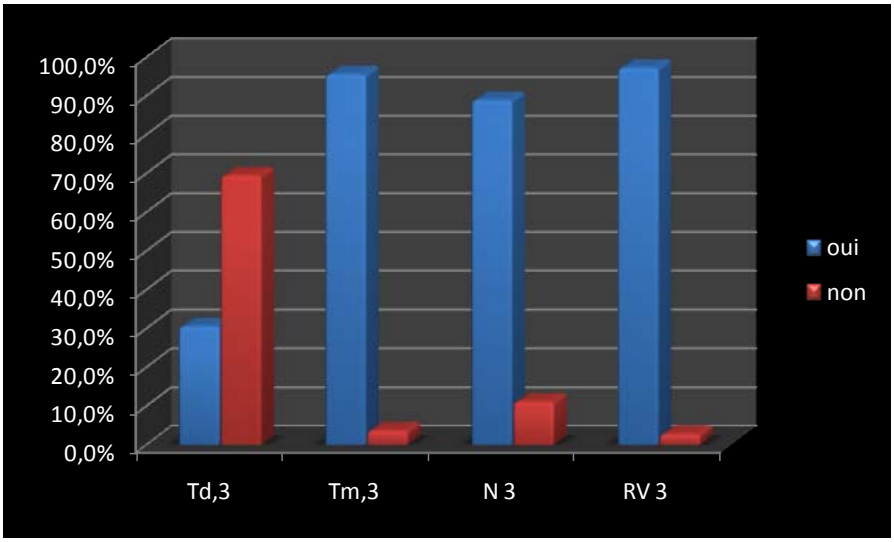
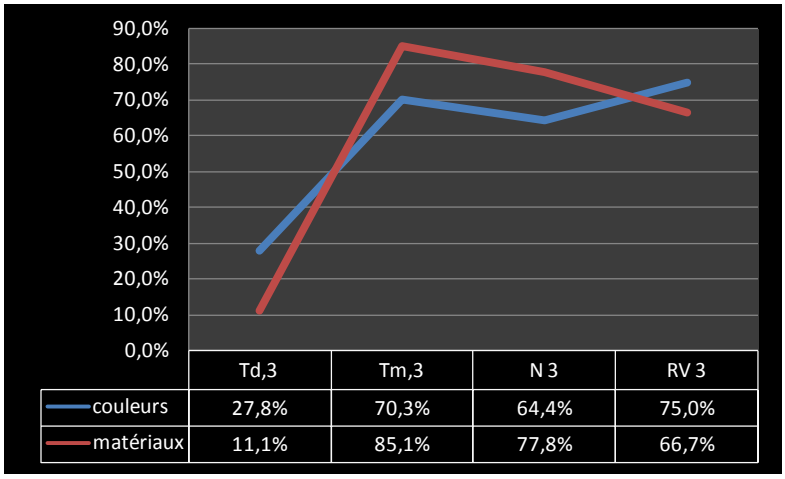


Figure 68 : Pourcentage des évaluations positives et négatives sur l'aspect matériau

Dans le cas où une reconnaissance est possible du matériau, nous avons voulu savoir s'il était possible de préciser les matériaux appliqués ainsi que leurs couleurs (Figure 69).



	Td,3	Tm,3	N 3	RV 3
couleurs	27,8%	70,3%	64,4%	75,0%
matériaux	11,1%	85,1%	77,8%	66,7%

Figure 69 : Taux de reconnaissance du matériau et de la couleur

Sur l'aspect matériaux, nous observons que la RV a des performances inférieures à l'outil maquette et numérique. Une explication possible est le fait que l'application réaliste des matériaux dans l'environnement virtuel nécessite une puissance de calcul très importante en temps réel, ce qui est « très gourmand » en ressources informatiques. Sur l'aspect couleur, la réalité virtuelle est meilleure que tous les autres outils.

La question 4 traite de la problématique d'évaluation du prix d'un projet par chaque outil.

Td.4 Quel prix en € donnez-vous à cet objet et pourquoi?

.....

	P1	P2	P3	P4	P5
Td,4	43,00 €		390,00 €	664,00 €	120,00 €
Tm,4	176,00 €		1 112,00 €	2 117,00 €	
N 4	50,00 €	7 662,00 €	558,00 €	1 510,00 €	200,00 €
RV 4		8 687,00 €	1 341,00 €	1 781,00 €	500,00 €

Tableau 11 : Variation de l'estimation du prix par projet selon les outils

Le Tableau 11 donne les valeurs moyennes des prix des projets estimés par les évaluateurs. Nous observons qu'avec l'outil dessin, les évaluateurs ont donné les plus faibles estimations de prix. À l'opposé, la maquette et la RV sont les deux outils qui donnent les estimations de prix les plus élevées. Ceci s'explique par le fait que la maquette et la RV permettent une bonne compréhension de l'objet chez les évaluateurs ne faisant pas partie des acteurs des projets. En effet, d'après les résultats des questions précédentes, nous avons montré que la RV et la maquette possèdent une capacité à comprendre l'objet, à identifier ses dimensions, ses formes, sa couleur…meilleure que pour les autres outils.

Si nous voulons mieux appréhender la notion de la compréhension de l'objet par l'utilisateur, l'un des critères de cette compréhension est la comparaison par rapport à l'objet réel. Les deux questions suivantes traitent de cette problématique. La question 5 s'intéresse au degré de ressemblance par rapport à un objet réel.

Td.5 La représentation de l'objet que vous voyez ressemble-t-elle à un objet réel ?
Pas du tout ☐ Peu ☐ Assez ☐ Beaucoup ☐

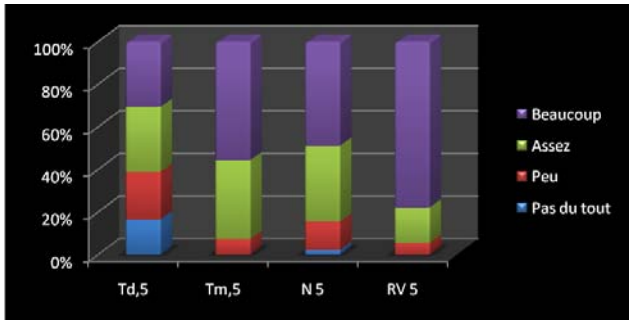


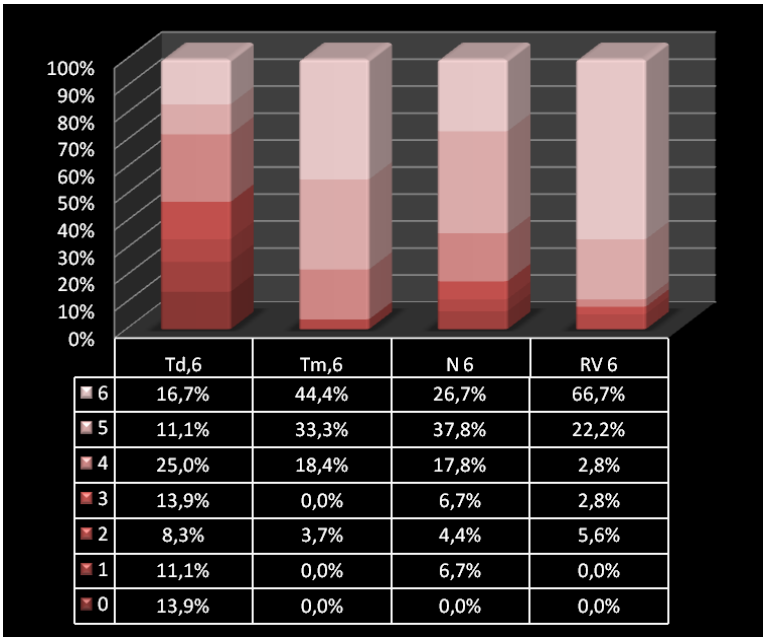
Figure 70 : Niveaux de réalisme des résultats des projets sur les outils

On constate que la RV est l'outil qui permet un degré de réalisme plus fidèle par rapport à la représentation réelle de l'objet. Ce réalisme est aussi élevé pour l'outil maquette. L'outil dessin est celui qui donne la plus faible correspondance à la réalité.

La question 6 a pour objectif de quantifier le niveau de compréhension en permettant à l'utilisateur de donner une note allant de 0 à 6.

Td.6 Comment qualifiez-vous votre compréhension de l'objet présenté avec l'outil

Très mauvaise 0 1 2 3 4 5 6 Très bonne



	Td,6	Tm,6	N 6	RV 6
6	16,7%	44,4%	26,7%	66,7%
5	11,1%	33,3%	37,8%	22,2%
4	25,0%	18,4%	17,8%	2,8%
3	13,9%	0,0%	6,7%	2,8%
2	8,3%	3,7%	4,4%	5,6%
1	11,1%	0,0%	6,7%	0,0%
0	13,9%	0,0%	0,0%	0,0%

Figure 71 : Niveaux de compréhension de l'objet

La Figure 71 représente la variation des pourcentages des réponses calculés pour chaque note de l'échelle, en fonction de chaque outil. Plus le diagramme d'un outil donné est claire plus il permet une bonne compréhension et vice versa. Selon cette règle, il parait clairement que l'outil maquette et RV sont ceux qui permettent une meilleure compréhension de l'objet. Si on fait la somme des notes supérieures à 3, on remarque que la maquette est meilleure que la RV (96% des réponses ont attribués une note supérieure à 3 alors que la RV obtient 91%).

Ensuite, nous allons essayer d'identifier plus précisément la manière avec laquelle chaque outil permet de mettre en évidence certaines caractéristiques de l'objet. En effet, dans le paragraphe 1.2.2 nous avons identifié huit critères de perception de l'objet (voir Tableau 3). Nous avons ensuite interrogé les évaluateurs sur leur perception de chacun des ces critères par

les quatre outils de visualisation. L'évaluateur répond sur une échelle de 0 à 6 à des questions sur le modèle suivant :

Td.7 Est-ce que l'outil Dessin vous a permis de percevoir les critères suivants ?

- Si vous considérez que l'outil ne permet pas de percevoir ce critère, vous cochez la case 0.
- Dans le cas contraire, nous vous demandons de préciser cette perception par un chiffre entre 1 (l'outil permet une vague perception du critère) et 6 (l'outil permet une perception très précise du critère).
- Si vous ne comprenez pas la signification du critère, nous vous demandons de cocher la case « NSP » en face du critère

Identité visuelle (forme, couleur, style...)	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Usage (fonction, accessibilité, adaptabilité, ergonomie)	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Sécurité	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Innovation	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Environnement de l'objet	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Durabilité/Écologie	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Qualité, Performance	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Avantages/inconvénients	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6

Pour des raisons de simplification et de visualisation des résultats, nous avons choisi de synthétiser les résultats trouvés pour tous les critères sur un même graphique.

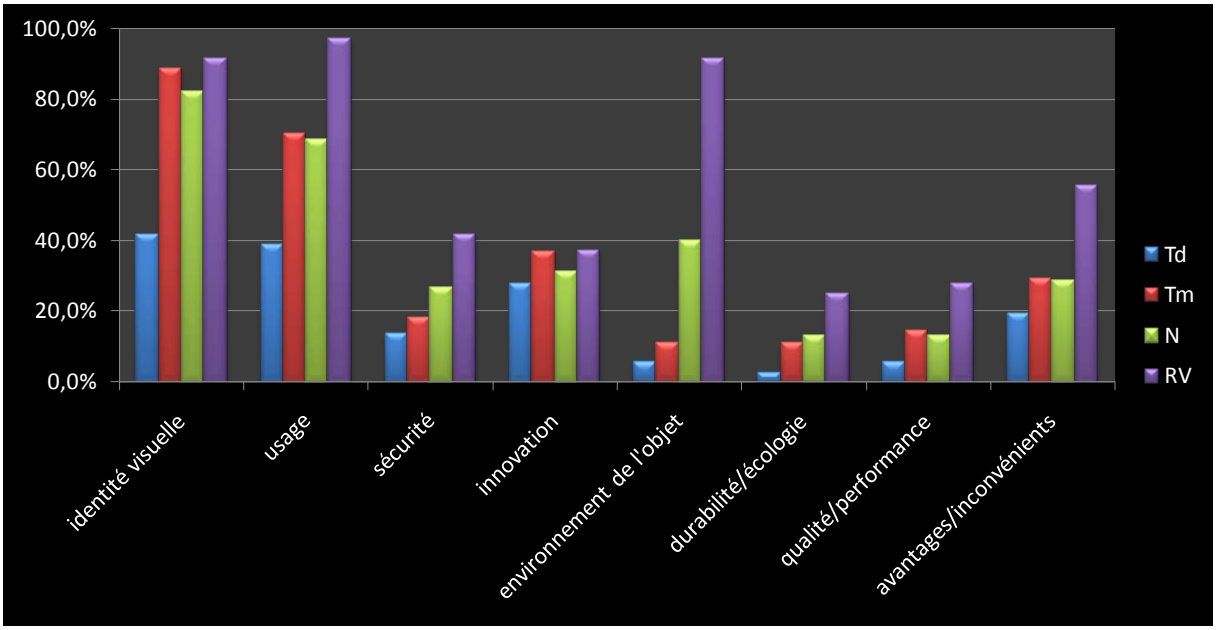


Figure 72 : Pourcentages des notes traduisant une assez bonne perception des huit critères

La Figure 72 est obtenu en calculant le pourcentage des réponses traduisant une assez bonne perception du critère par chaque outil (notation supérieure à 3). Les résultats détaillés par critères et par outils sont disponible en annexe 4.

De manière générale, on observe que pour certains critères aucun des outils utilisés ne permet leur bonne perception. C'est le cas des critères sécurité, innovation et durabilité/écologie et qualité/performance. Ceci s'explique par le fait que ces critères nécessitent la manipulation physique de l'objet. Il est par exemple très difficile d'évaluer la durabilité et la performance écologique d'un produit à partir de son dessin ou même de sa maquette.

D'autre part, nous remarquons que la réalité virtuelle est la meilleure sur certain critères. Notamment sur le critère « environnement de l'objet », où la RV obtient un pourcentage supérieur à 90%. En effet, les autres outils ne permettent pas facilement une visualisation de l'environnement et plus particulièrement les outils traditionnels (Dessin et maquette).

Concernant le critère usage, la RV est classé première parmi les autres outils. Nous pensons que ce classement s'explique par le fait qu'elle offre la possibilité d'interagir avec le produit en temps réel et à une échelle de grandeur nature.

Par ailleurs, contrairement à l'avis des utilisateurs des outils de visualisation (étudiants dans la première série d'expérimentation), l'outil dessin a montré qu'il n'est pas adapté pour percevoir l'identité visuelle de l'objet. Ceci a été confirmé également selon le point de vue des designers lors de l'évaluation esthétique (paragraphe 2.4).

Sur ce même critère (identité visuelle), nous remarquons que les outils maquette, numérique et RV ont des performances similaires. Sachant que l'identité visuelle peut se traduire par les dix facteurs esthétiques utilisés lors de la première série d'expérimentation, la similitude des performances trouvée pour les évaluateurs est conforme au résultat trouvé pour les designers (paragraphe 2.4).

La question qui se pose est celle de l'influence de l'outil de visualisation sur la décision et le choix du futur utilisateur. C'est ce sujet que la huitième question essaye de déterminer.

Td.8 Comment trouvez-vous cet objet ?
Il ne me plaît pas du tout 0 1 2 3 4 5 6 Il me plaît beaucoup.
Pourquoi ?……
……

Les évaluateurs répondent à la question en donnant une note allant de 0 à 6 selon l'appréciation qu'ils peuvent avoir d'un objet donné selon l'outil de visualisation.

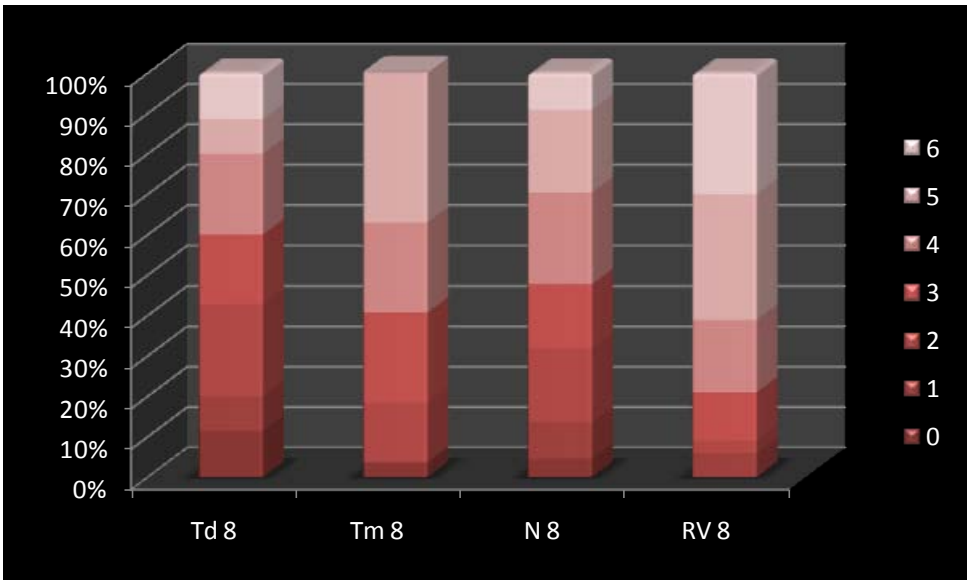


Figure 73 : Relation entre l'outil et le degré d'appréciation du produit

La Figure 73 représente le pourcentage des choix des notes pour chaque outil et pour chaque produit. En premier lieu, nous remarquons que les changements de l'outil a un impact sur l'appréciation d'un même projet. Il y a une variation de la qualité de l'appréciation selon l'outil. En deuxième lieu, nous remarquons que la RV possède les pourcentages les plus élevés (histogramme le plus clair). Cette observation peut être due à l'influence que peut avoir le caractère surprenant et inhabituel sur la qualité de l'observation, tel qu'une maquette bien faite ou un objet numérique très réaliste. Ce phénomène peut également être observable pour une technologie aussi sophistiquée telle que la RV.

La dernière question propose de classer d'une manière générale les différents outils selon la préférence lors de l'utilisation comme support de communication sur un futur produit.

TNV Quel outil de représentation préférez-vous que le designer utilise pour communiquer avec vous sur votre futur produit ? Classez ces outils selon votre préférence (de 1 celui que vous avez aimé le plus à 4 celui que vous avez aimé le moins)

☐ Dessin ☐ Maquette ☐ CAO ☐ DARV

Pourquoi (pour votre premier choix)……..
……
……

L'analyse des résultats fait paraître que 83% des personnes interrogées préfèrent la RV pour bien communiquer sur les projets.

3.3. Conclusion de la deuxième expérimentation et validation de l'hypothèse 2

L'objectif de la deuxième série d'expérimentation est de valider l'hypothèse 2 : « **Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV** ».

Nous avons trouvé que sur l'aspect de l'identification et dimensionnement du produit, l'outil dessin est celui qui présente le plus de difficulté. À l'opposé, la réalité virtuelle permet une plus grande aisance pour identifier et dimensionner les produits à concevoir. Cette constatation est observée aussi pour les outils numériques et maquettes, mais à des degrés moindres. Notons que pour l'aspect dimensionnement, la RV permet de bonnes performances grâce à l'immersion de l'objet dans un environnement réaliste où l'utilisateur trouve le produit en grandeur nature et la possibilité de le comparer par rapport à d'autres éléments environnants.

Nous avons également testé la capacité de chaque outil à identifier les matériaux. Nous avons trouvé que l'outil numérique et la maquette sont meilleurs que la RV. Ceci s'explique par le fait que l'outil numérique permet une application réaliste des matériaux, difficile à mettre en place sur la plate-forme de RV (besoin d'une plus grande puissance de calcul en temps réel). Notons également que le dessin ne permet pas une bonne identification des matériaux.

Sur l'aspect du prix, nous avons trouvé que l'attribution du prix du produit dépend fortement de la nature de l'outil utilisé pour la visualisation. En effet, nous avons trouvé qu'en utilisant la RV et la maquette, les prix estimés par les utilisateurs sont plus élevés que pour l'outil numérique et dessin. Nous pensons qu'il y a un facteur psychologique qui est mis en évidence, dû à l'utilisation d'un outil permettant de voir en trois dimensions, de sentir l'objet, mais aussi dû à la manipulation d'un outil sophistiqué technologiquement.

D'autre part, bien que la RV ait de bonnes aptitudes pour identifier l'objet, elle reste limitée pour déterminer les critères de sécurité, innovation, qualité/performance, durabilité/écologie. Cette observation est aussi valable pour tous les autres outils.

Néanmoins, la RV se distingue par une bonne performance pour la visualisation de l'objet dans son environnement. L'usage et l'identité visuelle font partie également des critères

permettant une bonne identification de l'objet. Sur ces deux derniers nous avons trouvé que la RV a de bonnes performances, ainsi que la maquette et l'outil numérique.

Enfin, sur la prise de décision, la RV est classée la première, suivi par l'outil maquette et l'outil numérique. Ceci montre que la RV peut très bien jouer un rôle comme outil d'aide à la décision lors du processus de conception de produits, spécialement lors des phases amont.

En conclusion, la RV est considérée comme un bon outil de communication autour d'un projet sur les aspects les plus importants dans un projet de conception. Elle reste toutefois complémentaire aux autres outils utilisés par le designer. Nous avons vu qu'il existe des critères sur lesquels la maquette, le dessin ou l'outil numérique restent indispensables dans la boîte à outils du designer. Toutes ces constations, nous permettent de valider l'hypothèse 2.

4.SYNTHESE GENERALE DES EXPERIMENTATIONS

Comme mentionné au début de ce travail de doctorat, nous avons étudié, à travers une recherche exploratoire contrôlée, l'influence de la RV comme outil de visualisation dans le processus de design, à travers deux éléments (la création et la communication). D'une part, nous avons réalisé deux projets particuliers avec un échantillonnage donné et nous avons évalué les résultats de deux façons (critères esthétiques et techniques) avec deux groupes d'experts, (designers et interlocuteurs). Selon les résultats obtenus, il semble exister une influence significative positive de la RV sur les résultats du processus par rapport au numérique et au traditionnel.

En tenant compte des résultats observés dans cette recherche, la RV surpasse souvent le numérique et le traditionnel. Les avantages des méthodes traditionnelles pour la visualisation en design sont mis en évidence, notamment la maquette. Pour ce qui concerne le dessin, malgré les avantages théoriques identifiés par la littérature à savoir la facilité (pour les experts), la rapidité et la pratique que le designer possède déjà avec cet outil (le crayon et le papier), les résultats ont été inférieurs à la RV. Cependant, Les résultats obtenus sur le terrain nous obligent en quelque sorte à ne pas négliger l'incorporation des techniques de visualisation traditionnelles dans des nouvelles approches de visualisation en design dans le futur.

APPORTS ET LIMITES DES TRAVAUX DE THESE :

Ce chapitre a pour finalité de présenter les apports qu'apportent notre recherche, ainsi que les limites et les difficultés rencontrées.

5.APPORTS :

Du point de vue de méthodologique et de la recherche, nous avons mis en place l'intégration du designer dans une démarche de travail collaboratif Figure 74. Nous avons également identifié le designer comme étant un acteur maîtrisant les outils de visualisation lui permettant de concevoir et de communiquer le produit. Par contre, ces outils posent aussi des limites majeures liées à la création et à la communication.



Figure 74 : Proposition de méthode de design collaborative intégrant le designer.

Ensuite, nous avons défini une base de recherche dans le métier de design. Pour ce faire, nous avons construit un guide d'évaluation esthétique composé de dix critères selon deux catégories : éléments et principes de design Figure 75.

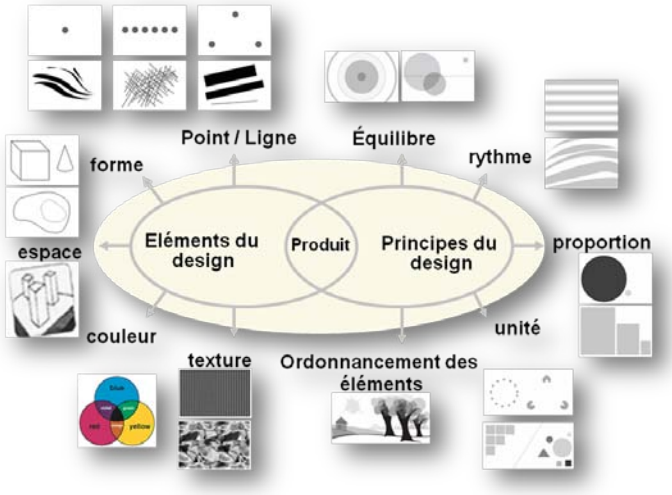


Figure 75 : Compositions esthétiques du produit

Ce guide intégré dans la pratique de design a permis aux experts designers d'évaluer l'aspect esthétique d'un produit de manière rationnelle, cela à partir de critères métier, contrairement à la méthode subjective suivie actuellement. Ces deux contributions nous ont permis de cerner de manière originale le métier du designer.

Du point de vue de métier « design », nous avons réalisé une étude détaillée sur la « boîte à outils » de designer composée par des outils traditionnels et numériques. Nous avons relevé les avantages et les limites de chacun de ces outils. En faisant des comparaisons par rapport à d'autres domaines de conception, nous avons constaté que la réalité virtuelle peut palier aux limites de certains outils de la boîte à outil du designer. Nous avons souhaité montrer par l'action, l'influence de l'intégration de telle technologie de RV dans le métier du designer. Ces travaux reposent principalement dans l'application de méthodes et d'outils, mettant en œuvre entre autre la RV, que nous avons menée dans le cadre de projets pédagogiques et industriels concrets. **Ces études de design de produits dans plusieurs domaines d'application, nous ont permis de montrer que la RV peut jouer le rôle d'outil de création et d'évaluation esthétique et communication du produit durant tout les phases de conception.**

Les apports pédagogiques de ces travaux de thèse ont été mis partiellement en pratique au sein de l'École Nationale Supérieure des Génies en Systèmes Industriels de l'INPL à Nancy dans le cadre d'un poste d'Attaché Temporaire d' Enseignement et de Recherche. Cette école d'ingénieurs a pour objectif de former des « ingénieurs de l'innovation ». Les apports concernent notre intervention en deuxième année consacrée à l'innovation produit, les étudiants suivent des cours magistraux, des travaux dirigés et des travaux pratiques sur le thème de la conception de produits et innovation. Nous y intervenons dans l'objectif d'une sensibilisation au design, et notamment aux méthodes, aux pratiques et à la maitrise des outils de visualisation abordés dans notre recherche. Ces rapports ont aussi appliqués lors de notre expérimentation pédagogique dans le cadre de trois UV à l'UTBM.

L'apport de ces enseignements a un caractère positif sur leur recherche d'idées créative et les visualiser à travers les outils. Ils se sentent capables au sein du groupe à faire comprendre leurs idées.

Nous pensons qu'intégrer ces différents outils de visualisation, est indispensable pour de telles formations. Ces mêmes apports liés à la méthode et à l'outil de design, seront l'objet de l'élaboration de différents modules design utilisables directement à des fins de formation de futurs designers à l'université de Damas en Syrie.

Au final, cette période de pratique de l'outil de la réalité virtuelle en parallèle de notre « boite à outil » habituelle, nous a fait découvrir les exigences de ce domaine, mais également les immenses possibilités qu'il offre. Au vu de l'évolution de la réalité virtuelle dans le monde de la conception industrielle, il ne fait aucun doute que ce que nous avons appliqué au cours de ces projets pédagogiques et industriels sera un plus non négligeable dans notre vie professionnelle.

6.LES DIFFICULTES RENCONTREES

La principale difficulté de ce travail aura été l'apprentissage et l'utilisation des différents logiciels nécessaires à sa réalisation : outre 3Ds max que nous maitrisions déjà, les autres logiciels tels que CATIA ou Virtools étaient pour nous en grande partie nouveaux. Le passage des différentes étapes de la réalisation des projets n'a donc pas été sans difficulté, notamment lors de l'export des fichiers CAO vers Virtools. En effet, nous avons été confrontés à un

problème d'interopérabilité entre logiciels de CAO, outils de visualisation numérique et outils de simulation en RV.

Une deuxième limite réside dans le manque de méthodologie de **l'utilisation des outils de RV** durant la visualisation des projets. En effet, Il ne faut pas dépendre d'une personne s'occupant de l'aspect informatique et des configurations d'affichage sur la plate forme. D'un autre côté, nous avons remarqué que **certains évaluateurs ne sont pas à l'aise sur la RV** en particulier et avec les outils numériques en général. Ceci peut s'expliquer par le manque du confort d'utilisation lorsqu'il y a plusieurs personnes sur la plate forme de réalité virtuelle. Cela peut être dû aux faits que **les mouvements rapides de l'image sont désagréables pour les utilisateurs** ou qu'ils ne sont pas habitués à se projeter dans la RV. Pour information, le traqueur « capteur du mouvement » de la main est le plus utilisé, cependant il manque de précision ce qui oblige l'utilisateur à reproduire plusieurs fois une manipulation pour réussir une action voulue.

La fonction d'application des critères esthétiques, et de l'aspect design est utilisée sur la plate forme de RV principalement pour faire choisir le client. Mais financièrement ce n'est pas intéressant d'allumer la plate forme juste pour permettre au designer de choisir la bonne forme, couleur, etc.

Enfin, les designers ont regretté de ne pas pouvoir prendre des notes en temps réel lorsqu'ils sont sur la plateforme pour éviter de revenir à chaque fois vers le format papier du questionnaire d'évaluation. En effet, Il y a un manque dû au fait de ne pas pouvoir toucher le produit (contact tactile) et améliorer le lien émotionnel avec le produit.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

7.CONCLUSION GENERALE

Cette thèse s'est intéressée à l'utilisation de la réalité virtuelle lors du processus de conception. Nous avons tout d'abord réalisé une étude bibliographique sur ce processus : de l'idée au produit final. Nous avons vu que ce processus implique la participation de plusieurs acteurs issus de domaines très divers (designers, ingénieurs, ergonomes, marqueteurs…). Ces acteurs manipulent tout au long de ce processus des objets d'aide à la conception, appelés aussi objets intermédiaires de conception. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement au designer. L'étude de la bibliographie, nous a permis de nous rendre compte du manque en termes de méthodologies permettant de positionner le rôle et l'intervention du designer tout au long du processus de conception. D'autre part, nous avons relevé que le métier de designer souffre d'un manque d'outils permettant d'apprécier l'aspect esthétique des produits conçus. Ces deux observations nous ont permis de proposer deux premières contributions. Tout d'abord, nous avons proposé un modèle permettant de positionner le designer durant les phases du processus et de déterminer ses tâches. Cette proposition est obtenue grâce à l'étude détaillée de chaque phase et la nature des compétences nécessaires à sa réalisation.

Ensuite, la deuxième contribution consiste à la proposition de dix critères esthétiques permettant d'évaluer l'aspect esthétiques d'un produit de manière rationnelle.

Ces deux contributions nous ont permis de cerner de manière originale le métier du designer. Nous avons souhaité explorer davantage les spécificités de ce métier. Nous avons trouvé que la pratique du métier de designer nécessite l'utilisation d'une « boîte à outils » composée par des outils traditionnels (dessin et maquette) et numériques (CAO : 3Ds max, Catia) de visualisation. Nous avons relevé les avantages et les limites de chacun de ces outils. En faisant des comparaisons par rapport à d'autres domaines (ingénierie, automobile, aéronautique), nous avons constaté que la réalité virtuelle peut palier aux limites de certains outils de la boîte à outil du designer. Cette constatation est également renforcée par le manque de bibliographie s'intéressant à l'apport de la réalité virtuelle dans le métier de design. Ceci nous amène à énoncer notre problématique de recherche qui consiste à se demander si la

réalité virtuelle peut servir comme outil de visualisation pour la création et la communication de l'objet en design.

Pour résoudre cette problématique, nous avons énoncé deux hypothèses :

H1 : « Par rapport à un outil T et N, la RV comme outil de visualisation influence la création et l'évaluation esthétique de l'objet. »

H2 : Lors de la communication de l'information visualisée avec les interlocuteurs du projet, la compréhension de la proposition de design est accrue avec la RV.

Pour valider la réalisation de ces hypothèses, nous avons mené deux séries d'expérimentations. La première dans un cas pédagogique, de laquelle nous avons observé l'outil et les projets des étudiants évaluer par des experts en design. La seconde série industrielle a été réalisé dans le cadre du programme européen « INTERREG III », où nous avons participé à la réalisation des projets réels. Nous avons testé leur compréhension auprès des interlocuteurs des projets, à savoir industriels, décideurs, utilisateurs et tous les autres acteurs de la conception (ergonomes, ingénieurs…).

Les designers et les interlocuteurs de projet ont jugé l'outil de la RV intéressant pour travailler avec l'objet architectural ou industriel. Avant notre proposition d'intégrer l'outil Design assisté par Réalité Virtuelle (DRV) dans « la boîte à outils », les designers ont utilisé le dessin, la maquette et la CAO pour concevoir, évaluer et communiquer l'objet. Cependant, ces derniers ont fait apparaître des insuffisances importantes, surtout celles liées à la l'échelle. La méthode DRV a été abordée comme une éventuelle solution aux problèmes des outils traditionnels et numériques. À la lumière des résultats, nous avons maintenant une idée plus claire sur l'utilité et l'influence qu'exerce la RV sur le processus de design. L'application de l'outil DRV en parallèle à l'outil Traditionnel et Numérique, nous a permis de nous rendre compte de deux constations principales. Premièrement, nous avons pu soulever des problèmes liés à l'outil de visualisation quels qu'il soit (y compris la RV). Deuxièmement, nous avons pu dégager plusieurs perspectives et ouvrir de nouvelles portes de recherche sur la visualisation avec la RV en design.

Ce travail a apporté de l'information nouvelle sur des phénomènes touchant la création et la communication à l'aide des outils T, N et V. L'utilité et la limite de chaque outil a été établie, tout en montrant la spécificité de chacun dans le processus de design. Des techniques et des méthodes de travail doivent être proposées pour aider le designer dans sa tâche de design. Enfin, nous pensons qu'il est possible d'améliorer la pratique du métier du designer, d'un coté, et la manière dont il est enseigné, d'un autre coté. Ces améliorations s'ajoutent aux compétences et aux capacités de l'esprit du designer qui reste en fin de compte le manipulateur de l'outil.

8.PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Il s'agit au cours de ce paragraphe de présenter nos perspectives de recherche, qui s'inscrivent essentiellement dans le cadre de problématique d'intégration de la réalité virtuelle dans le design de produits nouveaux.

Dans le cadre de notre recherche, une des perspectives de recherche consiste tout d'abord en une phase de validation et de généralisation de la méthodologie DRV et des outils traditionnels et numériques à travers différents cas industriels concrets pouvant intégrer l'ensemble des activités de designer en RV que nous avons introduit. Ce type de projets serait notamment l'occasion de définir des indicateurs objectifs capables de quantifier l'apport des outils de RV vis-à-vis des outils traditionnels et numériques dans le processus de conception en termes de temps et de coût.

Malgré plusieurs applications[68] développées au sein de l'équipe ERCOS pour naviguer et manipuler le projet dans l'environnement virtuel, nous pensons qu'il reste encore de

[68] **Le gizmo :** est une interface qui permet de faire zoomer et de faire tourner un produit suivant différents axes en utilisant le traquer de main.

Trottinette de balade virtuelle : Cette interface permet à l'utilisateur de se promener à l'aide d'une trottinette dans l'espace virtuel. L'outil d'interaction utilisé est le système bâton et traqueur main. En appuyant sur un bouton donné, l'utilisateur fait apparaître une carte de l'endroit à visiter avec la possibilité de se transporter vers d'autre endroit en appuyant sur d'autre zone de la carte. Nous avons utilisé cette interface pour les projets à grande surface, tel que le parc Près la Rose.

La palette de couleur interactive : Grâce à un traqueur de main, l'utilisateur choisit une couleur sur la palette. La modification s'applique en temps réel sur le produit.

nombreuses pistes à développer. Nous considérons que les designers doivent participer au développement de leurs propres outils pour répondre aux mieux aux demandes. Car, la plupart des systèmes proposés aujourd'hui, ne tiennent pas compte de la façon dont les designers travaillent effectivement.

Les résultats de nos travaux de recherche montrent que la « boîte à outils » du designer se compose de trois techniques : Traditionnelle, (dessin et maquette), Numérique (CAO) et virtuelle (DRV). Notre approche pour l'avenir, sera de fusionner la rapidité du dessin et la performance de la CAO dans un milieu virtuel. Nous proposons de développer un modeleur 3d virtuel qui permet au designer de faire son croquis dans l'univers virtuel et de l'exploiter en temps réel, tout en utilisant ses capacités manuelles.

Nous avons vu que notre méthode DRV est utilisée pour présenter et valider les concepts plutôt que pour les concevoir. Ce manque nous amène à explorer une nouvelle piste de recherche pour mieux adapter le DRV au métier du designer, et de permettre au designer non seulement de visualiser virtuellement à l'échelle le produit mais aussi, d'interagir avec ce dernier.

D'un point de vue plus global sur nos futurs travaux de recherche, nous proposons de réfléchir sur une nouvelle approche permettant au designer d'améliorer l'interaction avec le produit à concevoir. Cette approche s'appuie sur différentes interfaces virtuelles associées à chacun de nos dix critères esthétiques (ligne, forme, espace, couleur et texture, l'équilibre, le rythme, la proportion, l'ordonnancement des éléments, l'unité). L'interface devra permettre une modification des propriétés des critères. Le designer sera capable de sélectionner, évaluer, modifier et valider en temps réel, sans l'obligation de revenir vers la CAO Figure 76.

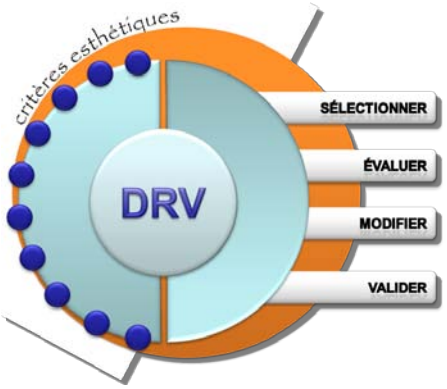


Figure 76 : Modèle Design Assisté par Réalité Virtuelle (DRV) présentant l'ensemble des activités de design en RV.

Nous considérons que notre méthode ne se limite pas au design mais elle est applicable à toutes les disciplines de conception y compris l'architecture.

Enfin, ce travail a apporté de l'information nouvelle sur des phénomènes touchant la création et la communication à l'aide des outils T, N et V. L'utilité et la limite de chaque outil a été établie, tout en montrant la spécificité de chacun dans le processus de design. Des techniques et des méthodes de travail doivent être proposées pour aider le designer dans sa tâche de design. Nous pensons qu'il est possible d'améliorer la pratique du métier du designer, d'un coté, et la manière dont il est enseigné, d'un autre coté. Ces améliorations s'ajoutent aux compétences et aux capacités de l'esprit du designer qui reste en fin de compte le manipulateur de l'outil.

RÉFÉRENCES

Abadi Abbo, I. (1996). "*Effectiveness of Models*." dans les actes de la conférence Full-Scale Modeling in the Age of Virtual Reality.

Aboudrar, B. N. (2000). *Nous n'irons plus au musée*. Editions Alto Aubier, Paris.

Ahmed, A. M. (2005). La 3D interactive en temps réel comme aide à l'acquisition des connaissances spatiales: étude de l'influence du mode d'exploration. Mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture, Faculté des études supérieures de l'Université Laval. QUÉBEC.

Akin, O. (1986). "*An exploration of the design process*." In Developments in Design Methodology(New-York: Wiley): 189-208.

Alluisi, E. A. (1960). "*On the Use of Information Measures in Studies of form Perception*." Perceptual and Motor Skills **11**: 195-203.

Aoki, H., T. Suzuki and Y. Matsuoka (1985). "*Study on Correspondence between Sensory and Physical Properties of materials (II) – Comparison of natural and substitute leather for hand*." Bulletin of JSSD **53**: 43-48.

Aoussat, A. (1990). *La pertinence en innovation: nécessité d'une approche plurielle*. Thèse de doctorat. ENSAM, Paris.

Aoussat, A., H. Christofol and M. Le Coq (2000). "The new product design: a transverse approach." Journal Engineering Design **11**(4): 399-417.

Aoussat, A. and M. Le Coq (1998). "*Méthodes globales de conception de produits, In Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils, sous la direction de Tollenaere*." Editions HERMES: 53-76.

Attneave, F. and M. D. Arnoult (1956). "*The Quantitative Study of Shape and Pattern Perception*." Psychological Bulletin **53**(6): 452.

Bakker, C. (1995). Environmental information for industrial designers. Thèse de doctorat, Delft University of Technology. Delft, Pays-Bas.

Bascoul, C. (1999). *Pour une conception mécanique assistée par ordinateur*. Dans les actes du 4ème colloque sur la conception mécanique intégrée, PRIMECA, La Plagne.

Beguin, P. (1997). La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir. Collection Colloques, OCTARES Editions, 137p.

Behrens, R. R. (1998). "*Art, Design and Gestalt Theory*." Leonardo **31**(4): 299-2003.

Bellizi, J. A., A. E. Crowley and R. W. Hasty (1989). "*The Effects of Color in Store Design*." Journal of Retailing **59**: 21-45.

Bellizi, J. A. and R. Hite (1992). "*Environmental Color, Consumer Feelings, and Purchase Likelihood*." Psychology and Marketing **9**(5): 347–363.

Berlyne, D. E. (1974). *Studies in the New Experimental Aesthetics*, Washington DC: Hemisphere.

Bertol, D. (1997). *Designing digital space: an architect's guide to virtual reality*. New York : Wiley.

Blanco, E. and M. Gardoni (2001). *Supporting Non-Structured Graphical Information in Integrated Design Team*. in Internationnal Conference on Engineering Design ICED 01. P.11-17, Glasgow.

Blanco, E., O. Garro, D. Brissaud and A. Jeantet (1996). "*Intermediary object in the context of distributed design*." CESA Computational Engineering in systems applications. Lille: Ieee-smc.

Bloch, P. H. (1995). "*Seeking the Ideal Form: Product Design and Consumer Response*." Journal of Marketing **59**: 16–29.

Bloch, P. H., F. F. Brunel and T. J. Arnold (2003). "*Individual Differences in the Centrality of Visual Product Aesthetics: Concept and Measurement*." Journal of Consumer Research **29**: 551–565.

Bocquet, J. C. (1998). Ingénierie simultanée, conception intégrée. Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils s. l. d. d. T. M. **Editions HERMES:** 29-53.

Boly, V. (2004). *Ingénierie de l'innovation*, Hermès Sciences publications.

Bonnardel, N. (1992). Le rôle de l'évaluation dans les activités de conception. Thèse de doctorat de psychologie cognitive de l'université d'Aix en Provence. Aix en Provence.

Bonnardel, N. and M. Rech (1997). *Les objets, sources d'inspiration dans les activités de conception*. In proceedings of les objets en conception, 01Design'97: 57-71.

Bordegoni, M. and U. Cugini (2005). "*Create Free-form Digital Shapes with Hands*." Dans les actes de la conférence 3rd international conference on computer graphics and interactive techniques in Australia and South East Asia GRAPHITE'05, pp. 429-432.

Borja de Mozota, B. (2000). *Design Management*. Paris : Editions d'Organisation.

Bosselmann, P. (1992). *Visual simulation in urban design*. Berkeley: Université de Californie.

Bouchard, C. (1997). Modélisation du processus de conception automobile. Méthode de veille appliquée à la conception mécanique des formes du composant d'aspect. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers LCPI. Paris.

Boujut, J.-F. and E. Blanco (2003). "*Intermediary objects as a means to foster co-operation*." Dans les actes de la conférence Engineering design, Journal of computer supported collaborative work **12**(2): 205-219.

Boujut, J. F. (2001). "*Instrumenter la coopération en conception: exemple d'un outil de synthèse de points de vues en phase amont des projets*." Dans les actes du 10eme ATELIER DU TRAVAIL HUMAIN. Modéliser les activités coopératives de conception, (Coord. F.Darses) INRIA Rocquencourt, Paris: 111-128.

Boujut, J. F. and E. Blanco (2002). "Intermediary Objects as a Means to Foster Co-operation in Engineering Design." Journal of computer supported collaborative **work 12**.

Bowman, D. A. (2002). *3D User Interface Design for Virtual Environments*. [En Ligne]. http://courses.cs.vt.edu/~cs5754/lectures/3DUIs.pdf.

Bowman, D. A., E. T. Davis, L. F. Hodges and A. N. Badre (1999). "*Maintaining spatial orientation during travel in an immersive virtual environment*." Teleoperators and Virtual Environments **8**(6): 618-631.

Brassac, C. and N. Gregorie (2001). "*Situated and Distributed Design of a Computer Teaching Device*." Journal of Design Sciences and Technology **8**(2): 11-31.

Breton, J. (1996). *Les facteurs de réussite commerciale d'un nouveau produit*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieur d'Arts et Métiers. Paris.

Brezet, J. C. and C. Van Hemel (1994). *Product development with the environment as innovation strategy – The PROMISE approach*. Delft, Pays-Bas, Delft University of Technology Report.

Brime (1997). *L'ingénierie centrée sur l'homme ou la prise en compte des facteurs humains dès les premières phases de la conception*. Paris, Ministère de l'industrie, de la poste et des Télécom, Direction Générale des Stratégies Industrielles, 138 P.

Brissaud, D. and O. Garro (1998). Conception distribuée, émergence. Conception de produits mécaniques, méthodes, modèles et outils (sous la direction de M. Tollenaere), Editions Hermès, p105-114.

Buaud, A., B. Roussel, D. Burger and D. Archambault (2001). "Les enjeux de l'ergonomie pour la conception d'interfaces adaptées aux personnes handicapées visuelles." CONFERE – 8ème Edition, Marrakech.

Cadoz, C. (1994). *Les réalités virtuelles*. Paris : Dominos-Flammarion.

Chandrasekaran, B. (1999). *Multimodal Perceptual Representations and Design Problem Solving*. Visual and spatial reasoning in design: Comutational and cognitive approaches, MIT, Cambridge, USA.

Charron, F. and D. Proulx (1998). *GMC 156 Méthodologie de la conception*, Département de génie mécanique, Université de Sherbrooke, P.13.

Chedmail, P., B. Maille and E. Ramstein (2002). "Etat de l'art sur l'accessibilité et l'étude de l'ergonomie en réalité virtuelle." Mécaniques et industries **3**: 147-152.

Chéné, E. (2003). *Développement d'une méthode et d'outils d'aide à la décision en ingénierie concourante étendue, intégrant le prototypage virtuel en conception de produits*. Angers, Thèse de doctorat, Université d'Angers.

Chitescu, C., J. C. Sagot and S. Gomes (2003). Favoriser l'articulation "ergonomie-conception de produits" à l'aide de mannequins numériques. Dans les actes de la conférence 10eme Séminaire CONFERE (Collège d'Etudes et de Recherches en Design et Conception de Produits) sur l'Innovation et la Conception, Belfort, France, 3-4 juillet, 10p.

Christofol, H. (*1995*). *Modélisation systémique du processus de conception de la coloration d'un produit*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers LCPI. Paris.

Christofol, H. and A. Findeli (1994). "*Couleur et produit : organisation de la définition chromatique d'un produit au cours de son processus de conception*." Design recherche revue **5**: 17-29.

Corbusier, L. (1968). Le dessin comme outil, éditions FAGE, musée des beaux arts de Nancy 2006-2007. ISBN: 978 2 84975 082 7.

Cross, N. (2002). *Comprendre la pensée du concepteur*, Dans Mario Borillo et Jean-Pierre Goulette, éditeurs. Cognition et création : explorations cognitives des processus de conception, chapitre 1. Mardaga, Bruxelles.

Cruz-Neira, C. (1993). "*Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the CAVE*." ACM Computer Graphics **27**(2): 135-142.

D'Astous, F. (2000). *guide de réalisation de questionnaire et de sondage*. 2000, Paris.

Darken, R. P. and J. Petterson (2002). "*Spatial Orientation and Wayfinding in Large-Scale Virtual Spaces II*." Presence **8**(6).

Davidson, J. and D. Campbell (1996). *Collaborative Design in Virtual Space - GreenSpace II: A Shared Environment for Architectural Design Review*. Actes de la conférence ACADIA. Design Computation: Collaboration, Reasoning, Pedagogy. Tucson (Arizona / USA). [En Ligne]. http://www.hitl.washington.edu/vrml/greenspace/index.html.

Day, M. (2004). Architect Frank Gehry Finds CAD a Boon to Art and Business, CAD Digest, 23 Février 2004. http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/022304_day_gehry.htm.

Déribéré, M. (1996). *La couleur*. Que Sais-je?, Paris: P.U.F.

Divard, R. and B. Urien (2001). "*Le consommateur vit dans un monde en couleurs*." Recherche et Applications en Marketing **16**(1): 3-24.

Dorta, T. V. (2001). *l'influence de la réalité virtuelle non-immersive comme outil de visualisation sur le processus de design* Thèse de doctorat de la faculté de l'ménagement Canada, Université de Montréal.

Duchamp, R. (1988). *La Conception de produits nouveaux*. Paris, Hermès**:** 60.

Duchamp, R. (1999). *Méthodes de conception de produits nouveaux*. Paris, HERMES Science Publications**:** 191-192.

Dufrenne, M. (1953). *Phénoménologie de l'expérience esthétique*. « Epiméthée », t1, Paris, eds. PUF.

Dumas, C. (2000). Un modéle d'interaction 3D: Interaction homme-machine et hommemachine-homme dans les interfaces 3D pour le TCAO (Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur) synchrone. Thése de Doctorat. Université de Lille.

Dumouchel, D. (1999). *Kant et la genèse de la subjectivité esthétique. Esthétique et philosophie avant la Critique de la faculté de juger*. Paris, Vrin, ISBN 2-7116-1414-X.

Duncan, T. J. and J. M. Vance (2007). "*Development of a Virtual Environment for Interactive Interrogation of Computational Mixing Data*." Journal of Mechanical Design, Vol. **129**: 361-367.

El hami, A. and P. Minotti (2004). "Design and modelling of a linear piezoelecrique travelling wave motor." International Journal of Design and Innovation Recherch.

Ertas, A. and J. J.C (1994). The engineering design process. Jouhn Wiley & sons Ed

J. W. s. Ed. Texas, USA.

Fadier, E. (1998). "L'intégration des facteurs humains à la conception. Travaux actuels et perspectives de recherches." Phoebus - la revue de la sûreté de fonctionnement **numéro special**.

Fischer, X. and N. Troussier (2004). "*La réalité virtuelle pour une conception centre sur l'utilisateur*." Mécaniques et industries 5, pp.147-159.

Flocon, A. and R. Taton (1994). *La perspective*, 6ème édition corrigée, Presses Universitaires de France, Collection Que Sais-je ?, ISBN2.13.043237.9.

Fodor, J. A. (1983). "*The Modularity of Mind: an essay in Faculty Psychology*." Cambridge, Mass, collection MIT Press.

Fuchs, J., G. Moreau and J. P. Papin (2001). *Le traité de la réalité virtuelle*. Nantes : Les Presses de l'Ecole des Mines.

Fuchs, P. (1996). Les interfaces de la réalité virtuelle. Les presses de l'école des mines de Paris. ISBN 2-9509954-0-3.

Fuchs, P. and G. Moreau (2006). *Le traité de la réalité virtuelle*. Presse de l'Ecole des Mines, Seconde Edition.

Furness, T. (1987). Designing in Virtual Space, pp 127-143. dans Rouse, William B.; Boff, Kenneth R. (Eds.) System Design: Behavioral Perspectives on Designers, Tools, and Organization, North-Holland, New York.

Genette, G. (1997). *L'oeuvre de l'art : la relation esthétique*. Paris, eds.du Seuil.

Gerard, M. (2000). *Contribution du Design à la conception de gammes de produits en PMI PME du secteur des biens de consommation : Modélisation d'un outil de prévisualisation de Design de gamme*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers LCPI. Paris.

Gerber, D. (2004). *Interaction 3D sur un plan de travail virtuel : Application aux déformations de forme libre*. Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection UMR 7005 CNRS-ULP. Strasbourg.

Gerhald, P. and B. Wolfgang (1988). "*A Systematic Approach*." Engineering design **Springer-Verlag**(The Design Council, London, United Kingdom).

Gero, J. S. (2002). "*Computational models of creative designing based on situated cognition*." In T Hewett and T Kavanagh (eds), Creativity and Cognition 2002, ACM Press, New York, NY, pp. 3-10.

Giard, V. and C. Midler (1993). *pilotages de projets et entreprises* ED. Economica. Paris.

Godjo, T., C. Marouzé, J. F. Boujut and F. Giroux (2003). "*Analysis of the intermediary objects involved in the design of food processing equipment in developing countries. The case of a peanut processing plant in Benin*." in CIRP Design seminar. Grenoble.

Goël, V. (1995). "*Sketches of Thought*." The MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Gombrich, E. (1987). *Réflexions sur l'histoire de l'art*. Nîmes, eds. Jacqueline Chambon (réédition, 1992).

Gomes, S. (1999). Contribution de l'analyse de l'activité au processus de conception de produits innovants. Application à la conception de systèmes de contrôle - commande automobiles. Thèse de doctorat, Génie Industriel, INPL, ENSGSI. Nancy**:** 221.

Gomes, S. (2008). Ingénierie à base de connaiccances pour une conception, productive, optimisée, collaborative et innovante du système Projet-Produit-Process-Usage. Habilitation à diriger des recherches, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

Gomes, S. and J. C. Sagot (2001). "*Vers une chaîne XAO intégrée pour une conception centrée sur l'homme – Contribution des documents numériques*." Document numérique. Espaces numériques d'information et de coopération, Hermès Science Publication **5**(3-4): 135-154.

Goodman, N. (1968). *Langage de l'art*. trad.fr. de Jacques Morizot, Nîmes, eds. Jacqueline Chambon, 1990.

Graves, M. (1977). "*The necessity for drawings: tangible speculation*." Architectural Design **6**: 384-394.

Grégori, N., E. Blanco, C. Brassac and O. Garro (1998). "Analyse de la distribution en conception par la dynamique des objets intermédiaires." in Les objets dans la conception, éd. par B. TROUSSE, K. ZREIK. Paris: Europia: 135-154.

Gregory, N., E. Blanco, C. Brassac and O. Garro (1997). "*Analyse de la distribution en conception par la dynamique des objets intermédiaires*." In proceedings of les objets en conception **01Design'97**: 135-154.

Grenier, B. (1989). "*Méthodologie du développement industriel d'un produit*." Techniques de l'ingénieur, **T100_01**: http://www.techniques-ingenieur.fr/dossier/methodologie_du_developpement_industriel_d_un_produit/T100_101_1989.

Gronier, G. (2004). Analyse des activités coopératives de conception en présence et assistées par un collecticiel. Thèse de Doctorat Langage, espaces Temps, Sociétés, UFR des Sciences de l'Homme et de la Société, Besançon.

Grosjean, J. C. (2000). Ergonomie et prévention en conception des situations de travail, Cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail – N° 179, 2e trimestre, pp. 31-48.

Gross, M. and E. Do (1996). "*Ambiguous Intentions: a Paper-like Interface for Creative Design*." dans les actes de la conférence UIST 96, ACM. Seattle: 183-192.

Hakkarainen, P. S. and K. Hakkarainen (2000). "*Visualization and sketching in the design process*." Design Journal **3**(1).

Hall, T. (1988). "Computer Visualization for Design and Control." dans The Planner **74**(10): 21-25.

Heath, C. and M. Rownd (2008). *The American Marketing Association Releases New Definition for Marketing Industry authority recasts role of marketing as an educational process and recognizes role of non-marketers for the first time*. Chicago, American Marketing Association, 542-9088.

Hebert, D. (1993). *Architectural Study Drawings*, Van Nostrand Reinhold, New York.

Hetzel, P. (1996). "Les entreprises face aux nouvelles normes de consommation." Revue Française de Gestion **110**: 70-82.

Hirschman, E. C. and M. B. Holbrook (1982). "*Hedonic Consumption : Emerging Concepts, Methods and Propositions*." Journal of Marketing **46**: 92-101.

Holbrook, M. B. and R. B. Zirlin (1985). "*Artistic Creation, Artworks and Aesthetic Appreciation*." Advances in Non-profit Marketing **1**: 1-54.

Hsu, S., M. Chuang and C. Chang (2000). "*A semantic differential study of designers' and users' product form perception*." International Journal of Industrial Ergonomics **25**: 375-391.

Hubka, V., M. Andreasen and E. Eder (1998). Pratical studies in systematic design. Butterworth & co. publisher. London.

Hubka, V. and W. Ernst Eder (1996). "*Design science: introduction to the needs, scope and organization of engineering design knowledge*." (London ; Berlin ; Heidelberg ; etc.): 251.

Huot, S. (2005). *Une nouvelle approche pour la conception créative : De l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard*. Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, l'École Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Nantes.

Huriet, C. (1998). *Images de synthèse et monde virtuel : techniques et enjeux de société*. Rapport d'information. [En Ligne]. http://www.senat.fr/rap/o97-169/o97-169.html.

Jagou, P. (1993). « Concurrent Engineering – La maîtrise des coûts, des délais et de la qualité », collection Systèmes d'Information, Editions Hermès Paris.

Jeantet, A. (1998). "Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception." Sociologie du travail **3**: 291-316.

Jeantet, A., H. Tiger, D. Vinck and S. Tichkiewitch (1996). "La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit." In Coopération et Conception **Edition Octares**: 90-100.

Johansson, P. (2004). On the use of visualization tools in product design. Licentiate Thesis No 878, Linköping, Sweden.

Jones, J. C. (1966). "*Design Methods reviewed in the design, dans The Design Methods. S.A. Gregory* ed. London: Butterworths."

Jouineau, C. (1993). Analyse de la valeur, Techniques de l'ingénieur, Traité Conception des produits industriels. AG6, Paris,

.

Juffe, M. (2000). L'art de communiquer, collection Janus ISBN 2.8257.0717.1

Kant, E. (1790). *Critique de la faculté de juger*. Paris, PUF, trad.fr. de Picavet, 1966.

Kattan, A. (2004). *l'intérêt d'intégration de la réalité virtuelle dans le processus de conception industrielle et architecturale*. DEA « Génie des systèmes indutriels », Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), Nancy.

Kattan, A., P. Truchot and B. Roussel (2006). *La réalité virtuelle au service des designers, application à l'objet architectural* 13ème Colloque CONFERE, Marrakech, Maroc.

Kavakli, M., M. Suwa, J. S. Gero and T. Purcell (1999). "*Sketching interpretation in novice and expert designers*." pp. 209-220. dans Gero, J. S.; Tversky B. (Eds.), Visual and Spatial Reasoning in Design, Key Centre of Design Computing and Cognition, Université de Sydney, Australie.

Keoleian, G. A., A. Gregory and D. Menerey (1995). *Life cycle design guidance manual: environmental requirements and the product system*. EPA Report n°600/R-92/226.

Khoudeir, R. (2007). *L'amélioration de l'habitabilité automobile de demain: L'application des principes de la construction architecturale de la maison dans la conception de l'habitacle des concept-cars*. Thèse de doctorat en génie industriel de l'ENSGSI-INPL. Nancy.

Klercker, J. (1995). "*Architects early sketching on computer Multimedia*." dans les actes de la conférence 1 3th European Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe (ECAADE 95).

Kosslyn, S. M. (1983). *Ghosts in the mind's machine : creating and using images in the brain*. (1st ed.). New York: Norton.

Krafft, U. (2004). "*La matérialité de la production écrite. Les objets intermédiaires dans la rédaction coopérative de Paulo et Maïté*." Miméo.

Krippendorff, K. and R. Butter (1984). "*Product semantics: Exploring the symbolic qualities of form*." The Journal of the Industrial Designers Society of America **Spring**: 4-9.

Kruijff, E. (1998). *Moving Sketches: designing and communicating preliminary design ideas*. mémoire de maîtrise, Utrecht University, The Netherlands.

Kwallek, N., C. M. Lewis and A. S. Robbin (1988). "*Effects of Office Interior Color on Workers' Mood and Productivity*." Perceptual and Motor Skills **66**(1): 123–128.

L'Hegarat, C. (1996). *Proposition d'intégration de l'image de synthèse dans le processus de conception de produits*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers LCPI. Paris.

Lacoste, J. (1986). *L'idée du Beau*. Paris. 978-2040166175, Bordas.

Lalande, P. and T. Dorta (1998). *La classification de modèles en Design industriel*. dans ACFAS'98, Québec.

Landais, N. (1846). Dictionnaire général et grammatical extrait et complémént de tous les dictionnaires anciens et modernes les plus célèbres. Paris, Neuvième édition, 2 Tomes, libraire Editeur Didier.

Langendorf, R. (1992). "*The 1990's: Information Systems and Computer Visualization for Urban Design*." Planing, and Management, dans Environment and Planning B: Planning and Design **19**: 723-738.

Lardon, S., P. Maurel and V. Piveteau (2001). *Représentations spatiales et développement territorial*. Paris, Hermes.

Laureillard, P., J. F. Boujut and A. Jeantet (1997). "*Conception intégrée et entités de coopération*." in Les objets en conception, Actes de 01DESIGN'97. Théoule-sur-mer: Hermes: 105-119.

Laureillard, P. and D. Vinck (1999). "*Les représentations graphiques. Leur rôle dans la coopération entre métiers*." in VINCK, D., (dir.). 1999. Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation. Grenoble: PUG: 165-179.

Lavoisy, O. and D. Vinck (2000). "*Le dessin comme objet intermédiaire de l'entreprise*." in DELCHAMBRE, P. (dir.), Communications organisationnelles. Objets, pratiques et dispositifs, Presses Universitaires de Rennes.: 47-63

Layton, J. and T. Edwin (1976). "*American Ideologies of Science and Engineering Technology & Culture*." **17**: 688-701.

Le coq, M. (1992). *approche intégrative en conception de produits*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

Lebahar, J.-C. (1987). *Eléments de design industriel*. Paris, Hermès 215.

Lebahar, J. C. (1983). *Le dessin d'architecte, Simulation graphique et réduction d'incertitude*, Éditions Parenthèses, Roquevaire.

Lécaille, P. (2003). *La trace habilitée*. Thèse de doctorat en génie industriel, INPG-UPMF. Grenoble.

Leclercq, P. and R. Juchmes (2002). "*The Absent Interface in Design Engineering. Artificial Intelligence for Engineering Design*." Analysis and Manufacturing, AIEDAM Special Issue : Humancomputer Interaction in Engineering Contexts **16**(3): 219-227.

Leclercq, P., G. Martin, C. Deshayes and F. Guena *Vers une interface multimodale pour une assistance à la conception architecturale*. Dans Actes de la 16ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine. IHM 2004, pages 109-116. Namur, Belgique, Août-Septembre 2004. AFIHM, ACM Press, New York, NY, USA.

Lemoigne, J.-L. and B. Ancori (1992). *Apprendre, se souvenir, décider : une nouvelle rationalité de l'organisation*. Paris, CNRS**:** 255.

Lim, D. (2003). *Modélisation du processus de conception centrée utilisateur, basée sur l'intégration des méthodes et outils de l'ergonomie cognitive : Application à la conception d'IHM pour la télévision interactive*. Thèse, Arts et Métiers. Paris, ENSAM.

Lipovetsky, S. and F. A. Lootsma (2000). "*Generalized golden sections, repeated bisections and aesthetic pleasure*." European Journal of Operational Research **121**: 213-216.

Lockard, W. (1973). *Design Drawing Experience*, Pepper Publishing, Tucson.

Loewy, R. (1963). *La laideur se vend mal*. Paris, Editions Gallimard.

Lonchampt, P. (2004). Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : modèle et support de l'activité de conception. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.

Lorenz, C. (1990). *La Dimension design : atout concurrentiel décisif* trad. Par Liliane Charrier ; préf. de Tom Peters. les Edition d'Organisation, 203p. Paris.

Macdonald, A. S. (2001). "*Aesthetic intelligence: optimizing user-centered design*." Journal of Engineering Design **12**(1): 37-45.

Magnard, A. (2002). Design : Des produits pensés en besoins et désirs, SCIENCE &VIE, Edition spéciale « Automobile2002-2010 ».

Mahdjoub, M. (2007). *La réalité virtuelle pour une conception de systèmes mécaniques centrée sur l'utilisateur* Thèse de doctorat de l'UTBM. Belfort et Montbéliard.

Maher, M. L., A. Cicognani and S. Simmof (2000). "*Understanding Virtual Design Studio*." London: Springer-Verlag.

Maître, P., J.-D. Miquel, P. Brenet and P. Caseau (1992). De l'idée au produit : guide de la valorisation industrielle de la recherche. Paris, Eyrolles**:** 216.

Mantelet, F. (2006). *Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

Markus, T. A. (1969). The role of building performance and appraisal in design method, dans Design Methods in Architecture, Broadbent, Geoffrey; Ward, Anthony. George Wittenborn, New York.

Marr, D. and H. K. Nishihara (1977). "*Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three Dimensional Shapes*." Proceedings of the Royal Society of London **207**: 187-217.

Marshall, T. B. (1992). The Computer as a Graphic Medium in Conceptual Design. dans les actes de la conférence Kensek, Dans K., Noble, Douglas (Eds.). Computer support design in architecture, Mission, Method, Madness ACADIA'92, Californie.

Marsot, J. (2002). Conception et Ergonomie. Méthodes et Outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à main, Note scientifique et technique n° 219, INRS**:** 69.

Marsot, J. and L. Claudon (2004). "*Design and Ergonomics. Methods for Integrating Ergonomics at Hand Tool Design Stage*." International Journal of Occupational Safety and Ergonomics **10**(1): 13-23.

Mathieu, J. P. and M. Le Ray (2002). *The Influence of Privileged Angles and Remarkable Proportions Shapes, and their Relevance for Marketing and Products Design*. The 11th International Forum on design Management Research & Education, June, Northeastern University, Boston, Massachussettes.

Maurel, J. Y. (1992). *Stratégie et méthodologie de conception*. Paris.

Maxant, O. (2004). *La collaboration interdisciplinaire et la contextualisation par l'usage dans la création et l'évaluation amont d'offres innovantes : application au domaine de l'énergie domestique*. Thèse de doctorat. Laboratoire ERPI. ENSGSI. INPL. Nancy.

McCall, R., E. Johnson and M. Smith (1997). *Hypersketch: design as creating a graphical hyperdocument*. dans les actes de la conférence 7th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures (CAAD Futures 97), Kluwer Academic publisher.

McKim, R. H. (1980). "*Thinking Visually: A Strategy Manual for Problem Solving*." Lifetime Learning Publications, Belmont, Californie.

Meinders, H. (1997). Point of no return, Philips EcoDesign guidelines.

Mer, S. (2004). Processus de conception de produit : Expérimentation du concept d'"objet intermédiaire" dans la conception. Mémoire de DEA, Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel. Grenoble.

Mer, S., A. Jeantet and S. Tichkiewitch (1995). "*Les objets intermédiaires de la conception*." in Le communicationnel pour concevoir, éd. par J. CAELEN, K. ZREIK. Paris: Europia: 21-41.

Midler, C. (1997). Evolution des modèles d'organisation et régulations économiques de la conception, Annales des mines.

Minel, S. (2003). *Démarche de conception collaborative et proposition d'outils de transfert de données métier : Application à un produit mécanique "le siège automobile"*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers LCPI Paris. (En ligne) http://pastel.paristech.org/archive/00000672/01/these-minel.pdf.

Monroy-Leon, C. (2004). *Mise en place de la qualité dans les laboratoires de biologie clinique*. Thèse de Doctorat en Génie industriel, École doctorale Organisation Industrielle et Systèmes de Production, Institut National Polytechnique et Université P.Mendès-France. Grenoble.

Mu, G. (1992). Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image, La couleur des idées, Seuil, ISBN 2.02.012985.X.

Norman, D. A. (2004). "*Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things*, NY: Basic Books."

Osberg, K. M. (1997). *Spatial Cognition in the Virtual Environment*, rapport de recherche R-97-18 du «!Human Interface Technology Lab ». Université de Washington.

Pahl, G. and W. Beitz (1999). "A systematic Approach." Engineering Design **Springer-Verlag London Limited**: 546.

Palmer, S. E. (1990). "*Modern Theories of Gestalt Perception*." Mind & Language **5**(4): 289-323.

Parise, R. (1997). *les processus d'appropriation de l'outil : hypothèse sur le rôle du collectif de travail, Cas d'outils d'ingénierie de conception*. Thèse de doctorat Université de Toulouse Le Mirial. Toulouse.

Pernin, F. (2006). *Petite philosophie du shopping*. Cahors, Editions Milan.

Perrin-Bruneau, F. (2005). *Proposition d'une démarche d'intégration de nouvelles méthodes en conception : éléments pour la définition du rôle de l'intégrateur des « méthodes »*. Thèse de doctorat de l'ENSAM, 185p. Paris.

Perrin, J. (2001). Concevoir l'innovation industrielle. Méthodologie de conception de l'innovation. Paris, CNRS Edition**:** 166.

Perrin, J. (2001). "Concevoir l'innovation industrielle. Méthodologie de conception de l'innovation." CNRS Editions, Paris, 166 p.

Petiot, J. F. (2004). *Conception intégrée orientée client Processus, méthodes et outils*. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. Nantes**:** 64.

Petit, O. (2006). *La réalité virtuelle au service de la conception d'un véhicule*, Conférence SIA – « La réalité virtuelle aujourd'hui dans l'automobile, applications dans la conception produit/process ». ADN – PSA Peugeot-Citroën Velizy.

Petitdemange, C. (1985). La maîtrise de la valeur, AFNOR, Paris.

Plommet, S. (2000). *Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle*. 46 pages, support de cours DEA CPI.

Porada, P. (1994). *Au carrefour des arts et des sciences, création spatiale en image de Synthèse*. Vettraino-Soulard (collogue), Paris.

Porter, T. (1979). *How architects visualize*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Psotka, J. (1995). *Exploring immersion in virtual reality*. New York: SIG-Advanced Applications.

Qualls, W. J. and J. A. Rosa (1995). "*Assessing Industrial Buyers' Perceptions of quality and their Effects on Satisfaction*." Industrial Marketing Management **24**: 359-368.

Quarante, D. (1994). *Eléments de design industriel*, Economica; Édition : 2e éd

Quarante, D. (2001). *Eléments de design industriel* ; préf… Guy Daniellou. – 3e éd.. Paris, Polytechnica.

Queau, P. (2000). La planète des esprits : pour une politique du cyberespace. Paris : O. Jacob.

Ramzi, M. K. (2003). *Intégration des factures culturelles dans la conception du mobilier*. Thèse de doctorat de l'INPL. Nancy.

Rea, L. and R. Parker (1997). *Desining and conduting survez research*. A comprehensive guide, 2nd ed. San Francisco, Jossez-Bass.

Richir, S. (2003). les téchnologies de la réalité virtuelle pour la conception de produits. mémoire d'Habilitation à diriger des recherches, Angers.

Rodenacker, W. G. (1970). Methodisches Konstruieren. Berlin, In [Mantelet, 2006] Mantelet F. (2006) « Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits. Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

Roulin, J. L. (1998). *Psychologie Cognitive*. Bréal.

Roussel, B. (1996). *Ergonomie en conception de produits : Proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solutions ergonomiques dans le processus interdisciplinaire de conception de produits*. Thèse de doctorat en génie industriel, sciences des systèmes et des produits industriels, ENSAM. Paris.

Sagot, J. C. (1999). Ergonomie et conception anthropocentrée. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. Nancy**:** 267.

Sagot, J. C., V. Gouin and S. Gomes (2003). "Ergonomics in product design: safety factor." Safety Science, Volume 41, Issues 2-3, pp.137-154.

Sagot, J. C., V. Gouin and S. Gomes (2003). "Ergonomics in product design: safety factor." Safety Science **41**(2-3): 137-154.

Samuels, M. and N. Samuels (1975). *Seeing With the Mind's Eye*. Random House, New York.

Santayana, G. (2004). *The Sense of Beauty*, Cosimo Classics, ISBN-13: 978-1596050181

Schkolne, S., M. Pruett and P. Schröder (2001). "*Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools*." Dans les actes de la conférence SIGCHI conference on human factors in computing systems CHI'01, pp. 261-268, Seattle, WA, USA.

Schneider, D. K. (2001). "*Le rôle de l'Internet dans la formation supérieure: scénarii et technologies*." Colloque International "Enseignement des Langues et Multimédia. Alger.

Schön, D. A. (1983). *The reflective practioner: How professionals think in action*, New-York: Basic Books.

Schulmann, D. (1995). *Le design Industriel*, 2ème édition corrigée, Presses Universitaires de France, Collection Que Sais-je ?, ISBN2.13.044140.8.

Shewchuck, J. P., K. H. Chung and R. C. Williges (2002). *Virtual environment in manufacturing*. In K. Stanney (Ed.), Handbook of virtual environments (pp.1119-1141). Mahwah, N.J :Erlbaum.

Simon, A. (1969). "*The science of the artificial* " Cambridge (Mass.); London: MIT Press: 123.

Simon, A. (1991). Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel, Ed. Dunod.

Slater, M. and U. M (2001). "*Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality*." ACM Transactions on Computer- Human Interactaction **2**(3): 201-219.

Solehnius, G. (1992). "Concurrent engineering. Annals of the CIRP." **2**(41).

Stoeltlen, N. (2004). *Intégration de la dimension VisioGraphique dans les phases amont du processus de conception de produits mécaniques pour favoriser la coopération et la construction commune de projet*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

Stoeltlen, N., B. Roussel and T. Vallette (2007). "The collective innovative process in intermediate graphic representation in the early stage of the design process: towards a conceptual framework for improving the collective exploration of innovation." Journal of Design Research **6**(1-2).

Stoeltzlen, N. (2004). *Intégration de la dimension VisioGraphique dans les phases amont du processus de conception de produits mécaniques pour favoriser la coopération et la construction commune de projet*. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

Suh, N. P. (2001). "*Axiomatic design, Advances and Applications*." MIT, Oxford University Press.

Suwa, M., J. S. Gero and T. Purcell (1999). "*Unexpected discoveries and s-inventions of design requirements : A key to creative designs*." Dans Computational models of creative design IV. Sydney, Australia.

Teulier, R. and B. Hubert (2004). *Des concepts intermédiaires pour la conception collective. Les situations d'action collective avec des acteurs hétérogènes*. Ecole d'été CNRS "Cognition et TIC, Carry-le-Rouet.

Tichkiewitch, S. (1998). "*Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils*, sous la direction de M. Tollenaere." Hermes.

Troussier, N. (1999). *Contribution à l'intégration du calcul mécanique en conception de produits techniques : proposition pour l'utilisation et la réutilisation.* Thèse de doctorat de l'université Joseph Fourier Grenoble.

Truchot, P. and al (1997). *L'approche pluridisciplinaire de la conception de produits: une science de l'innovation*. Deuxieme Congres International Franco - Quebecois de Genie Industriel, ALBI, 11 p.

Tversky, B. (1993). *Cognitive Maps*. Cognitive Collages, and Spatial Mental Models, Berlin: Springer-Verlag.

Ullman, D. G. (2002). The mechanical design process. Mc Graw Hill, 1992.

Ulrich, K., Ed. (2000). *Product design and development*. 2nd ed.. Eppinger.

Vadcard, P. (1996). *Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit* Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris.

Verizer, R. W. (1993). "*Aesthetic Response and Influence of Design Principles on Product Preferences*." Advances in Consumer Research **20**: 224–231.

Vieillard-Barron, J. L. (1986). "*Esthétique*." Revue des Sciences Humaines et Sociales **11**: 5-8.

Vinck, D. (1992). Du laboratoire aux réseaux. Le travail scientifique en mutation. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes.

Vinck, D. (1999). *Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales*. Revue Française de Sociologie XI:385-414.

Vinck, D. (2006). Dynamique d'innovation et de conception et rôle des objets intermédiaires. Université Pierre-Mendès-France. Autrans.

Vinck, D. and A. Jeantet (1995). "Mediating and Commissioning Objects in the Sociotechnical Process of Product Design : a conceptual approach." in Designs, Networks and Strategies, COST A3 Social Sciences, edited by D. MACLEAN, P. SAVIOTTI, D. VINCK. Bruxelles: EC Directorate General Science R&D **2**: 111-129.

Viratelle, M. (2003). Communication Interne et Communication Externe, Communication et médias, p72-77, ISBN 2.11.005419.0.

Vitrac, J.-P. and J.-C. Gaté (1993). *"Design : la stratégie produit"* Paris, Eyrolles.

Vitrac, J. P. (1984). *« Comment gagner le nouveau marché par le design industriel »*. Paris, Ed. De l'Usine nouvelle, 172p.

Warrel, A. (2001). *Design syntactics – a contribution towards a theoretical framework for form design*. International Conference on Engineering Design ICED 01, Glasgow.

Yang, J., J. Kim, K. Abdel-Malek, M. T et al. (2007). "*A new digital human environment and assessment of vehicle interior design*." Computer-Aided Design **39**: 548-545.

Yannou, B. (2002). *Needs, perceptions, functions and products: Highlight on promising design methods linking them*. Dans les actes de la conférence IDMME 2002, Clermont-Ferrand, France.

Zobel, R. W. J. (1995). "*The Representation of Experience in Architectural Design*." dans MIT Press (Ed.) Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Massachusetts **4**(3): 254-266.

Zuo, H., T. Hope, P. Castle and M. Jones (2001). *An investigation into the Sensory Properties of Materials*. Proceedings of the International Conference on Affective Human Factors Design, Singapore, 27-29 June. London: Asean Academic Press, pp.500-507.

ANNEXES

1.QUESTIONNAIRE PRE-TEST

Enquête sur l'utilisation des outils de représentation dans le processus de conception

Ce questionnaire est destiné aux étudiants participants FQ59-MN53-FQ53 au projet « mobilier urbain » (Design dans la ville)

Dans le cadre de notre travail de thèse, nous réalisons une recherche sur les outils traditionnels permettant de visualiser et de représenter les phases initiales du processus de design. Ce questionnaire permettra de déterminer vos connaissances vis-à-vis des modes de représentation, des outils, et de leur utilisation dans le processus de conception. L'objectif est de réaliser une étude expérimentale sur ces outils et d'améliorer la « boite à outils » du designer.

Nous vous prions de bien vouloir nous accorder une dizaine de minutes pour répondre à ce questionnaire, qui est précieux pour nos travaux de recherche.

Nom :……Prénom :……

Age :……F ☐ M ☐

Année universitaire :……Filière :……

1. Quelles sont les unités de valeur (UV) déjà obtenues?

AR01 art et société	☐	**CP53** ergonomie et conception	☐
AR03 initiation au design industriel	☐	**FQ51** qualité en conception	☐
AR04 technologies numériques, création artistique et ingénierie culturelle	☐	**FQ52** analyse de la valeur et méthodes de créativité	☐
EV01 imaginer et concevoir la ville	☐	**FQ53** relation produit-marché-client et design industriel	☐
GO01 approche du monde contemporain	☐	**FQ59** ergonomie et design des interfaces homme-machine	☐
PH03 esthétique et technologie	☐	**MA58** sélection des matériaux en conception	☐
SC01 de la psychologie cognitive à l'ergonomie cognitive	☐	**MN51** modélisation des structures par éléments finis	☐
SI01 sémiologie de l'image et du son	☐	**MN52** modélisation numérique pour l'ingénieur	☐
CP41 méthodologie de conception	☐	**MN53** réalité virtuelle pour la conception	☐
CP42 CAO et modélisation	☐	**TN51** ingénierie de conception intégrée	☐

2. À votre avis est-ce que l'outil (dessin, maquette, CAO,..) a une influence sur le projet design ?

Dessin	Oui ☐	Non ☐
Maquette	Oui ☐	Non ☐
CAO	Oui ☐	Non ☐

Si oui donnez un exemple.....

.....

3. Je suis capable d'imaginer des formes dans l'espace.

Oui ☐ Non ☐ passez au suivant

Si oui : L'outil (dessin, maquette, CAO,..) permet de réaliser mes concepts

Dessin	Pas du tout ☐	Peu ☐	Assez ☐	Beaucoup ☐
Maquette	Pas du tout ☐	Peu ☐	Assez ☐	Beaucoup ☐
CAO	Pas du tout ☐	Peu ☐	Assez ☐	Beaucoup ☐

Pourquoi.....

.....

4. Vos idées conceptuelles correspondent-elles à celles traduites par un croquis (2D, 3D), par la CAO, par une maquette physique et par le projet final ?

Pas du tout ☐ Peu ☐ Assez ☐ Beaucoup ☐

Pourquoi.....

.....

5. Faites-vous des croquis sur le papier avant de commencer le travail avec des programmes de CAO?

Jamais ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Toujours ☐

Pourquoi ?.....

.....

Je n'utilise pas de CAO ☐

6. Utilisez-vous actuellement CAO pendant le processus de conception ?

Oui ☐ non ☐ passez au suivant

Si vous utilisez de la CAO pendant le processus de conception, à quelle phase de conception commencez vous à l'utiliser? « Mettez en ordre croissant 1, 2,3.. »

Études de faisabilité ☐

Études préliminaire ☐

Études détaillé ☐

7. Faites-vous des croquis sur le papier en travaillant avec des programmes de CAO ?

Oui ☐ non ☐

Pourquoi .....

9. Utilisez-vous les outils suivant pour développer vos idées de design et pour communiquer sur le projet ?

Mode de représentation		Travail de recherche d'idées et création				Communication des idées et présentation du projet				Votre expérience			Temps estimé pour achever l'idée à partir de cet outil				Problèmes rencontrés
		Pas du tout	Un peu	Beaucoup	Passionnément	Pas du tout	Un peu	Beaucoup	Passionnément	Débutant	Amateur	Expert	Moins d'une heure	Entre 1h et 2h	Entre 3h et 6h	Plus de 8h00	
Esquisses, dessin à main levée																	
Maquette physique																	
CAO	▪ Catia																
	▪ 3Ds MAX																
	▪ Virtools																
	Autre…… …… …… …… ……																
Animation																	
Autre….																	
Autre…																	

2.QUESTIONNAIRE D'EVALUATION ESTHETIQUE « 1ERE SERIE D'EXPERIMENTATIONS

Test pédagogique

Ce questionnaire porte sur l'évaluation de l'apport de certains outils dans le processus de conception. Nous distinguerons trois groupes d'outils :

- les outils Traditionnels (maquette physique, dessins), (outils **T**)
- les outils Numériques (3DS max, CATIA), (outils **N**)
- les outils de Réalité Virtuelle (Virtools + Plate-forme immersive). (Outils **V**)

Ce questionnaire a pour objectif d'évaluer l'utilisation de ces outils dans des projets selon des facteurs esthétiques, et selon les critères qui les caractérisent. Ainsi, le critère « couleur » est l'un des critères du facteur « esthétique ». Les projets étudiés sont certains des projets réalisés par des étudiants dans les UV : MN53, FQ59, et FQ53.
L'objectif est d'évaluer le moyen utilisé dans le projet et n'est pas d'évaluer le projet et les capacités des étudiants à utiliser les outils.

Nous vous demandons à chaque fois de déterminer si un outil (par exemple le dessin) permet d'évaluer un critère (par exemple la proportion).

- Si vous considérez que l'outil ne permet pas d'évaluer ce critère, vous cochez la case 0.
- Dans le cas contraire, nous vous demandons de préciser cette évaluation par un chiffre entre 1 (l'outil permet une vague évaluation du critère) et 6 (l'outil permet une évaluation très précise du critère).
- Si vous ne comprenez pas la signification du critère, nous vous demandons de cocher la case « NSP » en face du critère.

Vous avez à réitérer ce processus pour chaque outil et pour chaque critère.

La durée de cette expérience est d'une quinzaine de minutes par projet. Vos réponses sont très précieuses pour nos travaux de recherche.

Nous vous remercions pour votre participation.

Projet :.....

MN53❑ FQ59❑ FQ53❑

Nom et prénom de l'évaluateur/évaluatrice:….....

F ❑ M ❑

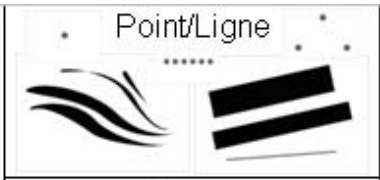
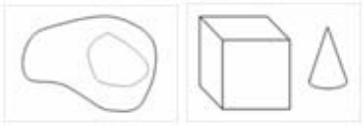
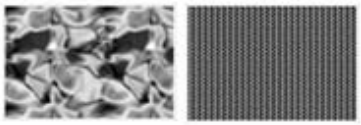
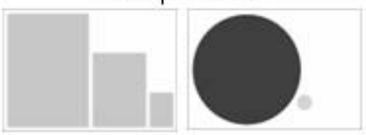
Spécialité :

Architecte	❑	Précisez :.....
Designer industriel	❑	Précisez :.....
Ergonome	❑	Précisez :.....
Ingénieur	❑	Précisez :.....
Autre	❑	Précisez :.....

Nombre d'années d'expérience dans le domaine :

Moins de 2 ans❑ Entre 2 et 5 ans❑ Entre 5 et 10 ans❑ Plus de 10 ans❑

Facteurs esthétiques

Point/Ligne		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Forme		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Couleur		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Espace		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Texture		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Rythme		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Equilibre		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Proportion		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Ordonnancement des éléments		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐
Unité		NSP ☐	T Dessin ☐☐☐☐☐☐☐ Maquette ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 N CATIA ☐☐☐☐☐☐☐ 3DS max ☐☐☐☐☐☐☐ 0 1 2 3 4 5 6 V Plate-forme RV ☐☐☐☐☐☐☐

3.QUESTIONNAIRE DE COMMUNICATION « 2EME SERIE D'EXPERIMENTATIONS

Impact des outils de représentation sur la communication autour du futur produit

Ce questionnaire est destiné aux

Décideurs- évaluateurs ☐ Futurs utilisateurs ☐ Industriels ☐

Dans le cadre de notre travail de thèse, nous réalisons une recherche sur l'impact des modes de représentation sur la communication autour d'un futur projet. Ce questionnaire nous permettra de déterminer les avantages et les inconvénients de chaque mode de représentation. L'objectif est de réaliser une étude expérimentale sur ces outils et ainsi d'améliorer la « boîte à outils » du designer afin de mieux communiquer avec vous sur votre futur projet.
Vous allez voir les concepts de votre projet réalisés à l'aide de quatre outils de représentation : dessin, maquette physique, conception assistée par ordinateur et réalité virtuelle.
Vous allez avoir quatre séries de questions par projet chacune relative à un outil de représentation.
La durée de cette expérience est d'une quinzaine de minutes par projet. Vos réponses sont très précieuses pour nos travaux de recherche.

Nous vous remercions pour votre participation.

Nom : .....Prénom : .....
Raison sociale :.....
Profession: .....Age: .....
F☐ M ☐

Projet .....

Répondez aux questions suivantes prenant en compte ce que **vous voyez** sur l'outil de représentation **DESSIN**.

Td.1 Que représente cet objet pour vous ? (nom, fonction, lieu où il se trouve, qui l'utilise ?)

.....

.....

Td.2 Est-ce que vous pouvez déduire les dimensions réelles de l'objet ?

Oui Non

Longueur.....

Largeur.....

Hauteur.....

Td.3 Est-ce que vous pouvez distinguer le/les matériaux utilisé(s) dans cet objet ?

Si oui cochez le/les et complétez par la couleur que vous voyez.

Oui Non

Bois..... Métal.....

Plastique..... Verre.....

Pierre..... Marbre.....

Tissus..... Peinture.....

Autres .....

Td.4 Quel prix en € donnez-vous à cet objet et pourquoi?

.....

Td.5 La représentation de l'objet que vous voyez ressemble-t-elle à un objet réel ?

Pas du tout Peu Assez Beaucoup

Td.6 Comment qualifiez-vous votre compréhension de l'objet présenté avec l'outil Dessin ?

Très mauvaise-0-1-2-3-4-5-6-Très bonne

Td.7 Est-ce que l'outil Dessin vous a permis de percevoir les critères suivants ?

- Si vous considérez que l'outil ne permet pas de percevoir ce critère, vous cochez la case 0.
- Dans le cas contraire, nous vous demandons de préciser cette perception par un chiffre entre 1 (l'outil permet une vague perception du critère) et 6 (l'outil permet une perception très précise du critère).
- Si vous ne comprenez pas la signification du critère, nous vous demandons de cocher la case « NSP » en face du critère

Identité visuelle (forme, couleur, style...)	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Usage (fonction, accessibilité, adaptabilité, ergonomie)	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Sécurité	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Innovation	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Environnement de l'objet	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Durabilité/Ecologie	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Qualité, Performance	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6
Avantages/inconvénients	NSP ☐	0-1-2-3-4-5-6

Td.8 Comment trouvez-vous cet objet ?

Il ne me plaît pas du tout -0-1-2-3-4-5-6- Il me plaît beaucoup.

Pourquoi ?.....

.....

Projet .....

Répondez aux questions suivantes prenant en compte ce que **vous voyez** sur l'outil de représentation **MAQUETTE**.

Tm.1 Que représente cet objet pour vous ? (nom, fonction, lieu où il se trouve, qui l'utilise ?)

.....

.....

Tm.2 Est-ce que vous pouvez déduire les dimensions réelles de l'objet ?

Oui Non

Longueur.....

Largeur.....

Hauteur.....

Tm.3 Est-ce que vous pouvez distinguer le/les matériaux utilisé(s) dans cet objet ?

Si oui cochez le/les et indiquez la couleur correspondante.

Oui Non

Bois..... Métal.....

Plastique..... Verre.....

Pierre..... Marbre.....

Tissus..... Peinture.....

Autres .....

Tm.4 Quel prix en € donnez-vous à cet objet et pourquoi?

.....

Tm.5 La représentation de l'objet que vous voyez ressemble-elle à un objet réel ?

Pas du tout Peu Assez Beaucoup

Tm.6 Comment qualifiez-vous votre compréhension de l'objet présenté avec l'outil Maquette ?

Très mauvaise -0-1-2-3-4-5-6- Très bonne

Tm.7 Est-ce que l'outil Maquette vous a permis de percevoir les critères suivants ?

- Si vous considérez que l'outil ne permet pas de percevoir ce critère, vous cochez la case 0.
- Dans le cas contraire, nous vous demandons de préciser cette perception par un chiffre entre 1 (l'outil permet une vague perception du critère) et 6 (l'outil permet une perception très précise du critère).
- Si vous ne comprenez pas la signification du critère, nous vous demandons de cocher la case « NSP » en face du critère

Identité visuelle (forme, couleur, style...)	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Usage (fonction, accessibilité, adaptabilité, ergonomie)	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Sécurité	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Innovation	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Environnement de l'objet	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Durabilité/Ecologie	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Qualité, Performance	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Avantages/inconvénients	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-

Tm.8 Comment trouvez-vous cet objet ?

Il ne me plaît pas du tout -0-1-2-3-4-5-6- Il me plaît beaucoup.

Pourquoi ?.....

.....

Projet .....

Répondez aux questions suivantes prenant en compte ce que **vous voyez** sur l'outil de représentation **CAO (Conception Assisté par Ordinateur)**.

N.1 Que représente cet objet pour vous ? (nom, fonction, lieu où il se trouve, qui l'utilise ?)

.....

.....

N.2 Est-ce que vous pouvez déduire les dimensions réelles de l'objet ?

Oui Non

Longueur.....

Largeur.....

Hauteur.....

N.3 Est-ce que vous pouvez distinguer le/les matériaux utilisé(s) dans cet objet ?

Si oui cochez le/les et indiquez la couleur correspondante.

Oui Non

Bois.....	Métal.....
Plastique.....	Verre.....
Pierre.....	Marbre.....
Tissus.....	Peinture.....

Autres .....

N.4 Quel prix en € donnez-vous à cet objet et pourquoi?

.....

N.5 La représentation de l'objet que vous voyez ressemble-elle à un objet réel ?

Pas du tout Peu Assez Beaucoup

N.6 Comment qualifiez-vous votre compréhension de l'objet présenté avec l'outil CAO ?

Très mauvaise -0-1-2-3-4-5-6- Très bonne

N.7 Est-ce que l'outil CAO vous a permis de percevoir les critères suivants ?

- Si vous considérez que l'outil ne permet pas de percevoir ce critère, vous cochez la case 0.
- Dans le cas contraire, nous vous demandons de préciser cette perception par un chiffre entre 1 (l'outil permet une vague perception du critère) et 6 (l'outil permet une perception très précise du critère).
- Si vous ne comprenez pas la signification du critère, nous vous demandons de cocher la case « NSP » en face du critère

Identité visuelle (forme, couleur, style...)	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Usage (fonction, accessibilité, adaptabilité, ergonomie)	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Sécurité	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Innovation	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Environnement de l'objet	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Durabilité/Ecologie	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Qualité, Performance	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-
Avantages/inconvénients	NSP ☐	-0-1-2-3-4-5-6-

N.8 Comment trouvez-vous cet objet ?

Il ne me plaît pas du tout -0-1-2-3-4-5-6- Il me plaît beaucoup.

Pourquoi ?.....

.....

Projet .....

Répondez aux questions suivantes prenant en compte ce que <u>vous voyez</u> sur l'outil de représentation DARV (Design Assisté par Réalité Virtuelle)

V.1 Que représente cet objet pour vous ? (nom, fonction, lieu où il se trouve, qui l'utilise ?)

.....

.....

V.2 Est-ce que vous pouvez déduire les dimensions réelles de l'objet ?

Oui Non

Longueur.....

Largeur.....

Hauteur.....

V.3 Est-ce que vous pouvez distinguer le/les matériaux utilisé(s) dans cet objet ?

Si oui cochez le/les et indiquez la couleur correspondante.

Oui Non

Bois..... Métal.....

Plastique..... Verre.....

Pierre..... Marbre.....

Tissus..... Peinture.....

Autres .....

V.4 Quel prix en € donnez-vous à cet objet et pourquoi?

.....

V.5 La représentation de l'objet que vous voyez ressemble-elle à un objet réel ?

Pas du tout Peu Assez Beaucoup

V.6 Comment qualifiez-vous votre compréhension de l'objet présenté avec l'outil DESARV ?

Très mauvaise 0 1 2 3 4 5 6 Très bonne

V.7 Est-ce que l'outil DARV vous a permis de percevoir les critères suivants ?

- Si vous considérez que l'outil ne permet pas de percevoir ce critère, vous cochez la case 0.
- Dans le cas contraire, nous vous demandons de préciser cette perception par un chiffre entre 1 (l'outil permet une vague perception du critère) et 6 (l'outil permet une perception très précise du critère).
- Si vous ne comprenez pas la signification du critère, nous vous demandons de cocher la case « NSP » en face du critère

Identité visuelle (forme, couleur, style...)	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Usage (fonction, accessibilité, adaptabilité, ergonomie)	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Sécurité	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Innovation	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Environnement de l'objet	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Durabilité/Ecologie	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Qualité, Performance	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6
Avantages/inconvénients	NSP ☐	0 1 2 3 4 5 6

V.8 Comment trouvez-vous cet objet ?

Il ne me plaît pas du tout 0 1 2 3 4 5 6 Il me plaît beaucoup.

Pourquoi ?.....

.....

TNV Quel outil de représentation préférez-vous que le designer utilise pour communiquer avec vous sur votre futur produit ? Classez ces outils selon votre préférence (de 1 celui que vous avez aimé le plus à 4 celui que vous avez aimé le moins)

☐ Dessin ☐ Maquette ☐ CAO ☐ DARV

Pourquoi (pour votre premier choix).....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Vos suggestions pour améliorer la représentation sur la plate forme de réalité virtuelle nous intéresse :

.....

.....

.....

.....

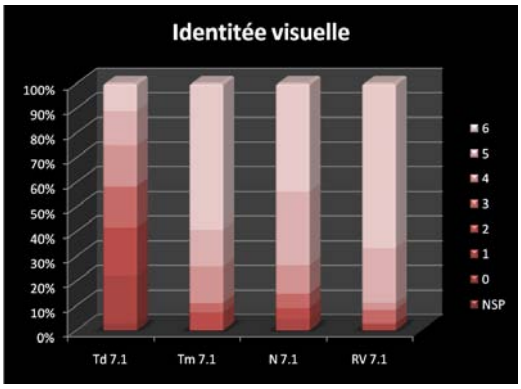
.....

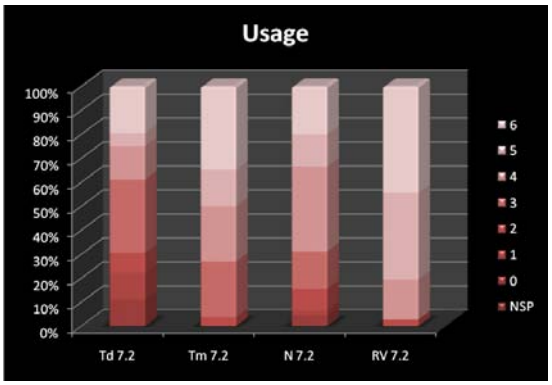
.....

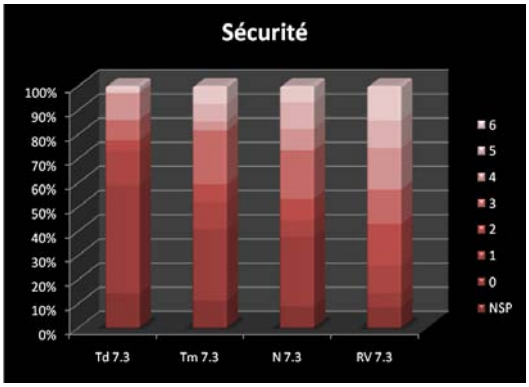
.....

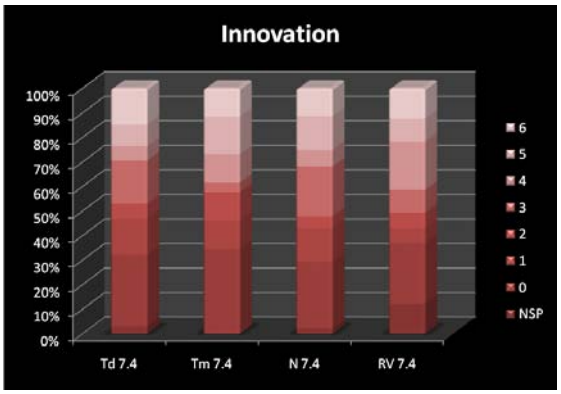
Merci de votre participation

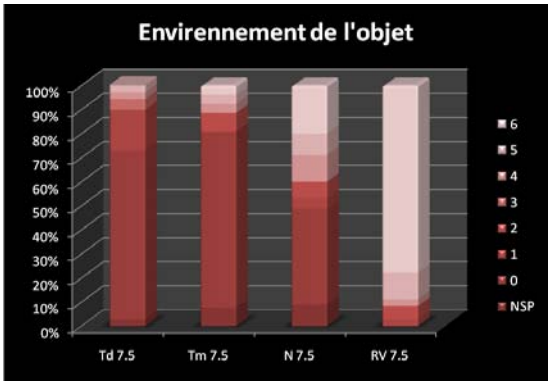
4.RESULTATS DETAILLES DES CRITERES DE COMMUNICATION

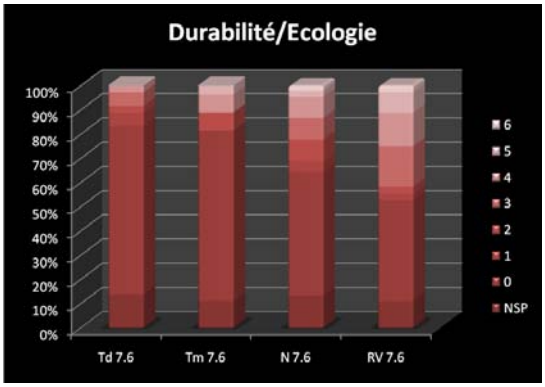


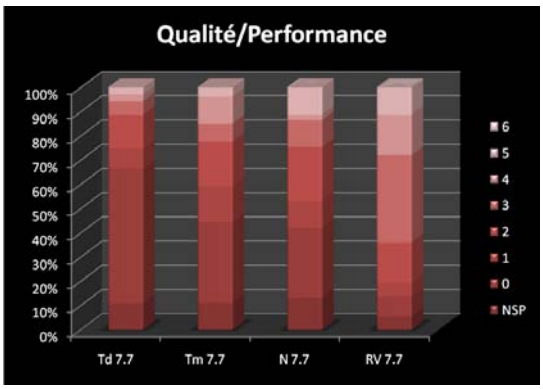


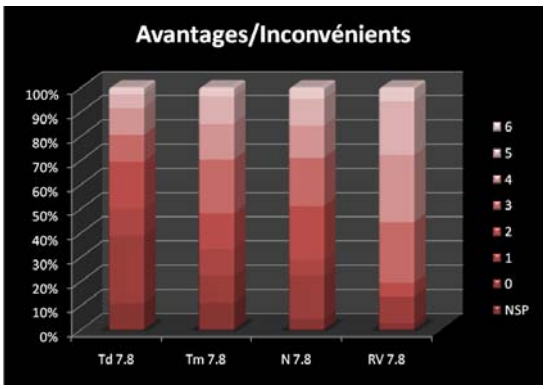












LEXIQUE DES ABREVIATIONS

ACSP : Atelier Coopératif de Suivi de Projet

AF : Analyse Fonctionnelle

ATC : Analyse de Tendances Conjointes

CAD: Computer Aided Design

CAO : Conception Assisté par Ordinateur

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

FAO : Fabrication Assisté par Ordinateur

CdCF : Cahier des Charges Fonctionnel

CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur

DRV : Design assisté par Réalité Virtuelle

ENSGSI : École Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels

ERCOS : Équipe Ergonomie et Conception de Systèmes

ERPI : Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs

EV: Environnement Virtuel

INPL : Institut National Polytechnique de Lorraine

N : outils de représentation Numériques

OIC : Objets Intermédiaires de la Conception

OI : Objet Intermédiaire

OIs : Objets Intermédiaires

PLM : Product Life cycle Management

PREVERCOS : Plateforme de REalité Virtuelle pour l'ERgonomie et la COnception des Systèmes

RI : Représentation Intermédiaire

RV : Réalité Virtuelle

SeT : Laboratoire Systèmes et Transports

T : outils de représentation Traditionnels

Td : outil Traditionnel dessin

Tm : outil traditionnel maquette

UTBM : Université de Technologie de Belfort Montbéliard

V : outils de représentation Virtuels

VR : Virtual Reality

INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE
DE LORRAINE

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :
Monsieur Simon RICHIR, Professeur, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Laval

Monsieur Abdelkhalak EL HAMI, Professeur, INSA, Saint Etienne du Rouvray

Monsieur Roger CAMOUS, Professeur, Université de Montréal, Canada

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

NANCY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORET-DE-HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 54501
VANDŒUVRE CEDEX

Monsieur KATTAN Ali

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse intitulée :

"La réalité virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de design. Application au programme INTERREG III "Design dans la ville"

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **« Génie des Systèmes Industriels »**

Fait à Vandoeuvre, le 16 juin 2009
Le Président de l'I.N.P.L.
F. LAURENT

Pour le Président
Le Vice-Président
Jacques JARAY

[redacted]

La réalité virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de design

Application au projet INTERREG 3A Franco-Suisse « Design dans la ville »

RESUME

Notre recherche s'inscrit dans le domaine du génie industriel et se positionne plus précisément dans le design. L'objet général de cette thèse est d'intégrer la Réalité Virtuelle immersive comme outil de représentation dans le processus de conception des produits nouveaux, afin d'améliorer la boîte à outils du designer, de le comparer et d'analyser son influence par apport aux outils de représentation Traditionnels (T) et Numériques (N), d'aide à la création et à la communication des idées utilisés en Design. Pour les outils T et N, nous analyserons plus particulièrement le dessin, la maquette physique et les logiciels de Conception Assisté par Ordinateur (CAO).

Notre but est de proposer une méthode destinée à aider plus particulièrement deux acteurs de la conception (le designer et l'architecte) à mieux choisir leur outil de représentation durant le processus de design. Nous montrerons l'utilité d'intégrer la Réalité Virtuelle RV comme une nouvelle technologie à leur démarche de travail.

Ce travail est le résultat d'une recherche qui s'est déroulée au sein de l'Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI) de l'École Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels ENSGSI de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL). Une approche expérimentale basée sur deux cas (un pédagogique et un autre industriel), réalisé en collaboration avec l'Équipe ERCOS Ergonomie et Conception de Systèmes du Laboratoire Systèmes et Transports SET de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard UTBM. Les expérimentations menées nous permettent ainsi de dégager les rapports de la RV dans le processus de design. Ainsi, de montrer :

- une influence positive de la RV sur l'évaluation esthétique (selon la vision du designer) et technique (selon la vision des acteurs de la conception) du produit nouveau.
- une meilleure compréhension de l'objet par les intervenants spécialistes (industriels, décideurs..), les non-spécialistes (utilisateurs, consommateurs..).

Notre recherche ouvre des perspectives pour élargir l'application de la RV dans d'autres projets et d'améliorer l'outil à travers de la naissance d'une série d'applications réservées au designer.

Mots clés : Réalité Virtuelle, CAO, Visualisation, Designer, Produit, Esthétique.

Immersive virtual reality like tool of representation in the process of design

Application to project INTERREG 3A French-Swiss "Design in the city"

ABSTRACT

Our research is in the field of industrial engineering and it is positioned specifically in the design. The general purpose of this thesis is to integrate the immersive Virtual Reality as a tool of representation in the process of new products design to enhance the toolkit of the designer, to compare and analyze its influence by providing the tools of traditional (T) and digital (N) and to support the creation and communication of ideas used in Design. For these tools of T and N, we will analyze in particular drawing, mock-up and software for computer aided design (CAD).

Our goal is to propose a method to help especially the two actors of design (the designer and the architect) to choose the best tool for representation during the design process. We show the usefulness of integrating Virtual Reality VR technology as a new approach to their work.

This work is the result of research that took place within the research team on the innovative process (ERPI) from the Superior National School in Engineering of the Industrial Systems (ENSGSI) of the National Institute Polytechnic of Lorraine (INPL). An experimental approach based on two cases (educational and industrial), produced in collaboration with the team Ergonomics and System Design ERCOS of the Systems and Transport Laboratory (SeT) in the University of Technology of Belfort-Montbéliard UTBM. The experiments conducted allow us to identify the relationship of VR in the design process. Thus, to show:

- A positive influence of VR on the aesthetic evaluation (according to the vision of the designer) and technology (according to the vision of those involved in design) of new product.
- A better understanding of the subject specialists by stakeholders (industry, policy makers ...), non-experts (users, consumers ...).

Our research offers a potential to broaden the application of VR in other projects and improve the tool through the birth of a number of applications available to the designer.

Keywords: Virtual Reality, CAD, Visualization, Designer, Product, Aesthetic.