



**HAL**  
open science

# Méthode de Conception Assistée par les Modèles pour les Systèmes Interactifs Mixtes

Christophe Bortolaso

► **To cite this version:**

Christophe Bortolaso. Méthode de Conception Assistée par les Modèles pour les Systèmes Interactifs Mixtes. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2012. Français. NNT: . tel-00867039

**HAL Id: tel-00867039**

**<https://theses.hal.science/tel-00867039>**

Submitted on 27 Sep 2013

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

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



Université  
de Toulouse

# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)

Cotutelle internationale avec :

-

---

**Présentée et soutenue par :**  
**Christophe Bortolaso**

Le mardi 19 juin 2012

**Titre :**

Méthode de Conception Assistée par les Modèles  
pour les Systèmes Interactifs Mixtes

---

ED MITT : Image, Information, Hypermedia

**Unité de recherche :**

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)

**Directeur(s) de Thèse :**

Emmanuel Dubois  
Cédric Bach

**Rapporteurs :**

Gaëlle Calvary  
Jean Vanderdonckt

**Autre(s) membre(s) du jury :**

Françoise Détienne  
Nicolas Roussel  
Jean-Pierre Jessel



*à Mounia*



# REMERCIEMENTS

Cette thèse et le travail de recherche qu'elle illustre n'aurait évidemment pas pu être conduit de la sorte sans un grand nombre de personnes. Au-delà d'un travail académique en tant que tel, les travaux que je présente dans cette thèse sont le reflet d'une longue réflexion, d'un effort d'introspection et d'ouverture sur des disciplines connexes à l'informatique. Un tel effort nécessite à mon sens un encadrement professionnel propice à l'échange, et un cadre social solide.

Pour ces raisons, je commencerai par remercier Emmanuel Dubois, pour m'avoir fait confiance, pour m'avoir soutenu dans les moments de doute, pour avoir toujours fait preuve d'une grande disponibilité, pour avoir su à la fois guider mon travail dans des voies prometteuses et me laisser explorer les problématiques à ma manière. C'était un plaisir de travailler au jour le jour avec Emmanuel, et pour toutes les raisons que j'ai énumérées ci-dessus, merci Manu.

Dans une continuité logique, je voudrais également remercier mon co-encadrant Cédric Bach, sans qui ce travail de recherche aurait eu une couleur sensiblement différente. Cédric a su m'ouvrir les yeux sur des problématiques connexes à mon travail, a su me guider vers des domaines, des disciplines sensiblement écartés de ma discipline initiale, l'informatique et m'a appris à poser des questions plus large qui ont fortement stimulées ma curiosité. Pour tout cela, merci Cédric.

Ce manuscrit a également profité d'une relecture approfondie des rapporteurs de mon jury de thèse, Gaëlle Calvary et Jean Vanderdonckt. Je tiens donc à les remercier pleinement pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et pour les réflexions et questions précieuses qu'ils ont énoncées dans leurs rapports, et j'espère que nous aurons l'occasion d'échanger de nouveau à l'avenir. De la même manière je tiens à remercier Françoise Détienne, Nicolas Roussel et Jean-Pierre Jessel pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en ayant accepté de faire partie de mon jury.

A cette liste s'ajoute, les différentes personnes avec qui j'ai pu collaborer durant ce travail de thèse. J'aimerais donc remercier tout d'abord Nicholas Graham et ses étudiants pour m'avoir si bien accueilli à Kingston au Canada et avec qui j'espère nous pourrons continuer à travailler en post-doctorat dans l'année qui suit la remise de ce manuscrit.

J'aimerais également remercier, les différents partenaires du projet ANR CARE auquel la majorité de mon travail a contribué, à savoir : les membres du Museum de Toulouse, Francis Duranthon et Anne Blanquet-Maumont, mais aussi Céline Coutrix, Laurence Nigay, Nadine Couture, Guillaume Rivière et nos partenaires de la société Immersion Jean-Baptiste de la Rivière, Nicolas Dittlo et Emmanuel Orvain.

J'aimerais également remercier chaleureusement tous les membres de l'équipe ELIPSE dans laquelle j'ai été particulièrement bien accueilli et dont nombreux des membres contribuent jour après jour à entretenir la bonne ambiance, tout particulièrement Louis-Pierre, Christophe, Marc, Bernard, Olivier, et tous les nouveaux arrivants.

Dans cette équipe j'aimerais remercier en particulier Philippe Truillet et Mathieu Raynal pour leur sympathie, leur humour, leur bonne humeur et pour avoir toujours pu compter sur eux dans mon travail d'enseignement à l'Université Paul Sabatier.

A cette longue liste s'ajoute mes deux collocatrices de bureau Anke et Bénédicte qui ont su supporter au jour le jour mes humeurs, mes grognements et les déboires que tout thésard rencontre. Merci les filles.

Pour changer de registre et entrer dans la sphère personnelle, j'aimerais remercier profondément mes amis pour le support qu'ils m'ont apporté et pour avoir su me changer les idées quand mes réflexions finissaient en sac de nœuds. J'aimerais donc remercier Brice, Guillaume, Ariane, Pascaline, Jeremy, Ludovic,

Lucie, Antoine, Servane, Thomas et Noellie.

A cette très longue liste doit inévitablement s'ajouter mes parents. J'aimerais les remercier pour m'avoir fait confiance, pour avoir cru en moi pour m'avoir soutenu dans mes choix parfois périlleux et pour m'avoir toujours montré leur fierté. Sans vous je n'en serai pas là aujourd'hui, merci.

J'aimerais clôturer ces remerciements en remerciant ma femme, Mounia. Elle a été à mes côtés sans arrêt pendant ces années qui n'ont pas toujours été faciles. Elle a su me soutenir, me rassurer, m'aider à repartir du bon pied dans les moments difficiles et déborder de joie et de fierté dans les succès. Je lui dois une très grande partie de ce travail et c'est pour cette raison que je lui dédie ce manuscrit.

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>11</b>
1 Contexte.....	13
2 Constat.....	13
3 Objectifs.....	14
4 Démarche.....	14
5 Structure du manuscrit.....	15
6 Bibliographie.....	17
<b>CHAPITRE I : CONCEPTION COLLABORATIVE &amp; CREATIVE.....</b>	<b>19</b>
1 Introduction.....	21
2 L'activité de conception : théories & caractéristiques.....	23
2.1 La résolution de problème : les fondements de l'activité de conception.....	23
2.2 Les paradigmes de la conception.....	26
2.3 La conception collaborative.....	29
2.4 Synthèse sur les théories & caractéristiques de la conception collaborative.....	31
3 Créativité : définitions et caractéristiques.....	34
3.1 Définitions et caractéristiques de la créativité.....	34
3.2 Facteurs d'influence sur créativité.....	35
3.3 Particularités de la créativité en conception.....	38
3.4 Synthèse sur la créativité en conception.....	41
4 Conclusions sur la conception collaborative & créative.....	43
5 Bibliographie.....	46
<b>CHAPITRE II : LE MEILLEUR DES DEUX MONDES.....</b>	<b>49</b>
1 Introduction.....	51
2 De la variabilité et de la complexité des SIM.....	53
2.1 Illustrations de la variabilité en termes de place du monde physique.....	54
2.2 Illustrations de la variabilité en termes de formes de communication.....	57
2.3 Illustrations de la variabilité en termes de cohérence entre les espaces physiques et numériques.....	60
2.4 Illustrations de la variabilité en termes de technologie.....	62
3 Synthèse sur les caractéristiques des SIM.....	65
4 Bibliographie.....	67
<b>CHAPITRE III : LA CONCEPTION DES SYSTÈMES INTERACTIFS MIXTES.....</b>	<b>71</b>
1 Introduction.....	73
2 Processus de développement pour les systèmes interactifs.....	74
2.1 Etapes et ressources d'un processus de développement en IHM.....	74
2.2 Regard critique sur le processus de développement : le cas des SIM.....	78
3 Représentations externes adaptées aux SIM.....	81

3.1	Représentations informelles.....	81
3.2	Représentations formelles.....	84
3.3	Synthèse comparative des représentations externes adaptées aux SIM.....	89
4	<b>Activités de conception : une diversité de mise en œuvre.....</b>	<b>92</b>
4.1	Activités de conception génériques.....	92
4.2	Activités de conception dédiées à l'IHM.....	93
4.3	Synthèse comparative des activités de conception.....	99
5	<b>Conclusion et problématique de recherche.....</b>	<b>103</b>
6	<b>Bibliographie.....</b>	<b>104</b>

#### **CHAPITRE IV : ENJEUX & RÉPONSE APPORTÉE ..... 111**

1	<b>Enjeux pour la conception des SIM.....</b>	<b>113</b>
1.1	Supporter l'exploration systématique de l'espace de conception.....	113
1.2	Etablir un langage de référence entre disciplines.....	114
1.3	Ancrer dans le processus de conception.....	115
1.4	Problématique et enjeux.....	116
2	<b>Une articulation entre formel &amp; informel.....</b>	<b>118</b>
2.1	MACS : une méthode de conception collaborative et créative.....	118
2.2	Synthèse.....	123
3	<b>Les questions restantes.....</b>	<b>124</b>
4	<b>Bibliographie.....</b>	<b>125</b>

#### **CHAPITRE V : COMPRÉHENSIBILITÉ & GÉNÉRATIVITÉ DES MODÈLES..... 127**

1	<b>Introduction.....</b>	<b>129</b>
2	<b>Etude de la compréhensibilité par des novices de deux modèles de l'interaction mixte.....</b>	<b>131</b>
2.1	Structure du questionnaire.....	131
2.2	Cas d'études utilisés.....	132
2.3	Protocole.....	133
2.4	Analyse & résultats.....	134
2.5	Conclusions sur la compréhensibilité de ces modèles des SIM.....	139
3	<b>Etude de la générativité du modèle ASUR.....</b>	<b>141</b>
3.1	ASUR : définitions & principes de base.....	141
3.2	Etude exploratoire de la générativité du modèle ASUR.....	142
3.3	Approche théorique de la générativité du modèle ASUR.....	149
4	<b>Conclusions sur la compréhensibilité et la générativité des modèles du domaine des SIM.....</b>	<b>157</b>
5	<b>Bibliographie.....</b>	<b>159</b>

#### **CHAPITRE VI : ANALYSE CLINIQUE DE LA METHODE MACS..... 161**

1	<b>Introduction.....</b>	<b>165</b>
1.1	Hypothèses.....	165
1.2	Une vue globale de nos cas d'étude.....	166
1.3	Séances analysées : contexte & mise en œuvre.....	167

1.4	Plan des analyses conduites .....	175
2	<b>Méthode d'analyse.....</b>	<b>176</b>
2.1	Mesure des solutions produites.....	176
2.2	Analyse de protocole.....	177
3	<b>Analyse des séances de MACS.....</b>	<b>186</b>
3.1	Analyse des solutions produites.....	186
3.2	Analyse de protocole verbal .....	189
3.3	Analyse de protocole comportemental.....	201
4	<b>Discussion &amp; conclusion.....</b>	<b>205</b>
4.1	Validation des hypothèses.....	205
4.2	Limites de l'étude et perspectives.....	208
5	<b>Bibliographie.....</b>	<b>210</b>
<b>CHAPITRE VII : OUTILLAGE &amp; CONCRETISATIONS DE LA METHODE MACS.....</b>		<b>213</b>
1	Introduction.....	215
2	<b>OnTop: Outillage de la méthode MACS.....</b>	<b>216</b>
2.1	Prérequis à l'outillage de la méthode.....	217
2.2	OnTop: illustration de l'outillage préliminaire.....	221
2.3	Conclusions sur l'outil OnTop.....	225
3	<b>Concrétisations des productions de la méthode MACS.....</b>	<b>228</b>
3.1	Processus de co-conception d'expositions muséographiques.....	228
3.2	La cladistique: une classification contre-intuitive.....	230
3.3	Cas d'étude 1: MIME – « explorer la classification du vivant de l'intérieur ».....	231
3.4	Cas d'étude 2: CladiBulle – « manipuler la classification du vivant ».....	239
3.5	MIME et CladiBulle: une architecture logicielle commune.....	244
3.6	Conclusions & perspectives.....	245
4	<b>Bibliographie.....</b>	<b>247</b>
<b>CONCLUSION &amp; PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....</b>		<b>251</b>
1	<b>Synthèse de la démarche adoptée et de nos contributions .....</b>	<b>253</b>
1.1	Elaboration de la méthode MACS.....	253
1.2	Evaluation de la méthode MACS.....	254
1.3	Apports de notre contribution .....	255
2	<b>Limites identifiées &amp; perspectives à court terme.....</b>	<b>256</b>
3	<b>Ouverture.....</b>	<b>258</b>
4	<b>Bibliographie.....</b>	<b>259</b>



# INTRODUCTION



## 1 CONTEXTE

Depuis l'invention de la souris en 1967, les systèmes interactifs n'ont cessé d'évoluer. La manière d'interagir avec les machines a profondément changé et la vision austère, contraignante et spécialiste des premiers ordinateurs s'est peu à peu effacée au profit d'un usage ludique, social et mobile. La récente démocratisation des téléphones tactiles en est un exemple probant.

Ce récent succès est le reflet d'une convergence progressive entre l'information traitée par les machines et le monde physique. En effet, désormais les icônes, le texte, les images réagissent directement sous nos doigts et les intermédiaires techniques s'effacent peu à peu. Les récentes avancées dans le domaine des jeux vidéo illustrent aussi fortement ce phénomène de convergence entre physique et numérique. Avec des technologies tel que les caméras de profondeur, le contrôle du jeu est désormais effectué par le joueur lui-même et non au travers d'une télécommande.

Cette évolution poursuit la volonté globale de tirer conjointement profit des capacités des individus à interagir avec le monde physique et des possibilités de traitement du numérique. Ces formes avancées d'interaction sont maintenant connues sous des qualificatifs multiples tels que réalité augmentée, interfaces tangibles, interaction mixte ou encore plus globalement Systèmes Interactifs Mixtes (SIM).

## 2 CONSTAT

L'émergence de ces paradigmes interactifs s'accompagne d'un impact fort sur la conception de ces systèmes. En effet, en comparaison au désormais célèbre triptyque clavier/souris/écran, un nombre considérable de variables entre en jeu dans la conception des SIM. Les objets physiques, les médiums de communication, les modalités d'interaction, la topologie des espaces d'interaction, etc. sont tant de considérations impliquées dans la conception d'un SIM. Désormais les possibilités offertes par ces variables et leurs potentielles combinaisons offrent un potentiel d'innovation et de créativité singulier.

Dans un tel contexte, les concepteurs sont amenés à explorer un espace de conception plus vaste et à manipuler un plus grand nombre de concepts. Durant la conception, identifier une solution originale et adaptée à un problème devient plus difficile et plus fastidieux. Faire preuve de créativité requiert donc une expertise certaine.

Face à cette complexité, de nombreux formalismes sont apparus pour décrire les fondements de ces systèmes et les représenter. Les modèles tel que RBI (Jacob et al., 2008), TAC (Ullmer, Ishii, & Jacob, 2005), ASUR (Dubois & Gray, 2007) MIM (Coutrix & Nigay, 2008) en sont des exemples probants. De plus, pour faciliter leur utilisation, ces outils théoriques ont été outillés. Des logiciels associés permettent désormais d'exploiter ces modèles théoriques dans le processus de conception pas à pas (Coutrix, 2009; Gauffre & Dubois, 2011; Shaer & Jacob, 2009).

Dès lors ces formalismes tiennent une place importante dans le processus de conception. En effet, ils permettent non seulement de décrire une solution durant l'étape de conception mais aussi d'amorcer le développement d'applications concrètes.

Toutefois si l'apport de ces formalismes au processus de conception n'est plus à prouver, ils ne supportent pas ou peu les activités se déroulant dans phases amont du processus de conception. Dès lors la transition entre l'analyse des besoins et l'élaboration d'une solution soulèvent de nombreuses questions. En effet, pour un domaine aussi complexe que les SIM, comment explorer les possibles et sélectionner une solution viable.

La seule existence d'outils conceptuels et technologiques n'est donc pas suffisante et un guidage dans leur

utilisation est donc nécessaire. Ceci constitue un enjeu majeur à l'exploration de l'espace des possibles et à l'identification de solutions originales et adaptées à un problème de conception.

A cela s'ajoute que la conception est très rarement l'affaire d'un seul individu. En pratique, la conception est collective et pluridisciplinaire. Ce trait est tout particulièrement grossi dans le cas de la conception des SIM, car l'intervention de plusieurs corps disciplinaires est requise pour appréhender toutes les facettes du système en question. Par exemple, l'électronique, l'ingénierie logicielle, le graphisme, l'ergonomie, etc. sont autant de disciplines qui doivent être mises en œuvres.

***Un questionnement méthodologique relatif à l'usage de formalismes du domaine des SIM doit donc être posé sous l'angle de la conception collaborative et créative.***

### 3 OBJECTIFS

Dans cette thèse nous proposons une réponse à cette question méthodologique. Nos travaux de recherche proposent une approche de conception appelée « *Model Assisted Creativity Session* » (MACS), combinant modèle formel du domaine des SIM et activité de conception collaborative et créative.

L'objectif de cette approche est triple :

1. Tout d'abord il s'agit de permettre une ***exploration plus systématique de l'espace de conception***. En fournissant un ensemble de leviers nécessaires à la stimulation de la créativité en conception des SIM. De cette manière, les concepteurs disposent des outils pour explorer l'espace de conception jusque dans ses limites les plus retranchées, les conduisant ainsi à atteindre des espaces innovants et créatifs.
2. En outre, il s'agit de mettre à disposition un ***langage de référence pour des équipes pluridisciplinaires***. De cette manière, nous souhaitons fournir une assistance à l'élaboration d'une représentation partagée du problème entre individus de domaines impliqués dans le développement d'un SIM.
3. Enfin, nous souhaitons proposer une ***démarche ancrée dans un processus de conception***. De cette manière, sur la base d'un problème identifié en amont, les concepteurs pourront identifier et représenter les solutions qui seront concrétisées.

### 4 DEMARCHE

Le développement d'une telle méthodologie est complexe. Pour conduire cette recherche, nous avons mis en œuvre une approche itérative s'appuyant conjointement sur des éléments théoriques et sur notre pratique. Par conséquent nos travaux s'articulent entre élaboration et évaluation de la réponse que nous proposons (Figure 1) :

1. ***Elaboration*** : Les principes fondamentaux de la réponse méthodologique que nous proposons sont donc tout d'abord issus des fondements théoriques relatifs à la conception collaborative et créative, des enjeux soulevés par le domaine des SIM ainsi que des pratiques existantes pour la conception de ces systèmes.
2. ***Evaluation*** : Ces principes ont évolués au travers d'études spécifiques visant à répondre à un ensemble de questions relatives à l'approche que nous avons retenue, au travers de diverses mises en œuvre sur des cas d'étude concrets, et enfin au travers d'analyses cliniques de ces mises en œuvre.

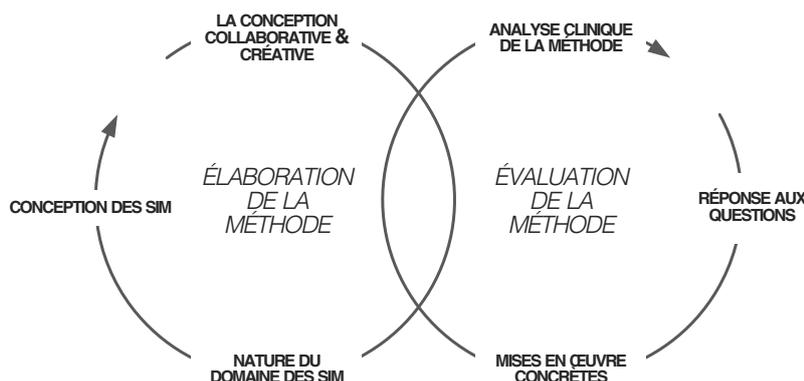


Figure 1 : Démarche d'élaboration et d'évaluation adoptée

## 5 STRUCTURE DU MANUSCRIT

Ainsi la structure de ce manuscrit reflète notre démarche, en reprenant point à point les travaux relatifs à chacune des étapes. Comme l'illustre la Figure 2, notre travail est découpé en sept chapitres. Tout d'abord, les Chapitres 1, 2 et 3 dressent une revue des activités de conception collaboratives et créatives de manière générale puis spécifiquement au domaine des SIM.

Ainsi dans le Chapitre 1, nous présentons les fondements théoriques des activités de conception collaboratives et créatives. Nous posons un regard sur l'activité de conception indépendamment du domaine de l'IHM. Nous mettons en évidence, les différents paradigmes de l'activité de conception et les caractéristiques qui la définissent lorsqu'elle est collaborative. Puis nous tentons de comprendre la nature des activités créatives et mettons en évidence les concordances avec les activités de conception. De cette revue de la littérature nous extrayons six principes qui définissent la nature des activités collaboratives et créatives.

Tout autrement, dans le Chapitre 2, nous nous intéressons à la nature du domaine des SIM. Nous revenons sur les raisons qui ont conduits à l'émergence de ces systèmes puis passons en revue un ensemble d'exemples concrets pour illustrer la complexité du domaine des SIM. Cette revue nous permet d'illustrer la variabilité des SIM et les axes qui la définissent.

Nous faisons converger ces deux revues dans le Chapitre 3 en traitant de la conception des SIM. Dans ce chapitre nous montrons tout d'abord en quoi les spécificités des SIM sont relatives à l'étape de conception. Nous en retirons que deux types de ressources adaptées aux SIM sont indispensables : 1) les représentations externes et 2) les activités de conception. Puis nous passons en revue un ensemble de représentations externes adaptées aux SIM et un ensemble d'activités de conception adaptées aux SIM. Devant l'absence d'une activité de conception répondant aux enjeux de la conception collaborative et créative identifiés dans le Chapitre 1 et tirant profit des représentations externes décrivant les axes de variabilité spécifiques aux SIM identifiés dans le Chapitre 2, nous extrayons les principes fondamentaux d'une nouvelle approche de conception combinant représentation formelle des SIM et activité de conception collaborative et créative.

Sur cette base, nous présentons dans le Chapitre 4, les enjeux de cette nouvelle approche de conception et définissons la réponse que nous avons élaborée. Nous présentons donc la méthode MACS, ses principes de mise en œuvre, étape par étape. A l'issue de cette définition nous mettons en évidence un ensemble de questions relatives à la mise en œuvre de cette méthode originale. Ces questions constituent les points d'entrée à l'évaluation de la méthode dont traitent les Chapitres 5, 6 et 7.

Puis, dans le Chapitre 5 nous traitons de deux questions liées à la mise en œuvre de l'approche que nous avons élaborée : la compréhensibilité et la générativité des modèles par des non-experts. Par conséquent deux études relatives à chacun de ces deux aspects sont présentées. Les résultats extraits de ces études nous ont conduits à l'identification de nouveaux principes pour la méthode MACS.

Le Chapitre 6 constitue le cœur de l'évaluation de la méthode. Dans ce dernier, nous présentons tout d'abord les différentes implémentations de la méthode que nous avons pu conduire et proposons une batterie de mesures visant à évaluer l'efficacité de l'approche. Puis nous analysons les solutions de conception et les protocoles verbaux et comportementaux de plusieurs implémentations de la méthode. De cette manière nous montrons comment la méthode impacte l'exploration de l'espace de conception et joue le rôle de langage de référence entre membres d'une équipe de conception.

Enfin le Chapitre 7 illustre un ensemble de concrétisations matérielles et logicielles qui ont émanées de ce travail de thèse. Ce dernier chapitre s'articule en deux parties. Tout d'abord, nous consacrons la première partie ce chapitre à la présentation d'un outil nommé OnTop et visant à instrumenter la méthode MACS. Ensuite, nous consacrons la deuxième partie à illustration de l'utilisation de la méthode MACS dans une situation de développement logiciel réelle. Pour y parvenir, nous nous appuyons sur deux développements de SIM destinés au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse et mettons le focus sur l'exploitation des résultats issus de la méthode dans le processus de développement. De cette manière nous montrons comment la méthode s'ancre dans une démarche de conception globale.

Enfin nous concluons ce manuscrit en dressant un bilan des contributions selon les deux facettes suivantes : élaboration de la méthode et évaluation de la méthode. Nous développons ensuite un ensemble de perspectives de travaux futurs, concernant la méthode elle-même, son outillage et l'usage des modèles dans la conception des SIM.

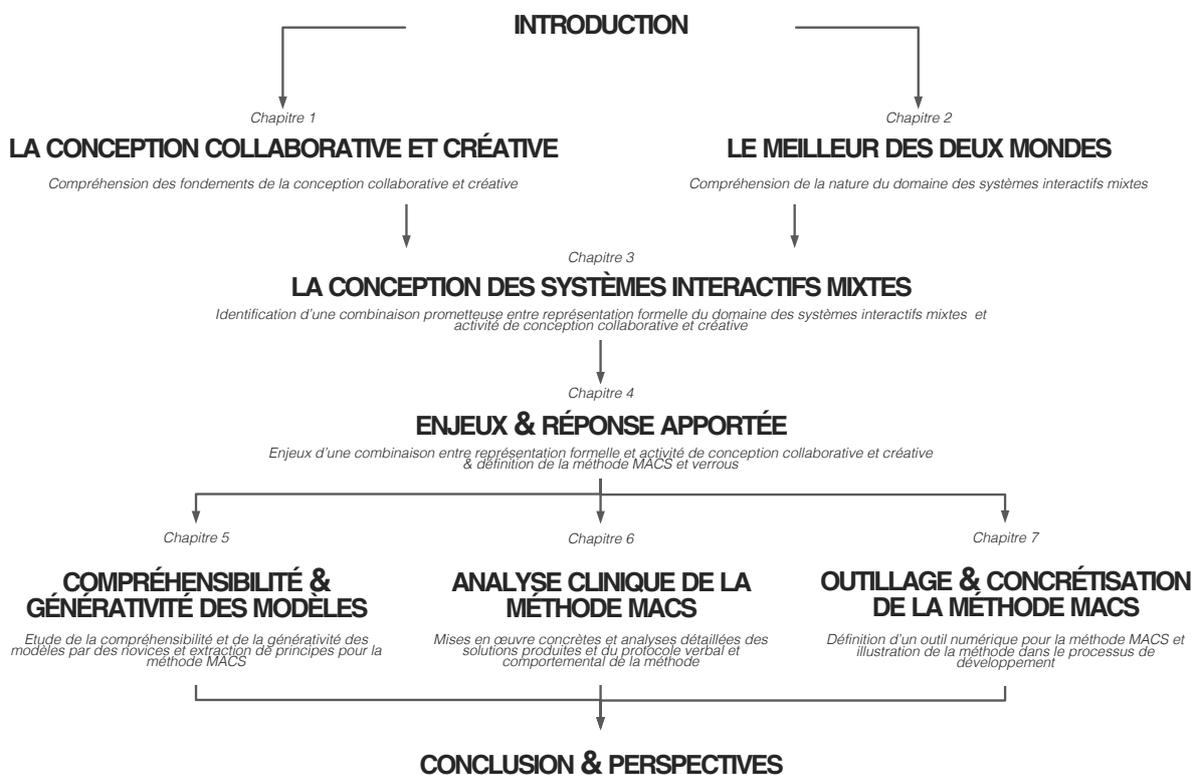


Figure 2 : Plan du Manuscrit

## 6 BIBLIOGRAPHIE

- Coutrix, C. (2009). *Interfaces de Réalité Mixte : Conception et Prototypage*. Université Joseph Fourier. Retrieved from <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=139215905>
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2008). Balancing physical and digital properties in mixed objects (pp. 305-308). Napoli, Italy: ACM. doi:10.1145/1385569.1385619
- Dubois, E., & Gray, P. (2007). A Design-Oriented Information-Flow Refinement of the ASUR Interaction Model. In J. Gulliksen, M. B. Harning, P. Palanque, G. C. Veer, & J. Wesson (Eds.), *Engineering Interactive Systems* (Vol. 4940, pp. 465-482). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-92698-6
- Gauffre, G., & Dubois, E. (2011). Taking Advantage of Model-Driven Engineering Foundations for Mixed Interaction Design. (H. Hussmann, G. Meixner, & D. Zuehlke, Eds.) *Model-Driven Development of Advanced User Interfaces*, 340, 219-240. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-14562-9
- Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008). Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. *Proceeding of the twenty-sixth annual {SIGCHI} conference on Human factors in computing systems* (pp. 201-210). Florence, Italy: ACM. doi:10.1145/1357054.1357089
- Shaer, O., & Jacob, R. J. K. (2009). A specification paradigm for the design and implementation of tangible user interfaces. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 16(4), 1-39.
- Ullmer, B., Ishii, H., & Jacob, R. J. K. (2005). Token+constraint systems for tangible interaction with digital information. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 12(1), 81-118. doi:10.1145/1057237.1057242

## *Bibliographie*

# CHAPITRE I : CONCEPTION COLLABORATIVE & CREATIVE

*En définitive, l'intelligence, envisagée dans ce qui en paraît être la démarche originelle, est la faculté de fabriquer des objets artificiels, en particulier des outils à faire des outils et, d'en varier indéfiniment la fabrication. Henri Bergson, L'évolution créatrice (1907)*

# CHAPITRE I : TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>L'ACTIVITE DE CONCEPTION : THEORIES &amp; CARACTERISTIQUES.....</b>	<b>23</b>
2.1	La résolution de problème : les fondements de l'activité de conception .....	23
2.1.1	Définition des activités de résolution de problème.....	23
2.1.2	L'importance des représentations externes.....	24
2.2	Les paradigmes de la conception .....	26
2.2.1	La conception comme une activité de résolution de problème.....	26
2.2.2	La conception en tant qu'action située.....	27
2.2.3	Les points communs entre ces deux paradigmes.....	28
2.3	La conception collaborative.....	29
2.3.1	Terminologie.....	29
2.3.2	Propriétés de la conception collaborative.....	30
2.4	Synthèse sur les théories & caractéristiques de la conception collaborative.....	31
<b>3</b>	<b>CREATIVITE : DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES.....</b>	<b>34</b>
3.1	Définitions et caractéristiques de la créativité.....	34
3.2	Facteurs d'influence sur créativité.....	35
3.3	Particularités de la créativité en conception.....	38
3.3.1	Différents types de contraintes.....	39
3.3.2	Différentes méthodes d'exploration de l'espace problème .....	39
3.4	Synthèse sur la créativité en conception .....	41
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS SUR LA CONCEPTION COLLABORATIVE &amp; CREATIVE.....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>46</b>

# 1 INTRODUCTION

Bien qu'il soit désormais communément accepté que la création d'outils ne soit pas exclusivement le propre de l'homme, l'ancêtre de l'homme, l'homo-erectus fabriquait des outils il y a 2,5 millions d'années. La création et la fabrication d'outils tiens donc une place importante pour l'espèce humaine.

On peut dès lors attacher une importance soit à la nature des outils produits soit à la nature de l'activité qui a conduit à leur création. Malgré l'intérêt relativement récent que les scientifiques ont pour la nature de cette activité, elle interroge et fascine le monde depuis l'antiquité. Nous parlons évidemment de la conception.

Porter un intérêt sur cette activité et tenter de la comprendre est d'autant plus important que les concepteurs ont toujours eu un impact fort sur le monde. Leur rôle est de changer le monde en créant des artefacts qui visent à améliorer la condition humaine (Gero, 1990). Les systèmes interactifs sont de ces artefacts qui changent nos vies. Ils sont cependant complexes à concevoir et leur conception soulève de nombreuses questions. Dès lors, deux sujets d'intérêt peuvent émerger : l'impact de ces artefacts sur nos vies et la manière de concevoir ces outils. Ce chapitre en général s'intéresse à l'activité de conception en soit.

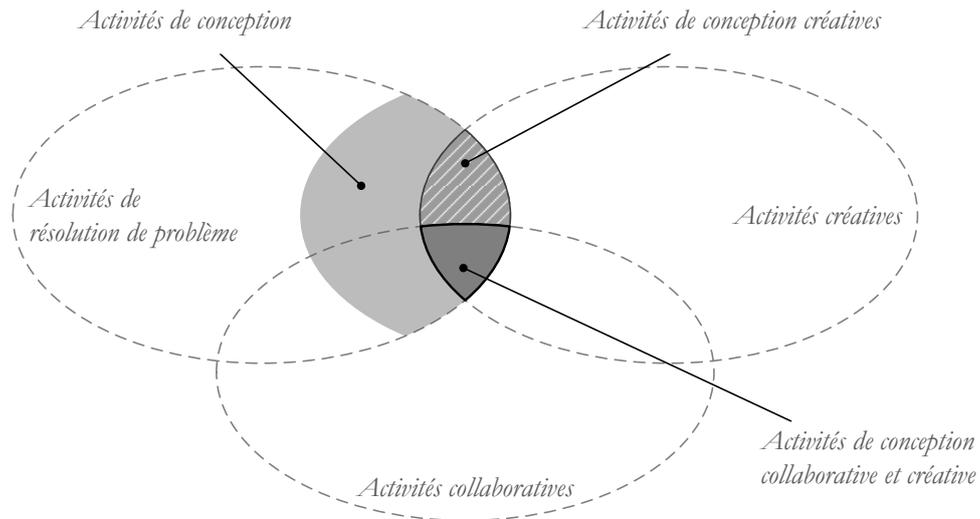
Le sujet posé, de nombreuses questions se soulèvent : Quelle est la nature de cette activité ? Pourquoi les processus de conception sont si difficiles à appréhender ? Quelle est la nature des problèmes de conception ? Comment aboutit-t-on à une solution ? Quelles méthodes peuvent supporter cette activité ? Envisager des outils, des méthodes et des ressources visant à assister le travail des concepteurs ne peut pas se faire sans une compréhension éclairée quant à la nature de l'activité en question. C'est l'ambition de ce premier chapitre.

En effet, l'étude des activités de conception est un sujet de recherche à part entière. Herbert Simon est un des premiers à y avoir porté un intérêt. Il nous apprend que c'est au travers de la psychologie cognitive qu'on trouvera les meilleures explications. Dans ce chapitre, nous n'allons pas contribuer à la compréhension de l'activité de conception en tant que telle mais tenter de la cerner au travers des différents paradigmes existants. Au travers des diverses théories, nous aborderons la conception comme une activité de résolution de problème, comme une action située et identifierons les particularités impliquées lorsque celle-ci devient collaborative et interdisciplinaire. L'objectif sera de définir et comprendre les fondements théoriques qui pourraient guider le développement d'une nouvelle approche pour la conception des systèmes interactifs.

Nous aborderons ensuite une dimension parallèle à la conception : la créativité. Bien que mystérieuse, énigmatique et imprévisible pour un grand nombre d'entre nous, la créativité bénéficie d'avancées significatives en psychologie depuis plus d'un demi-siècle maintenant. De nombreuses théories ont été élaborées et de nombreux facteurs d'influence ont été identifiés. Une compréhension au moins partielle de la faculté créative est donc possible. De nombreuses autres questions peuvent alors être soulevées : Qu'est-ce qui distingue une solution créative d'une solution ordinaire ? Comment abouti-t-on à la découverte d'une solution originale ? En quoi ce processus de découverte d'une solution créative est intrinsèquement lié au processus d'exploration des possibles ?

Pour ces raisons nous ferons une revue des théories, des facteurs d'influence et des modes de pensée permettant de provoquer, de stimuler la créativité. L'objectif sera d'identifier les critères d'intérêt pouvant influencer nos choix méthodologiques destinés à la conception des systèmes interactifs.

En conséquence, ce Chapitre est structuré selon notre vision des différents types d'activités. En effet, comme l'illustre la Figure 3, la conception est un type d'activité de résolution de problème qui peut potentiellement être créative et qui peut aussi être collaborative.



**Figure 3 : Intersections entre les activités de résolution de problème, de conception, créatives & collaboratives**

En nous appuyant sur ces fondements théoriques relatifs à ces différents domaines, nous identifions à l'issue de ce chapitre six principes généraux qu'il sera nécessaire de considérer en situation de conception collaborative et créative de systèmes interactifs.

## 2 L'ACTIVITE DE CONCEPTION : THEORIES & CARACTERISTIQUES

Tout d'abord, la conception peut être vue comme une activité de résolution de problème. Nous allons mettre en évidence dans cette partie les caractéristiques des activités de résolution de problème et démontrer que les représentations externes jouent un rôle central dans leur déroulement.

### 2.1 La résolution de problème : les fondements de l'activité de conception

Les activités de résolution de problème sont notre quotidien : trouver le chemin le plus court sur une carte, comparer des offres forfaitaires téléphoniques, trouver les chaussures idéales dans un magasin, jouer aux cartes avec des amis, faire une recherche sur internet, etc. Tant d'activités qui tiennent une place non négligeable dans nos vies de tous les jours, dans divers contextes et pour des objectifs variés.

Un regard naïf sur ces exemples d'activités pourrait nous conduire à penser qu'elles n'ont pas nécessairement de point commun. Pourtant, elles peuvent toutes être vues comme des activités de résolution de problème. Leur point commun ne tient ni au domaine dans lequel elles s'exercent ni à la nature du problème en question mais leur caractéristique commune majeure est relative aux *processus cognitifs impliqués* dans leur résolution.

#### 2.1.1 Définition des activités de résolution de problème

La résolution de problème ne doit pas être vue comme une activité atomique mais comme un processus impliquant plusieurs actions. La littérature mentionne un certain nombre de ces actions telles que : la formation du problème (problem forming), la recherche du problème (problem finding), la résolution du problème (problem solving) (Simon, 1995), la définition du problème (problem setting), la structuration du problème (problem structuring), la délimitation du problème (problem framing) (Schön, 1984). Ces actions mettent notamment en évidence l'effort nécessaire à l'exploration des données composant le problème pour atteindre sa résolution.

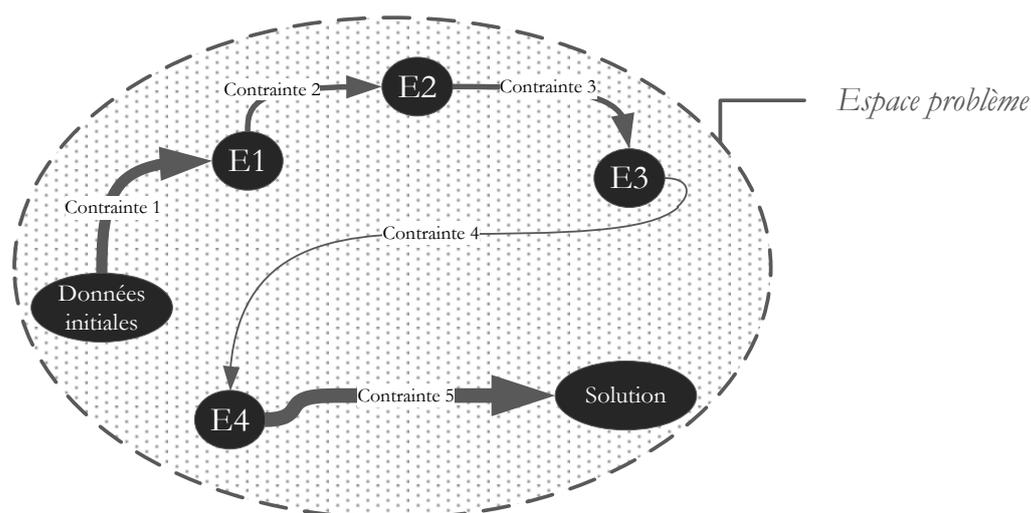


Figure 4 : Schématisation de l'exploration de l'espace problème.

En effet, la résolution de chacun de ces problèmes peut être vu comme l'exploration d'un espace appelé « *espace-problème* » dans lequel un ensemble de solutions possibles gravitent (Fiore, Rosen, Salas, Burke, & Jentsch, 2007). La résolution de problème consiste en la découverte d'une solution adaptée au sein de cet

espace. Pour y arriver l'individu doit déterminer un chemin au travers de cet « *espace problème* ».

Dans cette représentation, la situation de départ est déterminée par les connaissances initiales des données du problème, la situation d'arrivée correspond à l'atteinte d'une solution satisfaisante et les étapes correspondent à la découverte successive de données composant le problème. La transition d'une étape à une autre peut être vue comme la satisfaction d'une contrainte du problème. Les contraintes ne sont pas nécessairement du même ordre, elles peuvent être pondérées. La Figure 4 schématise ce processus d'exploration de l'espace problème, de l'identification des données initiales du problème jusqu'à l'atteinte du but, une solution.

Pour illustrer ce processus, nous prendrons l'exemple de la résolution d'une anagramme. Une anagramme consiste en la découverte d'un mot par permutation des lettres d'un autre. Par exemple, si on demande à un individu de découvrir une anagramme du mot « félicé », le processus de résolution pourrait être le suivant :

1                      2                      3                      4  
félicé → élicéf → délicé → délicé → défilé

Bien que l'exercice soit simple, sa résolution est interprétable comme l'exploration d'un espace problème. Dans cet exemple l'espace problème est initialement clairement défini, il est constitué de toutes les lettres présentes dans le mot (i.e. f, é, l, i, d et é). Chacune des étapes présentées correspond à une permutation simple d'une lettre ou d'une syllabe (e.g. l pour la transition 4 ou déf pour la transition 2.). Chacune de ces permutations correspond à un changement d'étape dans l'exploration de notre espace problème. Le résultat de chacune des permutations mènent à l'identification d'une nouvelle contrainte qui guide alors la résolution vers une autre étape. Ce processus s'arrête lors de l'identification d'une solution ; dans notre cas la reconnaissance d'un mot de la langue française. Si le mot découvert n'est pas le mot recherché, le processus continu.

De cette rapide démonstration, il est important de retenir que l'exploration de l'espace problème est caractérisée par trois composantes majeures (Détienne & Traverso, 2009) :

1. la situation de départ (les données initiales),
2. la situation d'arrivée (une solution) et
3. l'ensemble des étapes menant de l'un à l'autre (la résolution).

De plus, notre exemple de résolution de ce problème d'anagramme met en évidence une caractéristique essentielle des activités de résolution de problème : l'emploi de *représentations externes*. En effet, la résolution d'un tel problème augmente considérablement si on interdit le recours à l'écriture de chacune des étapes ou au moins sans avoir recours à l'écriture du mot lui-même. Une bonne illustration de cette difficulté pourrait aussi être une situation de calcul mental. La privation de l'écriture rendrait cet exercice amplement plus difficile. Dans notre exemple, l'écriture du mot et de chacune des étapes de permutation des lettres est considérée comme une représentation externe des étapes de l'exploration de l'espace problème. Les représentations externes sont impliquées dans de nombreux processus cognitifs complexes et la résolution de problème en fait partie. C'est l'objet de la partie suivante.

### 2.1.2 L'importance des représentations externes

Les cartes, les plans, les diagrammes, les schémas, les mots, les dessins, les graphiques, ... tant de supports dont nous nous servons quotidiennement, pour des types d'activités différentes parfois même sans nous en rendre compte. Certes nous l'avons appris, mais il est tellement naturel d'utiliser une feuille de papier et un crayon pour expliquer sa route à un ami. En effet, les représentations externes sont définies comme étant (Zhang, 1997) :

« Les connaissances structurelles d'un environnement se manifestant au travers de configurations physiques diverses telles que des symboles physiques, des objets, des dimensions, des contraintes, des relations spatiales, etc... »

L'information encodée dans ces représentations est perceptible par l'homme et peut être extraite, analysée, traitée, par le système perceptuel humain dans le but de faciliter (ou parfois inhibé) la compréhension de connaissances conceptuelles. A titre d'exemple, les cartes, les diagrammes, les plans, ou même plus simplement les mots sont à juste titre des représentations externes.

Plus spécifiquement, il a été montré que les représentations externes jouent un rôle double dans les activités de résolution de problème : 1) Le rôle d'*aide-mémoire* et 2) le rôle de *stimuli* pour les représentations mentales internes (Zhang, 1997).

Dans le premier cas, nous faisons référence au rôle le plus élémentaire des représentations externes. En effet, l'externalisation de nos représentations mentales aux travers de symboles, schémas, images etc. facilite la récupération et l'accès à l'information en un minimum d'effort cognitif.

Dans le second cas, l'impact des représentations externes est moins évident. Par la perception d'une représentation externe, certaines propriétés émergent et deviennent alors perceptibles pour l'individu. Par exemple, des études sur la manipulation de graphes et diagrammes ont montré que les sujets étaient capables de reconnaître certaines caractéristiques et d'en inférer immédiatement certaines propriétés telles que la présence de cycles ou le déterminisme d'un graphe. D'autres études sur le raisonnement diagrammatique ont montré que les représentations externes aidaient les sujets à traiter l'information et que les représentations graphiques rendaient certaines informations observables, interprétables et par voie de conséquence limitaient l'effort d'abstraction (Larkin, 1989; Larkin & Simon, 1987; Stenning & Oberlander, 1995).

De plus, au-delà des caractéristiques stimulantes intrinsèques à la nature même de ces représentations, la production même de ces dernières présente des avantages. En effet, le recours au processus même d'externalisation des idées force le sujet à organiser spatialement ses idées qui après réinspection peut conduire à des découvertes inattendues (Stenning & Oberlander, 1995).

De plus, il est important de préciser que les représentations externes sont opposables aux *représentations mentales internes*. En effet, ces dernières définissent la structure de la connaissance au sein de la pensée de l'homme. Pour être traitée, l'information contenue au sein des représentations internes doit préalablement être récupérée au sein de la mémoire par divers processus cognitifs (Rumelhart & Norman, 1983). Toutefois, les représentations externes peuvent être transformées en représentations internes après avoir été traitées et mémorisées. En effet, lorsqu'une personne doit réaliser une tâche pour laquelle des interactions avec l'environnement sont requises (e.g. dessiner sur une feuille de papier, lire un texte), elle doit tout d'abord se créer une représentation interne de l'environnement en question, puis réaliser les traitements nécessaires à la compréhension de cette représentation avant de pouvoir ré-externaliser le produit de sa réflexion. Ce processus cyclique d'internalisation et d'externalisation de la mémoire est désormais communément accepté dans les sciences cognitives et en intelligence artificielle (Newell & Simon, 1972; Simon, 1969).

Nous retiendrons que les représentations externes jouent un rôle primordial dans les activités de résolution de problème. En effet, de nombreux travaux en psychologie cognitive ont montré les liens étroits entre la structuration des représentations externes et la structuration de la représentation interne d'un problème (Simon, 1969). En effet, dans les tâches de résolutions de problème, les représentations externes produites ne jouent pas seulement le rôle de support à la mémorisation mais aussi le rôle de stimuli influençant le comportement cognitif. De ce fait un processus itératif de type perception/action (Norman & Draper, 1986) s'instaure entre le sujet réalisant la tâche et les représentations qu'il a produites. Ce phénomène dorénavant bien connu en interaction homme machine est remarquablement décrit dans

*the reflective practitioner* (Schön, 1984). En effet, au travers de la réflexion dans l'action, Schön nous propose une interprétation de ce processus réflexif qui constitue un des paradigmes dominant de l'activité de conception. Dans la section suivante nous nous attacherons à décrire ce phénomène ainsi que les théories complémentaires/concurrentes relatives à l'activité de conception en tant que telle.

## 2.2 Les paradigmes de la conception

Historiquement, deux principaux paradigmes (i.e. dans le sens de point de vue) de l'activité de conception ont émergés (Visser, 2006) : un premier point de vue proposé par H.A. Simon considérant la conception comme une *activité de résolution de problème* et un second développé par D.A. Schön considérant la conception comme une *pratique réflexive*. Evidemment ces deux paradigmes ne sont pas les seuls mais ils dominent encore nettement la compréhension de l'activité de conception en psychologie cognitive ainsi que dans la communauté IHM (i.e. Interaction Homme Machine). Dans cette section, nous allons synthétiser ces deux théories et mettre en évidence leurs caractéristiques essentielles. Nous finirons par confronter rapidement ces deux paradigmes pour montrer leur complémentarité.

### 2.2.1 La conception comme une activité de résolution de problème

Tout d'abord en 1969, H.A. Simon propose les sciences de l'artificiel (Simon, 1969). Considéré comme une des premières théories du design, cet ouvrage est considéré un des plus influant dans le domaine de la psychologie cognitive et de l'intelligence artificielle. Dans cet ouvrage, Simon approche la conception des objets artificiels comme une activité de résolution de problème et élabore les principes fondamentaux de sa théorie appelée SIP (Symbolic Information Processing). Simon décrit de nombreuses situations de résolution de problèmes allant de l'ingénierie, à l'économie, en passant par la médecine. Ses démonstrations s'appuient sur de nombreux travaux en psychologie cognitives et mettent en évidence certaines caractéristiques de l'activité de conception. Nous en retiendrons les suivantes :

*La conception est une activité de résolution de problème* : Pour Simon la conception est un type d'activité de résolution de problème. Il met en évidence que la résolution d'un problème complexe passe par l'identification de solutions évidentes parmi les sous-problèmes qui le composent. La complexité de l'activité de conception tiendrait donc plus à la décomposition du problème lui-même qu'à sa résolution. En effet, il y a plusieurs manières d'envisager la décomposition d'un problème. Le challenge porterait sur la découverte d'une décomposition conduisant à l'identification de sous-problèmes plus élémentaires et reconnaissables et par voie de conséquences solvables.

*Les problèmes de conception sont mal structurés* : Simon met en évidence que de nombreux problèmes apparaissant comme bien structurés sont en fait mal structurés (Simon, 1973). En effet, la conception étant une catégorie de résolution de problème, celle-ci induit nécessairement un processus de recherche exploratoire au travers d'un espace problème. Au regard des problèmes bien structurés, la différence fondamentale tient au fait que pour les problèmes de conception chaque avancée effectuée dans l'espace de conception, crée une nouvelle situation dont les données de base sont également mal structurée. La structuration s'effectue donc itérativement au travers de la réinterprétation, de l'inférence, de l'exploration, et de l'emploi de raisonnements analogiques (i.e. reconnaissance de situations). En définitive, les problèmes de conception sont caractérisés par la *nature floue de leur état initial* ; les contraintes de bases n'étant que partiellement définies ; mais également par la *nature floue de leur état de but* ; dans le sens où plusieurs solutions sont envisageables. L'exploration de l'espace problème est donc amplement plus difficile.

*L'état de but optimal du problème de conception ne peut être qu'approché* : La nature floue de l'état de but des problèmes de conception nous conduit directement à cette troisième caractéristique majeure des problèmes de conception : L'atteinte du « *satisficing* ». En effet, Simon souligne que la complexité des

problèmes de conception entraîne le fait que les concepteurs ne connaissent toujours qu'une partie de l'information. De ce fait, les concepteurs élaborent des solutions « *assez bonnes* » qui viseront à être optimisées. L'arrêt de l'optimisation se définit alors au travers de niveaux d'aspirations. Si à un moment donné de l'optimisation, toutes les dimensions d'une solution atteignent le niveau d'aspiration défini par le concepteur alors la solution obtenue est satisfaisante et la conception s'arrête.

Nous avons étudié trois des principales caractéristiques de l'activité de conception, à savoir : 1) l'activité de conception implique l'exploration d'un espace problème, 2) les données d'un problème de conception sont mal structurées et 3) l'état de but optimal est difficile à déterminer. Toutefois, comme le souligne (Visser, 2006), ces spécificités ne s'appliquent toutefois qu'à certains problèmes de conception ; ceux pour lesquels une méthodologie systématique de résolution n'existe pas.

### 2.2.2 La conception en tant qu'action située

D'un point de vue radicalement différent (mais pas totalement incompatible comme nous le verrons plus tard), D.A. Schön propose, en 1983, d'aborder la conception comme une *action située*. Le caractère situé d'une l'action est défini comme l'ensemble des interactions qui s'établissent entre les individus, des systèmes physiques et d'autres individus (Greeno & Moore, 1993). En d'autres termes, l'action située tient compte de l'aspect écologique de la situation, c'est-à-dire des individus environnants, de la tâche mais aussi de l'environnement et des artefacts présents. L'action située ne peut donc pas s'abstraire du contexte dans lequel elle se déroule. En effet, cette approche considère que dans l'action l'homme a recourt non seulement aux outils étant directement en rapport avec sa tâche (e.g. connaissances scientifiques, techniques et méthodologiques dans le cas de la conception) mais aussi exploite de manière créative tous les outils étant à sa disposition dans l'environnement au moment donné (Nardi, 1996).

Ce paradigme s'oppose à la vision de la conception comme une activité de résolution de problème, c'est à dire comme l'application d'une série de moyens objectifs, rationnels et prédéfinis pour atteindre une solution. Au travers de l'action située, Schön considère l'activité de conception comme une *conversation réflexive avec les artefacts de la situation de conception* (Schön, 1984). En effet, dans *the reflexive practitioner*, Schön démontre comment en architecture, en psychiatrie ainsi qu'en ingénierie, les représentations employées conditionnent le raisonnement des concepteurs. L'atteinte de l'état de but est déterminée par les artefacts environnant le concepteur et par l'usage qu'il en fait.

Le concept de pratique réflexive est en fait relativement simple. Pour illustrer, brièvement la pratique réflexive, prenons l'exemple d'un travail d'architecture. Initialement, le concepteur va commencer par externaliser la représentation mentale qu'il a de la situation via un croquis, un plan, une ébauche. C'est un premier pas vers la solution. Un fois le plan en partie esquissé le concepteur va apercevoir les limites de sa première production. Le plan suggère des problèmes/des limites/des contraintes qui n'étaient pas visibles au début de la situation. Un travail de réinterprétation s'opère et le concepteur modifie en conséquence sa production. Ce cycle itère mainte fois, jusqu'à atteindre une solution satisfaisante.

Ce point de vue sur l'activité de conception met nettement l'accent sur le caractère intuitif, expérimental et quasi-artisanal de la conception. Les actions mises en œuvre sont qualifiées d'épistémiques (Kirsh & Maglio, 1994), des actions réalisées pour découvrir de l'information étant cachée ou difficile à construire mentalement. Elles sont à différencier des actions pragmatiques, dont le but est de s'approcher d'un but préalablement établi. De cette analyse Schön met en lumière des caractéristiques modernes de l'activité de conception. Nous en retiendrons les suivantes :

*La conception est une activité de construction de représentations* : Surement un des aspects qui constitue la plus grand divergence entre la vision de Simon et celle de Schön. En effet, Schön considère l'activité de conception plutôt comme une activité de construction/réalisation d'artefacts. Dans ce paradigme, le

concepteur définit l'univers dans lequel il positionne les dimensions de son espace problème et invente les déplacements qui lui permettront d'aboutir à des solutions (Schön, 1992). Au travers du processus perception/action (i.e. Seeing/Drawing/Seeing) qui s'établit entre le concepteur et les artefacts qu'il produit, le concepteur définit donc les paramètres qui composent le problème et qui déterminent les buts à atteindre ainsi que les moyens à employer. L'accent est donc clairement mis sur les productions de l'activité de conception et moins sur la nature des problèmes à résoudre.

*Incertitude, Instabilité, Originalité, Conflit de valeurs* : Le cœur de la définition des situations de conception. Schön leur attribue ces quatre adjectifs, chacun traitant d'un aspect bien particulier.

- *Incertitude (Uncertainty)* : Les praticiens doivent constamment gérer une part d'incertitude quant à la solution qu'ils sont en train de concevoir. Ma conception est-elle la bonne ? n'y en a-t-il pas une meilleure ? Est-ce que cela va fonctionner ?
- *Instabilité (Instability)* : Les données de base d'un problème de conception sont instables dans le sens où elles ne sont pas nécessairement découvertes en amont de la conception. Les contraintes, les exigences peuvent émerger durant le processus de conception.
- *Originalité (Uniqueness)* : Selon Schön, chaque problème de conception est unique. Un problème de conception n'est pas solvable dans sa totalité via une quelconque approche systématique.
- *Conflit de valeur (Value conflict)* : Les activités de conception conduisent souvent à des conflits de valeurs. Les différents sous-ensembles de solution étant parfois incompatibles. Le concepteur est donc amené à faire des compromis et des choix parmi les dimensions à considérer en priorité.

*Expérimentation à la volée* : Lorsqu'un concepteur élabore une solution, il est impliqué dans un processus exploratoire. Au cours de celui-ci, il est amené à tester plusieurs variations pour chacune des dimensions qui composent son problème. Lors de cette activité, des interrogations récurrentes du type « et si ? » se posent. C'est ce processus itératif combinant exploration et externalisation que Schön qualifie d'expérimentation à la volée. Le processus expérimental se déroule de la manière suivante : le concepteur externalise pour voir si ses suppositions se réalisent, agit, perçoit les conséquences potentiellement non prévues de ses actions, puis est amené à improviser en fonction de la situation qu'il a lui-même créée, puis il re-externalise, etc. Ce processus de micro-expérimentation s'arrête alors lorsque la production fait émerger une découverte. En d'autres termes, il s'agit d'un processus itératif complet de génération/évaluation d'une solution en cours de conception.

Comme pour l'approche de Simon, nous avons mis en lumière trois des principales caractéristiques de l'activité de conception. Nous retiendrons que sous l'angle de l'action située la conception doit être vue comme une activité de réalisation de représentations externes et de réinterprétation. Le processus de réalisation/réinterprétation constitue une forme d'expérimentation rapide des solutions produites. Nous retiendrons aussi que les concepteurs doivent faire face à la nature incertaine, instable, originale et conflictuelle des problèmes de conception. Ce paradigme de la conception met clairement l'accent sur l'usage des artefacts en conception ainsi que sur la nécessité d'externalisation de la définition des limites du problème.

### **2.2.3 Les points communs entre ces deux paradigmes**

La confrontation de ces deux paradigmes a déjà été discutée dans (Visser, 2006). Pour cette raison, nous ne discuterons pas les avantages et inconvénients de ces deux paradigmes et l'apport respectif de ces deux courants théoriques. Toutefois, ces deux paradigmes sont complémentaires. En effet, comme l'a déjà défendu Don Norman ces deux traditions ne sont pas contradictoires (Norman, 1993). Pour reprendre la caricature de Norman voici comment il est possible d'interpréter leur complémentarité :

- La première, celle principalement défendue par Simon propose les éléments de base pour analyser la cognition humaine comme si elle se comportait comme une machine à produire et traiter des représentations mentales.
- La seconde, l'approche située, voit la cognition comme un ensemble d'entrées et de sorties avec le monde extérieur.

Retenons tout d'abord que les activités de conception font intervenir des processus cognitifs dont l'interprétation doit être contextualisée. La conception est un jeu de structuration, d'exploration, de découverte (i.e. de solutions comme de contraintes) au travers d'un espace problème dont les limites ne sont pas toujours bien définies. Pour explorer et gérer la charge cognitive sous-jacente le concepteur a recourt à l'externalisation. Au long du processus de conception, il crée différents artefacts représentant tout ou partie de la solution et dont le niveau d'abstraction et de précision évolue au court du temps. La nature de ces artefacts est extrêmement diverse comme nous le verrons par la suite.

Toutefois, le rôle global de ces artefacts de conception est de cristalliser un ensemble de paramètres définissant une solution. Ce processus conduit l'espace problème à co-évoluer avec les solutions intermédiaires. Dans ce processus de pensée, ces artefacts constituent la matière de base nécessaire à la réinterprétation, au raisonnement analogique, mais aussi à la communication. Ce dernier point n'est pas des moindre car en pratique la conception est une activité collective. C'est l'objet de la section suivante.

## 2.3 La conception collaborative

Bien que nous l'ayons abordé sous différents angles dans les sections précédentes, nous avons restreint nos définitions de la conception à une activité individuelle. Or en pratique, la conception est souvent une affaire collective et pluridisciplinaire. En effet, la complexité de certains artefacts implique la coopération voire la collaboration de plusieurs corps disciplinaires dans le but d'appréhender toutes les facettes de l'artefact en question. De plus, il s'avère quasi-impossible pour un seul individu de maîtriser toutes les connaissances indispensables à la conception d'un système complexe. Par exemple, dans le cas de la conception de dispositifs numériques tels que les téléphones portables, l'électronique, l'ingénierie logicielle, le graphisme, l'ergonomie, etc. sont autant de disciplines qui doivent être mises en œuvres. Dans les paragraphes suivants nous allons aborder la conception en tant qu'activité collective et étudier les caractéristiques d'une telle situation.

### 2.3.1 Terminologie

Avant tout, il est nécessaire de différencier la conception *individuelle* et *collective*. Selon (Détienne, Martin, & Lavigne, 2006), la conception collective implique les mêmes activités que la conception individuelle (e.g. exploration de l'espace problème, construction de représentations, structuration, etc.) augmentée d'un certain nombre d'autres activités spécifiques. Par exemple, la conception collective implique des activités de coordination, de communication, de synchronisation, de résolution de conflits ou encore de gestion de point de vue.

Deuxièmement, il est nécessaire d'apporter une précision quant à la terminologie employée. En règle générale dans cette thèse nous parlerons de situations de conception *collaboratives*. La *collaboration* est à différencier de la *coopération*. En effet, d'après (Zachary, W. & Robertson, 1990), la coopération est définie comme :

« Une forme d'interaction particulière dans laquelle des agents partagent des buts et agissent de concert sur une période de temps étendue. »

Selon (Salembier, 2007), la définition de la coopération comporte donc deux aspects : la définition préalable d'un but commun, et la mise en commun de ressources (matérielles et cognitives) nécessaire à la

réalisation de la tâche. Cette distinction entre coopération et collaboration a été distingué par (Roschelle & Teasley, 1995) et reprise par (Détienne & Traverso, 2009) comme suit :

*« L'activité coopérative présuppose la poursuite conjointe d'un but supposé partagé et l'entraide pour la poursuite des buts personnels, elle est également compatible avec le découpage en sous-tâches réalisables individuellement ».*

A contrario, les activités collaboratives sont définies comme suit

*« La collaboration est une activité coordonnée et synchrone résultant d'un effort continu pour construire et maintenir l'élaboration d'une représentation partagée du problème à résoudre. »*

La mise en œuvre d'une situation collaborative est donc plus contraignante que la mise en œuvre d'une situation coopérative. En effet, définir un but commun et partager des ressources ne suffit pas pour qualifier une situation de collaborative : il faut en outre mettre en œuvre de processus de coordination et d'élaboration d'une représentation partagée du domaine. La collaboration requiert donc un niveau de coordination supérieur à la coopération car les sous-tâches y sont entrelacées.

Une autre notion est à rapprocher de la différentiation entre coopération et collaboration : La notion de conception distribuée/co-conception. Ici la différence est relative à la méthode répartition des tâches. En effet d'après (Visser, 2002), la différentiation co-conception/conception distribuée définit la nature de la coopération entre les concepteurs d'un même projet. En effet, la co-conception est défini comme suit :

*« C'est la situation dans laquelle les concepteurs travaillent conjointement sur le projet de conception. Ils partagent un but commun identique, à l'atteinte duquel chacun contribue selon ses compétences spécifiques. Il s'agit d'une forme de coopération "**forte**". [...] »*

Alors que la conception distribuée est défini de cette manière :

*« Dans cette situation, les concepteurs travaillent simultanément, non conjointement, mais en parallèle, sur un projet de conception. Chacun accomplit une des différentes tâches dans lesquelles un projet a été décomposé préalablement et qui lui a été allouée. Chacun a ses propres sous-but, tout en connaissant le but commun final, et il y contribue indirectement. Cette forme "**faible**" de coopération [...] »*

En définitive, dans la conception distribuée chaque discipline traite d'un problème qui lui est propre tandis que dans les situations de co-conception toutes les disciplines élaborent un même aspect du produit à un moment donné (Détienne & Traverso, 2009). La conception distribuée implique donc une séparation des tâches conjointement à une structuration disciplinaire du problème alors que la co-conception vise le partage des connaissances et une structuration transdisciplinaire du problème et se rapproche ainsi plus de la collaboration que de la coopération.

A l'issue de ces définitions, la limite entre collaboration et co-conception est difficilement cernable. Les deux notions semblent effectivement intrinsèquement liées. Dans la suite de ce manuscrit nous parlerons d'activité de conception collaborative en s'appuyant sur les attributs principaux de la collaboration et de la co-conception, à savoir : 1) leur aspect *synchrone* (i.e. au travers d'interactions en face à face, même médiatisées) et 2) la nécessité de la création d'une *représentation partagée* du problème.

### 2.3.2 Propriétés de la conception collaborative

Parmi les diverses propriétés relatives à la collaboration nous avons retenu ici deux propriétés qui nous apparaissent particulièrement importantes en situation de conception collaborative. Une de ces propriétés est le processus conduisant à la création d'une représentation partagée du problème. Dans la littérature, la création d'une représentation partagée est appelée : *synchronisation cognitive*. Il a été montré que la synchronisation cognitive constituait un critère de succès primordial dans les séances de conception

collaborative (Détienne, Boujut, & Hohmann, 2004). En effet, dans les situations interdisciplinaires chaque participant a un regard différent sur l'objet de la conception car chaque participant habite un monde d'objet différent (Bucciarelli, 2002). D'ailleurs selon (Bonnardel, 2006), « *pour un problème de conception donné les connaissances et expériences des concepteurs n'étant pas les mêmes, leurs représentations mentales seront différentes.* ». La synchronisation cognitive a donc pour but de s'assurer que les individus partagent à la fois une même *connaissance générale du domaine* (e.g. concepts, théories, processus, procédures, savoir-faire, etc.) ainsi qu'une même *connaissance circonstancielle du problème de conception* qui est traité (e.g. état actuel du problème, exigences, fonctionnalités, contraintes, etc.).

La seconde propriété caractéristique des situations collaboratives de conception que nous avons retenue est *la localisation*. En effet, bien que les modalités et les médias se diversifient de plus en plus (e.g. chat, téléphone, vidéo conférence, réalité augmentée, etc.), allant même jusqu'à tenter de rendre la communication distante transparente (Kirk, Crabtree, & Rodden, 2005), il a été démontré que la co-localisation avait un impact fort sur la performance d'une quantité de sous activités propres aux situations de collaboration synchrones (Olson & Olson, 2000). En effet, la co-localisation facilite :

- *Le feedback rapide* : Les mécompréhensions ou les désaccords sont corrigibles immédiatement.
- *La communication multicanal* (visuel, oral, non-verbal) : L'emploi de différentes modalités permet la diversité et la redondance de la de communication.
- *Le partage d'un contexte local* : Un cadre physique commun facilite la compréhension mutuelle.
- *La coréférence* : Le regard et les gestes permet l'identification de termes déictiques.
- *Les interactions imprévisibles* : La co-localisation permet les échanges opportunistes.
- *Le référencement spatial* : Les objets et les participants peuvent être référencés au travers de leur localisation spatiale.

Les auteurs soulignent également que la quantité de distance peut affecter l'efficacité de ces paramètres et donc de la communication (Olson & Olson, 2000).

Pour conclure sur les aspects collaboratifs de la conception, nous retiendrons qu'ils impliquent quantité de paramètres supplémentaires en comparaison à la conception individuelle. Par exemple, il faudra tenir compte non seulement des activités propres à la conception (exploration de l'espace problème, atteinte de l'état de but, etc.) mais aussi des caractéristiques propres à la communication inter-individus et interdisciplinaire. La conception collaborative passe donc par la création de représentations externes qui doivent être partagées. Cet aspect renforce l'importance de l'adoption d'un point de vue situé sur la conception car les interactions s'établissent non seulement ici entre les individus et les représentations mais aussi entre les individus eux-mêmes.

## 2.4 Synthèse sur les théories & caractéristiques de la conception collaborative

Dans les sections précédentes, nous avons balayé l'activité de conception sous différents aspects. Nous avons expliqué en quoi ces activités étaient interprétables comme l'*exploration d'un espace problème* dont chacune des sous étapes correspond à la satisfaction d'une contrainte. Puis nous avons souligné le double rôle que jouent les *représentations externes* dans les activités de résolutions de problèmes, à savoir : le rôle d'aide-mémoire, et de stimuli. En effet, rappelons que les représentations externes permettent non seulement d'externaliser les informations stockées en mémoire et donc de limiter la charge cognitive relative à la récupération de l'information, mais aussi (surtout) de faciliter le traitement de l'information et de permettre par voie de conséquence la résolution de problèmes complexes.

Nous avons ensuite mis le focus sur l'activité de conception en tant que telle. Nous avons discuté les deux paradigmes dominants : le premier identifiant l'activité de conception comme une activité de résolution de problème à proprement parlé et le second considérant l'activité de conception en tant qu'action située. De ces deux paradigmes nous avons identifié les principales spécificités des activités de conception.

Le paradigme de Simon met en évidence que la conception est un *processus exploratoire*. La différence fondamentale réside dans la difficulté à définir précisément l'état initial et l'état de but de cette exploration. En effet, le paradigme de Simon souligne la nature *floue, ambiguë, incomplète de des données initiales du problème* ainsi que la difficulté d'identification du caractère *suffisant* de l'atteinte d'une solution (le satisfecit).

Tout autrement, le paradigme de Schön porte sur l'importance de la *conversation entre le concepteur et les artefacts qu'il produit*. Ce point de vue met clairement l'accent sur le processus de création des *représentations externes* et des stimuli qu'elles constituent. Pour Schön, l'identification d'une solution est déterminée par l'*expérimentation à la volée* de modification sur les représentations produites. Schön spécifie également le caractère *incertain, instable, original, et conflictuel* de la nature des problèmes de conception.

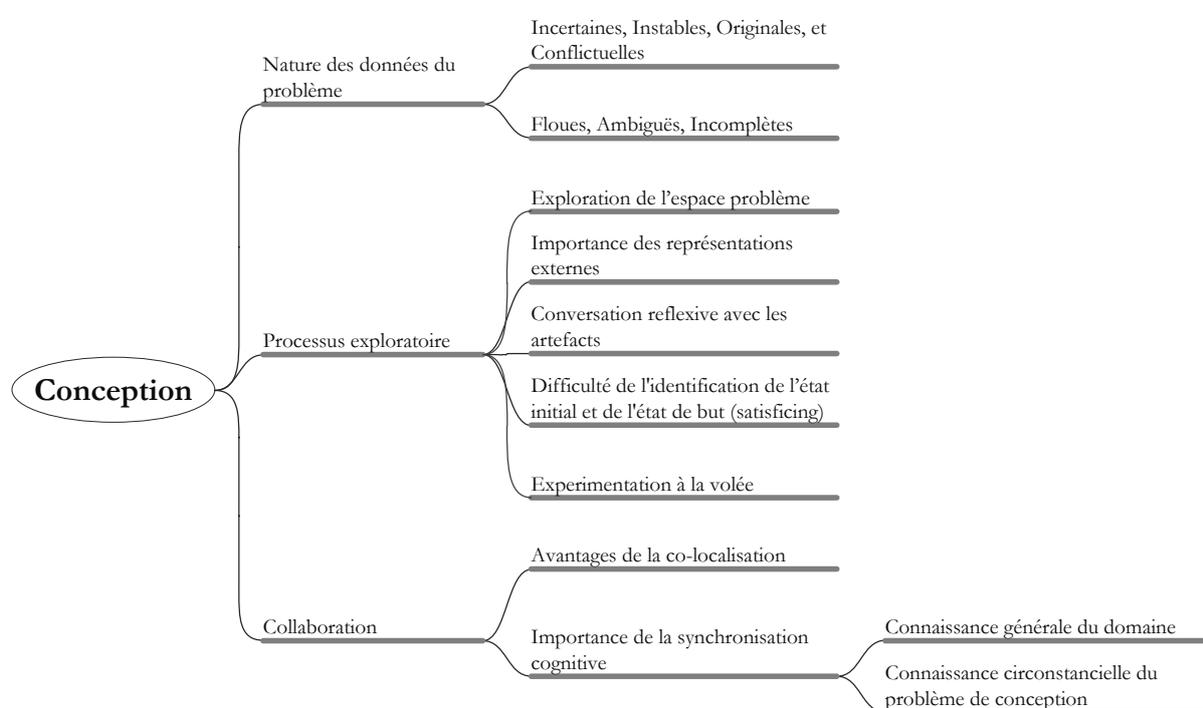


Figure 5 : Cartographie de la nature des activités de Conception Collaborative

Nous avons enfin regardé l'activité de conception comme une activité collective. Nous avons identifié deux formes d'activité collectives : la coopération et la collaboration. Au travers de cette différenciation nous avons mis en évidence l'importance de la *synchronisation cognitive* dans les activités collaboratives de co-conception. Il est en effet indispensable pour une équipe interdisciplinaire d'établir un langage de référence visant à mutualiser une *connaissance circonstancielle du problème de conception* (i.e. données du problème) ainsi qu'une *connaissance générale du domaine*. Enfin nous avons mis en lumière les avantages de la *co-localisation* dans la réalisation de ces activités, à savoir : le feedback rapide, la communication multicanal, le partage d'un contexte local, la coréférence, les interactions impromptues et le référencement spatial. L'ensemble des critères relatifs à la nature des activités de co-conception est synthétisé sur la Figure 5.

A l'issue de cette revue de la littérature, un certain nombre de questions restent en suspend. En effet, si l'activité de conception est un processus exploratoire au travers d'un espace problème, qu'est ce

qui définit réellement cet espace problème ? Où sont ses limites ? Arrive-t-il que les concepteurs en sortent ? Est-il possible de « déflouer » les étapes qui constituent son exploration ? Est-il possible d'identifier systématiquement les chemins possibles de ce processus exploratoire ? Comment supporter le partage des connaissances dans la collaboration entre disciplines ?

De toute évidence, il peut s'avérer très perturbant dans une situation de conception de ne pas savoir si l'on est passé à côté d'une meilleure direction, même si celle que l'on emprunte est viable. Les concepteurs connaissent bien ce problème. Dans le chapitre 2, nous étudierons l'ensemble des ressources disponibles pour la conception des IHMs avancées que sont les Systèmes Interactifs Mixtes (SIM). Cela nous conduira à identifier des éléments d'assistance pour ce processus exploratoire.

Il y a toutefois une dimension de la conception que nous n'avons pas abordée dans les sections précédentes. Cette dimension est récurrente dans la littérature en informatique, psychologie ou encore des sciences du design et sa/ses définitions sont parfois très proches de celles de l'activité de résolution de problème et de la conception en général. Il s'agit de la *Créativité*.

### 3 CREATIVITE : DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES

La créativité est omniprésente dans nos vies. L'adjectif créatif a pris une place considérablement importante dans nos magazines, journaux, émissions télévisuelles, etc. Cette faculté est employée sans modération et dans de multiples domaines (e.g. musique, loisir, travail, etc.). Notre quotient créatif constitue même désormais une qualité dominante qu'il ne faut plus hésiter à apposer sur un curriculum vitae. Toutefois, bien qu'employé à tort et à travers, la créativité reste considérée par la plupart d'entre nous comme une aptitude mystique, mystérieuse, énigmatique et exceptionnelle.

Pour ces raisons, nous avons cherché à comprendre cette faculté et nous analysons dans cette section comment et pourquoi la créativité et la conception sont si étroitement intriquées. Nous mettrons en évidence, un ensemble de définitions de la créativité, ses facteurs d'influence et comment la production de solution créative s'inscrit dans une activité de conception.

#### 3.1 Définitions et caractéristiques de la créativité

Parmi la variété de définitions de la créativité existantes, une plus consensuelle a été adoptée par la communauté en psychologie depuis maintenant une vingtaine d'années. En effet, la créativité est définie comme la capacité à réaliser une production qui soit à la fois *nouvelle* et *adaptée au contexte* dans lequel elle se manifeste (Amabile, 1996; Bonnardel, 2006; Lubart, Mouchiroud, Tordjam, & Zenasni, 2003). Les productions réalisées peuvent être de natures très diverses. Il peut s'agir d'idées, de compositions musicales, d'histoires, de productions scientifiques ou encore de systèmes. Dans les parties suivantes, nous allons étudier ces deux caractéristiques : la nouveauté et l'adaptation.

Concernant le caractère *novateur*, une production créative se doit d'être originale et imprévue. Elle doit se distinguer nettement par rapport à ses antécédents (Bonnardel, 2006). La littérature fait également mention de différents niveaux de nouveauté. Par exemple, deux types de créativité sont à distinguer : la **Créativité majeure** et la **créativité mineure** (Gardner, 1993). Cette distinction fait référence à la différence qui s'établit entre créativité historique et psychologique. En effet la première, la créativité C-majeure, est relative aux créations qui ont eu un impact historique fort tel que l'invention de l'ampoule électrique de Thomas Edison ou encore l'œuvre de Picasso. A contrario, la seconde, la créativité c-mineure fait référence aux aptitudes créatives qui sont impliquées dans nos quotidiens. Par exemple, pour des ingénieurs, il s'agira de résoudre un problème de conception, pour des publicitaires il s'agira de découvrir un slogan accrocheur, pour des architectes d'imaginer un aménagement adéquat, etc.

Concernant *l'adaptation* à un contexte, il va de soi qu'une production créative ne peut pas être simplement une réponse nouvelle (Lubart et al., 2003). La production d'une idée créative doit non seulement être adaptée à un domaine mais aussi répondre à un certain nombre de *contraintes*. Ces contraintes jouent un rôle essentiel dans le processus créatif, elles concourent fortement à la redéfinition du problème, qui est une des activités majeure dans l'activité de résolution de problème (Simon, 1995). Nous noterons donc que la gestion des contraintes constitue le degré d'adaptation d'une production créative. Ceci est particulièrement vrai en ingénierie où la présence de contraintes est systématique alors qu'elle est optionnelle dans d'autres disciplines tel l'art par exemple. Plus de détails concernant les contraintes et leur rôle en situation de conception sont apportées dans la partie 3.3.

En résumé, la production d'une idée créative se doit donc d'être originale et adaptée à un certain nombre de contraintes. Il est important de noter que dans la littérature les avis divergent quant au poids à accorder à chacun de ces deux critères. De plus, bien que nous ayons abordé la définition de la créativité la plus consensuelle, ce n'est évidemment pas la seule. La définition de cette activité a toujours fait débat dans la communauté scientifique. A titre d'exemple, pour (Franken, 2001), la créativité peut être vue

comme le fait de générer ou de reconnaître des idées nouvelles, des alternatives, ou des possibilités susceptibles de contribuer à la résolution d'un problème. Cette définition fait intervenir la notion de génération qui aura une importance particulière dans la suite de cette thèse.

Mais la définition et la compréhension de l'activité créative ne s'arrête pas à la caractérisation de ses productions. En effet, le processus créatif est influencé par un grand nombre de facteurs : individuels, sociaux et culturels. Dans la partie suivante, nous recensons les principaux facteurs d'influence sur la créativité et les processus cognitifs associés.

### 3.2 Facteurs d'influence sur créativité

Quand on parle de créativité, une question fréquemment soulevée tient aux écarts qui peuvent exister entre individus. En effet, de nombreuses études ont montré une variabilité créative inter-individuelle et intra-individuelle (Lubart et al., 2003). Pour tenter de l'expliquer en partie nous nous concentrons sur trois approches majeures dans la psychologie de la créativité. Au travers de ces différentes approches, nous allons déterminer (dans l'état des connaissances actuelles) les facteurs, les capacités qui déterminent le potentiel créatif d'un ou de plusieurs individus dans une situation donnée.

Tout d'abord, (Amabile, 1996) décrit trois composantes déterminantes dans la production créative : *la capacité dans un domaine, le processus employé et la motivation*. Selon l'auteur si une des trois composantes est absente la créativité ne s'exercera pas. En définitif, pour un domaine précis, les concepteurs doivent mettre en œuvre des processus spécifiques à l'activité créative et faire preuve de motivation pour avoir une chance d'atteindre des productions originales et adaptées.

Toutefois dans cette première approche, l'aspect situé de l'action et donc les facteurs ayant trait à l'environnement ; particulièrement importants dans le paradigme de Schön ; semble être faiblement considéré. Dans cette optique, *l'approche multi-variée* (Figure 6) développée par (Lubart et al., 2003), agrège les critères précédemment énoncés à de nombreux autres tel que les facteurs émotionnels et environnementaux. Dans les paragraphes suivants nous allons faire un rapide tour de cette approche intégratrice de la créativité dans le but de mieux la cerner et de comprendre les facteurs d'influence et les enjeux de l'acte créatif.

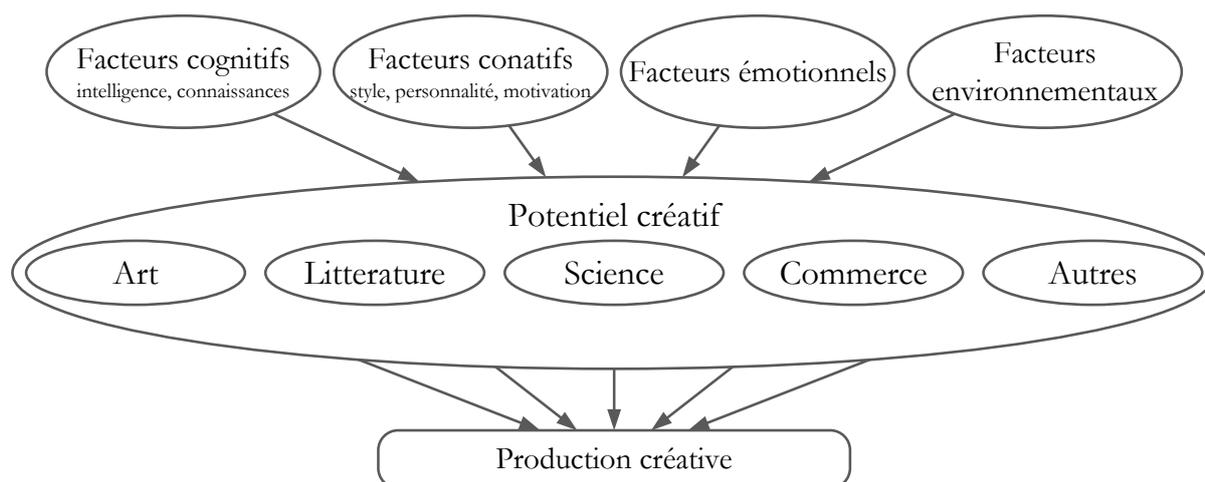


Figure 6 : L'approche multi-variée de la créativité d'après (Lubart et al., 2003)

Dans (Lubart et al., 2003), *l'approche multi-variée* décrit les facteurs d'influence sur la créativité selon quatre axes (Figure 6) : facteurs cognitifs, conatifs, émotionnels et environnementaux.

Tout d'abord Le premier facteur d'influence a trait aux éléments d'ordre *cognitifs*. Il s'agit notamment de :

## Créativité : définitions et caractéristiques

- La faculté à *identifier, définir, redéfinir* le problème
- *l'encodage sélectif* (relever dans l'environnement des informations en rapport avec le problème)
- La *comparaison sélective* (observer des similitudes inter-domaines, réaliser des analogies, des métaphores)
- La *combinaison sélective* (regrouper des éléments d'informations et les associer)
- La *pensée divergente* (générer une multiplicité de nouvelles idées)
- La capacité d'*évaluation* des idées (sélectionner les idées prometteuses)
- La *flexibilité* (se dégager d'une idée initiale pour explorer de nouvelles pistes)
- Les *connaissances* de l'individu ou « capacité dans le domaine » selon (Amabile, 1996)

Au sujet de ce dernier point, l'importance des connaissances dans un domaine est donc à considérer de manière modérée, trop de connaissances pouvant altérer la redéfinition du problème. Selon (Lubart et al., 2003) deux points de vues s'opèrent concernant l'influence de la connaissance sur la créativité. Par exemple, certaines études ont tenté de montrer l'effet de la présentation d'exemples sur la production de solutions créatives (Marsh, Landau, & Hicks, 1996). Il en résulte que la présentation d'exemples peut avoir un effet positif sur la créativité si les individus font l'abstraction des éléments caractéristiques présents dans les différents exemples. A contrario, La connaissance peut avoir un effet négatif sur la créativité comme l'a montré la célèbre expérience de la bougie de Duncker (Glucksberg & Weisberg, 1966). Cette expérience a montré la difficulté qu'un individu a à dissocier un objet de sa fonction ce qui impacte la flexibilité de la pensée. Ce phénomène est appelé « *fonctionnal fixedness* ».

Le deuxième axe majeur de l'approche multi-variée de Lubart a trait aux facteurs d'influence d'ordre *conatifs*. Les aspects conatifs font référence à trois facteurs :

- La *personnalité* : persévérance, tolérance à l'ambiguïté, ouverture, individualisme, capacité de prise de risque ou encore psychotisme.
- Le *style cognitif* : global/minutieux, intuitif/sensitif ou encore adaptation/innovation
- La *motivation* : soit intrinsèque, c'est-à-dire induite par le désir, le besoin, l'envie de l'individu à atteindre le but ; soit extrinsèque, c'est à dire induite par une récompense externe n'ayant pas de lien particulier avec le but de tâche elle-même. Selon (Amabile, 1996) la créativité serait favorisée par l'absence de motivation extrinsèque et la présence de motivation intrinsèque.

Le troisième facteur d'influence moteur de la créativité est l'émotion. Selon (Lubart et al., 2003) en situation créative, l'émotion peut être considérée comme facteur d'influence selon trois points de vue différents. En effet, les émotions peuvent être vues en tant que :

- *Variable motivationnelle* (un moyen d'exprimer des expériences affectives)
- *Variable contextuelle* (état émotionnel pouvant favoriser ou inhiber la créativité)
- *Variable fonctionnelle* (stimulus permettant aux sujets de porter leur focus sur des concepts spécifiques)

En définitive, il est important de retenir que l'état émotionnel d'un individu aura un impact sur sa créativité. Toutefois comme le souligne (Lubart et al., 2003), relativement peu d'études visant à démontrer un lien potentiel entre créativité et émotions ont été conduites à ce jour.

Pour finir *l'approche multi-variée* spécifie l'environnement comme étant un dernier facteur d'influence de l'acte créatif (Lubart et al., 2003). Ainsi la famille, la scolarité, le milieu professionnel, le milieu socio-culturel, ainsi les outils technologiques à disposition (e.g. la télévision) aurait un impact sur le développement des capacités créatives de l'individu, certaines conditions pouvant favoriser ou freiner l'accès à la connaissance à des ressources de nature diverses et certaines cultures pouvant conditionner l'acceptabilité de la créativité. Ce facteur d'influence complète en cela l'approche de la conception située

de Schön.

Cette approche contextualisée est soutenue dans (Csikszentmihalyi, 1996) où une vue systémique de la créativité est avancée. Selon cette vue systémique, la créativité serait en fait un cycle d'interaction entre trois systèmes (Figure 7) :

- L'*individu* qui produit les idées, des connaissances dans un domaine en s'appuyant sur ses processus cognitifs ainsi que sur son historique personnel
- Le *domaine* qui est le corpus de savoirs, de connaissance d'ordre culturelle préalablement sélectionnées par le champ
- Le *champ* qui est composé de l'ensemble des personnes (physiques ou morales), contrôlant, évaluant, sélectionnant les idées à retenir dans le domaine

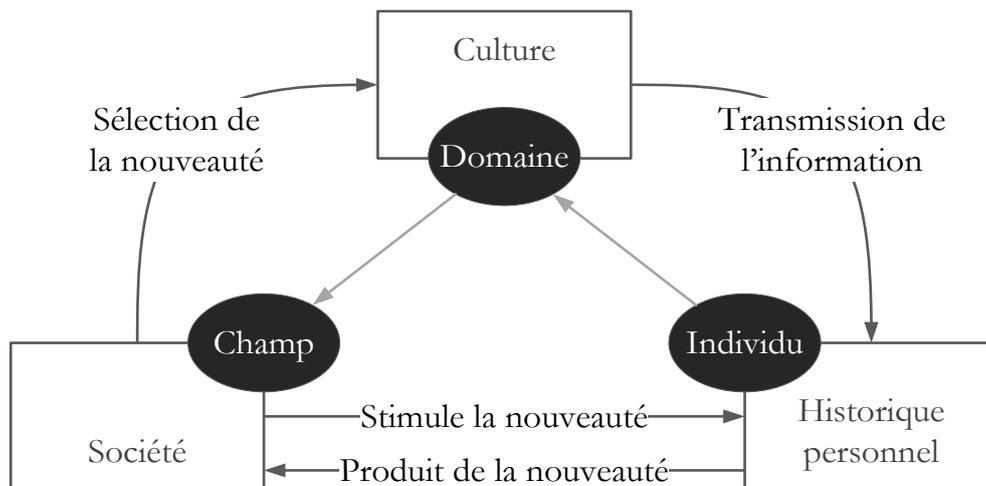


Figure 7 : L'approche systémique de la créativité d'après (Csikszentmihalyi, 1996)

D'après cette approche la créativité ne serait donc pas fonction de ces composantes mais des interactions qui s'établissent entre elles.

Pour conclure sur les facteurs d'influence sur la créativité nous retiendrons que celle-ci est impactée par les caractéristiques de l'individu, par la tâche elle-même ainsi que par l'environnement dans lequel elle se déroule. En d'autres termes la créativité est sujette à de très nombreuses sources d'influence. Toutefois parmi cette multitude de facteurs certains d'entre eux sont influençables de manière artificielle, voire contrôlable dans une situation définie. Par exemple, il est possible d'influencer la motivation intrinsèque des participants en rendant une tâche plus agréable (Brandt & Messeter, 2004). De la même manière, il existe des outils et des méthodes visant à faciliter certains processus cognitifs tel que le brainstorming pour la pensée divergente (Osborn, 1965). Ces outils de facilitation de la créativité sont fréquemment utilisés dans les activités de conception car la créativité y tient une place majeure.

En effet, les concepteurs se doivent de proposer des solutions *originales* pour se démarquer de la concurrence, attirer les utilisateurs, les clients, quel que soit la nature de la production en question (e.g. logiciels, objets, bâtiments, etc.). Toutefois comme nous l'avons vu dans la définition de la créativité, ces productions se doivent d'être *adaptées* et donc de répondre à un certain nombre de contraintes. Dans cette section, nous allons voir comment caractériser l'originalité d'une production créative, quel est la nature de ces contraintes impliquées dans le processus et quelles techniques existent pour gérer, provoquer, stimuler cette créativité.

### 3.3 Particularités de la créativité en conception

Comme nous l'avons abordé dans la section 2.1.1, la conception implique l'exploration d'un espace problème. De ce fait, l'identification de solutions créatives se produit au sein de cet espace. L'ensemble des solutions créatives constituent un sous ensemble de cet espace problème. Comme cela est représenté sur la Figure 8, il est désormais communément accepté que l'espace problème peut être divisé en fonction de trois catégories de solutions qu'il contient (Gero, 1990) :

- *L'espace des solutions routinières* : Cet espace contient l'ensemble des solutions dites routinières, ou habituelles. Ces solutions sont caractérisées par l'ensemble des *variables connues* et des *valeurs connues* qu'elles peuvent prendre. Cet espace est relativement étroit puisqu'il n'est constitué que de l'ensemble des instances de solutions existantes.
- *L'espace des solutions innovantes* : Cet espace contient l'ensemble des solutions dites innovantes. Celui-ci est défini par l'ensemble des *variables connues* mais les *valeurs* qu'elles peuvent prendre est *indéterminé*. Ceci le distingue de l'espace routinier car l'identification de nouvelles valeurs et de nouvelles combinaisons de variables donne naissance à des solutions inattendues.
- *L'espace des solutions créatives* : Cet espace contient l'ensemble des solutions dites créatives. Celui-ci est défini par l'identification et l'usage de *nouvelles variables*. Ceci résulte en l'expansion de l'espace de conception et en un potentiel changement de paradigme d'un domaine.

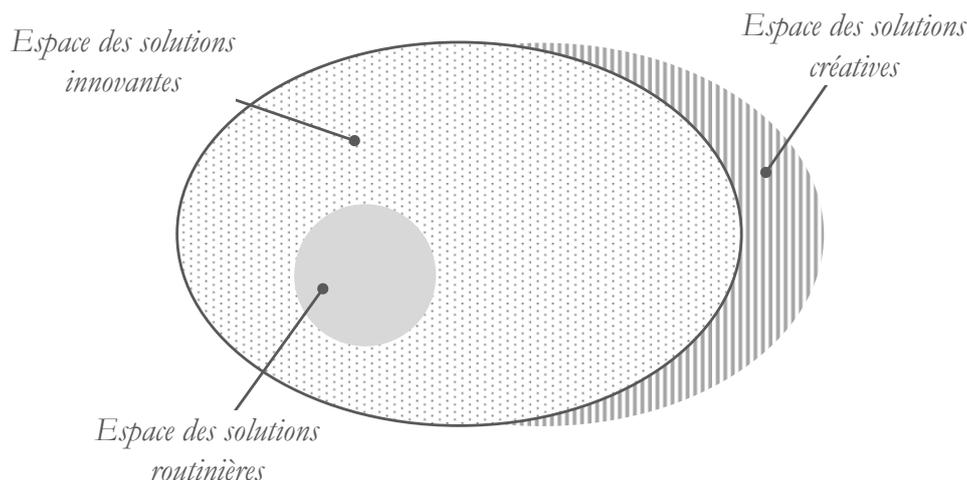


Figure 8 : Espaces de solutions routinières, innovantes et créatives d'après (Gero, 1990).

Pour explorer cet espace, il est nécessaire d'en connaître à la fois les limites et les stratégies de parcours. Les limites de cet espace de conception sont définies par le paradigme conceptuel dans lequel s'inscrit le problème. Les stratégies de parcours sont déterminées non seulement par le processus d'exploration mis en œuvre mais aussi par les contraintes du problème de conception.

L'accès à l'espace des solutions innovantes ou créatives d'une solution créative tient donc à la gestion que les concepteurs font des contraintes et des processus d'exploration mais aussi à la connaissance qu'ils ont des limites de l'espace problème.

Dans les parties suivantes, nous allons voir en quoi ces contraintes constituent le matériel de base dans la structuration de l'espace de conception et quelles techniques permettent l'identification de solutions créatives et/ou innovantes dans cet espace.

### 3.3.1 Différents types de contraintes

En effet, bien qu'aucune définition consensuelle de la notion de contrainte ne soit acceptée dans le domaine de l'ergonomie cognitive, les contraintes peuvent être vues comme les propriétés de la solution recherchée qui par conséquent guide l'exploration de l'espace des possibles (Bonnardel, 2006). Les contraintes peuvent y être catégorisées en deux types :

- *Contraintes issues du problème* : Ces contraintes sont imposées par le problème à résoudre et sont le résultat de l'interprétation de la situation initiale par le concepteur. Par exemple, dans la conception d'un système informatique l'ensemble des exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles constituent les contraintes de base dans l'élaboration de la solution.
- *Contraintes ajoutées par le concepteur* : Il arrive que les concepteurs soient amenés à ajouter eux-mêmes des contraintes pour atténuer le caractère *mal défini* (Schön, 1992) des problèmes de conception. Par exemple, dans la conception d'IHM, il peut s'agir d'un choix délibéré de métaphore d'interaction ou encore de l'emploi de recommandations ergonomiques visant à améliorer l'utilisabilité du système.

Dans un problème de conception, les contraintes n'ont pas nécessairement toutes la même importance, un poids leur est accordé. En effet, certaines d'entre elles peuvent être négociées au cours du processus de conception alors que d'autres sont considérées comme incontournables. Par exemple, dans un logiciel de traitement de texte, la saisie du texte apparaît comme une fonctionnalité incontournable alors que l'enregistrement dans différents formats peut apparaître comme accessoire. L'ensemble de ces contraintes contribuent donc fortement à la définition/redéfinition du problème (i.e. structuration de l'espace de conception), à l'élaboration de solutions (i.e. définition de but à atteindre) et aussi à l'évaluation des solutions (i.e. appréciation de la compatibilité de la solution avec les exigences). Comme cela est souligné dans (Bonnardel, 2000), nous retiendrons donc que la créativité en conception se manifeste au sein d'un *environnement cognitif contraint*.

De plus, l'exploration même de l'espace problème se réalise au travers de la gestion des contraintes, quel que soit leur niveau d'importance. La contrainte guide donc l'exploration et par voie de conséquence la nourrit et la stimule. Plusieurs méthodes exploratoires sont cependant mentionnées dans la littérature, certaines d'entre elles favorisant l'identification de solutions innovantes ou créatives. C'est l'objet de la partie suivante.

### 3.3.2 Différentes méthodes d'exploration de l'espace problème

Le processus créatif pouvant être considéré au même titre que la conception comme un processus exploratoire, il est envisageable de proposer des outils, des méthodes visant à supporter cette exploration. D'après (Shneiderman, 2000), il existerait trois perspectives possibles pour aborder le processus créatif :

1. L'approche « Inspirationniste » (traduit de l'anglais *inspirationalist*) qui met l'accent sur les processus d'incubation des idées conduisant à l'émergence de la solution chez l'individu (le célèbre « Eureka » d'Archimède). La découverte d'une idée créative peut être facilement supportée via des méthodes exploratoires dites de pensée divergente comme le brainstorming (Osborn, 1965).
2. L'approche « Structuraliste » qui suggère l'importance l'étude de l'existant et l'exploration des possibles de manière exhaustive. Ici, le processus de réflexion engagé est du type « et si ? » et peut être supporté via des méthodes de pensée convergente tel que ASIT (Horowitz, 1999).
3. L'approche « Situationniste » (traduit de l'anglais *situationalists*) qui met l'accent sur l'influence du contexte social et intellectuel. Cette approche est à rapprocher de la vision de la créativité proposée par (Csikszentmihalyi, 1996).

Au même titre que les différents paradigmes de la conception développés dans la partie 2.2, ces trois

approches ne sont pas incompatibles, elles peuvent d'ailleurs apparaître comme complémentaires en situation de conception. En effet, la reformulation du problème, exploration de l'espace de conception et l'expérience individuelle du concepteur sont impliquées dans les processus de conception.

De plus, dans les approches *Inspirationnistes* et *Structuralistes*, une tâche particulière se retrouve : *L'exploration de l'espace de conception*. Pour aider les concepteurs dans cette tâche d'exploration, de nombreuses méthodes ont été développées. Nous pouvons distinguer deux grandes catégories de mode de pensée visant à supporter cette exploration (Guilford, 1950) :

*La pensée divergente* : Il s'agit d'un processus visant à rechercher de manière pluridirectionnelle un maximum d'idées à partir d'une situation de départ (Figure 9.a). De cette manière le ou les concepteurs génèrent des idées différentes dans le but de créer plusieurs éventualités et donc plusieurs pistes à essayer. Les méthodes de pensées divergentes ont donc pour but l'identification de plusieurs chemins conduisant à la solution dans l'espace de conception. La plus connue est la méthode du brainstorming (Osborn, 1965). Dans cette méthode 5 à 7 personnes co-localisées produisent un maximum de solutions à un problème donné. Le principe est simple, plus le nombre d'idées produites est grand plus la probabilité de trouver une idée créative est grande. Pour augmenter le potentiel d'exploration, la méthode incite les participants à prendre des risques et à proposer les idées les plus folles possibles. De plus, un brainstorming doit se concentrer sur la génération d'idées et non pas sur leur évaluation pour éviter l'ajout potentiel de contraintes et donc guider dans une seule voie l'espace de conception. Au regard de la taxonomie de Shneiderman cette méthode s'inscrit clairement dans le courant « inspirationniste » de la conception créative.

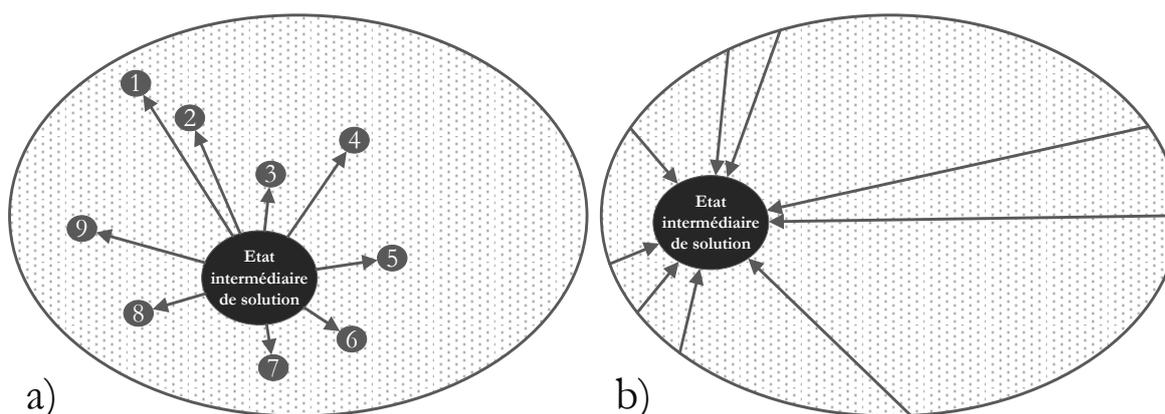


Figure 9 : Opposition de la pensée divergente (a) à la pensée convergente (b)

*La pensée convergente* : Ce processus de pensée est radicalement opposé au précédent. En effet, la pensée convergente vise à atteindre une seule solution en faisant les meilleurs choix possibles (Figure 9.b). La pensée convergente s'appuie sur la rapidité, la précision, la logique ainsi que sur la collecte d'information. Les méthodes de pensée convergente visent donc à l'identification d'une solution en s'appuyant sur des raisonnements rationnels et au travers de la réutilisation de l'existant. D'après (Guilford, 1950), seule la pensée divergente permettrait la production de solutions créatives, le processus exploratoire de la pensée convergente se contraignant à l'analyse de l'existant. Toutefois, certaines méthodes ont montré le contraire. Par exemple, la méthode « TRIZ » (i.e. théorie de résolution des problèmes inventifs) initialement proposée par Genrich Altshuller en 1946 est une méthode de résolution de problème s'appuyant sur les principes de la pensée convergente (Altshuller & Seredinski, 2004). TRIZ s'appuie sur l'idée que les problèmes présentant des analogies peuvent être résolus via des solutions analogues. Cette théorie vise à l'exploration de l'espace de conception au travers de 40 principes fondamentaux physique relatifs à l'ingénierie. A titre d'exemple, TRIZ permet de résoudre la contradiction suivante : un objet statique doit plus long sans être plus lourd. En utilisant la matrice, il est possible de déterminer que le

remplacement d'un matériau homogène par un matériau composite permettra de résoudre ce problème. Cette méthode fournit donc des mécanismes de production de contraintes et d'identification de solutions bien spécifiques dans l'espace de conception. Au regard de la taxonomie de Shneiderman cette méthode s'inscrit clairement dans le courant « Structuraliste » de la conception créative.

Au-delà des théories issues du domaine de la psychologie de la créativité, dans la conception d'interactions homme-machine l'intérêt de ces deux modes de pensée (convergence/divergence) est également souligné par les experts du domaine de l'interaction homme machine. Pour n'en citer qu'un, Bill Buxton mentionne (Buxton, 2007) :

« La conception est une affaire de choix et deux moments sont appropriés pour laisser place à la créativité :

1. La créativité vous conduisant à énumérer distinctement un ensemble d'options à choisir
2. La créativité vous conduisant à définir des critères ou des heuristiques au travers desquels vous réaliserez vos choix »

Le premier moment fait référence au mode de pensée divergente grâce auquel un ensemble d'alternatives peut être produit et le second fait référence à la pensée convergente où au travers d'un ensemble de règles, des choix peuvent être établis.

Pour conclure sur les liens entre créativité et conception, nous retiendrons deux éléments essentiels. Premièrement au même titre que pour les activités de résolutions de problème ordinaires, l'identification d'une solution créative est avant tout un problème d'exploration des possibles. L'enjeu tient donc dans l'atteinte de l'espace des solutions innovantes/créative. Deuxièmement, nous retiendrons qu'il est possible de stimuler de processus exploratoire. Différentes approches ont été développées pour stimuler cette exploration. La pensée divergente soutiendra une exploration large et pluridirectionnelle pour augmenter la probabilité d'aboutir à la bonne idée. A l'opposé la pensée convergente s'appuiera plutôt sur l'introduction de contraintes permettant de réaliser des sauts dans l'espace de conception et d'atteindre ses limites. Les contraintes servent donc de levier à l'identification de solutions inattendues. Dans la prochaine partie nous proposons une synthèse sur la créativité et identifions les leviers nécessaires à la stimulation de la créativité en situation de conception.

### 3.4 Synthèse sur la créativité en conception

Dans la section 2, nous avons abordé la créativité sous plusieurs angles. Tout d'abord nous avons défini la nature d'une production créative. Une production créative se doit d'être originale et adaptée à un contexte. Pour la psychologie de la créativité, la découverte de solutions satisfaisant ces deux critères tiendrait à l'influence de plusieurs facteurs. En effet, selon l'approche multi-variée, la créativité est influencée par plusieurs catégories de facteurs (Lubart et al., 2003) (i.e. cognitifs, conatifs, émotionnels, environnementaux) se manifestant dans un contexte socio-culturel (Csikszentmihalyi, 1996). Nous avons synthétisé l'ensemble des facteurs d'influence sur la créativité en conception que nous avons retenu sur la Figure 6.

Les facteurs d'ordre cognitifs sont multiples et plusieurs font échos aux théories de la conception dont nous avons fait la revue dans la section 2.2. Par exemple, la redéfinition du problème ainsi que la capacité à relever l'information pertinente (encodage sélectif) sont clairement en ligne avec les mécanismes de résolution de problème. A l'inverse, le raisonnement *analogique* (comparaison sélective), la *combinaison* d'informations (combinaison sélective), la *pensée divergente* constituent des mécanismes cognitifs qui semblent plus spécifiques au raisonnement créatif. A ces modes de traitement s'ajoute la *pensée convergente* qui a démontré sa capacité à aider les individus dans la génération d'idées innovantes pour des domaines bien définis tel que la physique ou la mécanique.

Cette adéquation entre mécanismes cognitifs et caractéristiques des activités de conception nous a

conduits à porter une attention toute particulière sur les facteurs cognitifs et sur la manière de les stimuler. Recourir à l'emploi de pratiques visant à stimuler les processus cognitifs favorisant la créativité apparaît donc plus raisonnable. Par conséquent dans les travaux de recherche qui sont présentés dans la suite de ce manuscrit nous mettrons clairement l'accent sur la considération des facteurs cognitifs vis à vis des autres facteurs de l'approche multi-variée (i.e. conatifs, émotionnels et environnementaux).

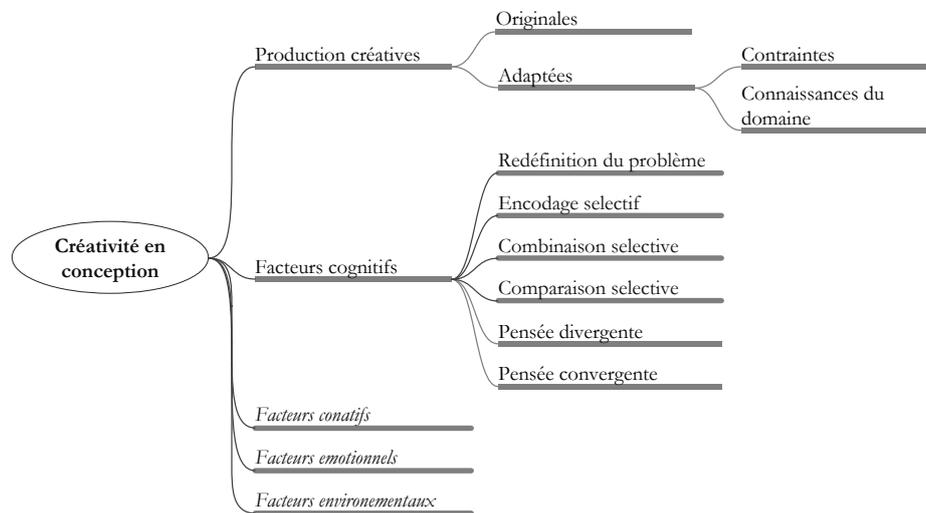


Figure 10 : Cartographie de la nature de la créativité en conception

En résumé, la découverte d'une solution créative à un problème de conception dépend de l'efficacité de l'exploration de l'espace de conception. Explorer cet espace dans sa totalité est rarement possible car trop large et mal défini comme le suggère Simon (Simon, 1969). Cependant comme nous l'avons montré, il existe des méthodes visant à stimuler cette exploration. Par exemple, la pensée divergente vise une exploration en largeur alors que la pensée convergente vise une exploration ciblée. Nous avons également identifié qu'un processus exploratoire se nourrit de la *contrainte*, qu'elle soit intrinsèque au problème de conception ou artificiellement ajoutée par les concepteurs. Une *exploration efficace de l'espace de conception* est donc possible sous réserve d'apporter un support méthodologique adéquat.

Nous avons mis en évidence que certains éléments d'influence apparaissent commun à la conception et à la créativité. En conséquence dans la section suivante nous proposons de synthétiser la cartographie de la production des activités créatives (Figure 10) avec celle des activités de conception collaborative (Figure 5) dans le but d'identifier leurs points communs et de proposer un ensemble de critères définissant la nature du processus créatif en situation de conception.

## 4 CONCLUSIONS SUR LA CONCEPTION COLLABORATIVE & CREATIVE

Dans les sections précédentes nous avons mis en évidence les grandes caractéristiques des activités de conception collaboratives. Nous avons ensuite étudié la définition de la créativité, ses facteurs d'influence et les grandes catégories de stimuli potentiels. A l'issue de cette double étude (conception/créativité) nous proposons de mettre en évidence un certain nombre de principes de haut niveau devant être supportées en situation de conception créative et collaborative.

Premièrement, nous avons montré en quoi les problèmes de conception étaient mal définis. En effet, pour Simon les problèmes de conception sont flous, ambigus, incomplets et pour Schön ils sont incertains, instables, originaux et conflictuels. Les deux paradigmes se rejoignent donc à notre sens sur ce point et établissent clairement le manque de définition des données nécessaires à la résolution d'un problème de conception. Par voie de conséquence, ce manque de définition impacte négativement deux aspects additionnels : la créativité et la collaboration.

En effet, nous avons montré en quoi la contrainte guide l'exploration de l'espace problème et la stimule dans le but d'atteindre des solutions créatives (Bonnardel, 2006). Les contraintes étant part du problème de conception, elles subissent donc le manque de définition des données du problème. La créativité ne profite donc pas ou peu de la stimulation que ces contraintes pourraient déclencher.

Ensuite, l'aspect synchrone des situations de collaboration nous a conduits à mettre en lumière l'importance de la création d'une représentation partagée du problème entre les participants (Détienne et al., 2004). En effet, rappelons que dans les situations interdisciplinaires chaque participant a une représentation mentale différente des données circonstancielles du problème, c'est à dire des exigences, des contraintes, des fonctions exigées par le domaine d'application (e.g. aéronautique, bureautique, jeu vidéo, médecine, etc.). Le manque de définition des problèmes de conception impacte donc également l'efficacité de la synchronisation cognitive en situation collaborative car ni le problème, ni une représentation partagée de celui-ci ne peut être clairement établie.

Pour toutes ces raisons nous retiendrons un premier principe fondamental en situation de conception collaborative : *Etablir et partager une définition claire du problème de conception.*

Deuxièmement, les connaissances théoriques mises en œuvre (i.e. concepts scientifiques manipulés) gagneraient également à être définies clairement. En effet, une définition claire des concepts théoriques manipulés permettrait de réduire les mécompréhensions, les ambiguïtés et donc de limiter les efforts de synchronisation cognitive en situation collaborative interdisciplinaire.

Définir les concepts théoriques impliqués peut de plus jouer un rôle non négligeable dans la résolution du problème lui-même. En effet, l'établissement d'une définition des concepts impliqués peut fournir un tracé aux limites de l'espace problème. De cette manière, il est possible d'envisager une exploration systématique de l'espace problème. Une telle systématisation constituerait de plus un support pertinent à l'adaptation au domaine des solutions générées. Les 40 principes de la méthode TRIZ (Altshuller & Seredinski, 2004) sont un exemple d'une telle délimitation de l'espace problème. En conséquence des méthodes exploratoires alliant convergence et divergence sont envisageables. C'est pourquoi nous retiendrons le deuxième principe suivant : *Définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine.*

Troisièmement, dans notre revue de la littérature autour des facteurs d'influence sur la créativité, nous avons souligné l'importance des facteurs cognitifs dans l'exploration de l'espace problème. La redéfinition du problème, l'encodage sélectif (i.e. extraction de l'information pertinente), la combinaison sélective (i.e. combinaison d'éléments d'information) et la comparaison sélective (i.e. le raisonnement analogique), la pensée divergente et la pensée convergente sont tant de processus de pensée permettant d'explorer de différente manière l'espace de conception (Lubart et al., 2003). En conséquence, dans le but

d'explorer l'espace problème dans ses limites les plus retranchées, nous en retirons ce troisième principe général : *Tirer profit d'un de ces processus exploratoires.*

Quatrièmement, nous avons mis en évidence que les représentations externes jouent un double rôle dans les activités de résolution de problème : le rôle d'aide-mémoire et le rôle de stimuli à la réinterprétation (Zhang, 1997). De plus, leur emploi est intrinsèquement lié aux activités de conception. En effet, la conception peut être regardée comme une activité de construction/réalisation d'artefacts (Schön, 1984). Au-delà de la réinterprétation, la construction même de représentations externes constitue un stimulus à la redéfinition de l'espace problème. Pour ces raisons nous retirons notre quatrième principe général : *Externaliser les idées et construire les solutions intermédiaires en conception.*

Cinquièmement, nous avons souligné que l'atteinte de la solution optimale ne pouvait être qu'approché (Simon, 1969). L'identification de l'atteinte du niveau d'aspiration d'une solution doit donc passer par une étape d'évaluation. De la même manière, Schön a mis en évidence que les concepteurs réalisaient des micro-expérimentations durant la recherche d'une solution, ce qui constitue une forme d'évaluation de la production. Enfin nous avons vu qu'une production créative se doit d'être nouvelle et adaptée à un contexte. En situation de conception il est donc important de vérifier le caractère original ainsi que l'adéquation au contexte d'une solution intermédiaire. Pour toutes ces raisons nous retirons un cinquième principe général : *Evaluer les productions.*

Pour finir, nous avons examiné les avantages de la co-localisation tel que le feedback rapide, la communication multicanal, le partage d'un contexte local, la coréférence, les interactions imprévisibles et le référencement spatial (Olson & Olson, 2000). La co-localisation facilite considérablement le travail simultané sur des représentations externes communes et constitue la meilleure situation en termes de qualité d'échanges verbaux et non verbaux. L'élaboration collaborative de solution de conception gagne donc considérablement à se dérouler dans un contexte spatial commun. C'est pourquoi nous retiendrons ce sixième et dernier principe : *Privilégier les situations co-localisées.*

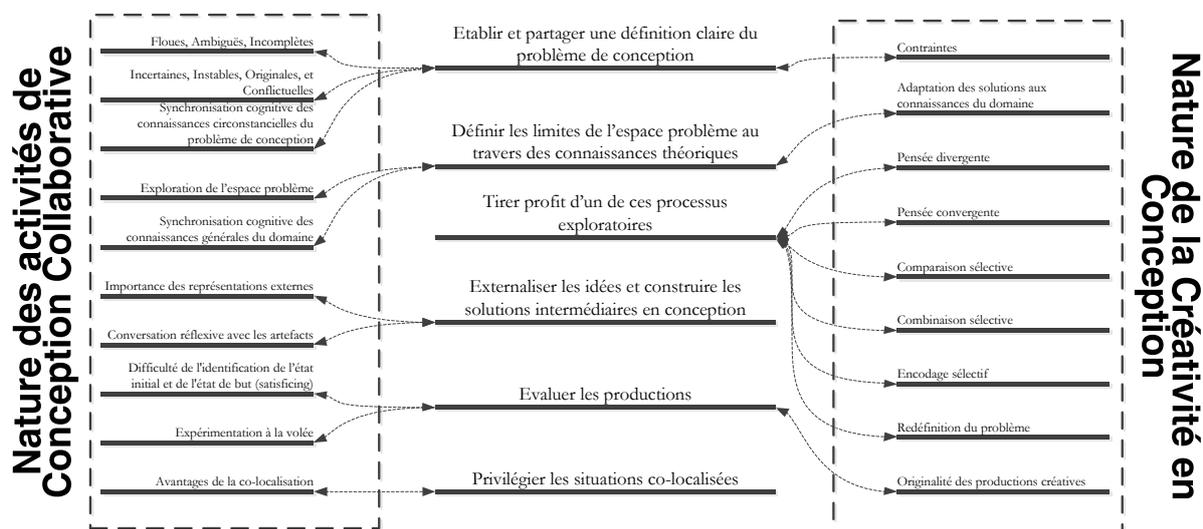


Figure 11 : Croisement de la nature des activités de conception collaboratives et des activités de conception créatives

Ces six grands principes identifiés à l'issue de notre étude croisée des activités de conception collaborative et des activités de conception créatives constituent un ensemble de critères contribuant à l'efficacité du déroulement d'une situation de conception collaborative et créative. Toutefois, si la production de solutions créatives est possible sous réserve d'une exploration efficace, quelques questions

restent en suspend.

Pour un domaine donné comme celui de l'interaction homme machine qu'est ce qui définit les limites de l'espace problème ? Si la pensée divergente permet d'établir différents chemins, n'est-il pas possible pour un domaine donné d'optimiser cette pluralité ? Si la pensée convergente nous fournit les leviers nécessaires à l'exploration des possibles, quels sont ces leviers pour le domaine des IHM ?

Ces questions apparaissent particulièrement pertinentes pour un domaine où les solutions et leurs alternatives possibles sont particulièrement nombreuses. C'est le cas des Systèmes Interactifs Mixtes, dont l'espace de conception est constitué non seulement de celui du domaine de l'IHM mais aussi d'un grand nombre de dimensions de variabilité additionnelles. Ce sera l'objectif du Chapitre 2.

De plus, nous pouvons nous interroger sur la capacité des ressources de conception actuelles à supporter ces grands principes. Dans le Chapitre 3, nous allons tenter de répondre en partie à ces questions en explorant l'ensemble des ressources dédiées à la conception des systèmes interactif mixtes. A l'issue de cette revue nous tenterons d'identifier la ou les ressources de conception pouvant assister au mieux une exploration collaborative de l'espace de conception et donc par voie de conséquence engendrer de manière systématique une forme de créativité.

## 5 BIBLIOGRAPHIE

- Altshuller, G., & Seredinski, A. (2004). 40 Principes d'innovation : Triz pour toutes applications (Broché). Retrieved from <http://www.amazon.fr/40-Principes-dinnovation-toutes-applications/dp/2952139407>
- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context*. Boulder (p. xviii, 317 p). Westview Press. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Creativity+in+Context#0>
- Bonnardel, N. (2000). Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment. *{Knowledge-Based} Systems*, 13(7-8), 505-513. doi:10.1016/S0950-7051(00)00067-8
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception : Approches cognitives et ergonomiques*. Solal Editeurs.
- Brandt, E., & Messeter, J. (2004). Facilitating collaboration through design games. *Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices - Volume 1* (pp. 121-131). Toronto, Ontario, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1011870.1011885&coll=ACM&dl=ACM&CFID=78624755&CFTOKEN=48702884>
- Bucciarelli, L. L. (2002). Between thought and object in engineering design. *Design Studies*, 23(3), 219-231. Elsevier. doi:10.1016/S0142-694X(01)00035-7
- Buxton, B. (2007). *Sketching user experiences: getting the design right and the right design*. Interactive Technologies (p. 445). Morgan Kaufmann. Retrieved from <http://www.amazon.ca/exec/obidos/redirect?tag=citeulike09-20&path=ASIN/0123740371>
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. 1996. New York (4th ed.). Harper Collins. Retrieved from <http://www.amazon.fr/Creativity-Flow-Psychology-Discovery-Invention/dp/0060928204>
- Détienne, F., & Traverso, V. (2009). *Méthodologies d'analyse de situations coopératives de conception : Corpus MOSAIC*. (F. Détienne & V. Traverso, Eds.) (p. 317). Presses Universitaires de Nancy.
- Détienne, F., Boujut, J.-françois, & Hohmann, B. (2004). Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering Design Situation. *6th International Conference on the Design of Cooperative Systems - COOP'04* (pp. 83-98). Retrieved from <http://hal.inria.fr/inria-00117077/en/>
- Détienne, F., Martin, G., & Lavigne, E. (2006). Viewpoints in co-design: a field study in concurrent engineering. *Design Studies*, 26(3), 215-241. Elsevier. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/cs/0611152>
- Fiore, S. M., Rosen, M., Salas, E., Burke, S., & Jentsch, F. (2007). Problem-solving : Parsing and Defining the Theoretical Problem Space. *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 143-163.
- Franken, R. E. (2001). *Human Motivation* (p. 480). Wadsworth Publishing. Retrieved from <http://www.amazon.com/Human-Motivation-InfoTrac-Robert-Franken/dp/0534555306>
- Gardner, H. (1993). *Creating Minds: An Anatomy of Creativity As Seen Through the Lives of Freud, Einstein, Picasso, Stravinsky, Eliot, Graham, and Gandhi* (p. 464). New York: Basic Books.
- Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, 11(4), 26. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=95788.95793>
- Glucksberg, S., & Weisberg, R. W. (1966). Verbal behavior and problem solving: Some effects of labeling in a functional fixedness problem. *Journal of Experimental Psychology*, 71(5), 659-664. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/xge/71/5/659.pdf>
- Greeno, J. G., & Moore, J. L. (1993). Situativity and Symbols: Response to Vera and Simon. *Cognitive Science*, 17(1), 49-59. doi:10.1207/s15516709cog1701\_3
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454.

- Horowitz, R. (1999). *Creative Problem Solving in Engineering Design*. TEL-AVIV UNIVERSITY. Retrieved from <http://ebookbrowse.com/creative-problem-solving-in-engineering-design-thesis-by-roni-horowitz-pdf-d40009706>
- Kirk, D., Crabtree, A., & Rodden, T. (2005). Ways of the hands. In U. K. Hans Gellersen Lancaster University, D. Kjeld Schmidt IT University of Copenhagen, F. Michel Beaudouin-Lafon Université Paris-Sud, & F. Wendy Mackay INRIA (Eds.), *Proceedings of ECSCW'05* (pp. 1-21). Paris, France: Springer-Verlag New York, Inc. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1242029.1242030>
- Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive Science*, 18(4), 513-549.
- Larkin, J. H. (1989). Display Based Problem Solving. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex Information Processing* (pp. 69-108). Lawrence Erlbaum Associates.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11(1), 65-100. Elsevier. doi:10.1016/S0364-0213(87)80026-5
- Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjam, S., & Zenasni, F. (2003). *Psychologie de la créativité (Psychology of Creativity)*. Armand Colin.
- Marsh, R. L., Landau, J. D., & Hicks, J. L. (1996). How examples may (and may not) constrain creativity. *Memory cognition*, 24(5), 669-680. Springer. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8870535>
- Nardi, B. A. (1996). Studying context: A comparison of activity theory, situated action models, and distributed cognition. In B. A. Nardi (Ed.), *Context and consciousness Activity theory and humancomputer interaction* (pp. 69-102). MIT Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (Englewood ). NJ: Prentice-Hall.
- Norman, D. A. (1993). Cognition in the Head and in the World: An Introduction to the Special Issue on Situated Action. *Cognitive Science*, 17(1), 1-6. Psychology Press. doi:10.1207/s15516709cog1701\_1
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=576915>
- Olson, G. M., & Olson, J. S. (2000). Distance Matters. (J. M. Carroll, Ed.) *Human-Computer Interaction*, 15(2), 139-178. Taylor & Francis. doi:10.1207/S15327051HCI1523\_4
- Osborn, A. F. (1965). *L'Imagination constructive* (2nd ed.). Paris: Dunod. Retrieved from <http://www.amazon.fr/LImagination-constructive-Alexander-Faickney-Osborn/dp/2040030581>
- Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. (C. E. O'Malley, Ed.) *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 128(3), 69-97. Springer. doi:10.1145/130893.952914
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1983). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*. (Wiley., p. 126). New York.
- Salembier, P. (2007). *Analyse, modélisation et instrumentation des activités coopératives situées*. Université de Troyes. Retrieved from <http://www.activites.org/v1n1/salembier.pdf>
- Schön, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action* (1st ed.). Basic Books.
- Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), 131-147. Springer London. doi:10.1007/BF01580516
- Shneiderman, B. (2000). Creating creativity: user interfaces for supporting innovation. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 7(1), 114-138. doi:10.1145/344949.345077
- Simon, H. A. (1969). *Les Sciences de l'Artificiel - 3ème Edition* (p. 215). The MIT Press. Retrieved from <http://www.amazon.com/Sciences-Artificiel-Herbert-Simon/dp/0262691914>

## Bibliographie

- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3-4), 181-201. doi:10.1016/0004-3702(73)90011-8
- Simon, H. A. (1995). Problem forming, problem finding, and problem solving in design. In A. Collen & W. Gasparski (Eds.), *Design and Systems general application of methodology* (Vol. 3, pp. 245-257). Transaction Publishers.
- Stenning, K., & Oberlander, J. (1995). A Cognitive Theory of Graphical and Linguistic Reasoning: Logic and Implementation. *Cognitive Science*, 19(1), 97-140. Elsevier. doi:10.1207/s15516709cog1901\_3
- Visser, W. (2002). Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive [Individual and Collective Design. The Cognitive-Ergonomics Approach]. In Mario Borillo & Jean-Pierre Goulette (Eds.), *In Cognition et création. Explorations cognitives des processus de conception (Cognition and creation. Cognitive explorations of design processes)* (pp. 311-327). Mardaga. Retrieved from <http://hal.archives-ouvertes.fr/inria-00186284/>
- Visser, W. (2006). Designing as construction of representations: a dynamic viewpoint in cognitive design research. *Human Computer Interaction*, 21(1), 103-152. Human-Computer Interaction. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.155.2>
- Zachary, W., & Robertson, S. P. (1990). Introduction to cognition, computation, and cooperation. In S. P. Robertson, W. Zachary, & J. B. Black (Eds.), *Cognition, computing, and cooperation*. Norwood, N.J.: Ablex Pub. Corp. Retrieved from [http://books.google.de/books/about/Cognition\\_computing\\_and\\_cooperation.html?id=ZgELpE38bR4C](http://books.google.de/books/about/Cognition_computing_and_cooperation.html?id=ZgELpE38bR4C)
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive science*, 21(2), 179-217. Wiley-Blackwell. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2877699>

# CHAPITRE II : LE MEILLEUR DES DEUX MONDES

*L'aspect le plus novateur de la réalité augmentée n'est pas la technologie nécessaire à sa mise en œuvre. Ce qui est nouveau, c'est l'objectif visé : au lieu de remplacer les objets physiques par l'ordinateur, il s'agit de faire bénéficier nos activités quotidiennes des avantages de l'informatique (Mackay, 1996).*

# CHAPITRE II : TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	51
2	DE LA VARIABILITE ET DE LA COMPLEXITE DES SIM.....	53
2.1	Illustrations de la variabilité en termes de place du monde physique.....	54
2.2	Illustrations de la variabilité en termes de formes de communication .....	57
2.3	Illustrations de la variabilité en termes de cohérence entre les espaces physiques et numériques.....	60
2.4	Illustrations de la variabilité en termes de technologie.....	62
3	SYNTHESE SUR LES CARACTERISTIQUES DES SIM.....	65
4	BIBLIOGRAPHIE .....	67

# 1 INTRODUCTION

La manière d'interagir avec les systèmes informatiques a profondément changé depuis ces 20 dernières années. La vision austère et contraignante des premiers ordinateurs personnels s'est peu à peu effacée au profit d'une vision ludique, sociale et mobile. Ces changements sont en partie dus à l'évolution des technologies mais aussi à l'évolution des pratiques de conception. En effet, les avancées technologiques telles que la miniaturisation, l'augmentation de la bande passante des réseaux ou les performances de calcul offrent des possibilités matérielles et logicielles exceptionnelles. L'impact sur les systèmes interactifs se traduit désormais par de nombreuses nouvelles possibilités telles que l'interaction tactile, vocale, tangible, haptique, gestuelle, etc. et ce dans des contextes divers et variés tel que la médecine, le loisir, l'aéronautique, l'éducation, la musique, etc.

Dans le développement de systèmes interactifs, Grudin a souligné la migration des considérations centrées systèmes à des considérations centrée sur l'utilisateur (Grudin, 1990). Mais un utilisateur ne se restreint plus à une personne, il embarque avec lui tout son univers ainsi que tout un contexte en d'autres mots, le monde physique qui l'entoure. L'interaction homme machine doit donc porter attention non seulement à l'utilisateur mais aussi à l'environnement physique et social qui l'entoure.

Suite à ce constat, la récente démocratisation de la réalité augmentée dans les médias et dans le grand public n'a rien de surprenant. En effet, la réalité augmentée exploite les propriétés du monde physique pour y ajouter de l'information numérique. L'environnement de l'utilisateur et le monde numérique sont donc intriqués dans ce type de système.

D'un point de vue théorique, ces changements de paradigme dans le domaine de l'IHM sont le reflet d'une volonté globale de réduire le gouffre de l'évaluation et de l'exécution lors de l'usage de systèmes interactifs (Norman & Draper, 1986).

En effet, la théorie de l'action de Norman nous apprend que dans l'usage d'un système interactif, l'utilisateur est non seulement contraint d'utiliser les commandes disponibles et doit pour cela réaliser les bonnes actions dans le bon ordre, mais doit aussi percevoir les informations fournies par le système et les interpréter correctement (Figure 12).

L'enjeu majeur dans la conception des systèmes interactifs tient donc à la

réduction de ces deux distances (i.e. exécution et évaluation) en s'appuyant sur des moyens de communication avec le système qui soient les plus abordables possibles.

Concevoir des systèmes interactifs tirant profit de ressources physiques présentes dans l'environnement d'interaction pour coupler les actions de l'utilisateur dans son environnement physique avec la puissance de traitement des ordinateurs constitue donc un des nouveaux enjeux du domaine de l'IHM. Pour désigner l'ensemble de ces systèmes, nous utiliserons le terme de *Systèmes Interactifs Mixtes* (SIM).

Pour comprendre la nature des systèmes que nous qualifions de Systèmes Interactifs Mixtes, revenons en 1993, un tournant dans le domaine de l'IHM. En effet, en 1993 Wellner développa l'idée d'utiliser simultanément un document numérique et un document papier (Wellner, 1993). L'objectif était

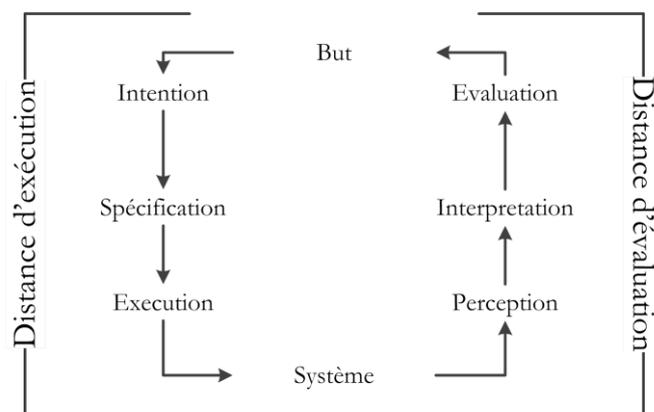


Figure 12 : Gouffre de l'exécution et de l'évaluation d'après (Norman & Draper, 1986)

de tirer profit à la fois des capacités offertes par les ordinateurs (e.g. traitement de l'information, stockage, etc.) et des capacités des êtres humains à interagir avec leur environnement physique (e.g. manipuler des objets, écrire, réaliser des gestes, etc.).

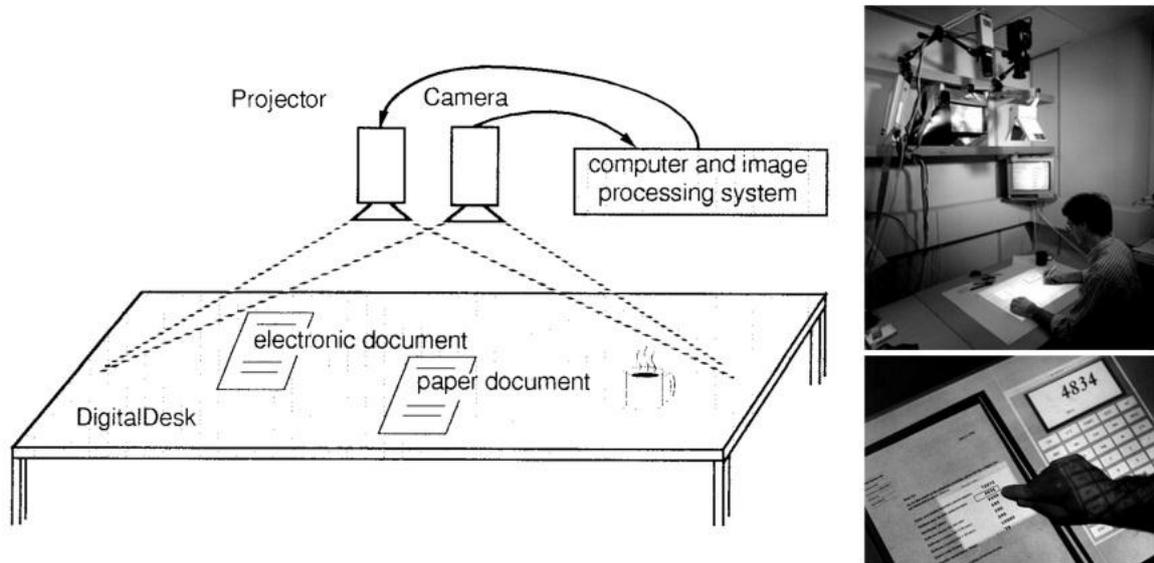


Figure 13 : le Digital Desk d'après (Wellner, 1993)

L'exemple original de Wellner, connu sous le nom de *Digital Desk* (Figure 13), mit en évidence les limites des modèles et paradigmes existants en IHM classique en mettant un terme au triptyque classique clavier-souris-écran et à la stricte séparation entre monde informatique et monde physique.

En effet, avec ce type de système l'utilisateur n'est plus seulement confronté à des techniques d'interaction en entrée et en sortie, mais véritablement à des espaces d'interaction en entrée et en sortie, espaces dans lesquels des ressources numériques et physiques sont manipulées et perçues pour porter l'interaction avec un système (Dubois, 2009). Face à la quantité singulière de systèmes alliant désormais physique et numérique, nous proposons dans la section suivante une revue d'un certain nombre de ces systèmes. L'objectif est de mettre en évidence les dimensions qui les caractérisent du point de vue de l'interaction entre l'homme et le système.

## 2 DE LA VARIABILITE ET DE LA COMPLEXITE DES SIM

Initialement confinées à des domaines très précis tels que l'armée, la chirurgie et la maintenance, ces nouvelles formes d'interactions se développent aujourd'hui dans divers domaines. Les exemples se multiplient dans de nombreuses applications telles que :

- L'aviation (Foyle, Andre, & Hooey, 2005; Qiao, Xie, & Sun, 2008)
- La médecine (Dubois, 2001; Milgram & Colquhoun, 1999),
- L'éducation (Rogers, Scaife, Gabrielli, Smith, & Harris, 2002),
- Les jeux vidéo (Cheok et al., 2006; "Dance Central™," 2011, "Eye of Judgment™," 2007, "EyePet™," 2009, "NintenDogs™," 2011; Piekarski & Thomas, 2002),
- La musique (Jordà, Geiger, Alonso, & Kaltenbrunner, 2007; Schiettecatte & Vanderdonckt, 2008)
- La performance artistique (Adi, 2006; Seitinger, Taub, Taylor, & Ave, 2010)

Cette liste non exhaustive est cependant représentative de la diversité des domaines d'application dans lesquels les interactions avancées ont trouvé un intérêt. Mais le domaine d'application ne constitue pas la plus grande variabilité entre ces systèmes. En effet, un regard plus analytique nous conduit à identifier que ces systèmes se distinguent non seulement par les technologies qu'ils mettent en œuvre mais aussi par le couplage entre monde numérique et monde physique perçue par l'utilisateur.

En effet, comme nous l'avons montré avec le *Digital Desk*, un des enjeux principaux du domaine de l'IHM consiste en l'atténuation de l'écart existant entre monde physique et numérique. Toutefois, le couplage résultant entre les deux mondes peut prendre une quantité de formes différentes. Ainsi les questions suivantes se soulèvent : Quelle quantité d'information physique ? Numérique ? Comment se mélangent-elles ? Quel langage de communication/d'interaction pour passer de l'un à l'autre ? En somme, quelle est la nature du couplage qui s'effectue entre les deux mondes ?

En termes de nature du couplage physique/numérique, la littérature fait historiquement mention d'un certain nombre de syntagmes tel que réalité augmentée, virtualité augmentée, réalité mixte, interface tangible, informatique ambiante. Cette terminologie est toutefois encore floue et soumise à évolution (Coutrix, 2009). Etant donné le manque de consensus existant quant à la catégorisation de ces systèmes, nous mettrons l'accent sur des axes de variabilités transversaux à la terminologie énumérée ci-dessus plutôt que sur la/les catégories auxquels ces derniers pourraient appartenir. Dans cette voie Dubois a proposé un certain nombre de dimensions visant à mettre en évidence la variabilité et la complexité dans le domaine des SIM. Cette variabilité est induite par les possibilités en termes de couplage entre les espace physiques et numériques (Dubois, 2009). Ces axes sont les suivants :

*Place du monde physique* : La place du monde physique change quasi-systématiquement entre les SIM en entrée comme en sortie. Tout d'abord, la nature des objets physiques impliqués en entrée du système peut varier en termes de type, de forme, du poids, etc. en somme, des caractéristiques structurelles définissant l'objet en question. Ensuite, les vecteurs d'informations mis en œuvre pour communiquer entre les deux mondes sont également divers. En effet, les objets physiques peuvent communiquer une position, un mouvement, une couleur, une fréquence, etc. Cette variabilité s'applique aussi en sortie, c'est-à-dire dans l'impact qu'a le système interactif sur l'environnement physique. Par exemple, il pourra s'agir d'émission d'information numérique ou aussi de déplacement d'objets.

*Formes de communication* : La communication entre monde physique et numérique repose sur l'emploi de capteurs/effecteurs dédiés. Les supports utilisés par ces capteurs/effecteurs pour véhiculer l'information sont sujets à une grande diversité. Par exemple, pour véhiculer la position d'un objet, le système peut s'appuyer sur la reconnaissance de sa forme ou de sa couleur, mais aussi sur la variation d'une onde

électromagnétique, sonore, etc. Bien qu'à priori limitée, une quantité importante de médiums peuvent donc être utilisée. Pareillement, pour percevoir une information émise, le système peut utiliser un rendu visuel, sonore, une action mécanique, etc.

*Cohérence entre les espaces physiques et numériques* : Du point de vue de l'utilisateur, les relations établies entre les espaces d'entrée et de sortie ainsi qu'entre les éléments physiques et numériques constituent aussi une source de variabilité.

Premièrement, nous distinguons tout d'abord la cohérence spatiale entre les espaces d'interactions d'entrée et de sortie au travers de ces deux dimensions : il s'agit ici d'apprécier le niveau de superposition des espaces d'entrée/sortie et la quantité d'attention portée à l'espace d'entrée. Par exemple, un système scindant clairement les espaces d'interaction en entrée/sortie reposant sur la manipulation d'objets physique sur une table tactile peut en plus requérir une attention forte de l'utilisateur si la manipulation des objets physiques doit être précise. Deuxièmement, nous distinguons la cohérence sémantique entre les deux mondes. L'interconnexion entre éléments du monde physique et du monde numérique peut être définie au travers de deux caractéristiques : la ressemblance structurelle en termes de contenu et l'analogie en termes de comportement. L'interconnexion entre deux objets de mondes différents peut être de quatre types : ils peuvent se ressembler ou non et se comporter de manière similaire ou non.

*Technologies utilisées* : Ce quatrième et dernier axe constitue probablement la source de variabilité la plus évidente et aussi la plus sujette à évolution. Les SIM s'appuient sur une grande diversité technologique. Celle-ci fait écho à la diversité en termes de place du monde physique et de formes de communication en entrée comme en sortie. De nombreux capteurs existent, accéléromètres, caméras, caméras de profondeur, surfaces capacitives, localisateurs magnétiques, etc. De manière similaire de nombreux effecteurs sont également envisageables, écrans, lunettes, vidéoprojecteurs, haut-parleurs, dispositifs à retour d'effort, vibreurs, etc.

Dans les parties suivantes, nous proposons d'analyser une variété de SIM au travers de ces quatre axes de variabilités. Nous illustrerons ainsi cette variabilité par des exemples extraits de la littérature du domaine de l'IHM.

## 2.1 Illustrations de la variabilité en termes de place du monde physique

Comme précisé ci-dessus, la place du monde physique varie considérablement entre les SIM, en entrée comme en sortie. En entrée, la nature des objets impliqués dans l'interaction avec le système constituent principalement cette variabilité.

Par exemple, dans l'installation *Bottles* (Ishii, Mazalek, & Lee, 2001), des bouteilles en verres sont utilisées pour déclencher la diffusion de musique (Figure 14). Dans cette installation, lorsque le système détecte l'ouverture d'une bouteille (i.e. retrait du bouchon), il déclenche la lecture d'une des parties d'un trio de jazz. La présence ou non d'un bouchon sur chacune des bouteilles constitue la propriété physique utilisée pour interagir.



Figure 14 : Illustration du système Bottles

Différemment, dans l'application *Sandscape* (Ishii et al., 2004), du sable est utilisé pour manipuler la forme d'un paysage (Figure 15). Cette forme est captée par le système et utilisée pour restituer numériquement des informations numériques quand à différentes propriétés du paysage (e.g. élévation, pente, orientation, ombrage, etc.) La forme déterminée par l'agencement du sable réalisé par l'utilisateur est donc exploitée pour réaliser un certain nombre de calculs numériques.

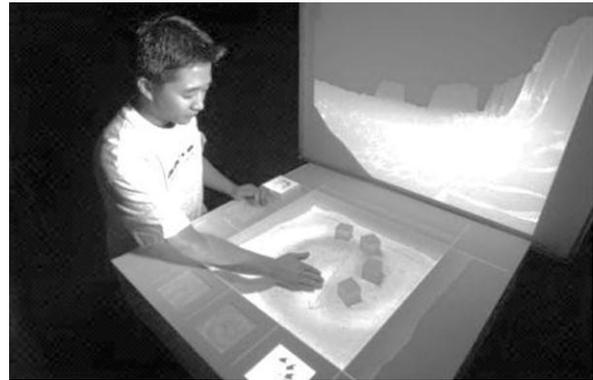


Figure 15 : Illustration du système SandScape

Enfin, nous observons que les objets tangibles (solides ou malléables) ne sont pas les seuls artefacts physiques exploitables. En effet, le corps humain lui-même constitue aussi une forme potentielle d'entrée. Par exemple dans *MultiToe* (Augsten et al., 2010), la pression des pieds sur une surface ainsi que l'orientation du corps sont utilisées pour naviguer dans un environnement 3D (Figure 16). L'utilisateur implique tout son corps pour réaliser les mouvements nécessaires à la réalisation de la tâche. Ici le système n'exploite donc plus les propriétés physiques d'un objet tangible mais celles du corps humain.

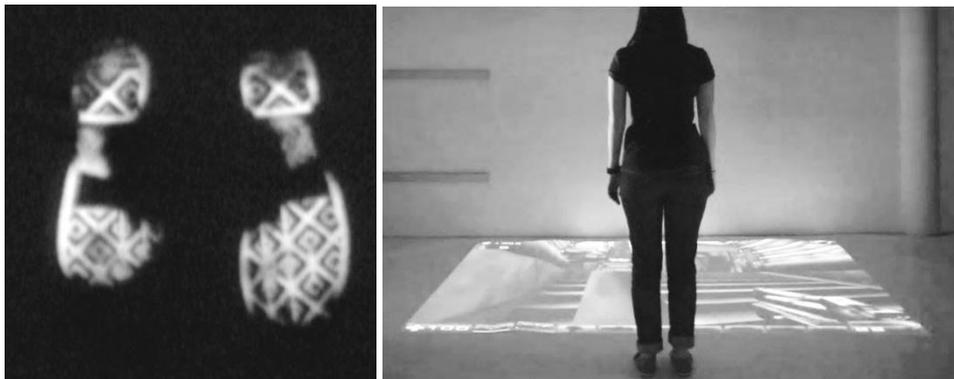


Figure 16 : Plusieurs illustrations du système MultiToe : la capture de la pression des pieds et une utilisatrice en action

Similairement, dans *Omnitouch* (Harrison, Benko, & Wilson, 2011), les doigts, les mains, les bras sont utilisés soit en tant que modalité d'interaction en entrée (e.g. pointeur multitouch avec les doigts, déclenchement d'action selon l'orientation de la main), soit comme support physique à la projection d'informations numériques (Figure 17). Ici le système exploite donc à la fois la forme du corps, la position de certaines parties telles que les doigts ou les mains, comme données d'entrée nécessaires pour opérer la sortie du système. L'exploitation de propriétés physiques pour opérer la sortie du système est justement l'objet de la partie suivante.

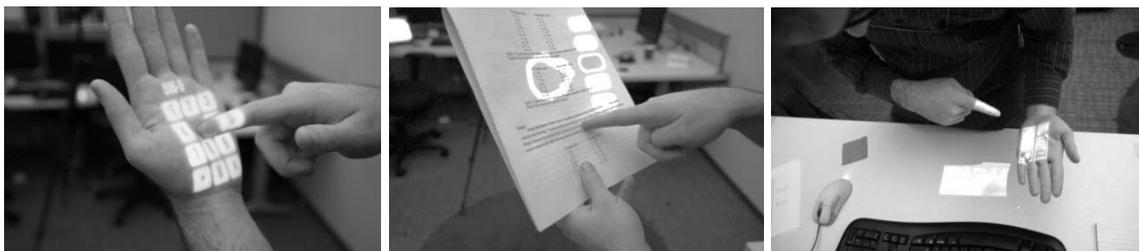
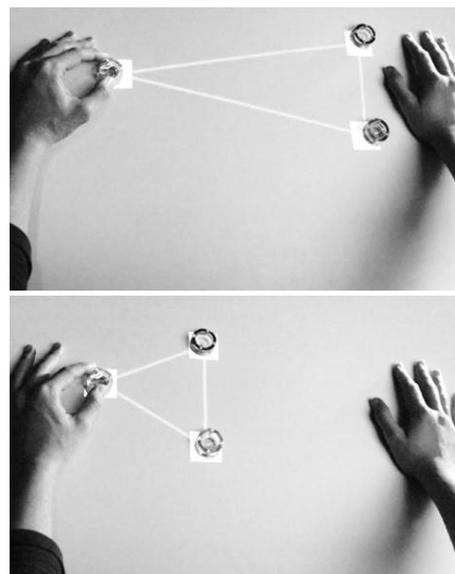


Figure 17 : Plusieurs illustrations du système Omnitouch : le doigt comme pointeur, une feuille comme surface d'interaction, la main comme surface d'interaction

En effet, dans les systèmes présentés ci-dessus la sortie du système n'a qu'un impact limité sur l'environnement physique. Dans les quatre systèmes introduits ci-dessus, la sortie est restreinte au rendu d'une information numérique. L'impact sur le monde physique est donc réduit à l'encodage d'informations numériques au travers d'une forme de communication définie. Cependant, d'autres exemples de systèmes montrent qu'il est possible d'opérer un impact plus fort sur le monde physique.

Dans cette voie, le système PICO (Patten & Ishii, 2007) modifie la position d'objets physiques pour exprimer la conservation de contraintes. Par exemple, PICO permet de garantir mécaniquement que certaines propriétés physiques entre objets (e.g. la distance entre deux objets) seront conservées durant l'interaction (Figure 18). Le système ne se contente donc pas de restituer de l'information au travers d'un affichage ou d'un rendu sonore par exemple, mais exploite la position physique de certains objets pour restituer une information.

D'autres systèmes, exploitent également la modification de propriétés physiques pour encoder des informations complexes ou difficiles à percevoir via les sorties classiques (e.g. écran, hautparleurs). C'est par exemple le cas de *Relief* (Leithinger & Ishii, 2010) dont le but est de restituer physiquement le relief d'une carte au travers de la déformation d'une surface malléable instrumentée via une matrice de picots (Figure 19). Ce système permet aux utilisateurs de percevoir non seulement les informations planaires relatives à la carte mais peuvent aussi explorer visuellement et haptiquement les informations relatives au relief. La forme de la surface est donc la propriété physique exploitée par le système en sortie.



**Figure 18 : Illustration du système PICO. Dans la première photo l'utilisateur vient de déplacer les palets vers la droite puis les relâche, dans la deuxième photo les palets sont revenus automatiquement à leur place initiale pour conserver une configuration équilatérale.**



**Figure 19 : Illustration du système Relief. La première photo illustre le mécanisme de déformation et la deuxième une situation pratique.**

Enfin, la littérature fait également mention de systèmes impactant les propriétés physiques du corps humain lui-même. C'est le cas de *FlexTorque* (Isetserukou, Sato, & Tachi, 2010), un dispositif à retours d'efforts qui permet de restituer la force physique à mettre en œuvre dans une tâche définie. Par exemple, *FlexTorque* permet à l'utilisateur de ressentir l'effort nécessaire lors d'une simulation de bras de fer (Figure 20). Ici le système applique donc une force sur le bras de l'utilisateur pour restituer de l'information.



Figure 20 : Illustration du système FlexTorque dans une application de bras de fer virtuel.

La place du monde physique dans les SIM est donc bien sujette à une grande diversité. Que ce soit en entrée ou en sortie, une quantité de propriétés physiques peut être exploitée pour permettre au système interactif de capter de l'information provenant du monde physique (e.g. forme, position, orientation, pression, présence, chaleur, température, son, etc.) ou pour restituer de l'information numérique (e.g. affichage, force, pression, tension, forme, son, vibrations, etc.). En outre, l'information véhiculée au travers de ces propriétés physiques peut être encodée d'une quantité de manière différente. Ceci constitue le deuxième axe majeur de variabilité d'un SIM et c'est l'objet de la partie suivante.

## 2.2 Illustrations de la variabilité en termes de formes de communication

Les formes de communication varient aussi considérablement entre les SIM, en entrée comme en sortie. La lumière, le son, les déplacements physiques, les ondes électromagnétiques, le courant électrique, etc. sont tant de supports exploitables pour véhiculer l'information. Chacune de ces formes de communication repose sur l'emploi de capteurs/effecteurs bien spécifiques et plusieurs solutions sont possibles pour véhiculer la même information.

Reprenons par exemple le système *Bottles* introduit dans la partie précédente. *Bottles* doit détecter la présence des bouchons sur chacune des bouteilles. Pour y parvenir, il s'appuie sur des détecteurs électromagnétiques. La forme de communication de l'information « présence » est donc supportée par la variation du champ électromagnétique. Cette variation est exploitée dans un grand nombre de systèmes et de nombreux capteurs exploitent cette propriété physique. A titre d'exemple, c'est le cas des accéléromètres, des gyroscopes, des capteurs GPS, que l'on retrouve dans un grand nombre de dispositif grand public (e.g. consoles de jeu, téléphones mobiles, systèmes de navigation, etc.). Mais dans le cas de *Bottles*, d'autres supports de communication auraient pu être utilisés pour véhiculer l'information de « présence ».

Par exemple, dans le système *Sifteo* (Hunter, Kalanithi, & Merrill, 2010; "Sifteo," 2011), l'utilisateur manipule des petites briques et doit les associer pour jouer. Pour fonctionner le système a besoin de savoir qu'une brique est présente à côté d'une autre et vice-versa (Figure 21). Pour y arriver, le système s'appuie sur la technologie IrDA (i.e. Infrared Data Association). Dans ce cas-là, c'est le spectre lumineux infra-rouge qui véhicule la présence d'un objet et non plus la variation d'un champ électromagnétique. Mais encore bien d'autres formes de communication existent, et sont mises en application sans les SIM. Une des formes



Figure 21 : Illustration du système Sifteo.



Figure 22 : Illustration du jeu Level Heads. En orientant les cubes l'utilisateur peut déplacer le personnage à l'intérieur de ceux-ci.

de communication les plus connues (i.e. sûrement une des plus exploitée à ce jour) s'appuie sur le champ visuel. Différentes longueurs d'ondes du champ visuel sont exploitées.

Ainsi, le système *LevelHead* (Oliver, 2007) est un jeu vidéo augmenté exploitant le champ visuel en entrée. Dans ce jeu, il s'agit de déplacer un personnage dans un labyrinthe composé de salles (Figure 22) matérialisées via des cubes. La position et l'orientation des cubes est captée par le système au travers du champ visuel. En effet, le système s'appuie sur la reconnaissance de formes prédéfinies au travers d'une image vidéo. Ces formes reconnaissables, communément appelées « patterns », véhiculent la

position, l'orientation et l'identification de chacun des cubes. Une simple camera permet alors au système de capter le spectre visible, de détecter les cubes et leur position et orientation dans l'espace.

De manière similaire de nombreuses surfaces tactiles ont recours au champ visuel pour détecter la position de doigts et d'objets. Par exemple, le système *HoloCubtile* (de La Rivière, Dittlo, Orvain, Kervégant, & Courtois, 2010) permet à un utilisateur de manipuler un objet en trois dimensions en réalisant des gestes multitouch sur cinq faces d'un cube (Figure 23). Pour détecter la position des doigts, le système s'appuie sur une caméra infrarouge captant la lumière qui traverse les différentes faces du cube.



Figure 23 : L'HoloCubtile. L'utilisateur peut déplacer et orienter l'objet en 3 dimensions affiché sur le miroir en manipulant les surfaces du cube.

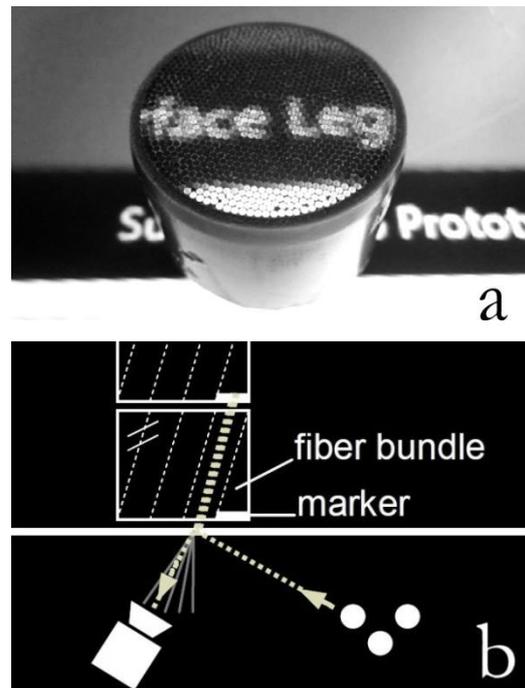
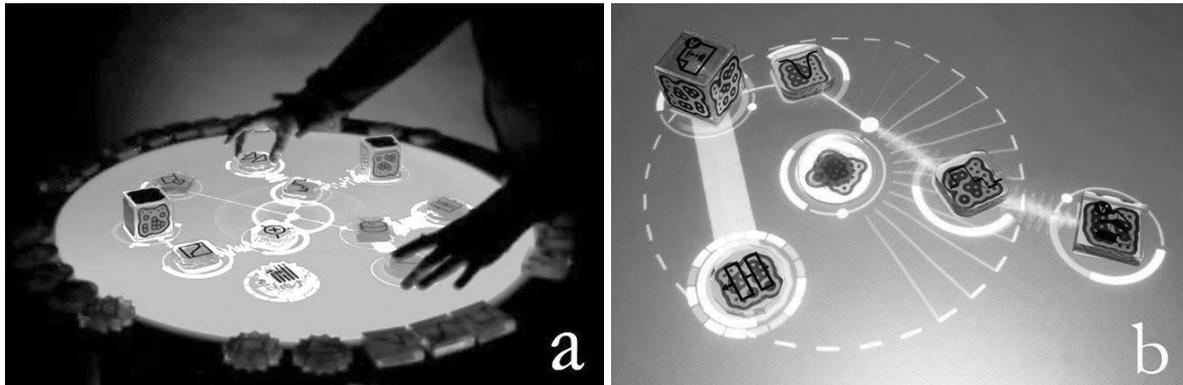


Figure 24 : Illustrations du système Lumino. (a) un objet rempli de faisceaux en fibre de verre, laissant passer la lumière. (b) les faisceaux de fibres de verre empêchent la lumière réfléchi sur les marqueurs de se répandre multi-directionnellement vers la camera (d'après Baudisch et al., 2010).

Le champ visuel offre de nombreuses possibilités et certains systèmes exploitent des propriétés avancées de la lumière telle que la réfraction. Par exemple, le système *Lumino* (Baudisch et al., 2010) s'appuie sur la détection de l'infrarouge pour détecter la position de palets sur une table (Figure 24 a). *Lumino* va plus loin qu'une surface tactile classique puisque ce système permet de combiner les palets entre eux pour réaliser des formes plus complexes qui seront à leur tour identifiées par le système. Pour y parvenir les palets sont en partie transparents et laissent en conséquence circuler en partie la lumière (Figure 24 b). Mais le champ visuel n'est pas l'unique médium exploitable dans les technologies tactiles. Par exemple, d'autres surfaces tactiles exploitent la perturbation d'un champ électrique pour transmettre une position. Dans cette voie, une quantité de technologies existent : jauges de contraintes, surface résistive, capacitive, etc.

Enfin, nous soulignons également les systèmes exploitant la variation du champ sonore pour capter l'information provenant du monde physique. Par exemple, les systèmes exploitant la modalité de la parole pour interagir ont nécessairement recouru à l'analyse du champ sonore et donc à un microphone. Mais comme toutes les autres cette modalité peut être utilisée de différentes manières. Par exemple, dans certains jeux vidéo dédiés à la console portable Nintendo DS, l'utilisateur doit souffler sur un microphone pour réaliser certaines actions ("The Legend of Zelda: Spirit Tracks," 2009). Dans ce cas, la variation du champ sonore est donc exploitée pour détecter un souffle et non plus la parole.

Au travers de quelques exemples nous avons vu en quoi les formes de communication en entrées d'un SIM peuvent être particulièrement variées. De plus une même information ou type d'information peut être véhiculée via une ou plusieurs de ces formes de communication : un niveau de complexité supplémentaire est donc induit. De plus, cette variabilité s'applique également aux sorties d'un SIM, comme nous l'illustrons ci-après.



**Figure 25 : Illustrations de la Reactable. La figure a illustre le système dans sa globalité (surface, palets, utilisateur) et la figure b illustre l'association d'un sample (au centre) avec plusieurs effets (autour).**

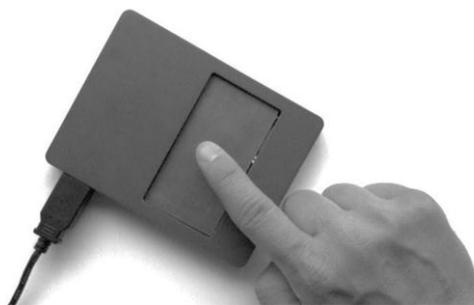
Si les formes de communication sont diverses en entrée, c'est aussi le cas des sorties. En effet, une quantité de médiums sont exploitables pour restituer de l'information à l'utilisateur.

La forme de communication la plus utilisée en sortie est sûrement le rendu visuel. C'est la forme de communication utilisée au travers des écrans dans les IHM traditionnelles. Elle est aussi abondamment exploitée dans les SIM. Ainsi dans tous les exemples présentés précédemment un rendu visuel est utilisé. Ce n'est toutefois pas toujours la seule forme de rendu proposée.

Ainsi dans *Bottles*, le rendu lumineux coloré est accompagné d'un rendu sonore de la musique associée aux différentes bouteilles. Le rendu sonore est abondamment utilisé dans des domaines tels que les jeux vidéo ainsi qu'évidemment dans la musique. Parmi les exemples de SIM exploitant cette forme de rendu, on notera la *Reactable* (Jordà et al., 2007). Ce système permet de composer de la musique électronique en manipulant et en associant des palets sur une surface tactile. Les palets matérialisent soit un extrait sonore, soit un effet à appliquer sur ce dernier (Figure 25). Dans cette application, le rendu visuel et le rendu sonore

agissent donc de pair.

Mais le rendu d'information numérique n'est pas restreint aux sens visuels et auditifs. Par exemple, le dispositif *STIMTAC* (Amberg et al., 2011) est un pavé tactile fournissant un retour vibrotactile (Figure 26). Ce dispositif fonctionne en entrée comme un pavé tactile et permet de déplacer un curseur à l'écran. En outre, il produit en sortie un rendu de la texture des éléments survolés à l'écran par le curseur. Pour y parvenir le pavé tactile vibre à une fréquence fonction de la texture à rendre. Nous sommes donc en présence d'une nouvelle forme de rendu : un rendu tactile.



**Figure 26 : Photo du dispositif STIMTAC. Le pavé numérique vibre et fournit une sensation de texture lorsque l'utilisateur déplace son doigt et survole avec son pointeur des éléments divers à l'écran.**

Mais bien d'autres formes de rendus exploitent les propriétés kinesthésiques et même parfois haptiques du corps humain. Dans les exemples introduits précédemment, le système *FlexTorque* s'appuie sur une forme de rendu mécanique. En effet, dans ce système le moteur agit sur une sangle qui contraint mécaniquement le bras de l'utilisateur. Un déplacement ou une force appliquée à certain éléments du monde physique ne constitue toutefois pas nécessairement un rendu mécanique. Par exemple, dans le système *PICO* (Figure 18), les palets sont déplacés grâce à une matrice magnétique. La forme de communication en sortie est donc de nature magnétique et pas mécanique.

Pour conclure, les exemples introduits ci-dessus illustrent la diversité des formes de communication possibles en sortie. Bien que certains médiums soit plus utilisés que d'autres de par les possibilités qu'ils offrent en termes de perception humaine et de facilité de mise en œuvre, la diversité des formes de communication en sortie s'étend à tous les médiums envisageables (e.g. lumière, son, mécanique, magnétique, tactile, olfactif, gustatif, etc.).

Pour conclure sur les formes de communication, nous retiendrons une grande diversité en entrée comme en sortie du système. Une quantité de médiums permettent de véhiculer l'information du physique au numérique et inversement pour rendre de l'information à l'utilisateur. Ajoutons à cela que le choix dans l'emploi d'un médium n'est pas nécessairement défini par l'usage attendu du système.

Combiné à la variation de la place du monde physique dans les SIM, l'espace de conception expose littéralement. Ces dimensions permettent toutefois de délimiter les paramètres de l'ensemble des possibles et de fournir les bases à la caractérisation d'un SIM. Mais cette caractérisation ne s'arrête pas à la définition structurelle du système. Pour comprendre les nouveaux enjeux que portent les SIM dans le domaine de l'IHM, il est nécessaire d'aborder le problème sous l'angle de l'usage. Dans la partie suivante, nous approchons les SIM sous l'angle de leur usage en traitant de la cohérence entre les mondes physiques et numériques mis en présence.

### **2.3 Illustrations de la variabilité en termes de cohérence entre les espaces physiques et numériques**

Du point de vue de l'utilisateur, il est indispensable d'appréhender les relations établies par le système entre les mondes physique et numériques. En conséquence, c'est la partie interactive du système qui doit se charger d'établir ces liens. D'après la taxonomie de (Dubois, 2009), ces liens sont caractérisables en termes de cohérence entre les deux mondes d'un point de vue spatio-attentionnel et d'un point de vue sémantique quant à la nature des entités et à leur comportement.

Nous mettrons tout d'abord le focus sur la cohérence entre les espaces d'interactions d'entrée et de sortie au travers de deux dimensions : la superposition des espaces d'entrée/sortie et la quantité d'attention portée à l'espace d'entrée. Pour commencer à illustrer cette source de variabilité, prenons les systèmes qui nous ont servi d'illustration dans les parties précédentes.

Tout d'abord, nous observons une quantité de systèmes où les entités manipulées et perçues se situent dans le même emplacement physique. On parle alors de continuité perceptuelle (Dubois, Nigay, & Troccaz, 2001). Par exemple dans le cas du système *Omnitouch*, l'utilisateur agit directement sur la surface d'affichage. Les espaces physiques d'entrée et de sortie sont donc superposés et le lien entre les entités physique et numérique est implicite. Cette propriété s'applique également à d'autres formes de communication que la vision. Par exemple, dans le système *Reactable*, l'utilisateur entend la musique au même endroit où que l'endroit où il la manipule (i.e. dans l'espace environnant le système). La manipulation des palets et la perception du son qui leur est associé s'établit dans le même espace physique. Mais cette propriété n'est pas toujours respectée. Par exemple, le système *LevelHead* fonctionne simplement avec une webcam, un écran et les cubes du jeu en question. L'augmentation des cubes et donc le contenu du jeu est affiché sur l'écran. Pour jouer, l'utilisateur doit donc régulièrement porter son point de vue respectivement sur les cubes pour les manipuler et sur l'écran pour visualiser l'état d'avancement du jeu. On parle alors de discontinuité perceptuelle.

Cet exemple met également en lumière notre deuxième axe en termes d'espaces d'interaction : le focus attentionnel. En effet, dans *LevelHead* l'utilisateur doit rester concentré sur la manipulation des cubes. Il est nécessaire d'être relativement précis en termes d'orientation, une erreur de manipulation pouvant entraîner des résultats non désirables dans le jeu. Cette propriété est particulièrement effective quand l'objet de la tâche (i.e. objet d'intérêt principal) est physique. C'est le cas par exemple dans le *DigitalDesk*, où l'utilisateur doit rester concentrer sur le document pour l'éditer.

Enfin certains systèmes sont à la fois caractérisés par une discontinuité perceptuelle et par une faible attention portée à l'espace physique. C'est le cas de *MultiToe* où l'utilisateur perçoit le rendu visuel d'un environnement sur une surface disjointe de sa vision (i.e. au sol en l'occurrence) et n'a pas besoin de porter une grande attention aux appuis et aux mouvements qu'il réalise. Les mouvements sont en effet directement reproduits dans l'environnement, l'utilisateur n'a donc pas besoin de regarder ses pieds pour interagir.

Pour conclure sur les aspects spatio-attentionnel impliqués dans les SIM, nous retiendrons que quatre configurations sont possibles, à savoir : la superposition des espaces d'entrée et de sortie ou pas et la nécessité d'un focus attentionnel important ou pas sur l'espace d'interaction en entrée.

Nous pouvons ensuite porter un regard sur l'usage des SIM selon un deuxième axe de variabilité relatif à la métaphore employée. En effet nous distinguons deux types de métaphores dans les SIM : les métaphores de nom et les métaphores de verbe (Fishkin, 2004).

Le premier type de métaphore fait écho à la similarité structurelle pouvant s'établir entre une entité du monde physique et une entité du monde numérique. Par exemple, dans l'application *SandScape* l'utilisateur manipule du sable pour former un paysage. La similarité structurelle entre les deux mondes est donc totale, l'objet physique manipulé dans la situation interactive ressemblant de visu au concept numérique manipulé. Mais cette similarité structurelle n'est pas systématiquement présente.

Un autre exemple concerne le système *Reactable*, l'utilisateur manipule des palets et des cubes représentant respectivement des samples audio et des effets sonores. Le lien structurel entre les palets et les cubes et les éléments sonores est en conséquence très limité. Les entités physiques ne représentant pas explicitement les concepts numériques manipulés. Par contre, au sens de Fishkin la métaphore peut être qualifiée de verbe ou en d'autres termes d'ordre comportemental.

En effet, les métaphores de verbes font échos à la similarité comportementale pouvant s'établir entre les entités du monde physique et celles du monde numérique. Dans l'exemple de la *Reactable*, lorsqu'un cube (i.e. représentant un sample) est physiquement approché d'un palet (i.e. représentant un effet sonore),

l'effet est associé au sample audio. Un feedback visuel vient compléter cette association (Figure 25 b). L'association physique spatiale induit donc une association numérique.

Un exemple similaire est présent dans certains jeux disponibles sur la plateforme *Sifteo* ("Sifteo," 2011). Par exemple, dans le jeu « no evil monkey », il est nécessaire d'incliner un des cubes tangibles vers un autre pour faire glisser un élément d'un cube à l'autre (Figure 27). L'action réalisée dans le monde physique est donc répercutée analogiquement dans le monde numérique. La similarité est donc établie dans le comportement et non dans la représentation des objets.

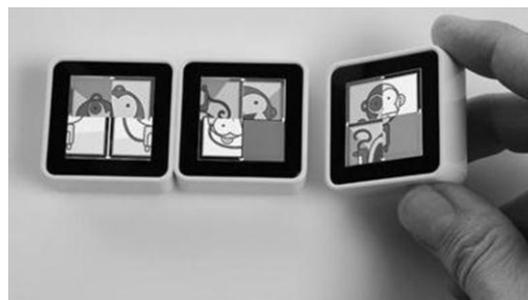


Figure 27 : Extrait du jeu « no evil monkey » disponible sur la plateforme Sifteo

Mais dans les SIM les techniques d'interaction ne s'appuient pas nécessairement tous sur une similarité comportementale. Par exemple, (Pittarello & Stecca, 2010) ont proposé un jeu dédié aux enfants, où il s'agit d'interroger un magicien représentant une base de données. Pour y parvenir trois objets tangibles étaient à la disposition des enfants : un cube, un cylindre et un plateau. Les formes des objets représentent respectivement des variables discrètes, continues et booléennes. Le fait de présenter une face du cube, un bord du cylindre ou un côté du plateau permet d'interroger le magicien. De plus, le fait de renverser le cylindre permet de déclencher l'exécution d'une requête. Dans cette technique d'interaction aucune analogie comportementale n'est donc présente entre les objets physiques et les éléments numériques manipulés. Le système s'appuie sur la similarité structurelle des objets mais non pas sur leur comportement.

En conclusion, ces axes de cohérence entre les mondes physiques et numériques définissent une dimension supplémentaire à la variabilité des SIM. Cette cohérence détermine en partie les caractéristiques relatives à l'usage d'un SIM. Quatre axes majeurs sont impliqués : la superposition des espaces physiques et numériques, la quantité d'attention portée à l'espace physique, la similarité structurelle entre les entités connectées et enfin la similarité comportementale entre les entités physique et numériques connectées. Le respect ou non de chacune de ces propriétés ne permet toutefois pas d'inférer systématiquement l'utilisabilité du système, chaque situation d'usage étant particulièrement spécifique et fonction de la tâche, du domaine d'application sous-jacent et du profil des utilisateurs finaux. Toutefois, cette dimension complète la place du monde physique dans le système ainsi que la forme de communication impliquée. La considération de cette dimension vient agrandir encore de manière conséquente l'espace de conception des SIM. De plus, à ces trois dimensions vient s'ajouter un dernier axe majeur de variabilité du domaine des SIM : la technologie employée.

## 2.4 Illustrations de la variabilité en termes de technologie

Si les formes de communication sont diverses et variées, il en va de même pour les technologies qui les supportent. En termes de technologie, nous faisons ici référence à l'ensemble des capteurs/effecteurs disponibles. Nous proposons un rapide tour d'horizon d'un ensemble de technologies exploitables dans un SIM à ce jour. Au même titre que pour les formes de communication nous pouvons toutefois catégoriser les technologies comme entrée ou sortie du système.

En entrée du système, la diversité de capteurs contribue considérablement à l'expansion de l'espace de conception des SIM. En effet, pour une même caractéristique dans le monde physique, une quantité de capteurs sont possibles.

Par exemple, pour localiser la position d'un objet selon trois degrés de liberté, le champ lumineux offre de grandes possibilités. Les possibles en termes de localisateurs optiques se déclineront alors en caméra, caméra infrarouge, caméra de profondeur, caméra stéréoscopique, etc (Figure 28).

Mais le champ magnétique offre aussi des possibilités de localisation. Plus couteux que les localisateurs optiques, les localisateurs magnétiques sont aussi plus robustes à l'environnement. Mais les capteurs ne s'arrêtent pas aux localisateurs. Le champ magnétique offre aussi la possibilité d'utiliser des capteurs de champs proche via des technologies telles que RFID ou NFC. Le champ magnétique est également exploité par les accéléromètres et les gyroscopes, permettant respectivement de capter la vitesse de déplacement et l'orientation.

Le nombre de type de capteurs est si grand qu'il est désormais possible d'avoir recours à des microcontrôleurs dédiés permettant de connecter différents types de capteurs facilement. Les technologies *Phidgets* et *Arduino* en sont des exemples probants (Figure 29) et permettent d'exploiter une grande variété de capteurs (e.g. lumière, mouvement, flexion, vibration, température, etc.). Nous ne ferons pas une liste exhaustive de tous les capteurs et supports matériel technologiques existants pour prototyper et développer un SIM. Pour la détection d'une propriété physique particulière et pour une forme de communication donnée une quantité exponentielle de capteur est disponible. Nous retiendrons donc que la liste est longue et qu'effectuer un choix en faveur d'une technologie ou d'une autre est souvent difficile.

Cette diversité technologique se retrouve également en sortie du système. Par exemple pour rendre de l'information visuellement, les vidéoprojecteurs, les écrans, les écrans 3D, les pico projecteurs, les casques de réalité virtuelle, les lunettes semi-transparentes, sont tant de dispositifs envisageables (Figure 30). Évidemment, chacun de ces dispositifs à des propriétés particulières et sera en conséquence adapté à un ensemble d'usage définis. A titre d'exemple, le système *Omnitouch* se voulant être portable, il utilise un pico-projecteur pour afficher de l'information sur les bras de l'utilisateur. A contrario, l'installation *SandScape* étant un dispositif fixe, une configuration spatiale de plusieurs vidéos-projecteurs est utilisée.



Figure 28 : Différents types de caméras vidéo. Dans l'ordre : infrarouge, de profondeur, stéréoscopique.



Figure 29 : Microcontrôleurs Phidgets et Arduino



Figure 30 : Différents dispositifs de visualisation. Dans l'ordre : écran auto-stéréoscopique, pico-projecteur, lunettes semi-transparentes, casque de réalité virtuelle.

Bien sûr, pour d'autres formes de communication, d'autres types d'effecteurs sont disponibles. Ainsi les hautparleurs, les vibreurs, les moteurs, etc. sont tant de dispositifs utilisables en sortie d'un SIM. A cette liste s'ajoute les bras à retours d'effort, ou bras haptique, qui constituent probablement une catégorie qui semble être spécifique aux SIM.

En conclusion, les technologies constituent le dernier axe de variabilité des SIM. Leur diversité et leur évolution constante contribuent à l'explosion de l'espace de conception ainsi qu'à la complexité dans la conception des SIM. Dans les parties qui suivent nous proposons une rapide synthèse de ces axes de variabilité.

### 3 SYNTHÈSE SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES SIM

Dans ce chapitre nous avons étudié une quantité de SIM en montrant leurs différences au travers des quatre axes de variabilités identifiés dans (Dubois, 2009). L'objectif de cette revue de la littérature était double :

Premièrement, cette revue visait à définir le domaine des SIM au travers d'illustrations concrètes. La réalité augmentée, la virtualité augmentée, les interfaces tangibles, la réalité mixte sont tant de qualificatifs faisant partie inhérente du domaine des SIM. En conséquence, tout système interactif mettant en œuvre conjointement des éléments du monde physique (i.e. objets ou corps humain) et des éléments du monde numérique est donc un système interactif mixte.

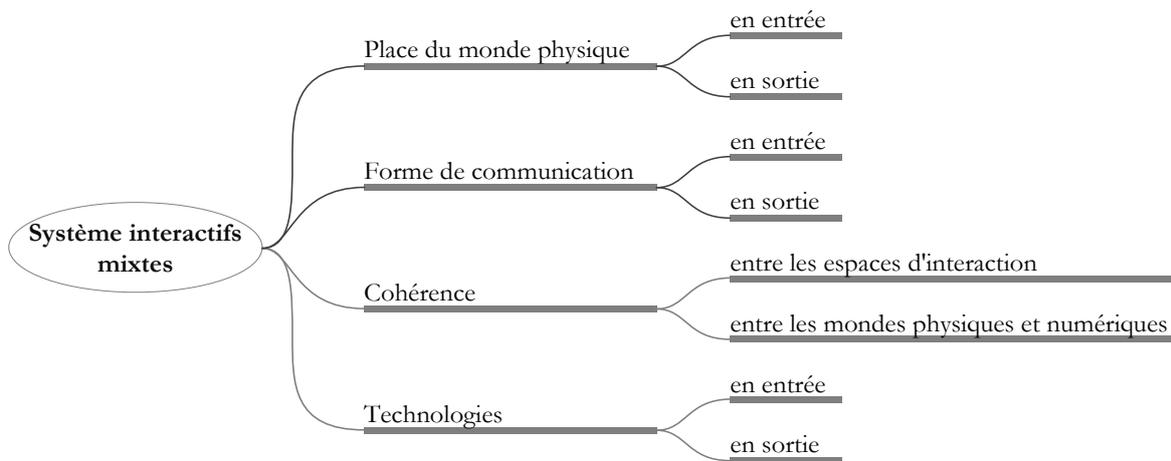


Figure 31 : Axes de variabilité spécifiques aux SIM

Deuxièmement, l'objectif était d'illustrer la variabilité des SIM. Les axes majeurs définissant cette variabilité sont résumés dans la Figure 31.

Nous avons donc premièrement montré la diversité des propriétés physiques (i.e. position, forme, vitesse, couleur, présence, etc.) pouvant être capté par le système et pouvant être restituée à l'utilisateur (i.e. déplacements d'objet, déformation, exertion de force, etc.).

Nous avons ensuite montré un ensemble de supports pouvant être exploités pour véhiculer de l'information entre le monde physique et le monde numérique : la lumière, le champ magnétique, électrique, le contact physique, le son, etc.

Nous avons mis ensuite le focus sur deux axes relatifs à l'usage du système. Le premier concerne, la cohérence entre les espaces physiques en entrée et en sortie du système : la topologie des espace en entrée et en sortie ainsi que le focus attentionnel requis en entrée constitue une large source de variabilité entres les SIM. Le second concerne différentes possibilités en termes de cohérence sémantique entre les entités physiques et numériques ; les objets des deux mondes peuvent en effet potentiellement se ressembler et potentiellement se comporter de manière analogue.

Enfin nous avons parcourus un ensemble de technologies utilisables dans la conception des SIM. Encore une fois à la différence des IHM classiques, le domaine offre une quantité de possibilités techniques qui constituent en conséquence des considérations supplémentaires lors du processus développement.

A l'issue de cette revue il apparait que la complexité des SIM est supérieure à celle des IHM traditionnelles. En effet, les quatre dimensions énumérées ci-dessus n'ont pas besoin d'être considérées lors du développement d'une IHM traditionnelles, celles-ci étant déjà déterminées par le triptyque clavier/souris/écran. Elles constituent donc des considérations supplémentaires qu'il est indispensable de

traiter lors du développement d'un SIM. Ces variations supplémentaires font émerger deux faits nouveaux dans le développement d'un SIM : 1) l'expansion de l'espace de conception et 2) un besoin accru d'une approche englobante et fortement interdisciplinaire.

*Explosion de l'espace de conception* : L'ajout de dimensions conduit nécessairement à un élargissement de l'espace de conception. Par conséquent, les possibilités en termes de couplage entre monde physique et numérique sont conséquentes. En effet, les différents axes sont indépendants : la détermination d'une valeur pour une dimension ne permet pas nécessairement d'inférer la ou les valeurs pour une autre dimension. Par exemple pour une propriété physique à capter, plusieurs formes de communication sont possibles et plusieurs technologies sont également envisageables. En conséquence, l'introduction de ces dimensions implique de nombreuses difficultés sur les plans conceptuels, méthodologiques et techniques pour les concepteurs et les développeurs de SIM (Hornecker, 2010a; Shaer & Jacob, 2009). Un support méthodologique est donc requis.

*Interdisciplinarité* : Le domaine de l'IHM est intrinsèquement interdisciplinaire. Des disciplines telles que l'informatique, le graphisme, l'ergonomie sont traditionnellement impliquées dans la conception d'un système interactif. Dans le cas des SIM, l'ajout de dimensions relatives au monde physique impacte en conséquence aussi ce besoin en interdisciplinarité. En effet, des compétences telles que le design d'objet, la maîtrise de technologies de programmation avancées (e.g. programmation parallèle, embarquée, temps réel, etc.), la connaissance des techniques de capture, ou encore l'électronique/la mécanique (e.g. pour la fabrication de dispositif dédiés) ou encore des connaissances liées à l'utilisabilité de ces systèmes sont requises (e.g. ergonomie physique, ergonomie cognitive, psychologie environnementale,...). Nous ne sommes pas les seuls à faire ce constat. Par exemple, dans le cas des interfaces tangibles, (Shaer & Jacob, 2009) soulignent eux aussi la nécessité d'avoir recours à des compétences disciplinaires croisées. Tout support méthodologique dédié aux SIM se doit donc de prendre en compte cette interdisciplinarité.

En conclusion, nous retiendrons que concevoir un SIM est complexe. De nombreuses spécificités doivent être considérées et pour l'instant aucun arrière-plan conceptuel et technologique n'est communément accepté. En conséquence, les ressources conceptuelles et méthodologiques mis en œuvre au sein de celui-ci doivent être adaptées. Suivant cet objectif nous proposons dans le prochain chapitre une revue des ressources utilisables lors de la conception d'un SIM.

## 4 BIBLIOGRAPHIE

- Adi, G. (2006). Aexitimia. Retrieved from <http://www.paulagaetano.com.ar>
- Amberg, M., Giraud, F., Semail, B., Olivo, P., Casiez, G., & Roussel, N. (2011). STIMTAC: a Tactile Input Device with Programmable Friction. *Proceedings of the 24th annual ACM symposium adjunct on User interface software and technology - UIST '11 Adjunct* (p. 7). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/2046396.2046401
- Augsten, T., Kaefer, K., Meusel, R., Fetzner, C., Kanitz, D., & Stoff, T. (2010). Multitoe : High-Precision Interaction with Back-Projected Floors Based on High-Resolution Multi-Touch Input. (K. Perlin, M. Czerwinski, & R. Miller, Eds.) *Direct*, 37(9), 209-218. ACM. doi:10.1145/1866029.1866064
- Baudisch, P., Becker, T., & Rudeck, F. (2010). Lumino:Tangible Blocks for Tabletop Computers Based on Glass Fiber Bundles. *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems CHI 10*, 1165. ACM Press. doi:10.1145/1753326.1753500
- Cheok, A. D., Teh, K. S., Nguyen, T. H. D., Qui, T. C. T., Lee, S. P., Liu, W., Li, C. C., et al. (2006). Social and physical interactive paradigms for mixed-reality entertainment. *Comput. Entertain.*, 4(2), 5. doi:10.1145/1129006.1129015
- Coutrix, C. (2009). *Interfaces de Réalité Mixte : Conception et Prototypage*. Université Joseph Fourier. Retrieved from <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=139215905>
- Dance Central™. (2011). *Harmonix Music Systems, Inc.* Retrieved December 5, 2011, from <http://www.dancecentral.com/>
- Dubois, E. (2001). *Chirurgie Augmentée, un cas de Réalité Augmentée. Conception et réalisation centrées sur l'utilisateur*. Université Joseph Fourier.
- Dubois, E. (2009). *Conception, Implémentation et Evaluation de Systèmes Interactifs Mixtes : une Approche basée Modèles et centrée sur l'Interaction*. Université de Toulouse.
- Dubois, E., Nigay, L., & Troccaz, J. (2001). Consistency in Augmented Reality Systems. *Proceedings of the 8th IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction (EHCI '01)* (pp. 111-122). London, UK: Springer-Verlag. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=645350.650721>
- Eye of Judgment™. (2007). *Sony Computer Entertainment*. Retrieved December 5, 2011, from <http://www.eyeofjudgment.com/>
- EyePet™. (2009). *Sony Computer Entertainment Europe*. Retrieved December 5, 2011, from <http://www.eyepet.com/>
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(5), 347-358. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1023819>
- Foyle, D. C., Andre, A. D., & Hooey, B. L. (2005). Situation Awareness in an Augmented Reality Cockpit: Design, Viewpoints and Cognitive Glue. *Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction* (p. 10). Lawrence Erlbaum Associates. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Situation+Awareness+in+an+Augmented+Reality+Cockpit:+Design,+Viewpoints+and+Cognitive+Glue#0>
- Grudin, J. (1990). The computer reaches out: the historical continuity of interface design. (J. C. Chew & J. Whiteside, Eds.) *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Empowering people CHI 90*, 90, 261-268. ACM Press. doi:10.1145/97243.97284
- Harrison, C., Benko, H., & Wilson, A. D. (2011). OmniTouch: wearable multitouch interaction everywhere. *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '11* (p. 441). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/2047196.2047255
- Hornecker, E. (2010). Creative idea exploration within the structure of a guiding framework: the card brainstorming game. *Tangible and embedded interaction*, 10, 101-108. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1709886.1709905>

- Hunter, S., Kalanithi, J., & Merrill, D. (2010). Make a Riddle and TeleStory : Designing Children ' s Applications for the Siftables Platform. *Human Factors*, 206-209.
- Ishii, H., Mazalek, A., & Lee, J. (2001). Bottles as a minimal interface to access digital information. *CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '01* (p. 187). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/634067.634180
- Ishii, H., Ratti, C., Piper, B., Wang, Y., Biderman, A., & Ben-Joseph, E. (2004). Bringing Clay and Sand into Digital Design — Continuous Tangible user Interfaces. *BT Technology Journal*, 22(4), 287-299. Springer Netherlands. doi:10.1023/B:BTIJ.0000047607.16164.16
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. 139-146). ACM. doi:10.1145/1226969.1226998
- Leithinger, D., & Ishii, H. (2010). Relief: a scalable actuated shape display . *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '10* (pp. 221-222). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1709886.1709928
- Mackay, W. E. (1996). Réalité augmentée : Le meilleur des deux mondes. *La Recherche*, (285), 32-37. Sophia. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3115676>
- Milgram, P., & Colquhoun, H. W. (1999). A Framework for Relating Head-Mounted Displays to Mixed Reality Displays. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 43, 1177-1181. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/hfes/hfproc/1999/00000043/00000022/art00002>
- NintenDogs™. (2011). *Nintendo*. Retrieved December 5, 2011, from <http://nintendogspluscats.nintendo.com/>
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=576915>
- Oliver, J. (2007). Level Head. Retrieved December 6, 2011, from <http://selectparks.net/~julian/levelhead/>
- Patten, J., & Ishii, H. (2007). Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems CHI 07*, 809. ACM Press. doi:10.1145/1240624.1240746
- Piekarski, W., & Thomas, B. (2002). ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, 45(1), 36-38. ACM. doi:10.1145/502269.502291
- Pittarello, F., & Stecca, R. (2010). Querying and navigating a database of images with the magical objects of the wizard Zurlino. *Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children IDC 10*, 250. ACM Press. doi:10.1145/1810543.1810583
- Qiao, Y.-J., Xie, X.-F., & Sun, T. (2008). Design for the Cockpit Intelligent Tutoring System Based on Augmented Reality. *2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design* (pp. 224-227). Ieee. doi:10.1109/ISCID.2008.141
- Rogers, Y., Scaife, M., Gabrielli, S., Smith, H., & Harris, E. (2002). A Conceptual Framework for Mixed Reality Environments: Designing Novel Learning Activities for Young Children. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(6), 677-686. doi:10.1162/105474602321050776
- Schietecatte, B., & Vanderdonck, J. (2008). AudioCubes : a Distributed Cube Tangible Interface based on Interaction Range for Sound Design. *Information Systems Journal*, 3-10. ACM. doi:10.1145/1347390.1347394
- Seitinger, S., Taub, D. M., Taylor, A. S., & Ave, J. J. T. (2010). Light Bodies : Exploring Interactions with Responsive Lights. *TEI '10 Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction* (pp. 113-120). ACM New York, NY, USA. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1709908>

- Shaer, O., & Jacob, R. J. K. (2009). A specification paradigm for the design and implementation of tangible user interfaces. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 16(4), 1-39.
- Sifteo. (2011). *Sifteo Inc.* Retrieved December 6, 2011, from <https://www.sifteo.com/>
- The Legend of Zelda: Spirit Tracks. (2009). *Nintendo*. Retrieved December 13, 2011, from <http://zelda.com/spirittracks/fr/#/how-to-play/flute/>
- Tsetserukou, D., Sato, K., & Tachi, S. (2010). ExoInterfaces: novel exoskeleton haptic interfaces for virtual reality, augmented sport and rehabilitation. *Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference on - AH '10* (pp. 1-6). New York, New York, USA: ACM Press.  
doi:10.1145/1785455.1785456
- Wellner, P. (1993). Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communications of the ACM*, 36(7), 87-96.  
doi:10.1145/159544.159630
- de La Rivière, J.-B., Dittlo, N., Orvain, E., Kervégant, C., & Courtois, M. (2010). Holocubtile: 3D multitouch brings the virtual world into the user's hands. *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '10* (p. 311). New York, New York, USA: ACM Press.  
doi:10.1145/1936652.1936739

## *Bibliographie*

# **CHAPITRE III : LA CONCEPTION DES SYSTÈMES INTERACTIFS MIXTES**

*User interface design is currently far more of a craft than an engineering discipline. (Blackwell & Green, 2002)*

# CHAPITRE III : TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>73</b>
<b>2</b>	<b>PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT POUR LES SYSTEMES INTERACTIFS .....</b>	<b>74</b>
2.1	Etapes et ressources d'un processus de développement en IHM.....	74
2.1.1	Etape d'analyse.....	74
2.1.2	Etape de conception.....	75
2.1.3	Etape de prototypage.....	77
2.1.4	Etape d'évaluation.....	78
2.2	Regard critique sur le processus de développement: le cas des SIM.....	78
<b>3</b>	<b>REPRESENTATIONS EXTERNES ADAPTEES AUX SIM.....</b>	<b>81</b>
3.1	Représentations informelles.....	81
3.2	Représentations formelles.....	84
3.2.1	Modèles descriptifs de l'interaction mixte.....	84
3.2.2	Modèles opérationnels de l'interaction mixte.....	86
3.3	Synthèse comparative des représentations externes adaptées aux SIM.....	89
3.3.1	Comparatif en termes de description.....	89
3.3.2	Comparatif en termes d'exploration.....	90
3.3.3	Comparatif en termes de compréhensibilité.....	91
<b>4</b>	<b>ACTIVITES DE CONCEPTION : UNE DIVERSITE DE MISE EN ŒUVRE.....</b>	<b>92</b>
4.1	Activités de conception génériques.....	92
4.2	Activités de conception dédiées à l'IHM.....	93
4.2.1	Mise en œuvre d'une représentation textuelle.....	94
4.2.2	Mise en œuvre de représentations dédiées.....	94
4.2.3	Mise en œuvre d'artefacts tangibles.....	95
4.2.4	Mise en œuvre d'artefacts vidéo.....	97
4.2.5	Mise en œuvre des propriétés d'un cadre théorique.....	97
4.2.6	Mise œuvre de l'ingénierie dirigée par les modèles.....	98
4.3	Synthèse comparative des activités de conception.....	99
<b>5</b>	<b>CONCLUSION ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.....</b>	<b>103</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUCTION

Dans le Chapitre 1 nous avons étudié la conception collaborative et créative d'un point de vue théorique. Nous en avons extrait six principes de haut niveau devant être supportés dans de telles situations. Dans le Chapitre 2 nous avons fait un tour d'horizon de divers Systèmes Interactifs Mixtes (SIM). Nous en avons retiré un ensemble de dimensions de variabilité étant la cause de l'explosion de l'espace de conception des systèmes interactifs mixtes.

Ce troisième Chapitre a pour but d'intégrer ces deux précédentes études pour identifier les limites des ressources de conception adaptées aux SIM. En conséquence, ce chapitre est structuré comme suit :

1. La première section traite du *processus de développement centré utilisateur* et montre en quoi les spécificités des SIM sont relatives à l'étape de conception. Nous en retirerons que deux types de ressources adaptées aux SIM sont indispensables : 1) les représentations externes et 2) les activités de conception.
2. La deuxième section analyse les *représentations externes* adaptées aux SIM. Cette étude est divisée en deux parties : les représentations externes informelles et les représentations externes formelles. Cette section se conclue par une analyse comparative des différentes représentations externes en mettant en lumière 1) leurs caractéristiques descriptives vis à vis des spécificités des SIM identifiées dans le Chapitre 2, 2) leur capacité à supporter l'exploration des possibles en conception et 3) leur compréhensibilité par les différents intervenants de l'étape de conception.
3. La troisième et dernière section analyse un ensemble d'*activités de conception*. Les activités de conception sont la mise en œuvre d'une représentation externe permettant d'effectuer des pas dans l'espace de conception et d'élaborer une solution intermédiaire. Les activités de conception dédiées aux SIM étant peu nombreuses, cette partie de l'étude analyse un ensemble d'activités de conception utilisables plus généralement dans la conception des IHM. Nous concluons sur la complétude et sur la diversité de ces activités vis à vis des six principes de la conception collaborative et créative ainsi que sur l'adaptation de ces activités dans le cas des SIM.

A partir des deux synthèses effectuées dans ce Chapitre, nous concluons par l'identification d'un besoin pour la conception des SIM. Nous mettrons ainsi en évidence la possibilité d'une combinaison de représentations externes formelles et d'activités de conception collaborative et créative.

## 2 PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT POUR LES SYSTEMES INTERACTIFS

Comme nous l'avons discuté dans le Chapitre précédent, le développement d'un SIM requiert de nombreuses compétences et la considération de nombreuses spécificités. Un processus de développement adapté est donc requis pour considérer les aspects impliqués. Parmi les nombreux processus de développement existants, les plus communs sont probablement encore ceux utilisés dans le développement logiciel. Les processus en cascade (Pressman, 1997) et en spirale (Boehm, 1986) ont posé les bases du séquençement des étapes dans le cycle de vie logiciel. Cependant, ces processus de développement ont montré leur inadéquation dans les situations où les besoins (i.e. les données circonstancielles du problème) sont mal définis (Simon, 1969). Face à l'évolution des besoins ces processus sont trop séquentiels et non prévus pour faire face aux changements rapides (Wood & Silver, 1995).

Pour faire face aux changements rapides, les méthodes agiles sont apparues. Ainsi la gestion du changement est devenue une priorité et des méthodes agiles telles que *Scrum*, *OpenUP* ou encore *Extreme Programming* ont vu le jour. En effet, ces processus de développement sont itératifs et centrés sur la négociation avec le client. Ils mettent le focus sur le concret, l'esprit d'équipe, l'échange, plus que sur la documentation et la définition de spécifications (Fowler & Highsmith, 2001). Toutefois, ces processus de développement restent focalisés sur l'ingénierie logicielle et peu de place est laissée à l'interaction et à l'utilisateur.

### 2.1 Etapes et ressources d'un processus de développement en IHM

Bien qu'encore peu utilisés dans l'industrie, les processus de développement centrés utilisateurs ont été développés depuis les années 1970 dans les pays scandinaves (Greenbaum & Kyng, 1991). Les processus de développement centrés utilisateurs mettent le focus sur l'identification des besoins, sur l'exploration des possibles, sur le prototypage rapide et sur l'évaluation tout au long du développement. L'utilisateur peut intervenir potentiellement dans chacune des étapes. Il tient donc une place forte dans un tel processus.

Ces processus sont fortement itératifs. De cette manière les feedbacks de(s) utilisateur(s) sont fréquents et la gestion des erreurs est facilitée. Il est commun de décrire ces processus au travers de quatre étapes majeures (Sears & Jacko, 2007) : 1) Analyse des besoins, 2) Conception de l'interaction, 3) Prototypage et 4) Evaluation.

Dans les parties suivantes nous proposons tout d'abord un rapide tour d'horizon pour chacune de ces étapes. Nous étudions ensuite la déclinaison de ce processus de développement dans le cas des SIM et identifions à quel moment les spécificités relatives aux SIM peuvent être considérées.

#### 2.1.1 Etape d'analyse

L'entrée dans cette phase est caractérisée par l'acquisition de connaissances relatives au domaine d'application, aux enjeux, aux profils utilisateurs ainsi qu'aux fonctionnalités principales visées, c'est-à-dire

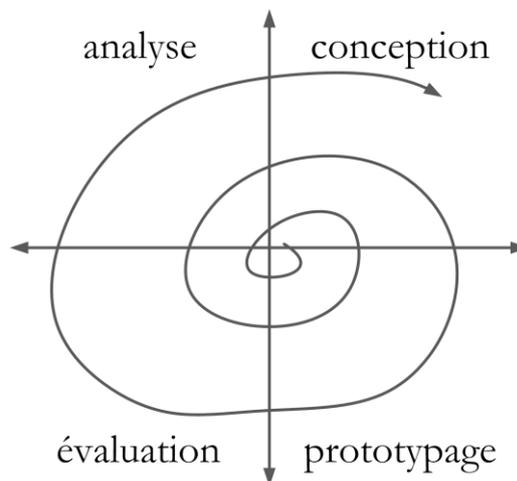


Figure 32 : Processus de développement centré utilisateur

l'identification des objectifs du système à concevoir. Que doit-il faire ? Comment ? Sous quelles contraintes ? Par qui ? En conséquence l'objectif de cette étape est de décrire explicitement les buts, les tâches et les fonctionnalités et d'identifier les dimensions impliquées dans les phases suivantes (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004).

Cette étape d'analyse doit permettre de recueillir des connaissances nécessaires à la définition de la situation interactive à mettre en place. Pour y parvenir des techniques d'observation et/ou d'entretiens avec les utilisateurs finaux peuvent être mises en œuvre. Mais d'autres moyens d'analyse tel que les sondes technologiques (Hutchinson et al., 2003) peuvent également être utilisées.

A l'issue de ces efforts de recueil, les données obtenues peuvent être documentées au travers de différents supports, plus ou moins formels. Le support le plus flexible est probablement le *scénario* (Carroll, 2000). Dans notre cas les scénarios sont une description textuelle narrative d'une situation observée. Ils présentent l'avantage d'être facile à réaliser et d'être facile à comprendre par des non experts. Ils peuvent en conséquence servir non seulement de support à la documentation mais également de support de communication avec les utilisateurs.

Toutefois, les *scénarios* sont parfois flous et restent soumis à interprétation. Pour pallier ce problème, des descriptions plus structurées sont possibles. C'est notamment le cas des modèles de tâches. Plusieurs formalismes et plusieurs supports logiciels ont été développés : *Diane+* (Barthet, Tarby, & Vanderdonckt, 1996), *CTT* (Mori, Paternò, & Santoro, 2002; Paternò, Santoro, & Tahmassebi, 1998), *K-MAD* (Gamboa-Rodriguez & Scapin, 1997; Scapin & Bastien, 2001) ou plus récemment *Hamster* (Martinie, Palanque, & Winckler, 2011). Les modèles de tâches sont une description hiérarchique précisant les relations d'ordonnancement au travers d'opérateurs temporels et logiques.

Parmi les outils d'édition de ces modèles, certains proposent même d'exécuter ces modèles pour vérifier si l'ordonnancement défini correspond à l'activité de l'utilisateur. La plupart de ces modèles permettent également de préciser les objets et les outils impliqués dans les activités des utilisateurs. Ce niveau de précision est particulièrement pertinent dans le cas des SIM puisqu'il offre un moyen de description des objets physiques impliqués dans l'environnement.

Enfin cette étape doit aussi laisser place à l'identification des dimensions à traiter dans les phases suivantes. En effet, toutes les considérations ne peuvent pas être traitées en même temps. Les *recommandations ergonomiques* (Bach & Scapin, 2005; Bastien & Scapin, 2002) ou certains grands principes de conception (Norman, 1990) peuvent être utilisés pour définir un découpage en termes de dimensions à considérer. Il est donc primordial d'identifier la ou les problématiques ainsi que les concepts associés sur lesquels le focus sera porté durant l'étape de conception.

### 2.1.2 Etape de conception

L'objectif de l'étape de conception est de déterminer une solution interactive répondant aux besoins identifiés en amont, et en respectant le séquençage des tâches défini en phase d'analyse. Cette étape vise donc à l'identification d'au moins une solution potentielle répondant à tout ou partie du système à développer. Ce sous ensemble du système à concevoir peut embarquer différentes considérations telles que : la définition de techniques d'interactions, de représentations graphiques, de l'architecture globale du système, d'aspects collaboratifs et sociaux, etc.

A l'issue de cette étape, une ou plusieurs représentations externes définissant ou précisant la ou les dimensions traitées sont produites. Pour y parvenir, les concepteurs ont recours à deux types de ressources : 1) différentes représentations externes de tout ou partie du système et 2) différentes activités de conception visant à explorer les possibles et à identifier une ou plusieurs solutions.

Tout d'abord, les représentations externes employées peuvent être de nature très différentes (Hornecker, 2007) et d'un niveau de précision progressif. Nous distinguons deux types de

représentations : les représentations externes formelles et les représentations externes informelles.

Les représentations informelles ont la faculté d'être flexible et relativement compréhensibles par tous. Par exemple les *scénarios* de conception (Renevier & Nigay, 2004), les *dessins* (van der Lugt, 2002), les *maquettes papiers* (Lepore, 2010), les *maquettes tangibles* (Brandt, 2007), les *story-boards* (Bailey & Konstan, 2003), ou encore les *vidéos* (Mackay, Ratzner, & Janecek, 2000) sont des représentations informelles. Chacune de ces représentations a ses spécificités et permet de représenter un ensemble de facettes du système interactif.

Nous distinguons ensuite un certain nombre de représentations dites formelles. Au même titre que les représentations informelles, chaque représentation formelle est adaptée pour décrire un ensemble de facettes du système interactif. Par contre les représentations formelles ont la faculté de définir explicitement les dimensions à considérer. Dans le domaine de l'IHM, plusieurs représentations, notations, modèles existent pour représenter chacune des facettes du système. Par exemple, *UAN* (Dievendorf, Brock, & Jacob, 1995) décrit la dynamique de l'interaction avec une souris, *GOMS* (Beard, Smith, & Denelsbeck, 1996) permet de décrire et de prédire le temps d'exécution d'une tâche.

D'autres approches sont plus spécifiques au développement des SIM. C'est par exemple le cas de *FlowNets* (Smith, 2007) propose une description de l'interaction haptique sous forme de flux de données. De manière similaire d'autres représentations externes formelles permettent de décrire la situation interactive. Par exemple, *FILA* aborde la situation interactive d'un point de vue distribué (Wolfe, Graham, Phillips, & Roy, 2009), *ASUR* voit les situation interactive mixtes comme un ensemble d'entités (Dubois, Gray, & Nigay, 2002), *MIM* comme un ensemble d'objets mixtes (Coutrix & Nigay, 2008) ou encore *TAC* comme la combinaison d'objets et de contraintes (Ullmer, Ishii, & Jacob, 2005).

Pour finir, d'autres représentations formelles sont spécialisées dans la description des aspects logiciels du système. C'est le cas de l'ensemble de la notation *UML*, des réseaux de *Pétri* ou encore de modèles plus spécifiques à l'IHM tel que *MVC* (Krasner & Pope, 1988) ou encore *PAC-Amodeus* (Nigay & Coutaz, 1997).

Ensuite, durant cette étape les concepteurs mettent également en œuvre différentes activités de conception. Ces activités ont pour but de supporter la réflexion, et la communication entre les intervenants. De plus, ces activités aident les concepteurs à mettre en œuvre les processus cognitifs et/ou sociaux leur permettant d'explorer l'espace des possibles et d'identifier une ou plusieurs solutions répondant aux problèmes soulevés durant l'étape d'analyse. Ces activités peuvent par exemple supporter différents mode de pensée tel que la pensée divergente au travers d'un brainstorming (Osborn, 1965), la pensée convergente via la méthode *ASIT* (Horowitz, 1994), l'émergence des besoins au travers de la confrontation avec un produit tel que les focus-groups (Rosenbaum, Cockton, Coyne, Muller, & Rauch, 2002). D'autres techniques, comme la conception participative facilitent l'émergence des besoins et le feedback rapide en intégrant des utilisateurs finaux pendant la conception elle-même (Greenbaum & Kyng, 1991). Ces activités de conception sont en général polyvalentes et leur aspect collaboratif est particulièrement en ligne avec les spécificités des SIM.

Enfin nous soulignons l'apparition récente de nouvelles pratiques, visant à explorer l'espace de conception en s'appuyant sur des outils de génération d'alternatives automatique. C'est par exemple le cas du système *Magellan* (Masson, Demeure, & Calvary, 2010) qui s'appuie sur l'utilisation d'algorithmes génétiques, pour générer automatiquement des esquisses d'interfaces graphiques. L'objectif ici est d'inspirer le concepteur au travers de la présentation d'exemples concrets. Les productions étant des solutions concrètes, cet outil trouve donc sa place à mi-chemin entre l'étape de conception et l'étape de prototypage.

Toutefois si l'outil permet d'explorer rapidement les possibles en termes d'interface graphique, la présentation d'exemples concrets peut entraîner des effets de fixation fonctionnelle (cf. Chapitre 1 Partie 3.2) chez le concepteur et donc brider la créativité. Nous soulignons toutefois l'effort de systématisation

de l'exploration de l'espace conception, qui permet de délimiter clairement l'espace des possibles et guider les concepteurs vers l'identification d'une solution appropriée.

En conclusion, quelles que soit les représentations externes utilisées (i.e. formelles ou informelles) et quelles que soit les activités de conception mises en œuvre, l'issue de cette étape est de produire une représentation partielle du système. Le niveau de fidélité de cette représentation évolue au fil et à mesure des itérations du processus, les premières itérations produisant normalement des représentations globales à faible niveau de détail et les dernières itérations produisant des représentations plus formelles et plus enclines à la description logicielle. Le contenu de la/les représentations produites en conception est exploitée dans la phase suivante : le prototypage.

### 2.1.3 Etape de prototypage

Cette étape vise à la concrétisation des représentations externes établies en conception. L'objectif de la concrétisation est de produire un artefact exploitable pour l'étape d'évaluation.

De plus, l'importance de la phase de prototypage est fonction du niveau de précision des représentations externes produites en amont. En effet, dans lors des premières itérations du processus la phase de prototypage peut potentiellement prendre une place très faible ; les représentations externes produites en conception n'étant pas suffisamment complètes pour être concrétisées. En effet, une maquette, un dessin peut être vue à la fois comme la représentation externes élémentaire d'une solution et comme un prototype. Par contre, dans les dernières itérations du processus de développement, le prototypage tient une place amplement plus importante. En effet, dans la conception logicielle, un prototype peut prendre la forme d'un exécutable ressemblant fidèlement à la solution finale et donc l'effort de concrétisation est plus conséquent.

En fonction du niveau de détail atteint, les concepteurs d'IHM ont recours à des supports divers et variés. De simple feuilles de papier, feutres et stylos peuvent s'avérer être suffisants pour représenter des aspects graphiques de l'interface. Les activités supportées par ces outils informels ont été instrumentés par de nombreux outils, comme par exemple l'outil *DENIM* (Lin, Newman, Hong, & Landay, 2000) qui permet de décrire des maquettes d'interfaces avec des différents niveaux de détails variables et de définir l'ordonnancement des différentes planches. De la même manière, la réalisation de vidéos ou la création d'animations avec des outils tel que *K-Sketch* (Davis, Colwell, & Landay, 2008) pourront quant à eux illustrer plus explicitement les aspects dynamiques de l'interaction.

Des outils plus évolués permettent de représenter ces mêmes aspects avec un niveau de fidélité plus élevé. Par exemple des logiciels tels que *Microsoft Visio*, *Axure* ("Axure: Interactive Wireframe Software and Mockup Tool," 2012), *OmniGraffle* ("OmniGraffle," 2012) ou encore *Expression Blend* permettront de réaliser graphiquement des maquettes d'interfaces très réalistes.

Pour les itérations plus avancées du processus de développement, certains outils permettent de réaliser des simulations d'une application. Par exemple, l'outil *PetShop* (Bastide, Navarre, & Palanque, 2002) permet de générer une simulation du comportement système final à partir de modèles de *Pétri* établis en conception. De la même manière, *TUIMS* (Shaer & Jacob, 2009) et *SIMBA* (Moussa, Jessel, & Dubois, 2006) permettent respectivement de traduire semi automatiquement des spécifications d'interface tangible de haut niveau en code exécutable et simuler automatiquement l'interaction avec un SIM à partir de spécifications décrites via le modèle *ASUR*. Dans la même lignée, les boîtes à outils *Icon* (Dragicevic, Fekete, Kastler, & Chantrerie, 2001), *WComp* (Cheung, Tigli, Lavirotte, & Riveill, 2006) et *Open Interface* (Serrano et al., 2008) permettent de prototyper rapidement les techniques d'interaction et de faire varier les modalités en entrée du système.

Cette liste est loin d'être exhaustive car un grand nombre de boîtes à outils et de système de gestion d'interface (i.e. UIMS) ont été développées. Nous retiendrons toutefois qu'il existe un grand

nombre de possibilités à la portée des concepteurs et des développeurs pour prototyper et simuler des systèmes interactifs. Ces prototypes sont ensuite soumis à évaluation avec les utilisateurs finaux dans le but de valider ou d'invalidier les choix effectués en conception.

#### **2.1.4 Etape d'évaluation**

L'étape d'évaluation vise à valider ou invalider les choix effectués en conception et concrétisés durant le prototypage. Habituellement l'étape d'évaluation en IHM vise deux principaux objectifs : améliorer l'interaction (i.e. évaluations formatives) et valider les choix effectués en conception (i.e. évaluations sommatives).

Ces objectifs sont atteints grâce à la mesure de différentes dimensions telles que l'utilisabilité et, plus récemment, l'expérience utilisateur ou UX dans la littérature (Hassenzahl, 2006). Premièrement, la notion d'utilisabilité est définie comme étant l'agrégation de trois dimensions : 1) l'efficacité ou la capacité à réaliser une tâche définie, 2) l'efficacité ou la faculté à réaliser une tâche au moindre effort, et 3) la satisfaction ou le degré de confort et d'attitude positive dans la réalisation de la tâche. A cela s'ajoute les dimensions relatives à l'expérience utilisateur (UX). Initialement proposée par Don Norman, la notion d'UX est encore mal définie à ce jour et aucune compréhension commune de cette notion n'est encore clairement établie (Law, Roto, Hassenzahl, Vermeeren, & Kort, 2009). Toutefois l'expérience utilisateur fait mention des aspects hédonistes, émotionnels et affectifs dans l'usage d'un produit (Norman, 2003).

Pour mesurer ces dimensions une quantité de méthodes et d'outils ont été développés. Tout d'abord, il est aussi possible d'avoir recours à la mise en place d'expérimentations avec des utilisateurs. Dans ce cas il est primordial de définir un protocole expérimental en fonction des informations à collecter, des observations à conduire, des conditions d'usage, du type de système évalué, du profil des utilisateurs, etc. La localisation des expérimentations est également très importante. En effet cette dernière impacte fortement le type des données qui pourront être collectées. Ainsi nous distinguons deux types de situations : 1) en laboratoire ou in vitro et 2) en situation réelle ou in situ.

De plus, nous soulevons le fait qu'une quantité d'outils permettent ou facilitent le recueil des données pour évaluer l'utilisabilité d'un système. Pour n'en citer que quelques-unes la littérature fait mention de questionnaires spécialisés ("AttrakDiff," 2005; Bangor, Kortum, & Miller, 2008), des technologies d'eyetracking, des décodeurs d'émotions ("FaceReader," 2011), ou encore d'analyses vidéos, etc. Enfin, la littérature fait mention d'une quantité de méthodes expertes ou basées sur des documents. Ces méthodes sont basées sur l'emploi d'heuristiques (Nielsen, 1994), de recommandations ergonomiques (Bach, 2004) ou encore de critères ergonomiques (Bach & Scapin, 2010).

Pour conclure, quelles que soient les méthodes et les outils utilisés, la phase d'évaluation a pour but de produire un rapport d'intervention qui mentionne les problèmes observés et les retours des utilisateurs. En somme un tel rapport fournit les données d'entrées nécessaires à une nouvelle étape d'analyse et donc au démarrage de l'itération suivante. Toutefois si l'évaluation ne soulève plus de problèmes, ou bien soulève des problèmes dont la résolution n'est pas viable en termes de coûts, le processus itératif peut alors s'arrêter.

Dans la partie suivante nous discutons ce processus et ses étapes dans le cadre de la conception des SIM. Nous identifions en quoi les dimensions de variabilités des SIM peuvent impacter le bon déroulement de ce processus et influencer les choix quant aux ressources à mettre en œuvre.

## **2.2 Regard critique sur le processus de développement : le cas des SIM**

A l'issue de cette revue de la littérature autour du processus de développement centré utilisateur, nous pouvons mettre en lumière certaines spécificités applicables au cas de conception d'un SIM. Premièrement bien que non exhaustif nous avons fait état d'un certain nombre de ressources utiles en

situation de conception d'une IHM. Nous faisons le constat que chacune des étapes peut être non seulement caractérisée par des objectifs bien spécifiques mais aussi par un ensemble d'outils et d'activités. Parmi les différentes étapes du processus de développement, notre revue de la littérature met en évidence que *la majorité des ressources développées spécifiquement pour les SIM sont relatives à l'étape de conception* : il s'agit principalement de modèles d'interaction spécifiques aux SIM.

Mais ce constat n'a rien de surprenant car les dimensions de variabilité que nous avons mises en évidence dans le Chapitre 2 sont majoritairement relatives à des considérations de conception de l'interaction : la place du monde physique, les formes de communication, la cohérence entre les deux mondes sont tant de spécificités d'ordre interactif qu'il est opportun de traiter durant l'étape de conception du processus présenté ci-dessus. A noter que ce n'est toutefois pas le cas des technologies qui sont plus enclines à être traitées durant l'étape de prototypage.

Par rapport aux systèmes interactifs classiques, les spécificités des SIM se révèlent être majoritairement situées au niveau de l'interaction, nous portons notre attention sur l'étape de conception de l'interaction, ainsi que sur la manière dont celle-ci est orchestrée au sein du processus.

Conformément à la définition des étapes constitutives de ce processus, et à leur ordonnancement, l'étape de conception de l'interaction fait suite à l'analyse des besoins et précède l'étape de prototypage. Il convient donc d'étudier l'étape de conception ainsi que les relations en amont et en aval de cette étape. En conséquence il s'avère capital de satisfaire en conception trois enjeux (Figure 33) : 1) Gérer l'explosion de l'espace de conception engendré par variabilité intrinsèque aux SIM, 2) assister la transition avec l'analyse des besoins et 3) assister la transition avec la conception logicielle.

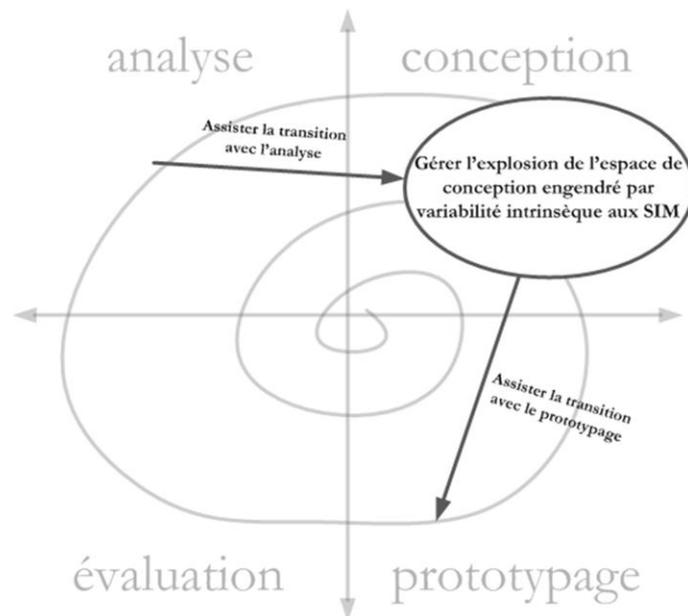


Figure 33 : Enjeux de l'étape de conception d'un SIM

Comme nous l'avons entrevu dans les parties précédentes, deux types de ressources sont exploitables durant l'étape de conception : 1) différentes représentations externes de tout ou partie du système et 2) différentes activités de conception support à l'exploration des possibles et à l'identification d'une solution.

Les deux sections suivantes visent à étudier un ensemble de ressources de conception adaptées aux SIM pour chacune de ces deux catégories. L'objectif de cette étude sera double :

1. *Analyser les représentations externes* formelles et informelles utilisables pour décrire tout ou partie d'un SIM et étudier leur pouvoir descriptif par rapport aux dimensions de variabilité identifiées à l'issue du Chapitre 2, leur pouvoir exploratoire ainsi que leur capacité à être comprise par les différents acteurs de l'étape de conception. Nous allons mettre en évidence que les représentations externes peuvent être de nature très diverses, chacune pouvant exprimer un ou plusieurs aspects du domaine abordé.

2. *Analyser les activités de conception* du domaine de l'IHM et étudier leurs apports et limites par rapport aux principes de conception collaborative et créative identifiés à l'issue du Chapitre 1. La nature de ces activités de conception est aussi extrêmement variable : le format, les objectifs, les règles de mise en œuvre, les participants, les objectifs fixés, mais aussi les représentations externes employées dans ces activités sont tant de paramètres qui les différencient.

L'objectif majeur de cette revue est d'identifier les éléments de base d'une potentielle *nouvelle forme de combinaison* entre représentation externe et activité de conception. L'enjeu d'une telle combinaison est double : gérer la complexité des SIM et supporter les principes élémentaires relatifs à la nature des SIM.

### 3 REPRESENTATIONS EXTERNES ADAPTEES AUX SIM

Comme nous l'avons mis en évidence dans le Chapitre 1 les représentations externes jouent un rôle important dans la résolution de problème. Rappelons que leurs rôle est double : 1) Le rôle *d'aide-mémoire* et 2) le rôle de *stimuli* pour les représentations internes (Zhang, 1997).

Certains types de représentations telles que les dessins (i.e. « *sketches* » en anglais) ont été étudiés en profondeur. Par exemple en architecture, il a été montré que ces représentations externes jouent un rôle essentiel dans l'acquisition des connaissances et facilite certains mécanismes cognitifs dans l'élaboration d'une solution de conception (Purcell & Gero, 1998).

Une grande quantité de représentations externes existent et chacune d'entre elles symbolise un ensemble de concepts. D'après (Hornecker, 2007), les différents types de représentations peuvent être catégorisées au travers du médium qui les caractérise, à savoir : visuel, matériel ou gestuel. Néanmoins, une quantité considérable de forme de représentations est envisageable : En informatique, les dessins, schémas et diagrammes sont les formes de représentation les plus utilisées (Hornecker, 2007). Cette diversité d'usage s'explique simplement par le fait que chaque type de représentations permet d'illustrer une ou plusieurs facettes du système à concevoir. En conséquence, différents types de représentations sont complémentaires et il est nécessaire dans le processus de développement d'en utiliser plusieurs pour représenter toutes les facettes du système. Nous nous limiterons toutefois dans cette étude aux représentations externes utiles lors de la conception d'un SIM, c'est-à-dire aux représentations qui peuvent illustrer tout ou partie d'un SIM.

Parmi les représentations que nous allons étudier certaines sont adaptées à la conception de tout type de systèmes interactifs et d'autres sont plus spécifiques au domaine des SIM. Certaines offrent notation définie représentant des concepts préétablis et d'autres sont plus flexibles et sont uniquement caractérisées par l'emploi d'un ensemble d'attributs graphiques. Nous les qualifions respectivement de représentations formelles et informelles.

Nous allons voir dans cette étude que chacun des deux types de représentations (i.e. formelle et informelle) comportent des avantages et des inconvénients face à la conception d'un SIM. Les représentations formelles bien que plus difficiles à mettre en œuvre, ont l'avantage de définir explicitement les éléments du domaine et guident donc la conception en mettant en évidence certaines caractéristiques. Les représentations informelles sont plus faciles à mettre en œuvre mais sont aussi plus floues et ambiguës. Mais avant de conclure sur les avantages et inconvénients de chacun de ces types de représentation dans la conception des SIM, nous proposons dans les parties suivantes un rapide tour d'horizon de cet ensemble de ressources de représentation.

#### 3.1 Représentations informelles

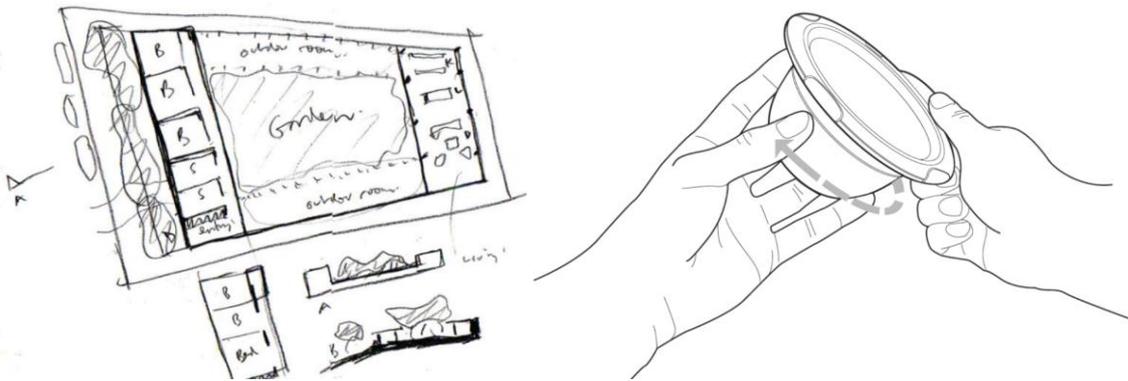
Les éléments de représentations que nous qualifions d'informels ont été amplement étudiés, non seulement de par leurs propriétés graphiques mais aussi au travers de leur fonction dans les processus cognitifs impliqués en conception (van der Lugt, 2002). Bien que l'apport cognitif de ces représentations soit la particularité majoritairement étudiée dans la littérature (Bilda, Gero, & Purcell, 2006; Gero, 1990; Hornecker, 2007; Purcell & Gero, 1998; van der Lugt, 2002), nous nous focaliserons dans cette partie sur leur pouvoir descriptif. L'enjeu est double : 1) identifier les caractéristiques premières de ces représentations dans les situations de conception et 2) vérifier si elles permettent de décrire les spécificités relatives aux SIM.

Tout d'abord, le scénario est probablement une des formes de représentation les plus utilisées en IHM. Les scénarios sont définissables d'après (Carroll, 1995) comme une description narrative de l'expérience que les gens font de l'usage d'ordinateurs et de leurs applications. En conséquence un

scénario n'est à priori composé que de texte. L'apport des scénarios dans le processus de développement est multiple. Les scénarios peuvent être utilisés 1) pour décrire les pratiques des utilisateurs en étape d'analyse, 2) pour décrire comment une solution répond aux exigences des utilisateurs, 3) pour être utilisés en tant que spécification décrivant les tâches et les objets impliqués dans l'action ou enfin 4) pour décrire l'usage d'un système futur. Les scénarios sont particulièrement adaptés pour illustrer une succession d'actions, d'évènements et de situations de manière accessible au plus grand nombre.

Dans le cas des SIM, ils sont donc particulièrement adaptés pour représenter une situation interactive dans sa globalité c'est à dire, les buts et les actions de l'utilisateur à gros grain ainsi que et les objets impliqués dans l'interaction.

Toutefois, en pratique les scénarios restent approximatifs et ambigus car il est trop fastidieux de décrire un ensemble de détails sous forme textuelle. Pour cette raison ils sont le plus souvent complétés par des représentations plus expressives telles que les dessins par exemple.



**Figure 34 : Confrontation de deux dessins. Le premier très approximatif illustre l'architecture d'un bâtiment (Bilda et al., 2006), le second très détaillé illustre l'usage d'un prototype appelé ORBIS (Coutrix, 2009)**

L'usage des dessins (i.e. « *sketches* » en anglais) est quant à lui probablement la situation la plus étudiée dans le domaine de la conception. En effet, la littérature fait mention des nombreuses propriétés graphiques et cognitives des dessins.

Premièrement, les dessins sont rapides et faciles à réaliser et leur niveau de détail est adaptable. En effet, en fonction du niveau de détail souhaité, il est possible de réaliser des dessins très fins et précis ou très approximatifs et ambigus (Figure 34). De plus, en comparaison aux mots, les dessins expriment des propriétés qu'il est parfois laborieux d'exprimer de manière textuelle (van der Lugt, 2002). A titre d'exemple, le symbole « chaise », peut désigner n'importe quel type de chaise, alors qu'un dessin spécifiera non seulement sa nature (i.e. fauteuil, rocking chair, tabouret, etc.) mais aussi un certain nombre de propriétés topologiques (i.e. taille, couleur, forme, etc.). Les dessins sont donc particulièrement adaptés pour décrire la structure des objets ainsi que les propriétés spatiales d'une interface ou d'une situation interactive.

Dans le contexte des SIM, les dessins trouvent leur utilité pour illustrer la nature des objets physiques impliqués, le contexte d'interaction, l'organisation spatiale des entrées/sorties ou encore le focus de l'utilisateur. A l'exception des formes de communication, ce type de représentation est donc relativement complet.

Mais les dessins constituent des formes libres de représentation et ne définissent pas quels aspects du système doivent ou ne doivent pas être considérés. La complétude d'un dessin est donc fonction de l'expertise de son réalisateur et du niveau de détail souhaité. De plus, un dessin seul ne décrit que très peu d'éléments relatifs à la dynamique d'une situation interactive. Pour représenter des enchaînements d'actions et de situations, les concepteurs ont recours à l'emploi de plusieurs dessins organisés de manière séquentielle : les story-boards.

Les story-boards ont globalement les mêmes propriétés que les dessins mais permettent de spécifier un enchaînement de situations. En ce sens, ils peuvent être définis comme la représentation graphique d'un récit (Truong, Hayes, & Abowd, 2006). Les story-boards sont de plus particulièrement adaptés pour décrire le contexte d'usage ainsi que les émotions et la motivation des utilisateurs. En effet, ils incluent souvent des utilisateurs et des bulles de texte permettant d'exprimer des conversations, des émotions (Figure 35). Il existe de plus une quantité d'outils logiciels facilitant la création et l'animation de story-boards (Bailey & Konstan, 2003; Lin et al., 2000).

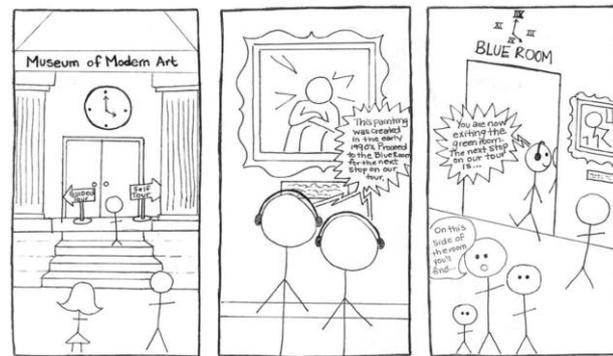


Figure 35 : Story-board représentant un guide audio de musée avec des indicateurs de temps d'après (Truong et al., 2006)

Dans le cas des SIM, leur avantage majeur est d'exprimer l'enchaînement des actions et des situations au travers des propriétés des dessins (propriétés spatiales, objets impliqués, focus de l'utilisateur, etc.). Toutefois hormis la focalisation sur les aspects dynamiques de l'interaction, ce type de représentation ne définit pas non plus les dimensions qui doivent être considérées. Un certain niveau d'expertise est donc requis pour pouvoir les créer.

Pour exprimer une dynamique au travers d'un rendu animé, il est également possible d'avoir recours directement à la vidéo. Dans ce cas les concepteurs et/ou les utilisateurs peuvent filmer l'action au moyen d'une caméra. Comme souligné dans (Buur, Jensen, & Djajadiningrat, 2004), le challenge de ce type de scénario est de capturer et d'exprimer les actions de l'homme jusque dans leurs moindre détails et dans leurs contexte d'exécution.

Dans les SIM, les vidéos permettent de décrire l'action et le contexte d'usage. En effet, au travers du film d'une action les concepteurs peuvent mettre en lumière les propriétés physiques des objets lors de leur utilisation.

Toutefois si les vidéos fournissent un matériel de base robuste pour l'entrée en phase de prototypage et pour la communication à d'autres individus, elles apparaissent particulièrement inefficaces dans une étape d'édition collaborative. En effet, une fois une séquence vidéo tournée, il est quasiment impossible de la modifier. Il faut alors recommencer le tournage d'une séquence dans sa totalité dès le début. Pour cette raison, il apparait difficile d'avoir une conversation réflexive avec un artefact vidéo au sens de Schön.

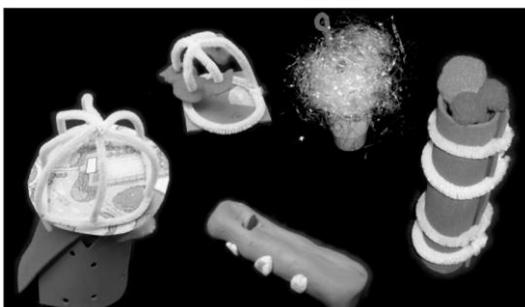


Figure 36 : Exemple de maquettes (Solid Diagrams) d'après (Blackwell et al., 2005)

Pour explorer les propriétés physiques des objets, les maquettes constituent une bonne alternative. Une quantité de matériaux et d'outils sont propices à la création de maquettes : mousse, papier, carton, pâte à modeler, spatules en bois, ficelle, autocollants, peinture, colle, attaches décoratives, etc. (Figure 36). Ce type de représentation est donc facile d'accès pour un novice. Dans le domaine des SIM, les maquettes sont sûrement le matériel le plus adapté pour explorer la physicalité et l'affordance (Norman, 1990) des objets tangibles. Elles permettent de plus d'analyser les correspondance possibles entre les structures physiques et les structures d'information (Blackwell et al., 2005).

Toutefois, les maquettes seules n'expriment ni la dynamique de l'interaction, ni les fonctionnalités remplies par les objets, ni les formes de communication en entrée comme en sortie. Elles doivent donc être perçues comme un support à l'exploration à utiliser en complément à d'autres formes de représentations comme les vidéos par exemple.

En conclusion, les représentations informelles sont de natures très diverses et permettent de représenter différents aspects des SIM. Nous proposons dans la partie une analyse comparative entre ces représentations informelles et les représentations formelles du domaine des SIM, qui sont le sujet de la partie suivante.

## 3.2 Représentations formelles

Comme nous l'avons souligné dans le Chapitre 2, aucun consensus n'est encore clairement établi quant à la définition d'un SIM. Toutefois, pour offrir une vision structurée du domaine une quantité de modèles ont été proposés. Ces modèles ont la double faculté d'offrir un support à la description d'une situation d'interaction mixte définie et de délimiter explicitement l'espace de conception. Nous distinguons de plus deux grandes catégories de modèles dans ce domaine : les modèles descriptifs et les modèles opérationnels de l'interaction mixte. Tandis que les modèles descriptifs offrent des cadres de réflexion du domaine des SIM, les modèles qualifiés d'opérationnels ont l'avantage de fournir également une notation, permettant de construire des représentations intermédiaire pour décrire tout ou partie d'une solution.

### 3.2.1 Modèles descriptifs de l'interaction mixte

Tout d'abord la littérature fait mention d'un ensemble de modèles que nous qualifions de descriptifs. Ces derniers peuvent être considérés comme des cadres génériques abstraits identifiant les grandes classes de propriétés des systèmes considérés. Leur intérêt majeur est de fournir un cadre de réflexion structurant et une vision du domaine des SIM.

En effet, ces modèles définissent un ensemble de concepts composants l'interaction mais ne permettent pas de décrire explicitement différentes situations. De plus, ils ne fournissent pas de support à la représentation d'une solution en cours de construction car ils ne fournissent pas de notation particulière. En conséquence les chances de décliner une opérationnalisation de ces modèles en situation de conception sont faibles. Dans le domaine des SIM plusieurs exemples de ces modèles existent.

Par exemple, *MCRit* (Figure 37) propose un cadre conceptuel des interfaces tangibles s'inspirant du modèle d'architecture logicielle Modèle/Vue/Contrôleur (MVC). Dans ce modèle, le contrôle et la représentation des informations manipulées sont déportés dans l'environnement physique de l'utilisateur (Ullmer et al., 2005).

*MCRit* décrit de manière limitée et avec une approche centrée système (i.e. l'utilisateur n'apparaît pas dans ce modèle), les éléments du monde physique, les concepts numériques associés ainsi que les représentations et les formes de communication entre les deux mondes.

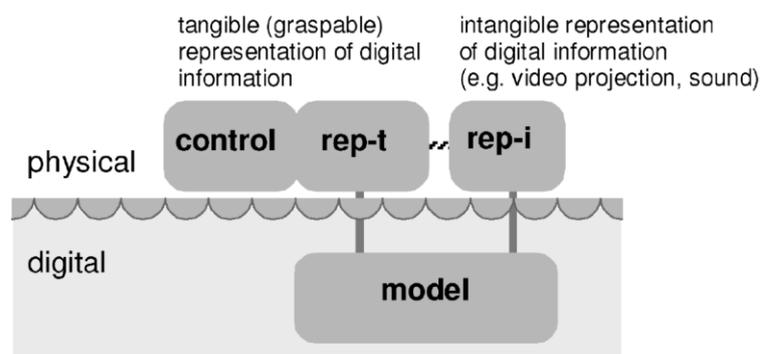


Figure 37 : le modèle MCRit d'après (Ullmer et al., 2005)

<i>Metaphor</i> \ <i>Embodiment</i>	None	Noun	Verb	Noun and Verb	Full
Full					
Nearby					
Environmental					
Distant					

Figure 38 : Taxonomie des interfaces tangibles d'après (Fishkin, 2004)

Par exemple, Fishkin établit une taxonomie des systèmes interactifs tangibles (Fishkin, 2004) organisée selon deux axes : l'incarnation et la métaphore (i.e. respectivement *Embodiment* et *Metaphor* sur la Figure 38).

L'incarnation décrit le degré d'imbrication entre les représentations tangibles et intangibles, au sens de la distance physique qui les sépare. Cette incarnation peut être soit totale, proche, environnementale, ou distante. Cette notion décrit donc la cohérence spatiale entre les espaces physiques et numériques. La deuxième notion, la métaphore, organise la relation entre les deux types de représentation autour de deux catégories : métaphore de nom, en lien avec la forme des représentations, et métaphore de verbe, en lien avec le comportement des représentations. Cette notion est à rapprocher de la cohérence sémantique entre les espaces physiques et numériques. Cette taxonomie permet donc de classer les systèmes selon leur degré d'incarnation et de type de métaphore mais ne fournit pas non plus de support à la description détaillée de ces deux dimensions.

Similairement, Hornecker propose un cadre de description de l'interaction tangible (Hornecker & Buur, 2006) composé de quatre thèmes (Figure 39) : manipulation tangible, interaction spatiale, facilitation de l'incarnation et l'expressivité des représentations. Ces thèmes doivent être vus comme des directives à la conception d'interactions tangibles et fournir un support à l'expression des dimensions importantes. Cet espace exprime en partie la place du monde physique en entrée ainsi que des éléments de cohérence entre les deux mondes.

Enfin, le cadre conceptuel *Reality Based Interaction (RBI)* proposé dans (Jacob et al., 2008) se concentre sur la définition de quatre thèmes majeurs relatif au monde physique (Figure 40). Le premier thème, *Naive Physics* décrit des connaissances basiques que chacun a du monde physique et inclut les phénomènes de pression, gravité, inertie, taille des objets, etc. Le second thème, *Body Awareness and Skills*, fait référence aux aptitudes physiques des humains liées à leur propre corps. Le troisième thème, *Environment Awareness and Skills* le complète en intégrant les aptitudes que les utilisateurs ont pour négocier, manipuler et naviguer dans leur environnement physique. Enfin le dernier thème *Social Awareness and Skills* intègre le rapport avec les autres personnes, en termes de collaboration et de perception de leur présence.

RBI propose donc quatre dimensions génériques relatives à l'environnement physique de l'utilisateur. Le monde physique en entrée et en sortie est donc décomposé avec un faible niveau de précision mais avec une approche holistique. De plus comme le souligne les auteurs, le cadre RBI met

Tangible Interaction			
<b>Tangible Manipulation</b> Haptic Direct Manipulation	<b>Spatial Interaction</b> Inhabited Space Configurable Materials	<b>Embodied Facilitation</b> Embodied Constraints	<b>Expressive Representation</b> Representational Significance
Lightweight Interaction	Non-fragmented Visibility Full Body Interaction	Multiple Access Points	Externalization
Isomorph Effects	Performative Action	Tailored Representations	Perceived Coupling

Figure 39 : Cadre de conception de l'interaction tangible d'après (Hornecker & Buur, 2006)

explicitement en valeur les enjeux de la conception, en revanche il ne fournit pas de méthodologie structurée pour traiter de ces enjeux (Jacob et al., 2008).

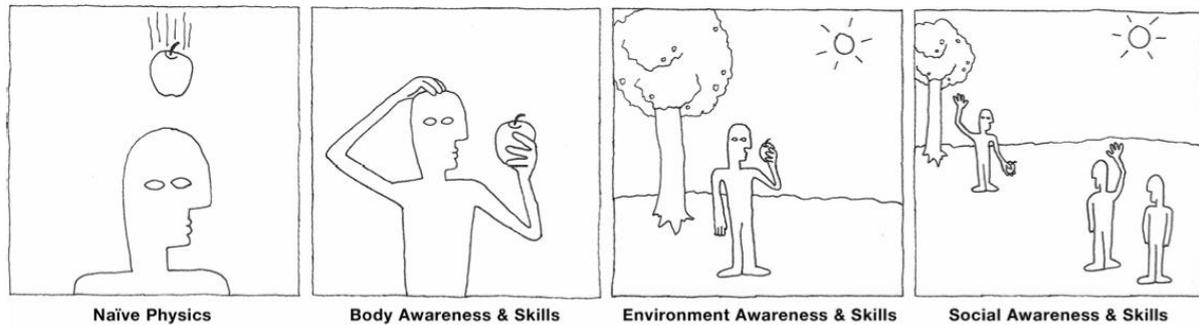


Figure 40 : Les quatre thèmes du cadre Reality Based Interaction d'après (Jacob et al., 2008)

Pour conclure sur ces modèles descriptifs de l'interaction mixte, nous retiendrons premièrement qu'ils ne traitent que partiellement des axes de variabilités des SIM que nous avons mis en évidence dans le Chapitre 2. De plus, nous retiendrons que même si ces cadres peuvent servir de support à la réflexion en conception et à ne pas omettre certains aspects du système, ils ne fournissent aucun moyen pour représenter une solution en conception. A contrario, d'autres modèles, que nous qualifions d'opérationnels, permettent cette description au travers d'une notation spécifique.

### 3.2.2 Modèles opérationnels de l'interaction mixte

A la différence des modèles descriptifs, les modèles que nous qualifions d'opérationnels proposent non seulement un point de vue sur le domaine de l'interaction mixte mais sont aussi caractérisés par la présence d'une *notation*. Cette notation permet d'instancier ces modèles sur un cas concret (e.g. une solution en conception). Deux axes de variabilité les différencient : 1) les concepts traités et 2) la notation adoptée par ces modèles.

Dans la suite de cette partie nous adressons pour un ensemble de modèle de l'interaction mixte, le paradigme adopté, les axes de variabilités des SIM couverts et le type de notation permettant de mettre en œuvre ces modèles.

TAC	Representation		Behavior		
	Token	Constraints	Variable	Action	Observed feedback
1	Paper note	BoardNotes	Paper note	Add to board Remove from board Move	Adds paper note to board. Add a Web page to a Web page list Removes paper note from board and removes any links to it Moves the physical location of paper note maintaining any links

Figure 41 : Extrait de la spécification du système the Designers' Outpost d'après (Shaer, Leland, Calvillo-Gamez, & Jacob, 2004)

Par exemple, le modèle *Token And Constraints (TAC)* propose des éléments pour modéliser les objets physiques impliqués dans un SIM et les contraintes physiques intrinsèques entre ces objets physiques (Shaer et al., 2004). Ce modèle permet de définir les liens entre entités physiques et numériques qui définissent le comportement du système.

La place du monde physique y est donc décrite ainsi qu'une forme de cohérence sémantique entre les deux mondes. Pour décrire les éléments physiques, numériques et leurs relations, les auteurs proposent d'adopter une représentation textuelle sous forme de tableau (Figure 41). Chaque colonne du tableau

décrit une caractéristique du système et chaque ligne du tableau décrit un TAC.

Similairement, l'espace de conception décrit dans (Trevisan, Gemo, Vanderdonckt, & Macq, 2004) permet également la description de l'interaction mixte sous forme textuelle. Le formalisme proposé décrit les relations entre les différents modèles, notamment le modèle du domaine, et l'espace d'interaction au travers de quatre concepts :

1. *l'intégration spatiale* exprime les relations topologiques (e.g. au-dessus, à côté, etc.), directionnelles (à droite, à gauche, etc.) et de distance, entre chaque objet de l'espace,
2. *l'intégration temporelle* exprime les relations temporelles qui conditionnent l'utilisation de chaque objet de l'espace,
3. le *focus de l'utilisateur* décrit quel espace retient l'attention de l'utilisateur à un instant donné (i.e. monde physique, monde numérique ou partagée entre les deux mondes),
4. le *contexte d'insertion* définit quatre zones d'insertion des dispositifs, plus ou moins éloignées de l'utilisateur.

Le modèle de Trevisan définit donc partiellement les éléments prenant place dans le monde physique ainsi que des éléments de cohérence entre les espaces d'interaction. Toutefois, la notation proposée est textuelle et particulièrement formelle. Ce niveau de formalisme est dû à la volonté d'opérationnalisation avec d'autres modèles dans le processus de développement tel que les modèles de tâches ou de contexte. En conséquence, un tel niveau formalisme rend la notation particulièrement difficile à lire et à interpréter. D'autres modèles proposent des formes de représentations plus graphiques. C'est par exemple le cas d'ASUR et d'IRVO qui offrent des représentations diagrammatiques du domaine des SIM.

D'autres modèles abordent l'aspect collaboratif des SIM. Par exemple *FILA* (Wolfe et al., 2009), aborde le problème du développement des SIM sous l'angle de la communication entre des situations d'interaction distribuées. Ce modèle représente un instantané de l'utilisation du système.

*FILA* est focalisé autour de la définition de situations d'interaction qui permettent d'établir clairement la distribution des concepts numérique et physiques présents dans la situation interactive. Dans le contexte du développement des SIM, les objets physiques et les technologies utilisées y sont clairement exprimées. Pour décrire ces concepts *FILA* met en œuvre une notation diagrammatique comportant plusieurs indices visuels formels tels que la nature des flux d'information au travers de différents types de flèches et de connexions (Figure 42).

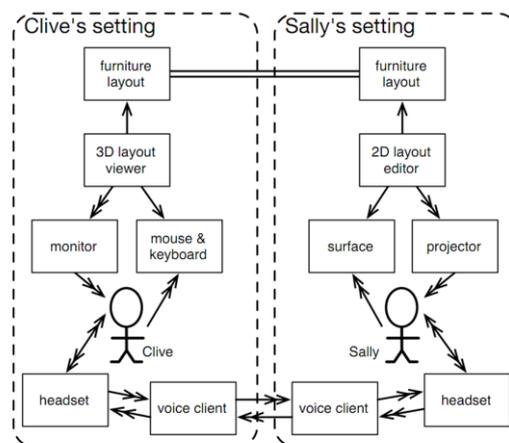


Figure 42 : Modèle FIIA d'un système de positionnement d'ameublement distribué

Non collaboratif mais plus adapté aux spécificités des SIM, le modèle *ASUR* (Dubois & Gray, 2007) vise à décrire des situations d'interaction mixte sous la forme d'un ensemble d'entités communiquant via des flux d'informations. *ASUR* est un acronyme qui définit quatre grands type d'entités impliquées dans une situation d'interaction mixte : 1) les entités « A » représentent les adaptateurs, dispositifs liant les espaces numérique et physiques en entrée comme en sortie, 2) Les entités « S » représentent les concepts numériques du domaine, 3) les entités « U » représentent l'utilisateur du système et enfin 4) les entités « R » représentent les objets physiques impliqués. Les flux d'informations expriment l'information véhiculant entre ces quatre grands types d'entités les entités. Ces flux sont caractérisés par leur forme de langage, leur médium de communication, leur dimension, la représentation de l'information utilisée, etc. *ASUR* permet d'exprimer un ensemble de groupes définissant des relations existantes entre les entités (i.e. regroupement physique, similarité de comportement, déclenchement d'action.). Ce modèle traite donc assez largement des dimensions de variabilités des SIM. De plus, *ASUR* emploie une représentation graphique composée de boîtes, de texte, de flèches, et de petites icônes permettant de différencier les types d'entités (Figure 43).

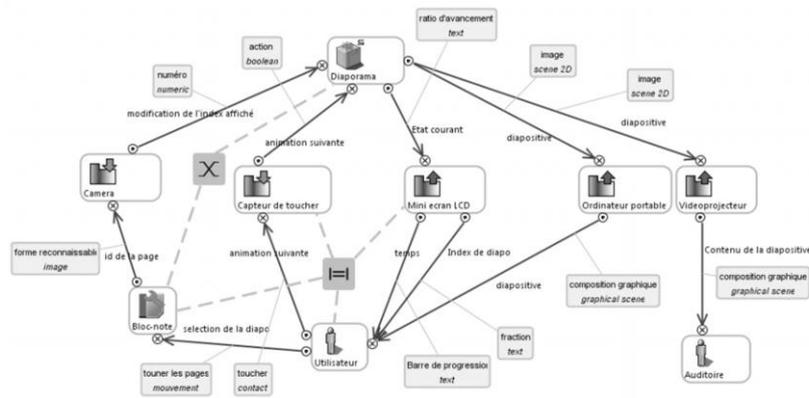


Figure 43 : Modèle ASUR d'un bloc note tangible pour piloter PowerPoint

Dans le cas d'*TRVO* (Chalon & David, 2008), les différents éléments prenant part à l'interaction ainsi que les données transmises sont définies. Le paradigme adopté est donc sensiblement similaire à celui d'*ASUR*. *TRVO* se distingue principalement par l'intégration de la dimension collaborative, un aspect qui est pour l'instant peu considéré dans le domaine des SIM. Au même titre qu'*ASUR*, ce modèle traite donc assez largement des dimensions de variabilités des SIM. De plus, une notation diagrammatique (Figure 44) y est associée afin de représenter les échanges d'information entre objets, l'appartenance de chacun au monde physique ou numérique, et leurs relations topologiques.

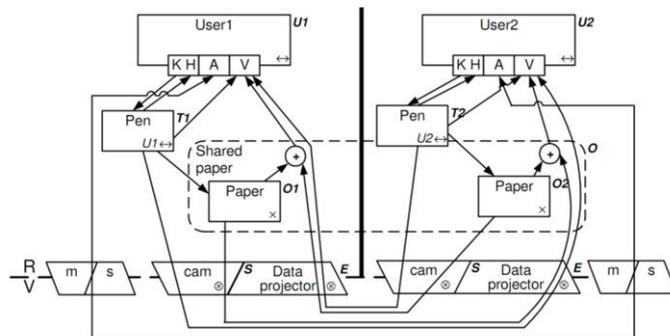


Figure 44 : Modèle IRVO du Digital Desk d'après (Chalon & David, 2008)

Enfin la littérature fait mention d'une approche appelée Modèle d'Interaction Mixte (MIM). Ce modèle adopte la description d'un SIM sous l'angle des modalités d'interaction requises pour mettre en relation des propriétés physiques avec des propriétés numériques (Coutrix & Nigay, 2008). Ces éléments ne font pas l'objet de caractérisations spécifiques telles que des liens entre propriétés du même monde, des contraintes physiques telle que leur position, ou leurs caractéristiques perceptibles. Ce modèle approche le

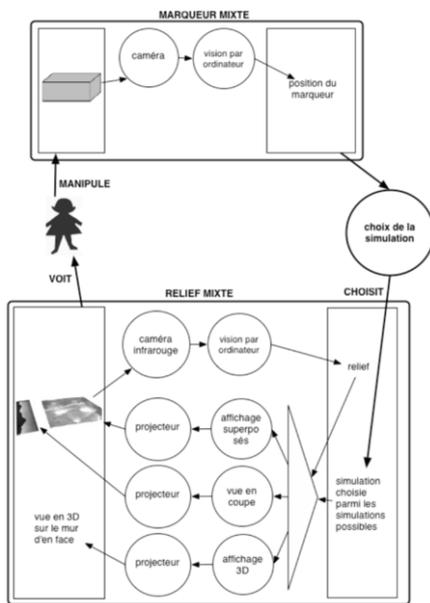


Figure 45 : Le système SandScape modélisé avec MIM d'après (Coutrix, 2009)

domaine sous l'angle d'objets mixtes, des compositions d'éléments physiques, numériques et de ponts technologiques entre les deux mondes. En effet, *MIM* décrit un SIM comme une composition de services, chacun étant décrit par les modalités reliant les différents éléments agrégés.

De plus, la notation de MIM met en œuvre une originalité graphique en comparaison aux autres modèles. En effet, la notation de ce modèle adopte une composition graphique contenant éléments diagrammatiques (i.e. boîtes, flèches) et croquis/photos pour les éléments du monde physique (Figure 45). De cette manière les éléments du monde physiques peuvent être représentés de manière plus concrète. Du point de vue de ses auteurs, *MIM* constitue prioritairement un outil à mettre en œuvre en conception pour décrire et échanger entre les participants sur la véracité des objets mixtes, grâce à sa notation graphique.

Pour conclure, nous avons fait un tour d'horizon des représentations formelles dédiées aux SIM. Cette revue n'est pas exhaustive mais se veut représentative de la diversité des paradigmes et des notations existantes dans le domaine. Dans

la partie suivante, nous comparons les avantages et inconvénients de ces représentations formelles et des représentations informelles que nous avons traitées dans la partie précédente.

### 3.3 Synthèse comparative des représentations externes adaptées aux SIM

Dans le Chapitre 1, nous avons mis en évidence en quoi le recours aux représentations externes était primordial en situation de conception et en quoi l'activité de conception incluait nécessairement l'exploration de l'espace problème et la construction de solutions intermédiaires.

Dans cette section, nous avons mis en évidence que dans le domaine des SIM une grande quantité de représentations est utilisée, chacune illustrant une ou plusieurs facettes du système à concevoir. Nous proposons dans les paragraphes suivants de synthétiser les représentations informelles et formelles au travers de trois aspects : 1) les spécificités des SIM qu'elles permettent de *décrire*, 2) la stimulation qu'elles opèrent lors de l'*exploration* de l'espace de conception et 3) leur *accessibilité* par des novices en situation de co-conception. Le Tableau 2 synthétise les conclusions de notre analyse.

#### 3.3.1 Comparatif en termes de description

Premièrement, nous avons mis en évidence que les représentations informelles étaient adaptées à la description d'une ou plusieurs facettes d'un système interactif. Par exemple, les propriétés topologiques du système seront plus saillantes via un dessin que via un scénario. Similairement, les maquettes seront plus expressives quant aux propriétés tangibles et mixtes d'un objet physique que les story-boards.

De plus, la grande flexibilité de ces représentations informelles, nous amène à conclure qu'elles permettent de décrire la quasi-totalité des spécificités des SIM (cf. Tableau 1). Enfin, la littérature fait mention d'une dernière propriété des représentations informelles : leur caractère ambiguë (Bilda et al., 2006). En effet, l'ambiguïté d'une représentation serait essentielle durant un processus de génération d'idées. Un certain degré d'imprécision des représentations faciliterait la réinterprétation (Hornecker, 2007) et donc la créativité (cf. Chapitre 1).

En ce qui concerne les *représentations formelles*, leur pouvoir descriptif est plus hétérogène. En effet, les concepts qu'elles expriment permettent de traiter d'un sous ensemble de spécificités des SIM. Mais ce n'est pas le cas de tous les modèles. Par exemple, comme l'illustre le Tableau 1 des modèles tel qu'*ASUR*, *MIM* ou *IRVO* considèrent très majoritairement les dimensions de variabilité spécifiques aux SIM. De plus, il est important de souligner la différence majeure qui s'établit entre les modèles descriptifs et les modèles opérationnels : *la présence d'une notation*. L'existence d'une notation constitue le moyen d'instancier un modèle pour décrire une solution intermédiaire (i.e. et non pas le domaine dans sa totalité). La présence d'une notation permet donc de construire petit à petit les solutions et supporte la réflexion dans l'action (Schön, 1992). C'est donc leur notation qui rend ces modèles opérationnels.

	Type de représentation	Place du monde physique en entrée	Place du monde physique en sortie	Formes de communication en entrée	Formes de communication en sortie	Cohérence entre les espaces d'interaction	Cohérence entre les mondes physiques et numériques	Technologies en entrée	Technologies en sortie	
	<i>MCRit</i>	Diagramme	C	C	C	C	-	C	-	-
	<i>Taxonomie de Fishkin</i>	Textuelle	-	-	-	-	C	C	-	-
	<i>Hornecker</i>	Textuelle	C	-	-	-	C	C	-	-
	<i>RBI</i>	Textuelle	C	C	-	-	-	-	-	-
	<i>TAC</i>	Textuelle	C	C	-	-	-	C	-	-
	<i>Interaction Space</i>	Textuelle	C	C	-	-	C	-	-	-
	<i>FILA</i>	Diagramme	C	C	-	-	-	-	C	C
	<b><i>ASUR</i></b>	<b>Diagramme</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b><i>IRVO</i></b>	<b>Diagramme</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	-	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b><i>MIM</i></b>	<b>Diagramme + Graphique</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	-	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
Informel	<i>Scénarios</i>	Textuelle	P	P	P	P	P	P	P	P
	<i>Dessins</i>	Graphique	P	P	P	P	P	P	P	P
	<i>Story-boards</i>	Graphique	P	P	P	P	P	P	P	P
	<i>Vidéos</i>	Vidéo	P	P	P	P	P	P	P	P
	<i>Maquettes</i>	Tangible	P	P	-	-	P	P	-	-

Tableau 1 : Synthèse sur les représentations externes adaptées à la description d'un SIM. Les RE sont caractérisées comme suit : C : description contrainte, P : description possible, - : description impossible.

### 3.3.2 Comparatif en termes d'exploration

La grande flexibilité des représentations informelles pourrait nous amener à conclure naïvement qu'elles constituent la totalité du matériel de base à la conception d'un SIM. Alors quel est l'intérêt de l'emploi de représentations formelles ?

La réponse se trouve dans la stimulation qu'elles opèrent. En effet, un des inconvénients des représentations informelles est qu'elles ne précisent pas les aspects du système à représenter. Par exemple, le matériel de base nécessaire à la réalisation d'un dessin (i.e. une feuille et un crayon) permet de représenter identiquement une facette d'un système interactif ou un paysage, un portrait ou une quantité de choses dans des domaines divers. En conséquence, l'aspect générique de ces représentations ne stimule pas les concepteurs lors de l'exploration de l'espace de conception. Cette exploration est laissée à la charge des concepteurs. Ces derniers doivent donc avoir recours à leur expertise personnelle pour guider la conception, sans quoi l'exploration des possibles peut s'avérer inefficace et donc partielle.

A l'inverse, les représentations formelles ont l'avantage d'être contraintes par les concepts qu'elles considèrent. De ce fait, comme cela est souligné dans (Hornecker, 2010a) :

*« ...la contribution de ces cadres réside généralement dans l'identification de listes structurées de questions pertinentes ou des thèmes qui doivent être considérés dans la conception et dans l'évaluation dans le but d'accroître notre compréhension des caractéristiques centrales du système. ... »*

En effet, au travers des concepts qui les constituent, les représentations formelles tracent *un contour de l'espace de conception*. Nous avons soulevé dans le Chapitre 1 en quoi l'exploration de l'espace de conception était importante et en quoi la délimitation de ces contours constituait un ingrédient nécessaire à l'exploration des possibles. C'est la raison pour laquelle de tels formalismes constituent des outils stimulants en situation de conception.

### 3.3.3 Comparatif en termes de compréhensibilité

La conception étant une activité collaborative, un dernier challenge reste en suspens : la compréhensibilité de ces notations par différentes disciplines et par les utilisateurs. Pour être utilisables en situation de conception collaborative pluridisciplinaire, il est indispensable que tous les intervenants comprennent la notation pour pouvoir externaliser et partager leurs idées au travers de cette dernière. En effet, les représentations externes jouent généralement le rôle *d'objets frontières* (i.e. « *boundary objects* » en anglais) entre les intervenants. Comme cela est rappelé dans (Bresciani, Blackwell, & Eppler, 2008), il a été montré dans différents domaines que :

*« ...au travers de l'utilisation d'objets frontières, des gens de différents domaines d'expertise peuvent combler les écarts de connaissance, créer une compréhension partagée et améliorer la prise de décision. »*

En effet, les objets frontières peuvent combler les manques de connaissances entre les différentes fonctions et disciplines. A titre d'exemple, nous pouvons établir une métaphore pertinente avec l'architecture, où les plans constituent un langage de référence entre l'architecte, le client, et les différents domaines d'expertise (e.g. maçonnerie, plomberie, électricité, etc.).

En ce sens, les représentations informelles ont l'avantage d'être accessibles et compréhensibles par tous alors que les représentations formelles sont généralement réservées aux experts car elles nécessitent un temps d'apprentissage et un effort d'abstraction. Ce n'est toutefois pas toujours le cas. Certains travaux de recherche montrent qu'il est possible d'exploiter des représentations formelles en conception avec des utilisateurs finaux. Dans la section suivante, nous allons à ce titre illustrer cet aspect au travers de notre deuxième axe d'étude des ressources adaptées aux SIM : les activités de conception.

Pour conclure sur les représentations externes adaptées aux SIM, le Tableau 2 ci-dessous synthétise les propriétés que nous avons discutées pour les représentations informelles et formelles selon les trois dimensions : description, exploration et compréhensibilité.

	REPRÉSENTATIONS INFORMELLES	REPRÉSENTATIONS FORMELLES
DESCRIPTION	<i>Flexible et Ambiguë</i>	<i>Contrainte par les concepts exprimés et définie par la notation</i>
EXPLORATION	<i>Libre et fonction de l'expertise du concepteur</i>	<i>Stimulée par les dimensions exprimées</i>
COMPRÉHENSIBILITÉ	<i>Accessibles et Compréhensibles</i>	<i>Limitée par la compréhensibilité de la notation</i>

Tableau 2 : Analyse comparative entre représentations informelles et formelles

## 4 ACTIVITES DE CONCEPTION : UNE DIVERSITE DE MISE EN ŒUVRE

Les activités de conception sont le deuxième type de ressources impliquées dans l'étape de conception de l'interaction. Elles ont pour but de réaliser des pas vers la solution finale au sein de l'espace problème. Pour y parvenir les concepteurs mettent en œuvre les représentations externes que nous avons parcourues dans la partie précédente. Les activités de conception exploitent des représentations externes, des principes de mise en œuvre et des participants de profils divers. Cette triple source de variabilité (représentations, principes, participants) a conduit à la création d'un grand nombre d'approches.

Nous proposons dans les parties suivantes une revue d'un ensemble d'approches adaptées à la conception des IHM. Notre focus étant porté sur l'étape de conception du processus, nous restreindrons cette étude à l'ensemble des activités supportant la création de solutions et l'exploration de l'espace de conception. Les approches visant à étudier les caractéristiques des utilisateurs et à évaluer l'utilisabilité d'un système seront donc écartées de cette analyse.

L'objectif de cette analyse est d'étudier les apports et limites des approches existantes pour chacun de nos six principes devant être supportés en situation de conception collaborative et créative (cf. Chapitre 1) :

1. Etablir et partager définition claire du problème de conception
2. Définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine
3. Tirer profit d'un de ces processus exploratoires
4. Externaliser les idées et construire les solutions intermédiaires en conception
5. Evaluer les productions
6. Privilégier les situations co-localisées

Cette revue est découpée en deux parties : 1) un ensemble d'activités génériques, 2) un ensemble d'activités dédiées au domaine de l'IHM et parfois même à certaines catégories de systèmes tel que les SIM.

### 4.1 Activités de conception génériques

L'activité de conception la plus connue est très probablement le *brainstorming*. Les séances de brainstormings permettent à un ensemble de participants de mettre en œuvre la pensée divergente (Osborn, 1965) dont le but est de produire des idées créatives en explorant pluridirectionnellement l'espace de conception (cf. Chapitre 1 partie 3.3.2). Dans un brainstorming classique cinq à sept individus co-localisés produisent le plus grand nombre d'idées possibles répondant à une question introduite en amont de la séance (Wilson, 2006).

Toutes les idées générées doivent être considérées y compris celles qui paraissent inadaptées ou loufoques. Un facilitateur a en charge de gérer la dynamique du groupe et de s'assurer que tous les participants interviennent. Les idées produites doivent être notées sur un support accessible par tous (e.g. un tableau). Les idées peuvent être annotées séquentiellement sous forme de liste ou via des représentations externes plus élaborées telle qu'une *concept map* ; une représentation hiérarchique sous forme d'arbre. A l'issue de la séance les participants sélectionnent les meilleures idées.

Les brainstormings sont relativement faciles et peu coûteux à mettre en œuvre, ce qui explique probablement pourquoi ils sont tant utilisés. Il a été toutefois montré que les brainstormings peuvent manquer d'efficacité dans le cas où de fortes personnalités dominent la discussion ou dans le cas de fortes contraintes hiérarchiques professionnelles (e.g. entre un manager et un ouvrier) (Boy, 1997). De plus, la technique du brainstorming ne définit aucunement comment procéder pour partager les données d'un problème de conception et les connaissances fondamentales du domaine. Par conséquent, aucun support n'est apporté aux situations où les participants sont de disciplines différentes ou ne partagent pas les mêmes objectifs individuels.

Pour éviter la censure d'idées nouvelles, dérangeantes, inhabituelles, Edward de Bono a proposé la méthode des *Six Chapeaux* (Bono, 1985). Pour rappel, nous avons appris dans le Chapitre 1 que la créativité était influencée par des facteurs d'ordre conatif, dont les traits de personnalité. La méthode des six chapeaux exploite en partie ce facteur d'influence. Six participants co-localisés tentent de résoudre un problème en endossant un rôle correspondant à un mode de pensée. Six rôles sont possibles : neutralité, critique émotionnelle, critique négative, critique positive, créativité, organisation. Plusieurs modes de fonctionnement ont été développés. Chaque participant peut prendre un rôle différent, ou tous les participants peuvent jouer le même rôle simultanément, ou encore les rôles changent en fonction des tours de parole, etc.

La méthode des six chapeaux facilite donc la communication entre les participants en utilisant des rôles prédéfinis. Cependant, cette approche ne fournit pas de technique particulière pour explorer les possibles. Similairement, la méthode ne définit aucun support quant à l'élaboration d'une représentation partagée du problème de conception et des concepts manipulés. Son usage en conception est donc relativement limité et doit être complété par d'autres pratiques spécifiques.

D'un point de vue radicalement différent, la technique dite du *focus-group* est également très utilisée en IHM. Initialement, méthode de recherche dans les sciences sociales, le focus-group est désormais très utilisée dans le marketing et la conception de produit. Les focus-groups sont des discussions collectives organisées autour d'une structure prédéfinie de sujets à aborder. Habituellement, un focus-group inclut 3 à 12 participants choisis en fonction de leurs caractéristiques individuelles liées à la thématique abordée (Kontio, Lehtola, Bragge, & Box, 2004). Un facilitateur a en charge de guider les participants autour des sujets à aborder.

Les focus-groups peuvent être utilisés dans de nombreuses situations et pour de nombreuses raisons (Rosenbaum et al., 2002). Par exemple, les focus-groups peuvent être utilisés lors de l'étape d'évaluation pour obtenir des retours des utilisateurs sur un produit, lors de l'étape d'analyse pour identifier des opportunités de développement ou en conception pour identifier des solutions. Toutefois, contrairement aux deux méthodes discutées ci-dessus, le focus-group ne définit aucun mode de pensée à adopter pour explorer systématiquement les possibles.

La généralité et la simplicité de mise en œuvre de ces trois approches a fait leur succès. Toutefois, aucune de ces activités ne délimite explicitement l'espace de conception à explorer. De plus, les représentations externes employées sont elles aussi très génériques ce qui ne facilite ni l'encodage de solutions complexes, ni l'ancrage de la méthode dans le processus de conception. Pour pallier à ce problème, de nombreuses méthodes dédiées au domaine de l'IHM ont été développées. Nous proposons une revue d'un certain nombre d'entre elles dans la partie suivante.

## 4.2 Activités de conception dédiées à l'IHM

Le domaine de l'IHM regorge d'une quantité de types d'activités de conception spécifiques. Certaines d'entre elles améliorent les principes de mise en œuvre d'une méthode générique, d'autres s'inspirent de méthodes existantes pour y apporter l'emploi d'une représentation externe spécifique, d'autres telles que la conception participative sont l'agrégat d'un ensemble de pratiques visant à faciliter la collaboration avec les utilisateurs finaux, et enfin d'autres exploitent les propriétés des modèles de conception pour stimuler le processus exploratoire.

Dans cette partie nous allons faire un tour d'horizon d'un ensemble de pratique et explorer les moyens mis en œuvre pour couvrir nos six principes de la conception collaborative et créative et mettre en évidence en quoi elles peuvent être différenciées au travers de la représentation qu'elles mettent en œuvre.

#### 4.2.1 Mise en œuvre d'une représentation textuelle

Par exemple le « *Group Elicitation Method* » embarque différentes pratiques dans le but d'aider les intervenants à exprimer leurs idées. Dans cette méthode 6 à 10 personnes sont réunies pour explorer des solutions de conception appropriées ou résoudre des problèmes d'utilisabilité. Cette méthode s'articule en six phases :

1. formulation des besoins et sélection des participants,
2. génération de points de vue via un brainwriting (i.e. liste d'idées remplies individuellement par les participants puis mises en commun),
3. reformulation des idées en concepts plus élaborés (i.e. classification, création, division et combinaisons de concepts),
4. génération de relations entre les concepts et stockage dans une matrice triangulaire,
5. dérivation d'un consensus réalisé via une application logicielle et
6. analyse critique du résultat obtenu.

Du point de vue de nos six principes de haut niveau pour la conception collaborative et créative (cf. Chapitre 1), cette méthodologie est relativement complète. Parmi les forces de la méthode, nous soulignons la phase 3 dont le but est d'établir un langage de référence en reformulant les concepts exprimés par les intervenants. Cette méthode propose aussi d'utiliser le brainwriting comme techniques d'exploration des possibles. De plus le support d'annotation des idées étant simplement textuel, aucun moyen n'est mis en œuvre pour définir clairement les concepts à manipuler dans cette méthode, certains points clés peuvent donc être omis. De ce fait la littérature fait mention d'autres activités ayant recours à une représentation externe dédiée.

#### 4.2.2 Mise en œuvre de représentations dédiées

La technique *Rich Picture* (Figure 46) vise à éviter l'omission de considérations centrales à aborder en conception. Une *Rich Picture* est une représentation sous forme de bande dessinée qui sert à identifier tous les intervenants, leurs préoccupations, et la structure sous-jacente au contexte de travail (Monk & Howard, 1998). Cette notation est composée d'un ensemble prédéfini d'éléments à savoir : la structure du contexte représenté, le processus de travail, les préoccupations des intervenants, des éléments du langage de référence des intervenants et enfin des éléments picturaux extraits du domaine métier.

D'après les auteurs, cette notation peut être utilisée dans de nombreuses activités notamment durant les brainstormings pour explorer l'espace de conception. Dans ce cas, le schéma peut être dessiné à la volée et les idées exprimées peuvent être capturées sans perturber le flux créatif (Monk & Howard, 1998).

Selon les auteurs, la *Rich Picture* présente une alternative aux dessins qui sont en pratique réalisés durant les brainstormings. En conséquence la notation joue le rôle d'objet frontière entre les différentes disciplines impliquées. En effet, cette dernière permet la création d'une représentation partagée des concepts représentés et donc facilite la compréhension mutuelle entre les différents intervenants. Elle assure en outre que les éléments

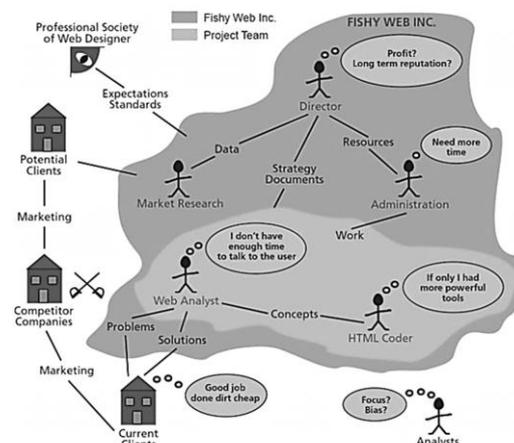


Figure 46 : Exemple d'une Rich Picture représentant une agence Web d'après (Monk & Howard, 1998)

exprimés par la notation soit évoqués au cours de la conception. Ceci tend à garantir une exploration systématique du cadre considéré.

Toutefois la méthode *Rich Picture* ne définit pas quand l'élaboration de la représentation partagée doit s'arrêter et comment évaluer que celle-ci est adéquate. En effet, aucun moyen d'évaluer la complétude de la représentation élaborée n'est défini. De plus cette méthode est adaptée pour définir un modèle du domaine d'un système interactif mais ne décrit nullement les éléments prenant part à l'interaction en soit.

Pour définir les composantes d'une interface graphique, la méthode *PICTIVE* (Muller, Wildman, & White, 1993) est une forme de brainstorming dans lequel les utilisateurs finaux manipulent les éléments de l'interface d'une application à concevoir (Figure 47). La méthode se déroule comme suit : 1) un facilitateur et l'équipe de conception développent un ensemble d'éléments graphiques représentant les éléments de l'application pendant que les utilisateurs élaborent les scénarios, 2) puis les différents intervenants (i.e. six rôles: utilisateur, développeur, spécialiste en facteurs humains, spécialiste marketing, testeur, technicien) conçoivent ensemble l'aspect graphique de l'application, 3) l'enregistrement de la vidéo de la session ainsi que les artefacts réalisés sont ensuite extraits et analysés.

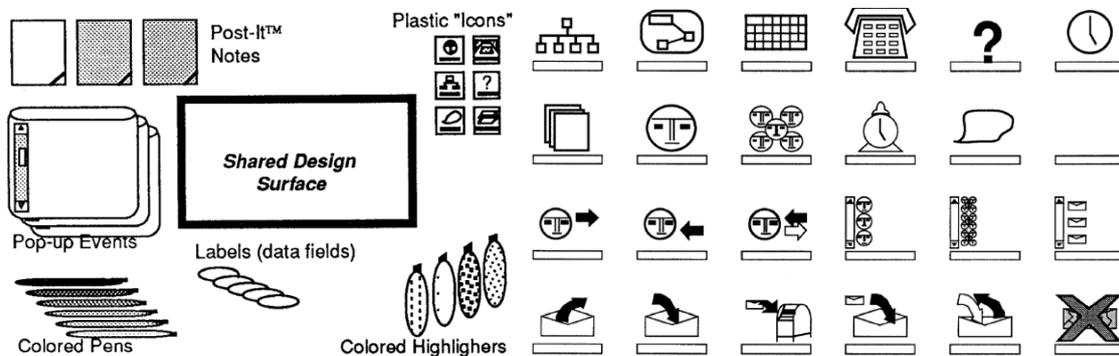


Figure 47 : Illustrations de la méthode PICTIVE. A gauche l'organisation du plan de travail collaboratif et à droite des exemples d'icônes manipulées par les utilisateurs.

La force de la méthode tient à l'emploi d'une représentation externe dédiée qui permet un partage des connaissances théoriques du domaine entre les différentes disciplines. Avec *PICTIVE* tous les intervenants partagent les notions de fenêtres, boutons, icônes, menu, pointeurs, etc. qui sont propres au domaine de l'IHM. De cette manière un langage de référence est établi. *PICTIVE* présente de nombreux avantages additionnels. En effet, la méthode supporte non seulement l'exploration de l'espace de conception via la pensée divergente mais aussi l'établissement d'une définition claire du problème de conception en demandant aux utilisateurs de préparer des scénarios en amont. Toutefois, *PICTIVE* est réservée aux situations de conception de systèmes interactifs classiques, elle n'est donc pas applicable telle qu'elle à la conception d'un SIM.

De plus, en impliquant directement les utilisateurs dans l'élaboration du système, *PICTIVE* concrétise les enjeux soulevés par les principes de la conception participative (Bødker, Ehn, Sjøgren, & Sundblad, 2000). En effet, dans cette méthode les utilisateurs et l'équipe de développement réalisent conjointement la solution interactive.

#### 4.2.3 Mise en œuvre d'artefacts tangibles

De nombreuses méthodes mettent en œuvre des activités incluant conjointement utilisateurs et concepteurs. C'est par exemple le cas du *design collaboratorium* (Bødker & Buur, 2002), une méthode de conception collaborative visant à faciliter la prise en compte des utilisateurs et du contexte dans le processus de développement. Le *design collaboratorium* se déroule *in situ*, c'est-à-dire sur le lieu de travail des utilisateurs. Dans ce contexte, concepteurs, ingénieurs, experts en utilisabilité et utilisateurs mettent en

œuvre différentes pratiques (e.g. réunions de travail, évaluations utilisateurs, walkthroughs, etc.) pour faire émerger des besoins et des solutions de conception. Lors de ces rencontres les participants manipulent divers artefacts (e.g. pièces en mousse représentant des concepts métiers, des maquettes, des dessins, etc.) directement sur un plan du lieu de travail.

Pour supporter l'exploration des possibles, les participants ont recouru à un principe simple : la technique du « *What if?* ». Cette technique est employée par l'équipe de conception qui suggère aux utilisateurs des modifications, des variations possibles sur les artefacts réalisés. En conséquence, le regard expert des concepteurs est transmis aux utilisateurs et ces derniers peuvent effectuer les choix en modifiant à leur grès n'importe quelle pièce sur le plan de travail s'ils le justifient. Les auteurs argumentent que cette technique favorise le dialogue et l'identification des objectifs, des intentions, des avantages et inconvénients de l'introduction de nouvelles technologies dans le contexte de travail. Toutefois, si l'exploration de l'espace de conception est supportée rien ne garanti que les considérations centrales du système seront considérées. Cette considération est laissée à la charge des concepteurs.

À l'issue de la séance, les solutions sont évaluées au travers d'une mise en scène (i.e. walkthrough) rapide des artefacts conçus. Cette méthode met donc en œuvre des représentations externes informelles basse fidélité pour établir un langage de référence avec les utilisateurs.

Pareillement, les *Make Tools* sont un ensemble d'accessoires de nature diverses (e.g. pâte à modeler, briques en velcro, papier, feutres, etc.) que des utilisateurs peuvent assembler pour réaliser le dispositif de leur rêve (Vaajakallio & Mattelmäki, 2007). La Figure 48 illustre ces accessoires tangibles. Les auteurs qualifient cet ensemble d'accessoires de boîte à outils cognitive. Ils argumentent que ces outils facilitent l'élaboration d'un terrain d'entente entre les concepteurs et les utilisateurs. De plus, ils soulignent que le niveau d'abstraction des outils a une importance toute particulière. En effet, d'après les auteurs :

*« Les Make Tools sont suffisamment abstraits pour être perçus en tant que langage de conception et non en tant qu'objets finis; et ils sont suffisamment concrets pour permettre aux utilisateurs d'exprimer leurs idées sur les technologies mobiles. »*

Dans le cas d'étude présenté dans (Vaajakallio & Mattelmäki, 2007), aucun problème de conception n'est particulièrement ciblé. Les tâches de conception sont donc exclusivement exploratoires. Par conséquent aucune précision n'est apportée sur la méthode à employer pour partager et définir le problème initial. De la même manière les auteurs mentionnent la réalisation d'une évaluation mais ne précise pas comment celle-ci a été réalisée. Enfin, bien qu'aucune technique exploratoire particulière ne soit proposée, les auteurs avancent que l'émergence des idées des utilisateurs s'établit durant la réalisation même des artefacts. Cet apport est clairement à rapprocher de la théorie de la *réflexion dans l'action* discutée au Chapitre 1 (Schön, 1992).

Un exemple similaire d'activité participative et collaborative est proposé par Eva Brandt. Cette dernière propose un ensemble de quatre jeux de conception (i.e. design games). Ces jeux sont supposés faciliter la collaboration et augmenter la motivation des participants (Brandt & Messeter, 2004). Parmi ces quatre jeux, nous soulignerons le *Technology Game* qui propose à des utilisateurs de créer des combinaisons

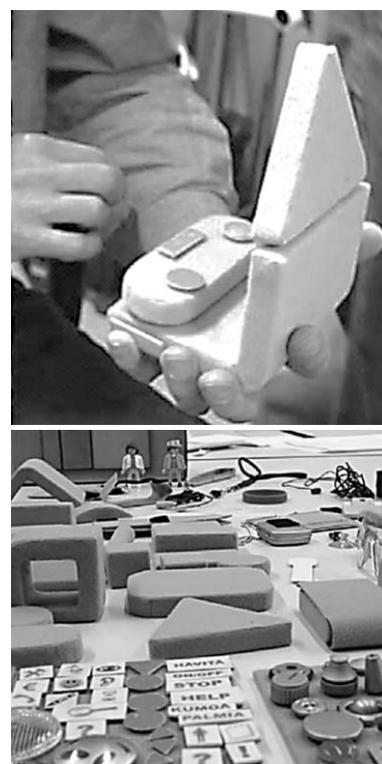


Figure 48 : Les éléments Make Tools d'après (Vaajakallio & Mattelmäki, 2007)

de pièces de Legos™. Les assemblages sont combinés à des étiquettes en papier et illustrent la forme et les composantes de dispositifs technologiques (Figure 49). Les auteurs avancent que la manipulation des objets tangibles aide à conserver le focus sur la physicalité de l'interaction et que la modulation de l'activité de conception sous la forme d'un jeu augmente la motivation des participants.

Toutefois, au même titre que pour *Make Tools* les tâches de conception illustrées par les auteurs sont exclusivement exploratoires. Par conséquent, aucun problème de conception spécifique n'est défini et aucune évaluation des artefacts produits n'est illustrée. L'approche apparaît donc difficilement répliquable.

Nous avons vu ci-dessus des exemples d'activités supportées par l'emploi de maquettes de différentes sortes et pour illustrer différentes facettes du système à concevoir. Les maquettes ont l'avantage de focaliser les utilisateurs sur la physicalité de l'interaction mais ne définissent en aucun cas les variables constitutives du système. En l'occurrence elles ont la faculté d'être facile à manipuler et donc l'intégration des utilisateurs dans leur création est aisée. Mais comme nous l'avons discuté dans la section 3.1, les représentations informelles et formelles ne se limitent pas au texte, aux dessins et aux maquettes.

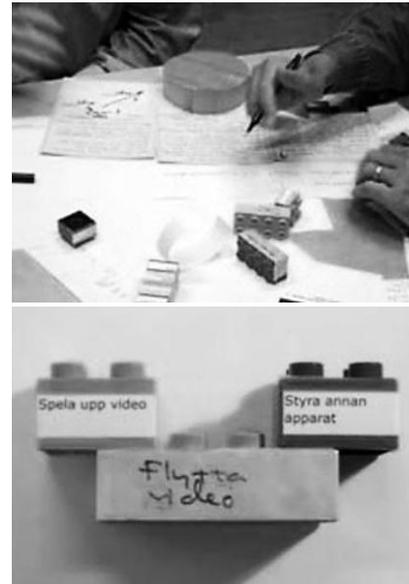


Figure 49 : Illustrations du Technology Game d'après (Brandt & Messeter, 2004)

#### 4.2.4 Mise en œuvre d'artefacts vidéo

Certaines méthodes ont d'ailleurs tiré parti de cette diversité des représentations. C'est par exemple, le cas de l'approche *Video for Design* (Mackay et al., 2000). Comme son nom l'indique, cette méthode exploite les propriétés des représentations vidéo en conception. Cette méthode va plus loin que l'étape de conception car elle propose un ensemble de pratiques de l'analyse à l'évaluation des solutions. Les auteurs expliquent comment tirer profit de la réalisation d'artefacts vidéo durant des brainstormings. Les auteurs révèlent que l'emploi des vidéos est particulièrement adapté pour capturer un certain nombre de détails dans les techniques d'interaction et que l'exploitation de ces artefacts facilite le travail des programmeurs par la suite.

Lors de l'organisation de ces séances de brainstorming vidéo les auteurs ne donnent pas de détails précis quant à l'introduction du problème de conception ni quant à la méthode employée pour évaluer les idées produites. Toutefois, les auteurs avancent que la vidéo facilite le prototypage car elle ne contente pas de capturer les fonctionnalités basiques de l'application mais aussi son usage en contexte réel.

L'approche met donc en avant les avantages des vidéos en termes d'expressivité mais ne précisent pas si ces dernières stimulent l'exploration et/ou, aident à l'élaboration d'une représentation partagée du problème de conception et des concepts manipulés.

#### 4.2.5 Mise en œuvre des propriétés d'un cadre théorique

Les artefacts réalisés dans les activités revues précédemment s'appuient soit sur des représentations informelles (i.e. texte, story-boards, maquettes, dessins, vidéos etc.), soit sur des représentations formelles (i.e. *Rich Picture*). Toutefois, parmi ces approches aucune d'entre elle n'est spécifiquement dédiée à la conception des SIM.

C'est toutefois le cas du *Card Brainstorming Game* (Hornecker, 2010a), une approche plus récente qui consiste à combiner modèle descriptif du domaine des interfaces tangibles et séance de créativité de type

brainstorming. Le principe est consisté à utiliser le cadre de conception de l'interaction tangible proposé dans (Hornecker & Buur, 2006) durant des brainstormings pour s'assurer que les considérations majeures relatives à l'interaction tangible seront discutées.

Le brainstorming prend alors la forme d'un jeu qui s'appuie l'emploi de cartes à jouer représentant les dimensions du cadre de conception sous forme de questions provoquantes (Figure 50). Les thèmes du cadre de conception sont identifiés par des couleurs et chaque carte est relative à une considération particulière du domaine. Pour démarrer le jeu, les cartes sont tout d'abord mélangées et distribuées dans les mains des participants, puis à tour de rôle les participants choisissent une carte qu'ils jugent pertinente et expliquent pourquoi, le groupe négocie et donne potentiellement son accord, puis si la carte est acceptée elle est posée sur la table et le jeu continu.

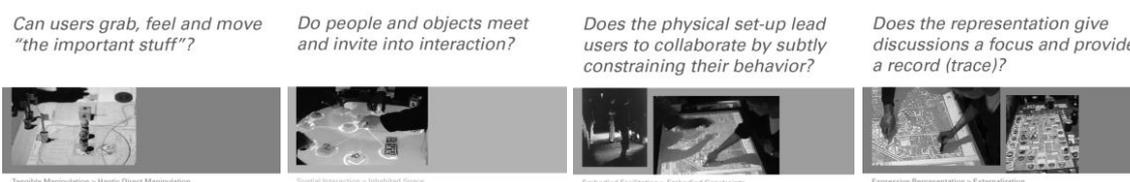


Figure 50 : Exemples de cartes du Card Brainstorming Game d'après (Hornecker, 2010b)

L'auteur argumente que l'efficacité de l'exercice est fortement due à la flexibilité des règles. Des règles souples et non directives permettent de ne pas brider le flux créatif. Les cartes ont aussi l'avantage d'établir un langage de référence entre les participants et de délimiter clairement les concepts manipulés et donc les limites de l'espace problème.

Toutefois, la méthode manque de détails quant à certains aspects relatifs à sa mise en œuvre et à son intégration dans le processus de conception. Par exemple, comment les idées produites par les participants sont représentées ? Est-t-il possible de conserver les liens établis entre les idées générées et les cartes ? Comment les idées produites sont-elles exploitées par la suite ? La méthode présente donc certains manques pour couvrir l'étape de conception de manière optimale.

#### 4.2.6 Mise œuvre de l'ingénierie dirigée par les modèles

Pour finir, nous notons plusieurs approches mêlant prototypage et conception grâce à l'usage de boîte à outil spécifique. Par exemple la boîte à outil *OP* (Coutrix & Nigay, 2011) permet à des concepteurs de faire des aller-retour rapides entre le modèle *MIM* et le prototypage d'objets mixtes. Les auteurs avancent qu'*OP* permet d'explorer systématiquement l'espace de conception car le modèle *MIM* décrit les concepts théoriques du domaine tel que les propriétés physiques et les modalités. Toutefois bien que cette approche soit ouverte à différents profils de concepteurs (e.g. informaticiens, designers), elle n'est pour l'instant pas adaptée à une situation collaborative et non aucun partage de connaissance n'est pour l'instant requis.

Similairement mais en intégrant la dimension collaborative, dans (Koleva et al., 2009) des experts en muséographie manipulent directement un éditeur d'assemblage de composants logiciels nommé *ARTECT* pour explorer les possibles en termes de visite augmentée. Les auteurs mentionnent l'organisation de réunions de travail (Figure 51) mêlant une dizaine de participants de différentes disciplines (i.e. muséographes, informaticiens, chercheurs). Dans cette approche les experts et les muséographes manipulent ensemble un assemblage de composants sous la forme d'un diagramme (Figure 51). L'assemblage est automatiquement exécuté et que le résultat applicatif est utilisable immédiatement. De cette manière, la conception et le prototypage s'entremêlent et le rendu exécutable de la solution en cours de conception est évaluable immédiatement.

Les auteurs expliquent que l'exploration de l'espace est contrainte (i.e. et donc stimulée) par l'outil *ARTECT* qui propose une liste de composants logiciels qu'il est possible d'instancier, ainsi que des connections de différents types. De cette manière les possibles peuvent être explorés plus en profondeur. Toutefois, les auteurs ne décrivent pas comment les connaissances nécessaires à la compréhension de la modélisation sont transférées et partagées entre experts et muséographes.

De plus si ce type d'approche apparaît particulièrement efficace dans les itérations finales du développement, il apparaît moins adapté dans les phases amont du développement où le type de SIM et les technologies employées ne sont pas encore définies. En effet, comme cela est souligné par (Såde, 2001) travailler directement via la manipulation des technologies possibles en amont de la conception restreint le champs des possibles aux technologies disponibles.

Dans les paragraphes précédents nous avons fait un tour d'horizon d'un ensemble d'activités de conception. Durant cette analyse nous avons mis en évidence les caractéristiques, les forces et les faiblesses de ces activités face aux principes élémentaires de la conception collaborative et que nous avons mis en évidence dans le Chapitre 1. Dans la partie suivante, nous proposons une synthèse analytique de l'adéquation entre nos six principes et les activités que nous avons présentées.

### 4.3 Synthèse comparative des activités de conception

Avant d'entrer dans cette analyse rappelons que nous définissons les activités de conception comme étant la mise en œuvre d'une représentation externe dans le but d'effectuer un pas dans l'espace problème. En d'autres termes, les activités de conception sont chacune un ensemble d'actions qui permettent d'élaborer une solution intermédiaire durant l'étape de conception. Rappelons également que l'étape de conception est alimentée par les données initiales du problème provenant de l'étape d'analyse et que les solutions intermédiaires spécifiées durant l'étape de conception visent à alimenter l'étape de prototypage.

Bien que la revue des activités que nous avons réalisée ne soit pas exhaustive, nous pouvons néanmoins observer une variabilité non négligeable face à nos six principes de la conception collaborative et créative. Dans les paragraphes suivants nous proposons une analyse structurée autour de ces six principes :

*Etablir et partager une définition claire du problème de conception* : Tout d'abord, cette revue illustre qu'il existe différentes manières d'établir le problème de conception en amont d'une séance. Par exemple, dans les focus-groups une liste structurée de points à aborder est établie en amont de la séance pour s'assurer qu'aucun des aspects du problème de conception ne soit omis. Différemment dans les méthodes participatives (e.g. group elicitation method, design collaboratorium, *PICTIVE*, etc.) les données initiales du problème sont identifiées et établies à la suite d'échanges avec les utilisateurs. De cette manière, de nouvelles données (e.g. exigences, contraintes, fonctionnalités, tâches, etc.) peuvent émerger et enrichir la définition du problème. De plus, la représentation des données du problème varie aussi considérablement d'une méthode à l'autre. Ainsi scénarios, maquettes, listes de tâches et de fonctionnalités, story-boards, constituent autant de supports possibles pour communiquer l'état initial du

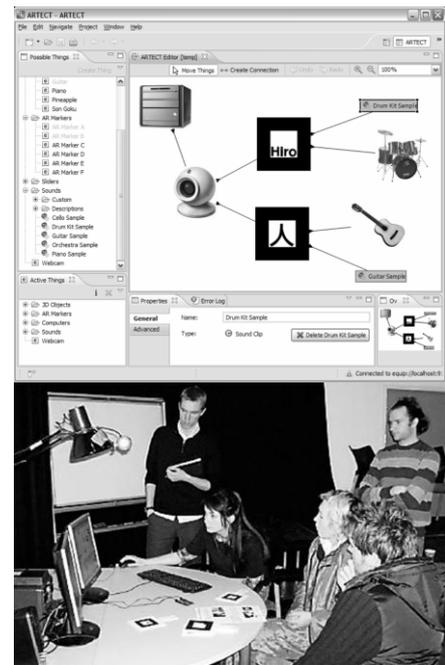


Figure 51 : A gauche, l'outil *ARTECT* et une exemple d'assemblage de composants logiciels et à droite une photo d'une réunion de travail exploitant les possibilités de l'outil en question d'après (Koleva et al., 2009)

problème en amont de la conception.

*Définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine* : Ce second principe est sûrement un des plus rares parmi les activités de conception dont nous avons fait la revue. Toutefois un certain nombre de méthodes ont recours à ce stimulus. Par exemple, la méthode PICTIVE propose un ensemble prédéfinis d'accessoires en papier tel que des icônes, différents types de fenêtres, de boutons, etc. à ses utilisateurs pour construire une interface tandis que ARTECT propose un ensemble fini de solutions technologiques exploitables. La construction d'une solution est donc guidée par les possibilités embarquées dans les éléments proposés. Le Card Brainstorming Game va plus loin en s'appuyant directement sur les thématiques d'un formalisme de l'interaction tangible. Dans cette approche, un ensemble de questions relatives aux concepts du domaine de l'interaction tangible guide la discussion des participants autour des dimensions majeures à considérer durant l'étape de conception.

*Tirer profit d'un de ces processus exploratoires* : Ce troisième principe rejoint les problèmes liés à la créativité et aux processus cognitifs mis en œuvre pour explorer l'espace problème dans ses limites les plus retranchées. Parmi les activités que nous avons discutées, la pensée divergente ressort clairement comme étant le mode de pensée le plus démocratisé. Mais ce n'est toutefois pas le seul mode de pensée employé. Par exemple, dans le design collaboratorium les auteurs mentionnent l'emploi de la technique du « What if ? ». Cette technique consiste à suggérer des modifications dans la solution en cours de construction. Concrètement, cette technique prend la forme de phrases provoquantes du genre : « et si on modifiait telle partie ? ». Cette technique est à rapprocher de l'encodage sélectif (i.e. qui consiste à repérer l'information pertinente) car elle implique l'identification des dimensions sujettes à modification. L'expertise des concepteurs tient donc une place importante dans la mise en œuvre de ce mode de pensée. D'autres méthodes comme Make Tools mettent en avant la non-utilisation d'un processus particulier, en s'appuyant sur la conversation réflexive entre les concepteurs et l'artefact en construction. Toutefois si cela fonctionne pour les concepteurs ayant l'habitude et l'expertise de ce type de pratique, il apparaît difficile de demander aux utilisateurs finaux d'effectuer ce travail qui est celui d'un expert.

*Externaliser les idées et construire les solutions intermédiaires en conception* : Nous avons vu dans la section précédente que les représentations externes employables dans la conception des SIM pouvaient être de nature diverse. Comme cela est minutieusement développé dans (Bresciani et al., 2008), le choix d'une représentation externe durant l'élaboration d'une solution de conception a un impact sur les processus cognitifs de ceux qui les utilisent. Ainsi, les activités de conception tirent profit de nombreux types de représentations externes formelles comme informelles : texte, dessins, maquettes, diagrammes, modèles. Dans les méthodes présentées, il semblerait que deux critères majeurs guident le choix d'une représentation externe : 1) les spécificités représentées du système et 2) le niveau d'abstraction. Si le premier point peut apparaître trivial, le second est néanmoins souligné plusieurs fois dans la littérature. Les représentations (i.e. formelles comme informelles) suffisamment simples ouvriraient l'espace problème alors que les représentations trop détaillées le rétréciraient (Brandt & Grunnet, 2000; Sæde, 2001).

*Evaluer les productions* : Avant tout rappelons que l'évaluation dont nous parlons ici est une étape préliminaire de sélection de la ou des solutions à conserver à l'issue de l'étape de conception pour amorcer l'étape de prototypage. Bien que généralement peu de précisions soient apportées quant à la stratégie adoptée pour sélectionner les idées les plus prometteuses, l'approche la plus utilisée s'appuie sur l'établissement d'un consensus entre les participants pour sélectionner collectivement la ou les meilleures idées. Il peut toutefois s'avérer que les participants aient des difficultés à trouver un terrain d'entente. Pour y parvenir, le Group Elicitation Method a recours à une stratégie plus systématique s'appuyant sur la génération automatique d'un consensus à partir d'une matrice triangulaire de relations entre concepts. Différemment dans le design collaboratorium les auteurs mentionnent le déroulement d'un rapide « walkthrough » par les utilisateurs eux même pour évaluer la pertinence de leurs production dans le contexte d'usage final.

*Privilégier les situations co-localisées* : Les approches que nous avons sélectionnées sont toutes co-localisées. Le nombre de participants n'excède pas 10 personnes. Ce nombre limité de participants est important pour optimiser la dynamique de groupe et éviter l'émergence de sous-groupes durant la séance. De plus, si les utilisateurs finaux sont quasi-systématiquement impliqués dans les activités de conception revues, les profils des participants constituent la principale variation. En effet, les profils des concepteurs peuvent varier et se diversifier, ceci pouvant entraîner des difficultés additionnelles de compréhension mutuelle.

	Etablir et partager définition claire du problème de conception	Définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine	Tirer profit d'un de ces processus exploratoires	Externaliser les idées et construire les solutions intermédiaires en conception	Evaluer les productions	Privilégier les situations co- localisées
<i>Brainstorming</i>	-	-	pensée divergente	texte, tableau blanc	sélection des idées	5-7 personnes
<i>Méthode des six chapeaux</i>	-	-	jeu de rôle	-	-	6 personnes
<i>Focus groups</i>	structure de question, thèmes	-	-	-	-	3-12 personnes
<i>The group elicitation method</i>	formulation collective des besoins	-	pensée divergente (brainwriting) + génération de relations inter- concepts	texte	génération automatique d'un consensus et discussion	6-10 personnes
<i>The rich picture</i>	-	rich picture	pensée divergente (brainstorming)	diagrammes, papier	-	non précisé
<i>PICTIVE</i>	utilisateurs préparent le scénario	pièces du jeu (préparées par les concepteurs)	pensée divergente (brainstorming)	maquettes PICTIVE	-	6 rôles
<i>The design collaboratorium</i>	plateau de jeu, pièces en mousse représentant des concepts du domaine	-	exploration libre + technique du what if ?	dessins, maquettes, prototypes	technique du walkthrough	experts + utilisateurs
<i>Make tools</i>	-	-	réflexion dans l'action	cartes, maquettes, dessins	-	-
<i>The Technology Game</i>	-	-	-	maquettes, legos	-	experts + utilisateurs
<i>Video Brainstorming</i>	tâches, fonctionnalités, story- boards, scénarios	-	pensée divergente	texte, dessins, maquettes, vidéos	-	-
<i>Card Brainstorming game</i>	-	cartes provoquantes	pensée divergente + règles du jeu	-	consensus entre les participants	-
<i>Hybrid Museum Experiences(ARTECT)</i>	-	panneau « possible things »	-	diagramme ARTECT	évaluation du rendu général automatiquement	10 muséographes

Tableau 3 : Synthèse des activités de conception face aux principes de la conception collaborative et créative. Une case blanche signifie que le principe n'est pas rempli ou non décrit dans les publications mentionnées.

En conclusion, les activités de conception que nous avons étudiée illustrent la variabilité existante pour instancier nos principes de conception collaborative et créative. Cette diversité de moyens mis en œuvre est récapitulée dans le Tableau 3. En conséquence, il peut apparaître difficile de sélectionner l'activité la plus adéquate pour un problème de conception donné.

De cette revue nous faisons de plus le constat suivant : les approches spécifiquement dédiées aux SIM font parties des rares à *Définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine*. En effet, cette particularité est explicable par le simple fait que l'espace de conception des SIM est non seulement particulièrement vaste et aussi par le simple fait qu'il est encore méconnu du grand public. De ce fait, définir une activité de conception dédiée aux SIM requiert un support à la définition des concepts du domaine et donc des leviers permettant d'explorer les possibles. Un tel support implique nécessairement l'emploi d'une représentation externe formelle adaptée.

Et pourtant, nous remarquons que peu de méthodes sont spécifiquement adaptées aux SIM. Le *Card Brainstorming Game* est un des rares exemples à ce jour. Cette activité est particulièrement adaptée en amont

du processus de développement lorsqu'il est question d'explorer les considérations majeures du domaine des interfaces tangibles. Similairement, l'approche *Hybrid Museum Experience* a montré comment il était possible d'explorer l'espace des possibles d'un point de vue technologique du domaine de la réalité augmentée. Comme nous l'avons souligné précédemment, cette approche trouve son intérêt en aval du processus de développement lorsque les composants de base de l'application sont identifiés.

Ces deux dernières approches ont toutefois des limites. Le Card Brainstorming Game ne précise ni comment les résultats produits s'intègrent dans le processus de conception, ni comment les données du problème sont partagées entre les participants. Pour ce qui est de l'approche *Hybrid Museum Experience*, bien que l'outil proposé définisse l'ensemble des possibles aucune méthodologie n'est proposée pour explorer cet espace. La qualité de l'exploration est donc relative à l'expérience des participants.

De ce fait, il ressort un besoin spécifique d'une activité de conception pour le domaine des SIM. Nous affinons ce constat dans la partie suivante en le croisant avec notre analyse sur les représentations externes et en extrayons notre problématique de recherche.

## 5 CONCLUSION ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Dans ce chapitre nous avons mis en évidence en quoi les spécificités des SIM étaient relatives à l'étape de conception dans le processus de développement. Nous avons ensuite analysé les représentations externes formelles et informelles adaptées aux SIM et fait une synthèse d'un nombre d'activités de conception en adoptant un regard centré sur les moyens à mettre en œuvre dans une situation de conception collaborative et créative.

Dans la section 3, notre synthèse sur les représentations externes a mis en évidence les différences entre représentations formelles et informelles selon trois dimensions : description, exploration, compréhensibilité. Si le bilan en termes de capacité descriptive apparaît mitigé entre formel et informel, nous pouvons établir que les représentations formelles sont dotées d'un potentiel exploratoire fort. Leur usage est toutefois limité par la compréhensibilité de la notation qu'elles proposent.

Puis dans la section 4, notre revue sur les activités de conception a mis en évidence la variabilité dans la mise en œuvre de nos principes de conception collaborative et créative. Nous avons également mis en évidence qu'à ce jour peu d'activités de conception sont explicitement dédiées aux SIM. Les spécificités du domaine des SIM ne sont pas particulièrement supportées par les approches de conception collaborative et créatives existantes.

En conséquence, dans la lignée des travaux tel que le Card Brainstorming Game et l'approche Hybrid Museum Experience respectivement amorcés par Hornecker et Koleva, nous faisons état d'un besoin d'une nouvelle approche permettant une exploration plus systématique de l'espace de conception et permettant l'établissement d'un langage de référence dans une équipe pluridisciplinaire. L'étude présentée dans ce Chapitre a souligné le fort potentiel des représentations externes formelles à stimuler l'exploration. En nous appuyant sur les synthèses successives des Chapitres 1, 2 et 3, nous en déduisons que :

***Une combinaison entre représentation formelle et activité de conception collaborative et créative constitue donc une approche prometteuse.***

Dans le Chapitre suivant, nous détaillons en quoi une telle combinaison contribue à répondre à des enjeux majeurs de la conception des SIM. Puis nous identifions, les ressources existantes sujettes à une telle combinaison et définissons clairement la méthode que nous avons élaborée au fil de ce travail de recherche ainsi que les questions auxquelles nous avons répondu dans la suite de ce manuscrit.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

- AttrakDiff. (2005). *User Interface Design GmbH*. Retrieved December 21, 2011, from <http://www.attrakdiff.de/en/Home/>
- Axure: Interactive Wireframe Software and Mockup Tool. (2012). *Axure Software Solutions*. Retrieved March 27, 2012, from <http://www.axure.com/>
- Bach, C. (2004). *Elaboration et validation de Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels. Methods*.
- Bach, C., & Scapin, D. (2005). Critères Ergonomiques pour les Interactions {Homme-Environnements} Virtuels : définitions, justifications et exemples. Retrieved from <http://www.inria.fr/rrrt/tr-5531.html>
- Bach, C., & Scapin, D. (2010). Comparing Inspections and User Testing for the Evaluation of Virtual Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26(8), 786-824. Taylor & Francis. doi:10.1080/10447318.2010.487195
- Bailey, B. P., & Konstan, J. A. (2003). Are informal tools better?: comparing DEMAIS, pencil and paper, and authorware for early multimedia design. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 313-320). Ft. Lauderdale, Florida, USA. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=642611.642666>
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. Taylor & Francis. doi:10.1080/10447310802205776
- Barthet, M. F., Tarby, J. C., & Vanderdonckt, J. (1996). The Diane+ method (pp. 95-120). Namur, Belgium: Presses Universitaires de Namur.
- Bastide, R., Navarre, D., & Palanque, P. (2002). A model-based tool for interactive prototyping of highly interactive applications. *CHI 02 extended abstracts on Human factors in computing systems CHI 02*, 516. ACM Press. doi:10.1145/506443.506457
- Bastien, J. M. C., & Scapin, D. (2002). Les méthodes ergonomiques : de l'analyse à la conception et à l'évaluation. Biarritz.
- Beard, D. V., Smith, D. K., & Denelsbeck, K. M. (1996). QGOMS: a direct-manipulation tool for simple GOMS models (pp. 25-26). Vancouver, British Columbia, Canada: ACM. doi:10.1145/257089.257112
- Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, 27(5), 587-613. doi:10.1016/j.destud.2006.02.002
- Blackwell, A., & Green, T. R. G. (2002). Notational Systems - the Cognitive Dimensions of Notations framework. *HCI Models, Theories, and Frameworks: Toward a Multidisciplinary Science* (John M. Ca.). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.13.2023>
- Blackwell, A., Edge, D., Dubuc, L., Rode, J. A., Stringer, M., & Toye, E. F. (2005). Using solid diagrams for tangible interface prototyping. *IEEE Pervasive Computing*, 4(4), 18-21. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.99.7005>
- Boehm, B. (1986). A spiral model of software development and enhancement. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 11(4), 22-42. doi:10.1145/12944.12948
- Bono, E. D. (1985). Six Thinking Hats. *Thinking*, 44(0), 1-8. Penguin Books Ltd. Retrieved from <http://video.yahoo.com/watch/111582/992708>
- Boy, G. A. (1997). The group elicitation method for participatory design and usability testing. *interactions*, 4(2), 27-33. doi:10.1145/245129.245132
- Brandt, E. (2007). How Tangible Mock-Ups Support Design Collaboration. *Knowledge, Technology, and Policy*, 20(3), 179-192. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/s12130-007-9021-9>

- Brandt, E., & Grunnet, C. (2000). Evoking the future: Drama and props in user centered design. In T. Cherkasky, J. Greenbaum, & P. Mambrey (Eds.), *Proceedings of Participatory Design Conference PDC 2000* (pp. 11-20). Retrieved from <http://www.itu.dk/courses/I/F2004/PDC00-drama-endelig.pdf>
- Brandt, E., & Messeter, J. (2004). Facilitating collaboration through design games. *Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices - Volume 1* (pp. 121-131). Toronto, Ontario, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1011870.1011885&coll=ACM&dl=ACM&CFID=78624755&CFTOKEN=48702884>
- Bresciani, S., Blackwell, A., & Eppler, M. (2008). A Collaborative Dimensions Framework: Understanding the Mediating Role of Conceptual Visualizations in Collaborative Knowledge Work. *Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 364). Los Alamitos, {CA,} {USA}: {IEEE} Computer Society. doi:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HICSS.2008.7>
- Buur, J., Jensen, M. V., & Djajadiningrat, T. (2004). Hands-only scenarios and video action walls: novel methods for tangible user interaction design (pp. 185-192). Cambridge, {MA,} {USA}: ACM. doi:10.1145/1013115.1013141
- Bødker, S., & Buur, J. (2002). The design collaboratorium: a place for usability design. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 9(2), 152-169. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=513665.513670>
- Bødker, S., Ehn, P., Sjogren, D., & Sundblad, Y. (2000). Co-operative design perspectives on 20 years with the Scandinavian IT design model. *Proceedings of Nordi CHI 2000*. Stockholm.
- Carroll, J. M. (1995). *Scenario-Based Design: Envisioning Work and Technology in System Development*. (J. M. Carroll, Ed.) *Workshop* (Vol. 27, p. 408). John Wiley & Sons.
- Carroll, J. M. (2000). *Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions*. *interactions* (p. 368). MIT Press. Retrieved from <http://www.amazon.com/Making-Use-Scenario-Based-Human-Computer-Interactions/dp/0262032791>
- Chalon, R., & David, B. T. (2008). IRVO: an Architectural Model for Collaborative Interaction in Mixed Reality Environments. Retrieved from <http://citeseer.ist.psu.edu/639629.html>
- Cheung, D., Tigli, J.-Y., Lavirotte, S., & Riveill, M. (2006). Wcomp: a Multi-Design Approach for Prototyping Applications using Heterogeneous Resources. *Seventeenth IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping* (pp. 119-125). Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1630759&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1630759&tag=1)
- Coutrix, C. (2009). *Interfaces de Réalité Mixte : Conception et Prototypage*. Université Joseph Fourier. Retrieved from <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=139215905>
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2008). Balancing physical and digital properties in mixed objects (pp. 305-308). Napoli, Italy: ACM. doi:10.1145/1385569.1385619
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2011). OP: A Novel Programming Model for Integrated Design and Prototyping of Mixed Objects. In P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque, & M. Winckler (Eds.), *Proceedings of Interact'11* (pp. 54-72). Lisbonne, Portugal: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/F301752212525341.pdf>
- Davis, R. C., Colwell, B., & Landay, J. A. (2008). K-Sketch : A “ Kinetic ” Sketch Pad for Novice Animators. *Construction Equipment*, 413-422. ACM. doi:10.1145/1357054.1357122
- Dievendorf, L. A., Brock, D. P., & Jacob, R. J. K. (1995). Extending the User Action Notation (UAN) for Specifying Interfaces with Multiple Input Devices and Parallel Path Structure. *{NAVAL} {RESEARCH} {LAB} {WASHINGTON} {DC}*.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., & Beale, R. (2004). *Human-computer interaction* (3rd ed., p. 834). Prentice Hall. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=249491>
- Dragicevic, P., Fekete, J.-D., Kastler, R. A., & Chantreire, L. (2001). Input Device Selection and Interaction Configuration with ICON. Retrieved from

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.25.1638>

- Dubois, E., & Gray, P. (2007). A Design-Oriented Information-Flow Refinement of the ASUR Interaction Model. In J. Gulliksen, M. B. Harning, P. Palanque, G. C. Veer, & J. Wesson (Eds.), *Engineering Interactive Systems* (Vol. 4940, pp. 465-482). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-92698-6
- Dubois, E., Gray, P., & Nigay, L. (2002). ASUR++: A Design Notation for Mobile Mixed Systems (pp. 123-139). Springer-Verlag. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=666588>
- FaceReader. (2011). *Noldus Information Technology*. Retrieved December 21, 2011, from <http://www.noldus.com/human-behavior-research/products/facereader>
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(5), 347-358. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1023819>
- Fowler, M., & Highsmith, J. (2001). The Agile Manifesto. *Software Development*, 9(August), 28–35. [San Francisco, CA: Miller Freeman, Inc., 1993-. Retrieved from [http://andrey.hristov.com/fht-stuttgart/The\\_Agile\\_Manifesto\\_SDMagazine.pdf](http://andrey.hristov.com/fht-stuttgart/The_Agile_Manifesto_SDMagazine.pdf)
- Gamboa-Rodriguez, F., & Scapin, D. (1997). Editing MAD\* task descriptions for specifying user interfaces, at both semantic and presentation levels. *Proceedings DSV-IS '97, 4th International Eurographics Workshop on Design, Specification, and Verification of Interactive Systems*. Granada, Spain.
- Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, 11(4), 26. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=95788.95793>
- Greenbaum, J., & Kyng, M. (1991). *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*. (J. M. Greenbaum & M. Kyng, Eds.) *Design at Work Cooperative Design of Computer Systems* (Vol. Design at, p. 294). Lawrence Erlbaum Associates. doi:10.1007/BF02298175
- Hassenzahl, M. (2006). Hedonic, emotional, and experiential perspectives on product quality. In C. Ghaoui (Ed.), *Encyclopedia of Human Computer Interaction* (pp. 266-272). Idea Group. doi:10.4018/978-1-59140-562-7.ch042
- Hornecker, E. (2007). Sketches, Drawings, Diagrams, Physical Models, Prototypes, and Gesture as Representational Forms. *Second International Workshop on Physicality*, (September), 2-3. Retrieved from [http://www.physicality.org/Physicality\\_2007/Entries/2008/3/8\\_Physicality\\_2007\\_proceedings\\_files/Physicality2007Proceedings.pdf#page=97](http://www.physicality.org/Physicality_2007/Entries/2008/3/8_Physicality_2007_proceedings_files/Physicality2007Proceedings.pdf#page=97)
- Hornecker, E. (2010a). Creative idea exploration within the structure of a guiding framework: the card brainstorming game. *Tangible and embedded interaction*, 10, 101-108. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1709886.1709905>
- Hornecker, E. (2010b). The Tangible Interaction Cards: A Brainstorming Exercise Game. Retrieved December 26, 2011, b from <http://www.ehornecker.de/CardGame.html#process>
- Hornecker, E., & Buur, J. (2006). Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction (pp. 437-446). Montréal, Québec, Canada: ACM. doi:10.1145/1124772.1124838
- Horowitz, R. (1994). ASIT Créativité - résolution créative - conception innovante - innovation et différenciation. Retrieved from <http://www.asit.info/>
- Hutchinson, H., Mackay, W. E., Westerlund, B., Bederson, B. B., Druin, A., Plaisant, C., Beaudouin-Lafon, M., et al. (2003). Technology probes: inspiring design for and with families. *Proceedings of the {SIGCHI} conference on Human factors in computing systems* (pp. 17-24). Ft. Lauderdale, Florida, {USA}: ACM. doi:10.1145/642611.642616
- Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008). Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. *Proceeding of the twenty-sixth annual {SIGCHI} conference on Human factors in computing systems* (pp. 201-210). Florence, Italy: ACM. doi:10.1145/1357054.1357089
- Koleva, B., Egglestone, S. R., Schnädelbach, H., Glover, K., Greenhalgh, C., Rodden, T., & Dade-

- Robertson, M. (2009). Supporting the creation of hybrid museum experiences. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI '09* (p. 1973). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1518701.1519001
- Kontio, J., Lehtola, L., Bragge, J., & Box, P. O. (2004). Using the Focus Group Method in Software Engineering: Obtaining Practitioner and User Experiences. *Proceedings of the 2004 International Symposium on Empirical Software Engineering* (pp. 271-280). Washington, DC, USA: {IEEE} Computer Society. doi:10.1109/ISESE.2004.35
- Krasner, G. E., & Pope, S. T. (1988). A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80. *J. Object Oriented Program.*, 1(3), 26-49. Retrieved from [http://www.itu.dk/courses/VOP/E2005/VOP2005E/8\\_mvc\\_krasner\\_and\\_pope.pdf](http://www.itu.dk/courses/VOP/E2005/VOP2005E/8_mvc_krasner_and_pope.pdf)
- Law, E. L.-C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P. O. S., & Kort, J. (2009). Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems* (pp. 719-728). ACM. doi:10.1145/1518701.1518813
- Lepore, T. (2010). Sketches and Wireframes and Prototypes! Oh My! Creating Your Own Magical Wizard Experience. *{UX} Matters*. Retrieved from <http://www.uxmatters.com/mt/archives/2010/05/sketches-and-wireframes-and-prototypes-oh-my-creating-your-own-magical-wizard-experience.php>
- Lin, J., Newman, M. W., Hong, J. I., & Landay, J. A. (2000). DENIM: finding a tighter fit between tools and practice for Web site design. *Interface* (Vol. 2, pp. 510-517). ACM. doi:10.1145/332040.332486
- Mackay, W. E., Rutzer, A. V., & Janecek, P. (2000). Video artifacts for design: bridging the Gap between abstraction and detail. *Proceedings of the 3rd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques* (pp. 72-82). New York City, New York, United States: ACM. doi:10.1145/347642.347666
- Martinie, C., Palanque, P., & Winckler, M. (2011). Structuring and composition mechanisms to address scalability issues in task models. *Proceeding INTERACT'11, 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction* (pp. 589-609). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag . Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2042182.2042235>
- Masson, D., Demeure, A., & Calvary, G. (2010). Magellan, an evolutionary system to foster user interface design creativity. *Proceedings of the 2nd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems - EICS '10* (p. 87). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1822018.1822032
- Monk, A., & Howard, S. (1998). Methods & tools: the rich picture: a tool for reasoning about work context. *interactions*, 5(2), 21-30. doi:10.1145/274430.274434
- Mori, G., Paternò, F., & Santoro, C. (2002). CTTE: support for developing and analyzing task models for interactive system design. *{IEEE} Trans. Softw. Eng.*, 28(8), 797-813. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=636196.636202&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=23197686&CFTOKEN=88858182>
- Moussa, W., Jessel, J.-pierre, & Dubois, E. (2006). Notational-based prototyping of mixed interactions. *2006 IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 229-230). IEEE. doi:10.1109/ISMAR.2006.297818
- Muller, M., Wildman, D. M., & White, E. A. (1993). "Equal opportunity" PD using PICTIVE. *Commun. {ACM}*, 36(6), 64. doi:10.1145/153571.214818
- Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In J. Nielsen & R. L. Mack (Eds.), *Usability Inspection Methods* (Vol. 17, pp. 25-62). John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1089/tmj.2010.0114
- Nigay, Laurence, & Coutaz, J. (1997). Multifeature Systems : The CARE Properties and Their Impact on Software Design The Design Space : Physical Devices and Interaction Languages. *Intelligence and multimodality in multimedia interfaces*, (Nigay). AAAI Press. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.12.7140&rep=rep1&type=pdf>
- Norman, D. A. (1990). *The Design of Everyday Things*. Doubleday Business.

- Norman, D. A. (2003). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things* (p. 272). Basic Books; 1 edition. Retrieved from <http://www.amazon.com/Emotional-Design-Love-Everyday-Things/dp/0465051359>
- OmniGraffle. (2012). *The Omni Group*. Retrieved March 27, 2012, from <http://www.omnigroup.com/products/omnigraffle/>
- Osborn, A. F. (1965). *L'Imagination constructive* (2nd ed.). Paris: Dunod. Retrieved from <http://www.amazon.fr/LImagination-constructive-Alexander-Faickney-Osborn/dp/2040030581>
- Paternò, F., Santoro, C., & Tahmassebi, S. (1998). Formal Models for Cooperative Tasks: Concepts and an Application for En-Route Air Traffic Control. *DSV-IS*.
- Pressman, R. S. (1997). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGrawHill (p. 880). McGraw Hill. Retrieved from <http://www.amazon.com/Software-Engineering-Practitioners-Roger-Pressman/dp/007301933X>
- Purcell, T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies*, 19(4), 389-430. Retrieved from [http://d.wanfangdata.com.cn/NSTLQK\\_NSTL\\_QK3157977.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/NSTLQK_NSTL_QK3157977.aspx)
- Renevier, P., & Nigay, L. (2004). Notation de Conception pour les Systèmes Mixtes Collaboratifs et Mobiles (pp. 66-73). Nice, France: ACM. doi:10.1145/1050873.1050891
- Rosenbaum, S., Cockton, G., Coyne, K., Muller, M., & Rauch, T. (2002). Focus groups in HCI: wealth of information or waste of resources? (pp. 702-703). Minneapolis, Minnesota, {USA}: ACM. doi:10.1145/506443.506554
- Scapin, D., & Bastien, J. M. C. (2001). Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD\*. *Analyse et conception de {l'IHM}* (pp. 85-116).
- Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), 131-147. Springer London. doi:10.1007/BF01580516
- Sears, A., & Jacko, J. A. (2007). *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications* (2nd ed.). {CRC} Press Inc.
- Serrano, M., Nigay, L., Lawson, J. Y., Ramsay, A., Murray-Smith, R., & Denef, S. (2008). The open interface framework: a tool for multimodal interaction. *Design* (pp. 3501-3506). Association for Computing Machinery. Retrieved from <http://eprints.gla.ac.uk/34238/>
- Shaer, O., & Jacob, R. J. K. (2009). A specification paradigm for the design and implementation of tangible user interfaces. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 16(4), 1-39.
- Shaer, O., Leland, N., Calvillo-Gamez, E., & Jacob, R. J. K. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 359-369. doi:10.1007/s00779-004-0298-3
- Simon, H. A. (1969). *Les Sciences de l'Artificiel - 3ème Edition* (p. 215). The MIT Press. Retrieved from <http://www.amazon.com/Sciences-Artificiel-Herbert-Simon/dp/0262691914>
- Smith, S. (2007). Exploring the Specification of Haptic Interaction. *Interactive Systems. Design, Specification, and Verification* (pp. 171-184). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69554-7\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69554-7_14)
- Säde, S. (2001). *Cardboard mock-ups and conversations: Studies on user-centered product design*. University of Art and Design Helsinki.
- Trevisan, D., Gemo, M., Vanderdonckt, J., & Macq, B. (2004). Focus-based design of mixed reality systems. *Proceedings of the 3rd annual conference on Task models and diagrams* (pp. 59-66). Prague, Czech Republic: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1045446.1045458&coll=ACM&dl=ACM&CFID=73571301&CFTOKEN=90932410>
- Truong, K. N., Hayes, G. R., & Abowd, G. D. (2006). Storyboarding: an empirical determination of best practices and effective guidelines. *Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive systems* (pp. 12-21). ACM. doi:10.1145/1142405.1142410

- Ullmer, B., Ishii, H., & Jacob, R. J. K. (2005). Token+constraint systems for tangible interaction with digital information. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 12(1), 81-118.  
doi:10.1145/1057237.1057242
- Vaajakallio, K., & Mattelmäki, T. (2007). Collaborative design exploration: envisioning future practices with make tools. *Proceedings of the conference on Designing pleasurable products and interfaces* (pp. 223-238). Helsinki, Finland: ACM. doi:10.1145/1314161.1314182
- Wilson, C. E. (2006). Brainstorming pitfalls and best practices. *interactions*, 13(5), 50-63. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1151314.1151342&coll=ACM&dl=ACM&CFID=81569890&CFTOKEN=63045452>
- Wolfe, C., Graham, T. C. N., Phillips, W. G., & Roy, B. (2009). Fiiia: user-centered development of adaptive groupware systems. In T. C. N. Graham, G. Calvary, & P. D. Gray (Eds.), *Computer Engineering* (pp. 275-284). ACM. doi:10.1145/1570433.1570484
- Wood, J., & Silver, D. (1995). *Joint Application Development*. (John Wiley & Sons Inc., Ed.) (2nd ed., p. 416). Broché. Retrieved from <http://www.amazon.fr/Joint-Application-Development-Jane-Wood/dp/0471042994>
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive science*, 21(2), 179-217. Wiley-Blackwell. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2877699>
- van der Lugt, R. (2002). Functions of Sketching in Design Idea Generation Meetings. *Proceedings of the fourth conference on Creativity & cognition - C&C '02* (pp. 72-79). New York, New York, USA: ACM Press.  
doi:10.1145/581710.581723



# CHAPITRE IV : ENJEUX & RÉPONSE APPORTÉE

*Everyone believes they are, or can be, creative. And they are right. (Nussbaum, 2011)*

# CHAPITRE IV : TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>ENJEUX POUR LA CONCEPTION DES SIM.....</b>	<b>113</b>
1.1	Supporter l'exploration systématique de l'espace de conception .....	113
1.2	Etablir un langage de référence entre disciplines.....	114
1.3	Ancrer dans le processus de conception.....	115
1.4	Problématique et enjeux.....	116
<b>2</b>	<b>UNE ARTICULATION ENTRE FORMEL &amp; INFORMEL.....</b>	<b>118</b>
2.1	MACS : une méthode de conception collaborative et créative.....	118
2.1.1	Etape 1: introduction du modèle utilisé.....	118
2.1.2	Etape 2: introduction du problème de conception.....	119
2.1.3	Etape 3: génération d'idées & utilisation de la notation .....	119
2.1.4	Etape 4: adéquation entre résultats et problème de conception .....	121
2.1.5	Etape 5: évaluation des limites des solutions produites.....	122
2.2	Synthèse.....	123
<b>3</b>	<b>LES QUESTIONS RESTANTES.....</b>	<b>124</b>
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>125</b>

## 1 ENJEUX POUR LA CONCEPTION DES SIM

Comme nous l'avons démontré précédemment, l'explosion de l'espace de conception et le caractère fortement interdisciplinaire du domaine des SIM rendent la conception de ces systèmes particulièrement difficile. Dans cette section nous allons revenir sur les problématiques majeures posées par la conception de ces systèmes et discuter sur les divers avantages des représentations formelles en situation de conception collaborative et créative. Cette démonstration est articulée en trois sous parties.

La première partie revient sur le potentiel exploratoire supporté par les représentations externes formelles pour la conception des SIM. Dans notre revue des représentations externes adaptées aux SIM (cf. Chapitre 3), nous avons en effet mis en évidence que les représentations formelles peuvent constituer un support à l'exploration des possibles.

La deuxième partie revient sur le potentiel des représentations externes formelles à jouer le rôle de langage de référence dans un contexte interdisciplinaire. Dans notre revue des activités de conception (cf. Chapitre 3), nous avons en effet mis en évidence la nécessité d'avoir recours à des objets frontières pour établir un langage de référence.

La troisième partie revient sur le potentiel des représentations externes formelles à ancrer l'étape de conception dans le processus de développement. Dans notre revue du processus de développement pour les systèmes interactifs (cf. Chapitre 3), nous avons en effet mis en évidence la nécessité d'ancrer l'étape de conception dans le processus de développement.

A l'issue de l'illustration de ces trois aspects nous clôturons cette section en montrant que la conception des SIM gagnerait à mettre en œuvre une activité de conception collaborative et créative combinant ces trois enjeux de la conception des SIM.

### 1.1 Supporter l'exploration systématique de l'espace de conception

L'activité de conception créative est intrinsèquement une activité d'exploration (cf. Chapitre 1). En effet, la conception est un jeu de structuration, d'exploration, de découverte (i.e. de solutions comme de contraintes) au travers d'un espace problème dont les limites ne sont pas toujours bien définies.

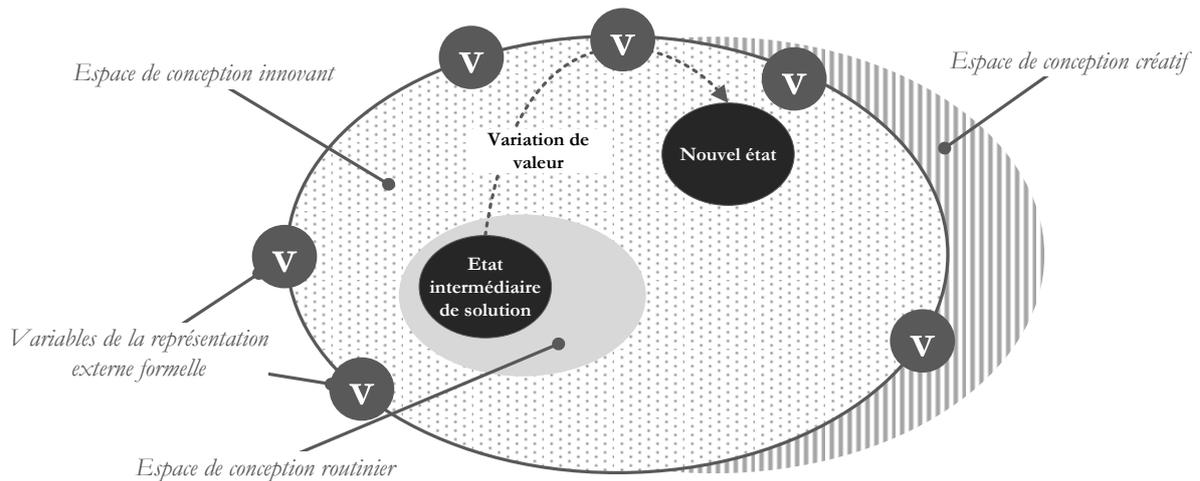
Dans la conception des SIM, l'espace problème est particulièrement vaste. En effet, rappelons tout d'abord que les SIM sont avant tout des systèmes interactifs. De ce fait les problématiques traditionnelles de l'IHM telle que l'utilisabilité du système ou même l'expérience utilisateur doivent être considérées. En fait, la différence principale entre un SIM et un système interactif classique est due aux dimensions que nous avons mises en lumière dans le Chapitre 2, à savoir : la place du monde physique, les formes de communication, la cohérence entre les mondes physiques et numériques ainsi que les technologies mises en œuvre. Ces dimensions font que les possibilités apparaissent illimitées et même si la littérature fait mention d'une grande diversité de systèmes, encore peu d'options ont été aujourd'hui explorées.

D'un point de vue théorique, l'explosion de l'espace des possibles induit un potentiel d'innovation important. Dans un espace aussi vaste, il est nécessaire d'assister les concepteurs dans l'exploration des possibles (i.e. l'étape de conception). Pour y parvenir, les représentations formelles sont dotées de propriétés pouvant constituer un tremplin d'accès aux espaces innovants et voire même créatifs.

En effet, nous avons mis en évidence dans notre synthèse sur les représentations externes adaptées aux SIM (cf. Chapitre 3 section 3.2) que les représentations externes formelles tracent un contour de l'espace de conception au travers des concepts qu'elles décrivent. Or, rappelons que l'espace des solutions innovantes est défini par un ensemble de variables connues mais dont leurs valeurs reste indéterminées (Gero, 1990). La combinaison de variables et/ou la découverte de nouvelles valeurs donne naissance à des solutions inattendues et permet de sortir de l'espace routinier.

Les représentations externes formelles définissent un ensemble de concepts qu'il est possible d'instancier

pour une solution définie. Lors du processus de conception, ces concepts sont instanciés pour la solution en cours d'élaboration. Par exemple si nous instancions le concept objet physique sur une solution celui-ci peut prendre la valeur de table, marteau, tasse à café, stylo, etc. Une solution est donc définie par les concepts qu'elle instancie et par les valeurs attribuées pour ces concepts. Les concepts d'une représentation externe formelle peuvent donc être vus comme des variables constitutives du système. L'identification de nouvelles valeurs et/ou la combinaison des concepts permettent donc de sortir de l'espace routinier. La Figure 52 reprend les espaces présentés dans (Gero, 1990) et illustre ce principe d'accès à l'espace innovant grâce à la manipulation des variables définies dans une représentation formelle.



**Figure 52 : Exemple de sortie de l'espace routinier grâce à la variation d'une valeur d'une représentation formelle**

Cette brève comparaison nous conduit à faire la conclusion suivante : le recours à un formalisme ne constituent pas un étranglement de l'espace de conception mais définit au contraire un ensemble de concepts dont la combinaison et l'instanciation définissent les possibles. La combinaison entre un modèle formel et une activité de conception collaborative et créative permettrait donc de supporter notre deuxième principe de la conception collaborative et créative *définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine*. De ce fait, nous retenons que l'emploi d'un modèle formel peut constituer un moyen à l'exploration systématique de l'espace de conception.

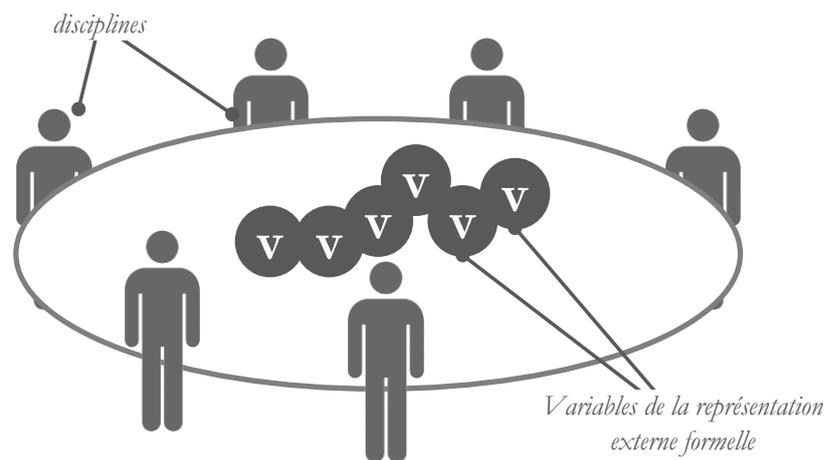
## 1.2 Etablir un langage de référence entre disciplines

Nous avons vu dans le Chapitre 1, qu'en situation de conception collaborative, il est indispensable pour une équipe interdisciplinaire d'établir un langage de référence visant à mutualiser une *connaissance circonstancielle du problème de conception* (i.e. données du problème) ainsi qu'une *connaissance générale du domaine*. Puis, dans le Chapitre 3, nous avons mis en évidence que les représentations externes jouaient le rôle d'objets frontières dans les situations de conception collaboratives (Bresciani et al., 2008). En effet, les objets frontières ont la capacité de combler les connaissances et de créer une représentation partagée d'un problème de conception.

La conception des systèmes interactifs mixtes étant fortement interdisciplinaire il est nécessaire d'identifier une ressource permettant d'établir un langage de référence. En effet, en conception des SIM : informaticiens, électroniciens, graphistes, ergonomes, designers, etc. sont autant de disciplines potentiellement impliquées durant le développement d'un SIM. Cette diversité disciplinaire a pour conséquence de poser de nombreux problèmes de communication et d'orchestration en situation de conception collaborative (Bonnardel, 2006; Bucciarelli, 2002; Détienne et al., 2004). En effet, des efforts

considérables doivent être mis en œuvre pour permettre aux équipes de créer une représentation partagée du problème de conception et des notions théoriques utilisées. De ce fait, un support méthodologique est requis.

Or, au travers de notre revue des activités de conception dans le Chapitre 3, nous avons établi que plusieurs travaux de recherche avaient conduits des efforts dans l'association entre formalisme et activité de conception créatives et interdisciplinaires (Hornecker, 2010a; Koleva et al., 2009; Monk & Howard, 1998).



**Figure 53 : Schématisation de l'emploi d'une représentation externe formelle en situation de conception collaborative**

L'efficacité d'une telle association est toutefois fortement conditionnée par la notation du formalisme mis en œuvre. En effet, Pour un même formalisme, de nombreuses notations sont envisageables : dessin, diagramme, tableau, maquette, etc. ou combinaisons de plusieurs formes de représentation. Le choix d'une notation compréhensible est donc indispensable pour limiter l'effort d'abstraction induite par un formalisme.

Par conséquent, il est nécessaire de mettre en œuvre une approche qui établirait un langage de référence pour *privilegier les situations co-localisées*, notre sixième principe de la conception collaborative et créative. De ce fait, nous retenons que *l'emploi d'une représentation formelle dans les activités de conception peut assister les différentes disciplines à établir un langage de référence* et par conséquent limiter les mécompréhensions.

### 1.3 Ancrer dans le processus de conception

Dans le Chapitre 3 nous avons mis en évidence que les spécificités des SIM devaient être considérées durant l'étape de conception du processus de développement. Conformément à la définition des étapes constitutives de ce processus, et à leur ordonnancement, l'étape de conception fait suite à l'étape d'analyse et précède l'étape de prototypage. Il convient donc durant l'étape de conception 1) d'assister les relations en amont, 2) d'aider les concepteurs à focaliser leurs discussions sur les considérations relatives à la partie du système à concevoir et 3) d'assister les relations en aval. Pour remplir ces trois objectifs un support méthodologique est requis.

Premièrement, dans le but d'assister la transition avec l'étape d'analyse, la ou les activités de conception mises en œuvre doivent considérer les données du problème identifiées durant l'étape d'analyse. Un support méthodologique doit donc être mis en œuvre pour assurer que les données du problème de conception soient définies et partagées entre les intervenants avant toute activité de conception.

Deuxièmement, comme cela est souligné dans (Brandt & Messeter, 2004; Hornecker, 2010a) il est nécessaire d'aider les concepteurs à se focaliser sur l'ensemble des dimensions relatives à la partie du système à concevoir. Cette assistance est d'autant plus nécessaire pour un domaine tel que les SIM où les dimensions à considérer sont nombreuses et où les équipes de conception sont fortement interdisciplinaires. Pour y parvenir les représentations formelles ont l'avantage de définir explicitement les dimensions relatives à un ensemble de facettes du système. De ce fait avoir recours à leur emploi durant les activités de conception peut aider à canaliser les discussions autour des considérations pertinentes et à laisser de côté les considérations additionnelles pour un usage ultérieur.

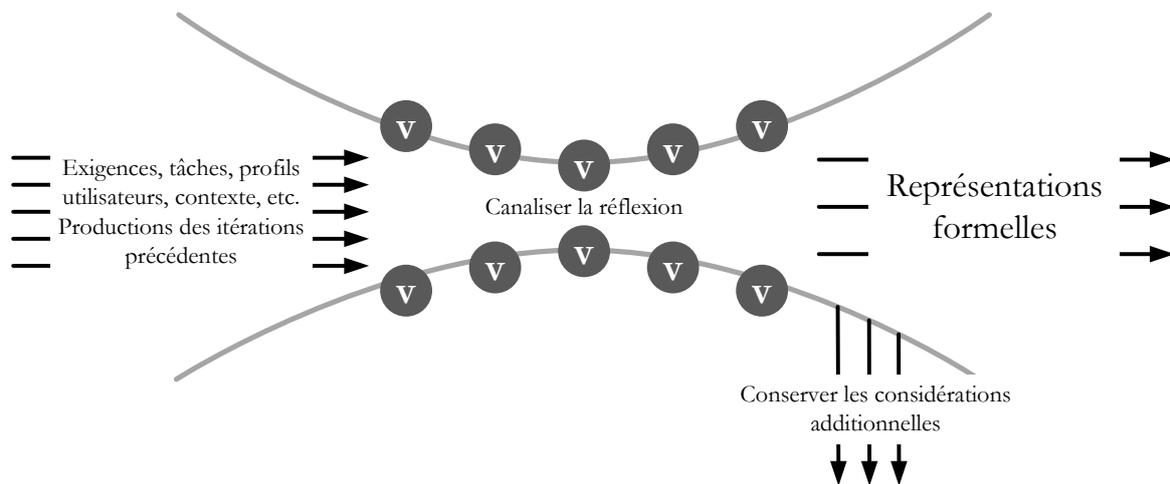


Figure 54 : Ancrage dans le processus de conception

Enfin, en ce qui concerne la transition aval, la ou les activités de conception mises en œuvre doivent produire les artefacts spécifiant les caractéristiques des solutions à prototyper. En conséquence, le support employé pour représenter solutions élaborées doit spécifier clairement les choix effectués dans le but d'être le moins possible sujettes à interprétation. Dans cette voie, une des caractéristiques premières des représentations formelles est justement de n'être pas ou peu sujet à interprétation. De ce fait, l'encodage des considérations traitées en conception dans un modèle formel constitue une base solide pour un prototypage fidèle aux décisions prise en amont. Cet effet s'avère d'autant plus juste lorsque les concepteurs et les développeurs ne sont pas les mêmes individus.

Par conséquent, il est nécessaire de mettre en œuvre une approche qui permettrait au travers des données provenant de la phase d'analyse de gérer notre premier principe de la conception collaborative et créative : *établir et partager définition claire du problème de conception*. Une telle approche devra aussi permettre de fournir de sélectionner les données d'entrée au prototypage en supportant notre cinquième principe de la conception collaborative et créative : *Evaluer les productions*.

De ce fait, nous retenons que *l'emploi d'une représentation formelle dans les activités de conception peut assister cette double transition et aider les concepteurs à conserver le focus sur les dimensions pertinentes au cours d'une activité de conception*.

## 1.4 Problématique et enjeux

Nous avons abordé dans les trois parties précédentes, trois des enjeux majeurs à la conception des SIM. Nous avons mis en évidence que le recourt aux représentations formelles constituait une approche pertinente pour 1) l'exploration de l'espace de conception, pour 2) l'établissement d'un langage de référence entre disciplines et pour 3) l'ancrage de l'activité de conception au sein du processus.

Dans notre revue de la littérature, dans le Chapitre 3 nous avons mis en évidence que parmi les nombreuses activités de conception existantes peu d'entre elles soulèvent ces trois enjeux de manière intégrative et que peu d'entre elles sont réellement adaptées aux SIM.

Par conséquent, ces trois enjeux constituent donc les fondements à l'élaboration d'une approche de conception collaborative et créative dédiée aux SIM. Nos travaux de recherche ont en effet visés à l'élaboration d'une approche de conception considérant non seulement les trois enjeux de la conception des SIM soulevés ci-dessus mais aussi à respecter les principes de la conception collaborative et créative que nous avons extrait à l'issue du Chapitre 1. L'intérêt d'une telle approche est de faciliter la gestion de l'explosion de l'espace de conception du domaine et l'interdisciplinarité du domaine des SIM.

Dans cette voie, nous proposons dans la section suivante une forme de combinaison entre représentation formelle et activité de conception collaborative et créative. Nous introduisons ensuite les travaux de recherche conduits dans cette thèse visant à évaluer la portée d'une telle approche et les obstacles qu'il sera nécessaire de soulever.

## 2 UNE ARTICULATION ENTRE FORMEL & INFORMEL

Compte tenu des trois enjeux détaillés dans la section précédente nous proposons dans cette partie premièrement les principes fondamentaux de notre approche combinant représentation formelle et activité de conception collaborative et créative.

### 2.1 MACS : une méthode de conception collaborative et créative

L'approche que nous avons retenue s'appuie sur l'emploi d'un modèle de l'interaction avec un SIM durant une séance de conception collaborative et créative. Nous avons nommé cette approche : « *Model Assisted Creativity Session* » ou MACS.

Le principe général de la méthode est la suivant : un groupe pluridisciplinaire explore des solutions d'interaction mixte répondant à un problème de conception donné. Pour y parvenir, les participants mettent en œuvre la pensée divergente comme dans un brainstorming. Au fur et à mesure que les idées sont produites, elles sont notées via le modèle. Les participants sont accompagnés d'un facilitateur qui a en charge deux tâches majeures : 1) gérer la dynamique du groupe et 2) inciter les participants à faire varier de certains attributs des modèles produits pour stimuler l'exploration.

Le principe général d'un MACS est donc composé de trois ingrédients : les principes de base d'un brainstorming, un modèle et un facilitateur. Toutefois, dans le but de répondre aux principes de la conception collaborative et créative, nous avons complété ce principe général par un ensemble de pratiques en amont et en aval. Ces pratiques viseront à faciliter l'établissement et le partage d'une définition claire du problème de conception via les données issues de l'analyse, à définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine ainsi qu'à évaluer et sélectionner des solutions adéquates pour le prototypage.

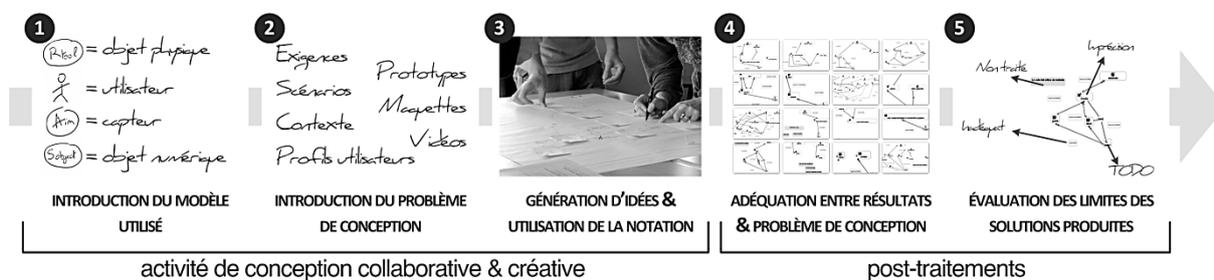


Figure 55 : La méthode MACS décrite au travers de ces 5 étapes constitutives.

Comme l'illustre la Figure 55, un MACS est composé de cinq étapes : 1) Introduction du modèle utilisé, 2) Introduction du problème de conception, 3) Génération d'idées & Utilisation de la notation, 4) Adéquation entre résultats et problème de conception et 5) Evaluation des limites des solutions produites. Dans les parties suivantes nous décrivons chacune de ces cinq étapes et montrons en quoi leurs mises en œuvre répondent à nos principes de la conception collaborative et créative :

#### 2.1.1 Etape 1 : introduction du modèle utilisé

Le but est d'introduire aux participants les concepts définis par le modèle utilisé afin de rendre le modèle appréhendable par des non-experts. Cette première étape de la séance consiste alors en une présentation simplifiée des concepts exprimés par le modèle et des éléments essentiels qui le composent. La granularité de la présentation du modèle faite aux participants est laissée à la discrétion du facilitateur et peut dépendre de la familiarisation préalable des participants avec le modèle.

Il convient par exemple de présenter les éléments clés du modèle et d'illustrer sa mise en œuvre sur des

exemples simples. Selon le degré de familiarisation des participants avec le modèle, il est envisageable de fournir un guide de mise en œuvre du modèle utilisé, visant par exemple à structurer un ordre de mise en œuvre des éléments constitutifs du modèle. Un tel guide peut prendre la forme d'une légende des concepts exprimés ou plus simplement d'une liste des concepts et des caractéristiques définissables au travers de la notation. La durée est un indice clé pour définir la manière de conduire cette étape. Nous considérons que cette étape doit durer entre ¼ d'heure et ½ heure.

Cette première étape préliminaire contribue à la synchronisation cognitive des participants quant aux concepts issus du modèle qui seront manipulés durant la séance. En ce sens, cette première étape soutient un des enjeux soulevé en amont de ce chapitre, à savoir l'élaboration d'un langage de référence entre les participants. De plus, cette étape concrétise notre deuxième principe de la conception collaborative et créative : *définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine.*

### 2.1.2 Etape 2 : introduction du problème de conception

Le but de cette deuxième étape est de présenter et expliquer le problème de conception prédéfini (i.e. en amont du processus de conception) à résoudre pendant la séance. L'objectif premier de cette étape est de conduire les participants à effectuer un effort de synchronisation cognitive. Cet effort doit permettre la création d'une représentation partagée du problème. D'après notre expérience de la méthode, au même titre que l'étape 1, une durée comprise entre ¼ d'heure et ½ heure apparaît satisfaisante. Toutefois, cette étape peut être relativement plus courte si tous les intervenants sont sensibilisés à la problématique et au domaine d'application abordé.

Pour assurer le bon déroulement de cette étape, le facilitateur doit préparer un ensemble de contenus constitutifs du problème de conception. Cette préparation inclut la collecte des artefacts représentant les exigences, contraintes du domaine d'application ainsi que tout ou partie des choix préalablement figés. Cette présentation doit aider les participants à créer une représentation mentale du problème. Ces artefacts de conception peuvent provenir de la phase d'analyse amont et des représentations externes produites dans les itérations précédentes le cas échéant. Par exemple, il peut s'agir :

- des exigences fonctionnelles et non fonctionnelles de l'application sous la forme d'une liste de points,
- d'une décomposition de la tâche de l'utilisateur via par exemple l'emploi d'un modèle de tâche,
- de maquettes, de photos, de story-boards, de vidéos, de modèles précédemment établis, etc. de toute forme de représentation externe concrétisant les choix effectués dans les itérations précédentes.

Cette étape présente de nombreux intérêts. Tout d'abord, au même titre que l'étape 1, cette deuxième étape préliminaire contribue à la synchronisation cognitive des participants. Toutefois ici les données traitées sont relatives au domaine d'application et au problème proposé par ce dernier. En ce sens, cette deuxième étape soutient un des enjeux soulevé en amont de ce chapitre, à savoir l'élaboration d'un langage de référence entre les participants.

De plus cette étape tirant profit des données produites durant l'étape d'analyse, elle soutient également l'ancrage amont dans le processus de conception ; notre troisième enjeu pour la conception des SIM.

Enfin d'un point de vue théorique, cette étape concrétise également notre premier principe de conception collaborative et créative : *établir et partager une définition claire du problème de conception.*

### 2.1.3 Etape 3 : génération d'idées & utilisation de la notation

Cette étape est le cœur de la méthode. C'est lors de celle-ci que la génération d'idées est combinée à l'usage du modèle.

Globalement, le déroulement de cette étape est analogue à celui d'un brainstorming c'est-à-dire la génération d'idées via la pensée divergente. Toutefois, l'introduction d'un modèle modifie de manière non négligeable la mise en œuvre de cette étape et un certain nombre de pratiques doivent être mises en œuvre

pour rendre la méthode efficace. Au cours de nos mises en œuvre de cette méthode, différentes versions de cette étape ont été testées. Les moyens mis en œuvre et les principes de déroulement de cette étape ont évolués. Nous présenterons ici la version, qui s'est à ce jour montrée la plus efficace.

Cette étape est organisée en moments ou en mouvements de conception (Gero & Mc Neill, 1998). Chaque mouvement correspond à une idée globale, une métaphore d'interaction dans notre cas. D'après notre expérience, cette étape peut durer entre une heure et deux heures. A l'issue de nos différentes mises en œuvre nous pouvons désormais définir le déroulement de cette étape de la manière suivante :

1. Le début de la séance commence par la proposition d'une idée globale, d'une métaphore d'interaction ou même d'une l'instance d'un des concepts du modèle.
2. Une instance de modèle est alors créée. Dans notre implémentation cela se traduit concrètement par le déploiement d'une grande feuille de papier est apposée sur la surface de travail. Cette feuille servira de support d'édition à cette instance de modèle (Figure 56).
3. Au fur et à mesure que les membres du groupe décrivent/complètent/enrichissent cette idée initiale, ils écrivent les éléments de solutions dans la notation du modèle. Ce dernier est enrichi avec les précisions apportées et de nouveaux concepts sont instanciés. En pratique, cela se traduit par l'apposition sur la feuille d'une ou plusieurs cartes en papier prédécoupés représentant les concepts du modèle (Figure 56), par le tracé de flèches/de liens, par l'ajout de notes ou encore par l'écriture de caractéristiques sous forme textuelle.
4. Dès lors qu'une nouvelle métaphore est proposée, deux alternatives sont possibles : soit une nouvelle feuille de papier est apposée, un nouveau modèle est instancié, une nouvelle feuille est utilisée et le cycle reprend, soit la métaphore en question constitue une dérivation, une alternative et le modèle en cours de construction est complété.

Comme mentionné ci-dessus, dans la dernière version de la méthode les participants ont à leur disposition de grandes feuilles de papier jouant le rôle de support d'édition, des cartes en papier prédécoupés représentant les différents concepts du domaine ainsi que des stylos (Figure 56). Ce support d'annotation présente l'avantage :

- d'être visible par tous les participants,



**Figure 56 : Illustration du support d'édition du modèle pendant un MACS. A gauche, une photo de papiers prédécoupés représentant les concepts du modèle et à droite une vue d'une grande feuille de papier servant de support à la création d'une instance de modèle.**

- de permettre à plusieurs participants d'éditer le modèle en même temps et
- d'être flexible en termes d'expression (des éléments hors notation du modèle pouvant être annotés).

En effet, les feuilles de papier permettent non seulement d'éditer le modèle mais aussi d'avoir recours à d'autres types de représentations si nécessaire.

Durant cette étape le facilitateur joue un rôle central. Il doit tout d'abord gérer la dynamique du groupe, c'est-à-dire inviter les participants à s'exprimer le plus possible et à rebondir sur les idées générées, veiller à ce que tout le monde participe et gérer les éventuels conflits. Le facilitateur peut de plus proposer un ensemble de modifications sur les solutions proposées. En effet, dans un MACS, le facilitateur doit être un expert du modèle utilisé. De ce fait, le facilitateur a en charge la stimulation des participants, en pointant/désignant des variations possibles sur les concepts des instances de modèle générées : il peut par exemple signaler l'existence d'un attribut d'un élément du modèle, insister sur l'incomplétude fonctionnelle du modèle, ou encore utiliser la technique du « *What if* », c'est-à-dire proposer des modifications sur une solution. Dans le Chapitre 5, nous proposons un ensemble de techniques génératives permettant ces modifications et donc assistant le travail du facilitateur.

A l'issue de cette étape, les participants peuvent sélectionner leurs idées favorites. Cette étape de sélection peut être réalisée si il est nécessaire de guider les participants vers un consensus de la ou des meilleures idées. Toutefois, en pratique cette étape de sélection n'est pas systématiquement effectuée, certaines solutions étant implicitement identifiées comme étant les plus adaptées aux problèmes

Pour conclure, cette étape centrale concrétise le premier enjeu soulevé au début de ce chapitre, c'est à dire le support à l'exploration systématique des possibles via l'usage d'une représentation externe formelle. De plus, les éléments constitutifs de cette étape concrétisent plusieurs de nos principes de conception collaborative et créative. Tout d'abord cette étape (ainsi que les deux précédentes) sont *co-localisées*. Le support d'annotation des idées (Figure 56) a également été pensé pour supporter le partage en situation co-localisée et *l'externalisation des solutions produites*. En effet, au fur et à mesure que les idées sont générées un ou plusieurs modèles sont construits, enrichis, modifiés, dérivés. Enfin, cette étape permet aux participants de mettre en œuvre la pensée divergente et ainsi que d'autres *techniques exploratoires* tel que le « *What if* » via l'aide du facilitateur.

#### 2.1.4 Etape 4 : adéquation entre résultats et problème de conception

A l'issue de l'étape 3, un ensemble de modèles au format papier sont extraits (Figure 57). Cette quatrième étape a pour but de procéder à une évaluation systématique des solutions produites. L'objectif est de décider lesquelles seront conduites au prototypage et lesquelles seront écartées. Cette étape est qualifiée de posttraitement car elle n'est pas réalisée par le groupe de participants mais par le facilitateur seul.

Nous avons vu dans l'étape 2 que le problème de conception était introduit aux participants. Rappelons que le problème de conception est constitué de l'ensemble des exigences, contraintes et choix prédéfinis dans les itérations précédentes. Dans cette quatrième étape, le facilitateur évalue la complétude des solutions produites vis-à-vis des composantes du problème de conception.

Toutefois, il est probable que la majorité des modèles générés ne répondent que partiellement à ces besoins. Le rôle de cette étape est donc d'identifier des modèles complets ou de recombinaison des parties de solutions générées pour finalement extraire des solutions sujettes à prototypage et lier les résultats de la séance avec les phases aval du processus.

Pour y parvenir, le facilitateur caractérise chacun des modèles générés en fonction des besoins. Une caractérisation binaire du type exigence remplie/non remplie est donc réalisée au moyen d'une inspection experte et conduit au remplissage d'une matrice à deux entrées solutions/exigences. De cette caractérisation deux types de solutions sont identifiées :

- Les modèles répondant à toutes les exigences : Nous recommandons de conserver ces modèles tels quels pour préserver leur cohérence.
- Les modèles répondant partiellement aux exigences : Ces derniers peuvent être complétés par le facilitateur ou fusionnés avec d'autres modèles dans le but d'atteindre une solution qui traite tous les besoins du système.

Nous recommandons de ne pas écarter les solutions partielles car la métaphore, l'idée générale qu'elles embarquent est potentiellement pertinente. La caractérisation ne suffit donc pas à la discrimination des solutions mais constitue une assistance à l'évaluation et la sélection.

Pour conclure, cette étape concrétise le troisième enjeu soulevé au début de ce chapitre, c'est à dire l'ancrage dans le processus de conception. Ici l'ancrage dans le processus est aval, car il vise à produire des données solides pour l'étape de prototypage. De plus, cette étape permettant d'assister l'évaluation et la sélection, elle supporte notre cinquième principe de conception collaborative et créative : *évaluer les productions*.



Figure 57 : Exemples de modèles papier produits durant l'étape 3 et devant être traités durant l'étape 4.

### 2.1.5 Etape 5 : évaluation des limites des solutions produites

Cette cinquième et dernière étape a pour but d'ouvrir l'activité de conception aux futures problématiques du processus. L'objectif est d'identifier les points non traités durant l'étape 3. Il s'agit ici d'une seconde technique de post-traitement des résultats.

Pour la mettre en œuvre, il faut identifier pour chacune des solutions produites les concepts du modèle utilisé qui n'ont pas été traités, discutés. De cette manière, le facilitateur identifie facilement des questions d'optimisation du système. De tels besoins d'optimisation peuvent émerger lorsque le modèle n'a pas été suffisamment approfondi lors de la séance ou bien encore lorsque le modèle ne permet pas de représenter le concept sous-jacent.

Par exemple, un modèle peut exprimer le fait qu'un utilisateur doit observer un concept numérique clef du système. Toutefois, la représentation de ce concept peut ne pas avoir été entièrement décrite : doit-il s'agir d'une représentation textuelle, graphique, mobile, 3D, etc. ? Toutes ces questions sont autant de points potentiels pour une optimisation à venir, et donc des itérations complémentaires de l'étape de conception. En effet, les modèles produits ne sont potentiellement pas complets et toutes leurs caractéristiques ne sont pas nécessairement instanciées. Durant l'étape 3, les participants peuvent être amenés à ne pas traiter un point particulier pour ne pas brider le flux de créativité et la dynamique du groupe. Ces manques sont donc récupérés dans cette cinquième étape.

Au même titre que l'étape précédente, cette étape concrétise le troisième enjeu soulevé au début de ce chapitre, c'est à dire l'ancrage aval dans le processus de conception. L'objectif est toutefois différent car cette étape permet un ancrage dans le processus garantissant une traçabilité des aspects non discutés et qu'il sera nécessaire de considérer plus tard. Par conséquent, cette étape constitue donc une deuxième forme *d'évaluation des solutions produites*, notre cinquième principe de la conception collaborative et créative.

## 2.2 Synthèse

L'identification, la définition et l'amélioration de ces étapes ont été réalisées au travers de nos mises en œuvre répétées de la méthode. L'évolution de ces éléments de mise en œuvre a été guidée par les principes de la conception collaborative et créative que nous avons identifiés à l'issue du Chapitre 1. En effet, comme le résume le Tableau 4, les étapes constitutives de la méthode et ses principes de mise en œuvre permettent de supporter nos six principes.

	Etablir et partager définition claire du problème de conception	Définir les limites de l'espace problème au travers des connaissances théoriques du domaine	Tirer profit d'un de ces processus exploratoires	Externaliser les idées et construire les solutions intermédiaires en conception	Evaluer les productions	Privilégier les situations co- localisées
MACS	<b>Etape 1</b> Modèle de tâches, fonctionnalités, story- boards, scénarios, etc.	<b>Etape 2</b> Modèle impliqué, Légende du modèle	<b>Etape 3</b> Pensée divergente Technique du « what if ? »	<b>Etape 3</b> Modèle, texte, dessins	<b>Etape 4 &amp; Etape 5</b> Adéquation des solutions avec le problème évaluation des limites	<b>Etape 1, 2, 3</b> Equipe pluridisciplinaire

**Tableau 4 : La méthode MACS instanciée selon des principes de haut niveau de la conception collaborative et créative.**

Toutefois, cette méthode a évolué au fur et à mesure de ses mises en pratique. En l'occurrence, durant ce travail de thèse, nous avons mis en œuvre la méthode MACS sept fois, sur sept cas d'étude différents et avec sept équipes de conception différentes. Ces cas d'étude seront définis, expliqués dans le chapitre 6 et trois d'entre eux ont fait l'objet d'analyses détaillées.

### 3 LES QUESTIONS RESTANTES

Dans les étapes précédentes nous avons détaillé les principes de mise en œuvre de la méthode que nous avons élaborée. Rappelons que les enjeux sont 1) d'assister l'exploration des possibles, 2) de faciliter l'établissement d'un langage de référence et 3) d'ancrer la méthode dans le processus de conception.

Toutefois l'approche que nous avons retenue et améliorée au cours de ces travaux de recherche soulève de nombreuses questions relatives à sa capacité à aider les concepteurs à explorer les possibles, à son utilisation par des non-experts du domaine des SIM, à sa mise en œuvre pratique et à son intégration dans un processus de conception.

Nous présentons ci-dessous les questions de recherche additionnelles que nous avons identifiées et qui ont guidés nos travaux pour assoir la validité de notre approche MACS.

*Exploration des possibles* : Tout d'abord, si ces modèles constituent un support à l'exploration de l'espace de conception, nous devons encore définir en quoi certains processus exploratoires tel que la pensée divergente ou l'encodage sélectif peuvent être combinés à l'usage de ces représentations formelles. Pour y parvenir, nous avons tout d'abord étudié dans le Chapitre 5 si des novices de ces modèles étaient capables d'exploiter cette faculté des modèles d'interaction. Puis sur la base des résultats obtenus nous proposons, un ensemble de techniques génératives dont l'objectif est de manipuler les concepts représentés dans un formaliste pour explorer les possibles.

*Compréhensibilité d'un formalisme* : Ensuite, la compréhension de ces notations par des non experts doit aussi être vérifiée. La compréhensibilité d'une représentation externe en situation de conception constitue un enjeu crucial à son bon déroulement. Pour y parvenir nous proposons dans le Chapitre 5, une étude visant à étudier la compréhensibilité par des non experts de deux modèles candidats à une intégration dans un MACS.

*Viabilité de la méthode* : Dans ce chapitre, nous avons détaillé la méthode MACS et les cinq étapes qui la constituent. Si cette méthode supporte tous nos principes de la conception collaborative et créative, il est encore nécessaire de vérifier empiriquement si elle est applicable et si les effets attendus se réalisent. Pour y parvenir, nous présentons dans le Chapitre 6, une évaluation du MACS basée sur une analyse des solutions ainsi qu'une analyse des protocoles verbaux et comportementaux de plusieurs mises en œuvre de sur des cas d'études différents. Cette analyse s'appuie sur une grille d'analyse inspirée de celles définies dans (Détienne & Traverso, 2009) et dans (Suwa, Purcell, & Gero, 1998). Cette évaluation nous conduira à valider certains des principes de la méthode et à identifier les prérequis d'un outil interactif supportant la méthode.

*Ancrage dans le processus de conception* : Enfin cette méthode ayant pour vocation d'être intégrée dans un processus de conception complet, nous illustrons dans le Chapitre 7 son outillage via une première version d'un prototype et les résultats de la mise en œuvre de plusieurs séances de MACS sur deux cas d'études relatifs à un SIM dédiée au Museum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

## 4 BIBLIOGRAPHIE

- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception : Approches cognitives et ergonomiques*. Solal Editeurs.
- Brandt, E., & Messeter, J. (2004). Facilitating collaboration through design games. *Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices - Volume 1* (pp. 121-131). Toronto, Ontario, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1011870.1011885&coll=ACM&dl=ACM&CFID=78624755&CFTOKEN=48702884>
- Bresciani, S., Blackwell, A., & Eppler, M. (2008). A Collaborative Dimensions Framework: Understanding the Mediating Role of Conceptual Visualizations in Collaborative Knowledge Work. *Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 364). Los Alamitos, {CA,} {USA}: {IEEE} Computer Society. doi:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HICSS.2008.7>
- Bucciarelli, L. L. (2002). Between thought and object in engineering design. *Design Studies*, 23(3), 219-231. Elsevier. doi:10.1016/S0142-694X(01)00035-7
- Détienne, F., & Traverso, V. (2009). *Méthodologies d'analyse de situations coopératives de conception : Corpus MOSAIC*. (F. Détienne & V. Traverso, Eds.) (p. 317). Presses Universitaires de Nancy.
- Détienne, F., Boujut, J.-françois, & Hohmann, B. (2004). Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering Design Situation. *6th International Conference on the Design of Cooperative Systems - COOP'04* (pp. 83-98). Retrieved from <http://hal.inria.fr/inria-00117077/en/>
- Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, 11(4), 26. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=95788.95793>
- Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, 19(1), 21-61. doi:10.1016/S0142-694X(97)00015-X
- Hornecker, E. (2010). Creative idea exploration within the structure of a guiding framework: the card brainstorming game. *Tangible and embedded interaction*, 10, 101-108. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1709886.1709905>
- Koleva, B., Egglestone, S. R., Schnädelbach, H., Glover, K., Greenhalgh, C., Rodden, T., & Dade-Robertson, M. (2009). Supporting the creation of hybrid museum experiences. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI '09* (p. 1973). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1518701.1519001
- Monk, A., & Howard, S. (1998). Methods & tools: the rich picture: a tool for reasoning about work context. *interactions*, 5(2), 21-30. doi:10.1145/274430.274434
- Nussbaum, B. (2011). Design Thinking Is A Failed Experiment. So What's Next? *Fast CoDesign*. Retrieved from <http://www.fastcodesign.com/1663558/design-thinking-is-a-failed-experiment-so-whats-next>
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. S. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455-483. doi:10.1016/S0142-694X(98)00016-7



# CHAPITRE V : COMPRÉHENSIBILITÉ & GÉNÉRATIVITÉ DES MODÈLES

*Researchers have therefore begun to explore how the creativity of domain professionals can be supported through tools with alternative authoring paradigms. (Koleva et al., 2009)*

# CHAPITRE V : TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>129</b>
<b>2</b>	<b>ETUDE DE LA COMPREHENSIBILITE PAR DES NOVICES DE DEUX MODELES DE L'INTERACTION MIXTE .....</b>	<b>131</b>
2.1	Structure du questionnaire.....	131
2.2	Cas d'études utilisés.....	132
2.3	Protocole.....	133
2.4	Analyse & résultats.....	134
2.4.1	Compréhension globale.....	134
2.4.1.1	Procédure d'analyse .....	134
2.4.1.2	Résultats.....	136
2.4.2	Compréhension détaillée.....	137
2.4.2.1	Procédure d'analyse .....	137
2.4.2.2	Résultats.....	138
2.5	Conclusions sur la compréhension de ces modèles des SIM .....	139
<b>3</b>	<b>ETUDE DE LA GENERATIVITE DU MODELE ASUR.....</b>	<b>141</b>
3.1	ASUR: définitions & principes de base.....	141
3.2	Etude exploratoire de la générativité du modèle ASUR.....	142
3.2.1	Structure du questionnaire.....	142
3.2.2	Cas d'études utilisés.....	143
3.2.3	Protocole.....	145
3.2.4	Analyse & résultats.....	145
3.2.4.1	Procédure d'analyse .....	145
3.2.4.2	Résultats.....	146
3.2.5	Conclusions et limites de cette étude préliminaire.....	148
3.3	Approche théorique de la générativité du modèle ASUR.....	149
3.3.1	Définition de trois techniques de générativité.....	149
3.3.2	Application de trois techniques de générativité.....	150
3.3.3	Exemple 1: générer des alternatives au Google Earth tangible.....	151
3.3.4	Exemple 2: générer des alternatives à la Reactable.....	153
3.3.5	Techniques de générativité: apports & limites .....	155
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS SUR LA COMPREHENSIBILITE ET LA GENERATIVITE DES MODELES DU DOMAINE DES SIM.....</b>	<b>157</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>159</b>

## 1 INTRODUCTION

Dans les chapitres précédents nous avons développé et argumenté sur l'intérêt de combiner une représentation formelle de l'interaction mixte et une activité de conception collaborative et créative. Nous avons mis en évidence à l'issue du Chapitre 4, les questions majeures relatives à une telle combinaison.

Dans ce chapitre nous traitons de deux de ces questions : 1) l'opérationnalisation de l'exploration de l'espace de conception via un modèle d'interaction et 2) les limites à la compréhensibilité de ces modèles par des non-experts du domaine des SIM. La réponse à ces questions constitue un enjeu majeur à l'applicabilité de la méthode MACS dont nous avons introduit les principes de mise en œuvre dans le chapitre 4.

Pour répondre à ces questions, il est nécessaire d'évaluer le ou les modèles candidats à une intégration dans la méthode MACS. Pour y parvenir la littérature fait mention de nombreux cadres pour évaluer une notation. Par exemple, (Blackwell & Green, 2002) ont proposé *le cadre des dimensions cognitives d'une notation*. Ce cadre fournit un ensemble de critères qu'il est nécessaire de considérer pour caractériser la qualité d'une notation. Par exemple, les auteurs définissent la visibilité, les relations cachées, l'expressivité, la viscosité, le niveau d'abstraction, etc. Sur la base de ces dimensions les auteurs proposent un questionnaire permettant de les évaluer.

Toutefois ce cadre d'évaluation ne juge pas des qualités nécessaires à l'utilisation d'une notation en situation collaborative notamment pour jouer le rôle d'objet frontière. Pour cette raison *le cadre des dimensions cognitives d'une notation* a été étendu aux situations collaboratives dans (Bresciani et al., 2008). Cette extension considère de nouveaux aspects tel que :

1. L'impact visuel : l'attractivité de la notation et la facilitation pour retrouver un élément
2. La clarté : la compréhensibilité ou le caractère explicite
3. La complétude perçue : le niveau de ressemblance avec un produit fini
4. La direction du focus : l'importance du focus sur un ou plusieurs éléments de la notation
5. Le support à l'inférence : la générativité ou la capacité à assister la production de nouvelles idées
6. La modifiabilité : de gré d'altération des éléments de la notation durant la dynamique de groupe
7. L'aide à la gestion du discours : l'impact sur la gestion du discours dans la dynamique de groupe

Comme souligné dans (Bresciani et al., 2008) il serait extrêmement coûteux d'évaluer ces dimensions les unes après les autres en testant toutes les possibilités de représentations possible. Par conséquent, dans ce Chapitre nous avons fait le choix d'évaluer deux de ces dimensions : 1) la clarté ou compréhensibilité et 2) le support à l'inférence ou générativité.

Nous pensons que ces deux dimensions sont les plus importantes pour un usage dans la méthode MACS. En effet, concernant la compréhensibilité il est primordial que tous les participants à une telle séance soient capables de lire et de comprendre les modèles produits.

Puis l'objectif de la méthode étant de tirer profit du modèle pour explorer l'espace de conception, il est important de vérifier dans quelles limites des non-experts de la notation sont capables de créer, d'inférer des relations sur le modèle et de générer des alternatives.

Pour explorer ces deux dimensions relatives à l'usage des notations en situation collaborative nous avons conduits deux études que nous présentons dans ce chapitre.

Premièrement, la compréhensibilité de deux modèles de l'interaction avec un SIM a été évaluée. Cette évaluation s'est déroulée dans le cadre du projet ANR CARE et avait le double rôle d'évaluer la compréhensibilité du modèle MIM et du modèle ASUR, qui sont deux représentations formelles

## *Introduction*

candidates à une utilisation dans un MACS. En effet, comme nous l'avons montré dans le Chapitre 3, les modèles MIM et ASUR présentent l'avantage d'être parmi les modèles les plus descriptifs des spécificités des SIM et de disposer d'une notation permettant de les utiliser pour représenter des solutions intermédiaires en situation de conception. Nous avons donc conduit une étude basée sur un questionnaire après de 24 étudiants novices de chacune de ces deux notations.

Ensuite, nous avons conduit une seconde étude pour appréhender la capacité de novices à générer des éléments de solution en utilisant le modèle ASUR. Nous avons donc conduit une deuxième étude basée sur un questionnaire après de 24 autres étudiants novices de chacune des deux notations. Dans cette étude nous avons comparé la quantité d'éléments générés dans une tâche de résolution de problème dans deux situations : en utilisant des scénarios et en utilisant le modèle ASUR.

Nous complétons ensuite cette étude en proposant un ensemble de techniques de manipulation d'un modèle d'interaction mixte visant à provoquer la génération de solutions alternatives chez les concepteurs. Nous concluons ce chapitre en synthétisant les apports et limites d'une représentation formelle en termes de compréhensibilité et de générativité par des novices. Cette synthèse a donné naissance à un ensemble de prérequis qui ont été injectés dans la méthode MACS.

## 2 ÉTUDE DE LA COMPRÉHENSIBILITÉ PAR DES NOVICES DE DEUX MODÈLES DE L'INTERACTION MIXTE

La compréhensibilité d'un modèle présente un enjeu majeur pour son adoption par des experts du domaine représenté. C'est de plus une caractéristique fondamentale lorsqu'il s'agit d'utiliser ces notations comme langage de référence entre les disciplines.

Ce deuxième enjeu est d'autant plus ambitieux que dans une situation de conception collaborative et créative tel qu'une séance de MACS (cf. Chapitre 4), des non-experts de la notation sont présents. Ces derniers n'ont à priori pas de connaissance préalable des concepts du domaine en question. La notation doit donc non seulement rendre explicite les concepts représentés mais aussi communiquer leur sémantique. Notre objectif final étant d'identifier les moyens pour exploiter les pouvoirs d'une représentation formelle dans une séance de conception collaborative et créative, nous avons conduit par conséquent une étude visant à étudier la compréhensibilité de deux modèles de l'interaction mixte.

La compréhensibilité d'un modèle est relative à l'effort requis pour lire et interpréter correctement un modèle (Moody et al., 2003). Toutefois les processus cognitifs relatifs à l'interprétation et l'effort mental sont difficiles à observer (Patig, 2008).

Dans cette voie, (Aranda, Ernst, Horkoff, & Easterbrook, 2007) ont proposé un cadre à l'évaluation de la compréhensibilité de modèles logiciels (e.g. UML). L'étude présentée ci-après s'inspire de ce cadre pour élaborer un questionnaire visant à évaluer la compréhension d'une représentation au travers de quatre dimensions : 1) l'exactitude de la compréhension, 2) le temps perçu pour répondre, 3) la confiance subjective et 4) la difficulté perçue.

Dans cette étude, nous nous sommes inspirés de ce cadre pour étudier la compréhensibilité de deux modèles de l'interaction avec un SIM : ASUR et MIM. À l'exception du facilitateur les participants à un MACS ne sont pas supposés être des experts du modèle. Par conséquent, nous avons étudié la compréhensibilité de ces modèles par des novices. L'objectif de cette première étude est d'identifier si des non experts seront capables de comprendre les éléments de solutions exprimés par un modèle, globalement puis concept par concept.

Dans la partie suivante, nous présentons tout d'abord la structure du questionnaire, les cas d'études utilisés pour instancier les modèles, et le protocole mis en œuvre. Nous présentons ensuite l'analyse que nous avons conduits et les premiers résultats quant à la compréhensibilité de ces deux modèles.

### 2.1 Structure du questionnaire

Le questionnaire est organisé en deux parties. Chacune de ces parties vise respectivement à évaluer la compréhension globale et la compréhension détaillée d'un modèle. La compréhension globale d'un modèle correspond à la compréhension d'une instance de modèle dans sa globalité. La compréhension détaillée est relative à la compréhension séparée de chacun des concepts. La structure globale du questionnaire est synthétisée dans la Figure 58.

La première partie est elle-même découpée en deux exercices, un pour chaque modèle (i.e. MIM et ASUR). Dans ces deux premiers exercices, nous avons demandé aux sujets de lire une instance de modèle et de décrire la compréhension qu'ils en ont sous forme de scénario. Ces exercices étaient chacun suivis de questions subjectives sous forme d'échelles de Likert (i.e. de 1 à 10, 10 étant le meilleur) et de questions à choix multiples visant à estimer la confiance, la facilité, la rapidité et la compréhensibilité perçues.

La seconde partie est également découpée en deux exercices, un pour chaque modèle. Ces exercices consistent en un ensemble de questions à choix multiple, chacune étant relative à la compréhension d'un des concepts majeurs du modèle.

Bien qu'ASUR et MIM puissent être dessinés à la main, nous avons choisi dans la totalité du questionnaire

de présenter des modèles édités par ordinateur pour limiter l'introduction de variables additionnelles pouvant affecter la compréhension d'un travail réalisé à la main.



Figure 58 : Structure du questionnaire

## 2.2 Cas d'études utilisés

Dans la partie 1, deux cas d'études ont été utilisés. Ces derniers ont tous été modélisés avec MIM et avec ASUR. Pour éviter les biais potentiels liés aux connaissances relatives à un domaine d'application particulier, les cas d'études étaient des applications destinées au grand public.

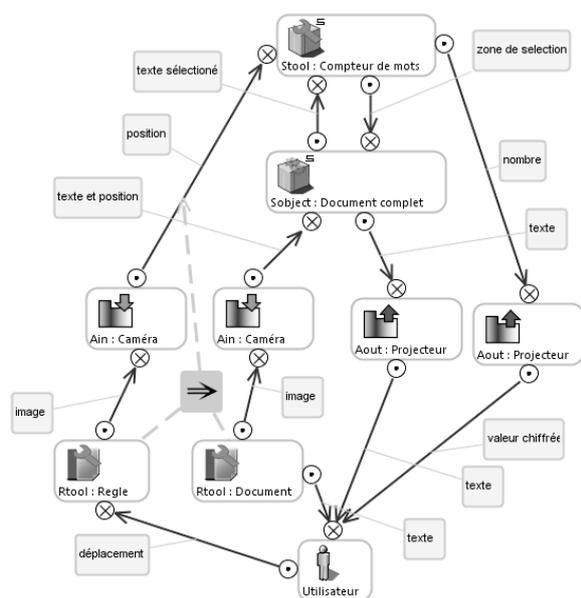


Figure 59 : modèle ASUR du cas d'étude 1, le bureau augmenté

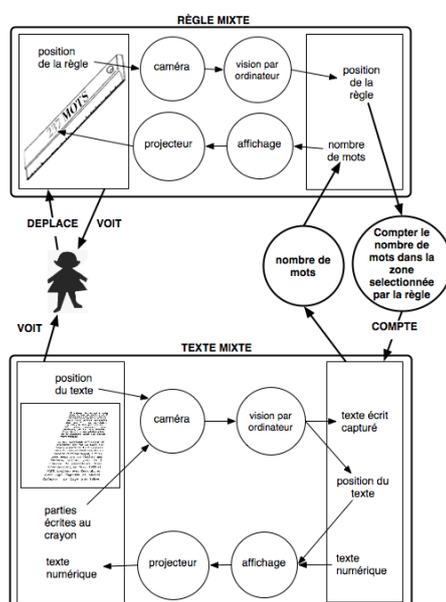


Figure 60 : modèle MIM du cas d'étude 1, le bureau augmenté

Le premier cas d'étude est une application d'édition de document augmenté (Wellner, 1993) et est décrit sur la Figure 59 avec ASUR et sur la Figure 60 avec MIM. Dans cette application, l'utilisateur est face à un document physique sur lequel sont perceptibles simultanément du texte écrit au crayon et du texte numérique vidéoprojeté. L'utilisateur peut positionner une règle physique sur le document pour compter

les mots. Une caméra est utilisée pour déterminer la position du document, le texte au crayon et la position de la règle. Les mots situés au-dessus de la règle sont comptés et la comptabilisation est renvoyée à l'utilisateur via un vidéoprojecteur.

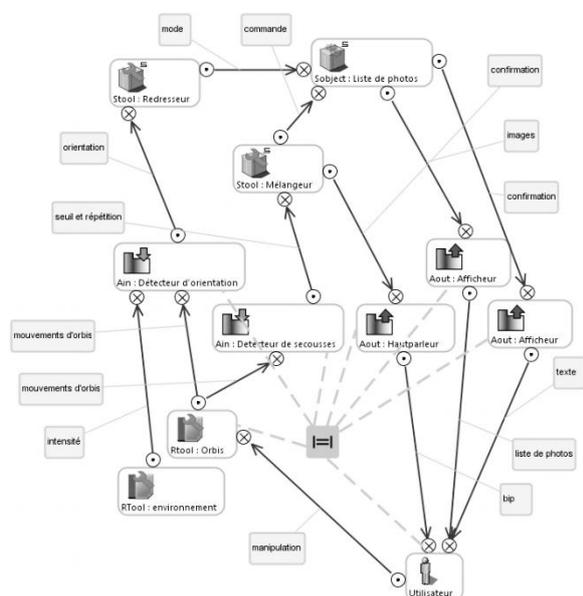


Figure 61 : modèle ASUR du cas d'étude 2, ORBIS, le gestionnaire de photo

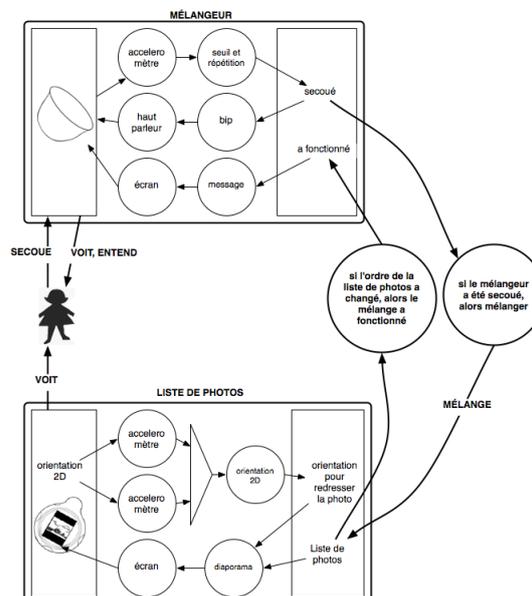


Figure 62 : modèle MIM du cas d'étude 2, ORBIS, le gestionnaire de photo

Le second cas d'étude appelé ORBIS, est un gestionnaire de photo tangible (Coutrix & Nigay, 2008) ; il est décrit avec ASUR sur la Figure 61 et avec MIM sur la Figure 62. Ce système permet de visualiser des diaporamas photo sur un petit écran. Lorsque l'utilisateur tourne le système la photo couramment affichée est automatiquement réorientée. Si l'utilisateur secoue ORBIS, un accéléromètre capte le mouvement et déclenche le mélange de la liste de photos. Un signal sonore est ensuite émis pour informer l'utilisateur que le mélange a été effectué. Puis un petit message de validation apparaît sur un second écran.

### 2.3 Protocole

Pour éviter les effets d'apprentissage dans la première partie du questionnaire, nous avons conçus deux questionnaires et contrebalancé les exercices et les modèles utilisés en carré latin (Tableau 5). Par conséquent, les participants du groupe A étaient confrontés en premier à la lecture d'un modèle MIM représentant l'application de bureau augmenté (Figure 60) puis à un modèle ASUR représentant l'application ORBIS (Figure 61). A contrario, les participants du groupe B étaient confrontés en premier à la lecture d'un modèle ASUR représentant l'application de bureau augmenté (Figure 59) puis à un modèle MIM représentant l'application ORBIS (Figure 62).

	GROUPE A	GROUPE B
CAS D'ÉTUDE 1: BUREAU AUGMENTÉ	MIM (Figure 60)	ASUR (Figure 59)
CAS D'ÉTUDE 2: ORBIS	ASUR (Figure 61)	MIM (Figure 62)

Tableau 5 : Carré latin de la première partie du questionnaire. L'ordre des modèles est contrebalancé et l'ordre des cas d'études est fixe

Pour cette étude, 24 étudiants en Master 2 spécialité Interaction Homme Machine ont rempli les questionnaires. Les sujets étaient âgés de 23 à 31 ans et la

moyenne d'âge des sujets étaient de 26 ans. Ces étudiants étaient sensibilisés aux problématiques traditionnelles du domaine de l'IHM mais n'avaient aucune connaissance préalable des modèles et des cas d'étude présentés. Les 24 étudiants ont rempli le questionnaire au même moment et dans la même salle. Un observateur était en charge de vérifier qu'ils ne communiquent pas entre eux. En moyenne, un temps d'1h34min a été nécessaire pour remplir ce questionnaire dans sa totalité ( $M=1h34min$ ,  $SD=0h14min$ ).

Dans la partie suivante nous présentons les métriques et les techniques d'analyses que nous avons utilisées ainsi que les résultats de cette étude.

## 2.4 Analyse & résultats

A l'issue de l'étude, les questionnaires ayant été remplis sur papier, nous avons tout d'abord procédé à un prétraitement des données. Tout d'abord, nous avons établi une *bible de codification* qui attribue pour chacune des questions, un code pour chaque réponse possible. Si aucun code n'est attribuable l'intégralité de la réponse est retranscrite et sera soumise à des analyses plus qualitatives (e.g. analyse thématique). Puis l'ensemble des données du questionnaire sont *mises à plat* ; c'est-à-dire saisie informatiquement et codifiées selon la bible préalablement établie. Sur la base de ce prétraitement, nous avons analysé les données et présentons ci-dessous nos résultats en deux parties distinctes : compréhension globale & compréhension détaillée.

### 2.4.1 Compréhension globale

#### 2.4.1.1 Procédure d'analyse

Premièrement, pour évaluer la compréhension par les participants d'un modèle dans sa globalité (i.e. Partie 1 du questionnaire, voir Figure 58), nous avons analysé les scénarios proposés par les sujets. Ces scénarios sont supposés décrire la tâche et les éléments d'interaction représentés par le modèle proposé. Pour analyser les scénarios nous avons procédé à une analyse thématique.

Le but de l'analyse thématique est de repérer un ensemble d'unités sémantiques ou concepts au sein d'un énoncé. Via cette technique, il est possible de produire une représentation formelle du contenu d'un énoncé. Une analyse thématique s'effectue en deux étapes : 1) la définition des concepts et 2) leur repérage au sein du ou des énoncés.

Dans notre cas, nous avons défini indépendamment des modèles présentés (i.e. ASUR et MIM), un ensemble de concepts représentant la tâche de l'utilisateur ainsi que les éléments de la situation interactive dans le système du bureau augmenté et dans le système ORBIS. Ces derniers sont listés dans le Tableau 6 pour chacun des cas d'étude.

Nous avons ensuite typé ces concepts pour créer des catégories. Pour y parvenir, nous avons tout d'abord établi un référentiel entre les modèles ASUR et MIM. En effet, indépendamment de tous les modèles de l'interaction mixte, un SIM est composé de quatre types de concepts :

1. ceux appartenant au monde physique (Eléments physiques dans le Tableau 6),
2. ceux appartenant au monde numérique (Eléments numériques dans le Tableau 6),
3. ceux appartenant à la frontière entre ces deux mondes (i.e. capteurs, effecteurs, ou divers dispositifs permettant la communication physique/ numérique) (Dispositifs dans le Tableau 6) et
4. ceux servant à franchir cette frontière et s'appuyant sur l'emploi de langages/modes de communication pour échanger des données (Langage dans le Tableau 6).

A ces types nous avons ajouté la tâche principale (Tâche dans le Tableau 6), qui représente le but à atteindre via l'usage des applications de ces deux cas d'étude.

CONCEPTS DU SYSTÈME DE BUREAU AUGMENTÉ	TYPE DE CONCEPT	CONCEPTS DU SYSTÈME ORBIS	TYPE DE CONCEPT
Document numérique différent du texte physique	Élément numérique	Liste de photos	Élément numérique
Utilisateur	Élément physique	Utilisateur	Élément physique
Document physique (texte écrit au crayon) différent du texte numérique	Élément physique	Orbis	Élément physique
Règle	Élément physique	Ecran (message)	Dispositif
Caméra (dispositif de capture du texte)	Dispositif	Ecran (photos)	Dispositif
Caméra (dispositif de capture de la règle)	Dispositif	Haut-parleur	Dispositif
Projecteur document	Dispositif	Accéléromètre / Détecteur de secousses	Dispositif
Projecteur Nombre de mot	Dispositif	Accéléromètres / Détecteur d'orientation	Dispositif
Capture du contenu du document physique	Langage	Capture de l'orientation d'Orbis dans le plan vertical	Langage
Capture de la position du document physique	Langage	Affichage de photos	Langage
Utilisateur manipule la règle	Langage	Orientation capturée sert à redresser l'affichage des photos	Langage
Capture de la position de la règle	Langage	Utilisateur manipule Orbis	Langage
Règle sélectionne des mots	Langage	Capture des secousses d'Orbis	Langage
<b>Comptage du nombre de mots</b>	<b>Tâche</b>	<b>Mélange des photos</b>	<b>Tâche</b>
Affichage du nombre de mots	Langage	Secousses captées déclenche le mélange	Langage
Affichage sur la règle	Langage	Secousses captées déclenche le message de confirmation	Langage
Affichage du document numérique	Langage	Secousses captées déclenche le bip	Langage
Affichage du document numérique spatialement cohérent avec le document physique	Langage		Langage

**Tableau 6 : Concepts attendus pour chacun des cas d'étude et devant être repérés via l'analyse thématique dans les scénarios produits par les participants**

Pour améliorer la flexibilité de notre analyse nous n'avons pas analysé binaires les concepts dans l'énoncé, nous avons adopté une graduation constituée de quatre niveaux :

1. Bien identifié : le texte du scénario mentionne le concept et la sémantique associée est correcte
2. Non précis : le texte du scénario mentionne le concept et la sémantique associée est ambiguë
3. Inexact : le texte du scénario mentionne le concept et la sémantique associée est incorrecte
4. Non-identifié : le texte du scénario ne mentionne pas le concept

L'identification de ces concepts dans les scénarios produits a tout d'abord été réalisée séparément par deux juges différents. Puis les codages respectifs de chacun des juges ont été croisés, révisés et corrigés jusqu'à l'obtention d'un consensus quant à l'identification des concepts dans les scénarios.

### 2.4.1.2 Résultats

Pour les deux cas d'études, les deux modèles combinés et les 24 participants, au total 840 concepts ont été analysés (i.e. 420 pour ASUR et 420 pour MIM).

Comme l'illustre la Figure 63, parmi les 840 concepts analysés, les concepts repérés dans les scénarios étaient majoritairement correctement utilisés (i.e. bien identifié) ou non-présents (i.e. non identifié). En définitive, peu de concepts ont été utilisés à contre-sens (i.e. inexact) ou de manière ambiguë.

Ce constat constitue un premier indicateur en termes de compréhension des modèles présentés. Le pourcentage de concepts non-précis et inexacts étant faible (6,8% pour les concepts non précis et 2,02% pour les concepts inexacts), nous pouvons raisonnablement établir que l'interprétation de cas d'étude exprimés au travers de ces modèles laisse peu de place à l'ambiguïté. Nous distinguons toutefois une forte proportion de concepts qui n'ont pas été mentionnés dans les scénarios (40,71 % de concept non identifiés contre 50,48% de concepts bien identifiés, pour les deux modèles confondus). En conséquence nous nous sommes alors intéressés au type des éléments qui ont été identifiés.

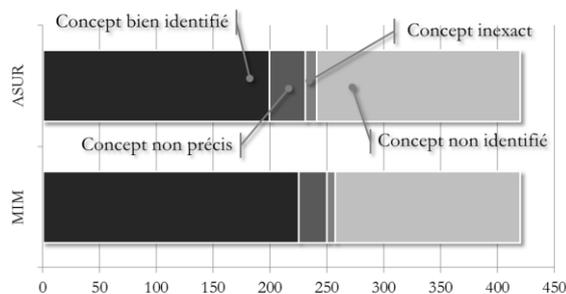


Figure 63 : Quantité de concepts repérés dans les textes des scénarios pour chacun des modèles

Dans le reste de l'analyse, nous avons comptabilisé comme identifiés tous les concepts ayant été bien identifiés et identifiés comme non-précis. En moyenne, les participants ont mentionnés dans les scénarios plus de la moitié des concepts suite à la lecture de chacun des modèles ( $M=59,68\%$   $SD=14,38\%$  pour MIM et  $M=55,05\%$   $SD=20,14\%$  pour ASUR).

Parmi ces concepts identifiés nous avons cherché à connaître la distribution des concepts bien identifiés et non précis pour les cinq types d'éléments mentionnés ci-dessus : éléments physiques, éléments numériques, dispositifs, langage et tâche. La Figure 64 montre tout d'abord qu'à l'exception de la tâche, l'identification des concepts relatifs aux spécificités des SIM sont globalement identiques via chacune des deux notations.

En effet, les éléments physiques sont particulièrement bien identifiés via chacun des deux formalismes (93,06% pour MIM et 86,81% pour ASUR). Ce taux d'identification est moindre pour les éléments

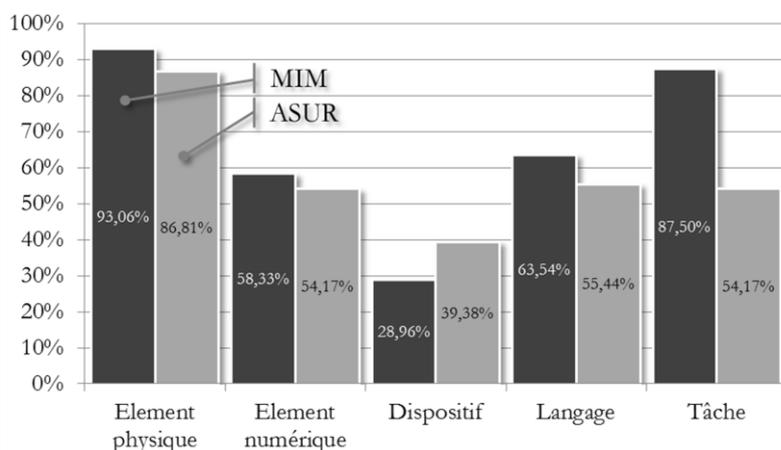


Figure 64 : Pourcentage de concepts bien identifiés et non-précis pour chacun des modèles et indépendamment des cas d'étude

numériques (58,33% pour MIM et 54,17% pour ASUR) et les éléments de langage/communication (63,54% pour MIM et 55,44% pour ASUR) et plus faible quant aux dispositifs (28,96% pour MIM et 39,38% pour ASUR). En ce qui concerne ce dernier résultat nous l'expliquons par le fait qu'il n'est pas nécessaire de mentionner les dispositifs technologiques utilisés dans le système pour définir l'action de l'utilisateur. En

conséquence les participants ne l'ont pas nécessairement retranscrit.

Enfin, nous observons une différence notable entre les deux modèles quant à l'identification de la tâche. En effet, les participants semblent avoir mieux perçus la tâche via MIM que via ASUR. Nous expliquons cette différence par l'écart de représentation qui s'établit entre MIM et ASUR : la présence de dessins. En effet, dans le modèle MIM les éléments physiques manipulés par l'utilisateur sont dessinés alors qu'ils sont représentés via une icône et du texte dans ASUR. De manière surprenante, ces dessins n'impactent que très peu l'identification des éléments physiques mais nous pensons qu'ils aident à la compréhension de la tâche de l'utilisateur.

Pour compléter ces premiers résultats nous avons ensuite analysé la confiance, la facilité, la rapidité et le niveau de compréhension perçus par les participants à l'issue de l'écriture de ces scénarios. La confiance et la compréhension perçue étaient évaluées au travers d'une échelle de Likert de 1 à 10 et la facilité et la rapidité étaient évaluées au travers d'une question à choix multiple comportant quatre niveaux (pour la rapidité : très rapidement, plutôt rapidement, plutôt lentement, très lentement et pour la facilité : très facilement, plutôt facilement, plutôt difficilement, très difficilement). Là encore, les résultats indiquent un bilan mitigé.

En effet, pour MIM comme pour ASUR les participants ont en moyenne précisés avoir une confiance meilleure dans la compréhension globale du modèle ASUR ( $M=5,44$   $SD=2,70$  pour MIM et  $M=5,9$   $SD=2,5$  pour ASUR sur une échelle de Likert de 1 à 10, 10 étant la meilleure confiance perçue). La différence entre les deux modèles est toutefois extrêmement limitée et nous conduit à rester prudents sur l'interprétation de ces résultats.

En ce qui concerne la facilité perçue et la rapidité perçue, les résultats indiquent une préférence nette pour le modèle MIM. En effet, 79% des participants ont mentionné avoir répondu plutôt facilement et 88% avoir répondu plutôt rapidement. A contrario, pour ASUR la tendance est inversée avec 71% des participants ayant mentionnés avoir répondu plutôt difficilement et 65,5% avoir répondu plutôt lentement.

Enfin, en termes de compréhension perçue, les résultats sont aussi mitigés mais semble indiqués une meilleure compréhension perçue pour MIM que pour ASUR ( $M=6,78$   $SD=1,65$  pour MIM et  $M=5,04$   $SD=2,2$  pour ASUR sur une échelle de Likert de 1 à 10, 10 étant la meilleure compréhension perçue).

Cette analyse de la compréhension globale des modèles nous apporte donc un ensemble d'indices quant à la compréhensibilité de ces deux modèles de l'interaction mixte et à l'effort cognitif perçu par les participant dans leur lecture.

Globalement les résultats indiquent que les participants comprennent une majorité de concepts avec l'un et l'autre des deux modèles. Ce résultat apparait plutôt satisfaisant car rappelons que les participants n'avaient aucune connaissance préalable de ces modèles et pas de connaissances particulières dans la conception des SIM. Mais avant de conclure sur ces résultats nous proposons de compléter cette étude avec l'analyse de la compréhension détaillée de ces deux modèles d'interaction mixte.

## 2.4.2 Compréhension détaillée

### 2.4.2.1 Procédure d'analyse

L'objectif de la partie 2 du questionnaire était d'étudier la compréhension des concepts clés constituant chaque modèle. Pour y parvenir, les questions n'étaient pas liées à un cas d'étude particulier, mais à la sémantique des représentations associées pour chacun des concepts. Toutefois pour rappeler la place des concepts dans une application concrète, un exemple de chaque modèle était fourni.

Cette mesure de la compréhension détaillée des modèles était composée de deux parties. La première partie était relative à MIM et la deuxième à ASUR. Nous n'avons pas contrebalancé l'ordre de ces deux parties car les concepts des modèles sous-jacents ne sont pas les mêmes. En effet, la différence ces deux

modèles repose sur le paradigme adopté. MIM décrit un SIM en termes d'objets mixtes et de modalités. En revanche, ASUR n'utiliser pas la notion d'objets mixtes, mais le concept d'entités.

Dans cette partie du questionnaire les participants devaient répondre à un ensemble de questions à choix multiple, chacune étant relative à une dimension du modèle. Chaque question se composait de cinq réponses dont une seule était correcte. Les questions étaient relatives aux concepts suivants :

MIM	ASUR
Objets mixtes	Entités
Distinction Objet de la tâche/Outil	Distinction Physique/Numérique
Parties physique/numérique	Proximité physique
Modalité	Proximité mixte
Distinction Modalité/Liaison	Flux d'information
Fission de l'information	Propriété du flux d'information
Flux d'information	

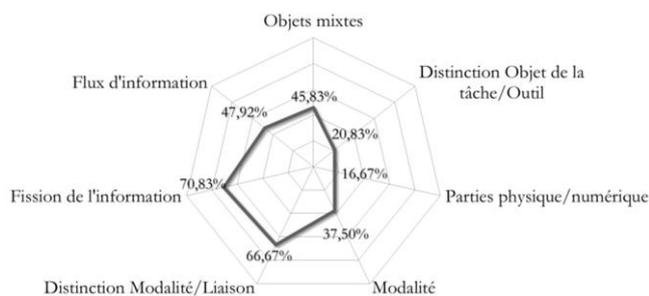
**Tableau 7 : Dimensions abordées dans les questions de compréhension détaillée**

En conséquence, le but de cette partie de l'étude était d'évaluer la signifiante des représentations graphiques adoptées pour chacun des concepts clés de chacun des modèles. Nous avons ensuite comptabilisé la quantité de bonnes réponses à chacune des questions.

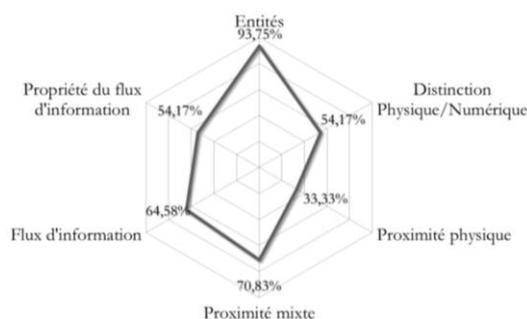
### 2.4.2.2 Résultats

Pour MIM, comme le montre la Figure 65, la fission de l'information et la distinction entre Modalité et Liaison ont été relativement bien comprises (respectivement 70,83% et 66,67%). Les résultats concernant les flux d'information et les objets mixtes, concepts centraux dans le modèle MIM, sont plus mitigés (respectivement 47,92% et 45,83%). Enfin nous pouvons constater que la compréhension des représentations des modalités, des parties physiques et numériques et de la distinction entre objet de la tâche et outil d'interaction est quant à elle plutôt faible (respectivement 37,50%, 16,67% et 20,83%).

Pour ASUR, comme le montre la Figure 66, les concepts ont été majoritairement correctement interprétés. En effet, le concept d'entités, central dans le modèle ASUR a été très bien compris (93,75%). Vient ensuite, une compréhension correcte pour le flux d'information, les propriétés de ces flux et la distinction entre entités physiques et numérique (respectivement 64,58%, 54,17% et 54,17%). Enfin nous noterons une différence notable entre la compréhension de deux concepts relatifs aux groupes dans le modèle ASUR. En effet, la proximité mixte (i.e. lien sémantique entre une entité physique et une entité numérique) a été relativement bien comprise alors que la proximité physique (i.e. relation physique entre deux entités) a été faiblement comprise (respectivement 70,83% et 33,33%).



**Figure 65 : Pourcentage de bonnes réponses aux questions de compréhension de chacune des dimensions du modèle MIM**



**Figure 66 : Pourcentage de bonnes réponses aux questions de compréhension de chacune des dimensions du modèle ASUR**

En conclusion cette deuxième partie de l'étude nous renseigne tout d'abord sur la qualité des représentations adoptées pour les concepts clefs des deux modèles. Contrairement à la compréhension globale, les résultats indiquent ici que globalement les concepts du modèle ASUR sont mieux compris que ceux du modèles MIM avec une compréhension moyenne de 61,81% pour ASUR contre 43,75% pour MIM.

De plus, pour chacun des deux modèles nous avons observé des disparités quant à la compréhension individuelle des concepts. Certains sont particulièrement bien interprétés (e.g. les entités dans ASUR) alors que d'autres sont mal ou peu compris (e.g. les parties physiques et numériques dans MIM). Pour optimiser la compréhension de novices, les représentations des concepts les moins compris devront être retravaillées dans une future version de ces modèles.

Dans la partie suivante nous faisons le bilan de cette première étude en intégrant les résultats de l'analyse globale et détaillée. Puis nous tirons un ensemble de lignes directrices pour l'introduction et l'usage du modèle d'interaction durant un MACS.

## 2.5 Conclusions sur la compréhensibilité de ces modèles des SIM

A l'issue de cette étude nous avons une vision de la compréhensibilité de deux modèles de l'interaction mixte. Rappelons que ces deux modèles sont des représentations formelles candidates à l'intégration dans une séance de conception collaborative. De ce fait nous focalisons notre analyse sur les apports et les limites de ces représentations en situation collaborative en termes de compréhension.

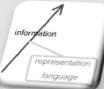
	<b>Utilisateur</b> du système		<b>Proximité mixte</b> (un élément numérique et un élément physique se comporte de manière identique) Exemple : la tasse à café représente le pointeur à l'écran
	<b>Objet Physique Central</b> (sans lequel la tâche n'a pas de sens) Exemple : document papier à compléter, maquette, ...		<b>Proximité physique</b> (2 éléments physiques sont solidaires) Exemple : la camera est fixée sur la lampe torche
	<b>Outil Physique, instrument</b> Exemple : stylo, aiguille, lampe torche, tasse à café, ...		<b>Action</b> (Si 2 éléments se rapprochent une action est déclenchée) Exemple : rapprocher le livre de l'écran exécute le traducteur
	<b>Capteur</b> (Dispositif d'interaction en entrée du système) Exemple : camera, capteurs divers, ...		<b>Effecteur</b> (Dispositif d'interaction en sortie du système) Exemple : écran, haut-parleur, bras haptique, ...
	<b>Objet numérique Central</b> (sans lequel la tâche n'a pas de sens) Exemple : environnement virtuel, film vidéo, musique...		<b>Flux d'information</b> (nom d'une tâche, d'une information) Représentation : Déplacement, graphe, scène 3D, ... Medium : lumière, force, pression, numérique, ... Langage : geste, mouvement, entier, texte, ... Dimension : 1D, 2D, 3D, ...
	<b>Outil numérique</b> (capable de traiter l'information) Exemple : calculateur, convertisseur, générateur, ...		<b>Organe de perception / mécanisme de capture</b> Exemple utilisateur : oreilles, peau, yeux, ... Exemple : lentille, capteur piézoélectrique, ...
	<b>Information numérique</b> Exemple : feedback, information numérique diverse, ...		<b>Organe d'action / mécanisme d'action</b> Exemple utilisateur : bras, jambes, doigts, bouche, ... Exemple : moteur, ressort, vibreur, ...

Figure 67 : Légende du modèle ASUR

Tout d'abord notre analyse de la compréhension globale nous a appris que ces deux modèles de l'interaction étaient interprétables correctement par des non-experts. En effet, nous avons appris qu'en termes de compréhension globale plus de la moitié des concepts exprimés dans les modèles ont été

identifiés par les participants.

Rappelons que les participants n'avaient aucune connaissance préalable ni des modèles ni des cas d'étude présentés ; ce résultat est donc particulièrement encourageant. Par conséquent en situation de conception collaborative et créative pluridisciplinaire nous pouvons anticiper que les participants non-experts du modèle comprennent plus de la moitié des concepts exprimés dans la notation sans aucune formation préalable. Nous pouvons donc raisonnablement considérer que ce niveau de compréhension sera accru à l'issue d'une introduction rapide du modèle et de ses concepts.

Ensuite, notre analyse sur la compréhension détaillée nous a renseignés sur la qualité des représentations des concepts exprimés par chacun des deux modèles. En effet, nous avons appris que certains concepts comme les entités pour ASUR ou encore la fission de l'information pour MIM étaient particulièrement bien compris. A contrario, d'autres concepts, tels que la proximité physique pour ASUR ou la distinction physique/numérique pour MIM sont moins correctement interprétés.

La compréhension détaillée est particulièrement importante car elle impacte la manipulation et l'instanciation des concepts de manière unitaire lors de l'élaboration d'une solution. Par conséquent, nous recommandons l'usage d'une légende du modèle utilisé dans une séance de MACS. Cette légende servira de support à l'expression d'une idée dans la notation du modèle. A titre d'exemple, la Figure 67 illustre une légende que nous avons développée pour le modèle ASUR.

Pour conclure, nous sommes confiants quant à la capacité de novices à comprendre ces deux modèles de l'interaction mixte. En séance de MACS la compréhension du modèle impliqué est primordiale pour assurer son rôle en tant que langage de référence entre les différentes disciplines impliquées.

En conséquence, nous retiendrons de cette étude deux principes de mise en œuvre pour le bon déroulement d'une séance de conception assistée par les modèles : 1) présenter le modèle et ses concepts en amont de la séance et 2) apporter un support tel qu'une légende à l'édition du modèle durant la séance. Dans la partie suivante nous présentons l'étude d'une deuxième caractéristique des modèles d'interaction, la générativité.

### 3 ETUDE DE LA GENERATIVITE DU MODELE ASUR

Dans le Chapitre 4 nous avons démontré en quoi les représentations formelles constituaient un support à l'exploration des possibles. Dans le domaine des SIM, nous avons mis en évidence dans le Chapitre 3 que les modèles opérationnels tels qu'ASUR, MIM ou TAC sont directement exploitables par les concepteurs car ils permettent de décrire des solutions alternatives.

De plus, comme cela est souligné dans (Beaudouin-Lafon, 2004), le but d'un modèle d'interaction est de fournir un cadre pour les concepteurs, et les utilisateurs pour créer des systèmes interactifs. En situation de conception, les modèles d'interaction sont dotés de trois pouvoirs :

1. Le pouvoir descriptif : la capacité à décrire une gamme importante d'interfaces existantes;
2. Le pouvoir évaluatif : la capacité à aider l'évaluation de plusieurs variantes de conception et
3. Le pouvoir génératif : la capacité à aider les concepteurs à créer de nouveaux designs.

D'un point de vue théorique, si ces modèles constituent un support à l'exploration de l'espace de conception, il est nécessaire de vérifier de quelle manière tirer profit de cette faculté.

Dans cette partie nous nous intéressons au pouvoir génératif d'un modèle des SIM. Comme le précise (Beaudouin-Lafon, 2004), le pouvoir génératif ne vise pas la possibilité d'un ordinateur à générer automatiquement des solutions mais plutôt d'aider les concepteurs à explorer des espaces de conception riches et variés.

A notre connaissance, à ce jour aucune étude visant à étudier la générativité d'une représentation formelle n'a été conduite dans le domaine de l'IHM. En conséquence nous avons adopté une approche exploratoire pour éprouver cette propriété. Pour y parvenir, notre approche est divisée en deux parties. Une première partie présente une étude exploratoire visant à évaluer la capacité du modèle à assister des novices à produire des alternatives à une situation d'interaction mixte.

Les résultats de cette étude empirique, nous a conduit à définir trois techniques permettant d'opérationnaliser la générativité d'un modèle de l'interaction mixte. Nous illustrons ensuite l'usage de ces techniques via l'emploi du modèle ASUR sur deux cas d'étude.

Mais avant d'entrer dans le détail de ces deux études, nous proposons de revenir sur les principes constitutifs du modèle ASUR, représentation formelle dont nous avons étudié la générativité.

#### 3.1 ASUR : définitions & principes de base

Le modèle ASUR (Gauffre & Dubois, 2011) vise à décrire des situations d'interaction mixte sous la forme d'un ensemble d'entités communiquant via des flux d'information. ASUR définit quatre grands types d'entités :

1. les entités « S » représentent les concepts numériques du domaine, incluant des spécificités computationnelles et des capacités de stockage,
2. les entités « U » représentent l'utilisateur du système,
3. les entités « R » représentent les objets physique prenant part dans l'interaction réalisant la tâche et enfin
4. les entités « A » représentent les adaptateurs, dispositifs liant les espaces numériques et physiques en entrée (capteurs) comme en sortie (effecteurs).

Chacune de ces entités est de plus caractérisée par sa localisation dans l'espace. Les flux d'informations visent à exprimer l'information circulant entre ces quatre grands types d'entités les entités. Ces flux sont caractérisés par leur forme de langage, leur médium de communication, leur dimension, la représentation de l'information utilisée, etc.

Pour finir, ASUR propose un ensemble de groupes permettant d'exprimer des aspects spécifiques à l'interaction mixte. Par exemple, la proximité physique entre entités exprime le fait que deux entités sont physiquement indissociables l'une de l'autre pour que la situation d'interaction ait lieu. La proximité mixte exprime le fait qu'une entité numérique ait un fort ancrage avec une entité numérique en termes de comportement et/ou de représentation. Pour finir le déclenchement d'action, permet d'exprimer le fait qu'un flux d'information est actif uniquement dans une certaine configuration physique des éléments.

L'intérêt d'un tel modèle est de permettre la description d'une situation interactive mixte et ce indépendamment des technologies utilisées : l'ensemble des caractéristiques identifiées permet par contre de guider le choix parmi les technologies existantes pour identifier celles répondant aux contraintes décrites par la modélisation.

Dans une optique d'usage de ce modèle dans une séance de MACS (cf. Chapitre 4), nous avons tout d'abord éprouvé le pouvoir génératif de ce modèle via une étude exploratoire basée sur l'emploi d'un questionnaire.

## 3.2 Etude exploratoire de la générativité du modèle ASUR

Cette étude vise à identifier les apports et limites de l'usage d'un modèle par des novices dans une tâche de résolution de problème. En effet, comme nous l'avons développé dans le Chapitre 4, la méthode MACS a été conçue pour faire intervenir différents profils d'une équipe de conception, tous n'étant pas nécessairement des experts du domaine des SIM et de leurs modèles d'interactions. Dans cette étude nous souhaitons vérifier si l'exploration de l'espace de conception est impactée par un modèle des SIM dans une tâche de résolution de problème réalisée par un novice. L'hypothèse était donc la suivante : *La connaissance et la manipulation d'un modèle des SIM impacte la quantité et la nature de solutions produites.*

Nous avons comparé les réponses de novices à une tâche de résolution de problème avant et après l'apprentissage d'un modèle d'interaction. Pour y parvenir, nous avons mis en place un questionnaire comportant un ensemble de tâches de résolution de problème relatives à un SIM.

A partir d'un cas d'étude de SIM, des scénarios illustrant un problème d'interaction ont été proposés aux participants. Ces derniers ont été ensuite invités à résoudre ces problèmes en manipulant deux types de représentation externes : dans un premier temps un scénario, et dans un second temps un modèle de SIM.

### 3.2.1 Structure du questionnaire

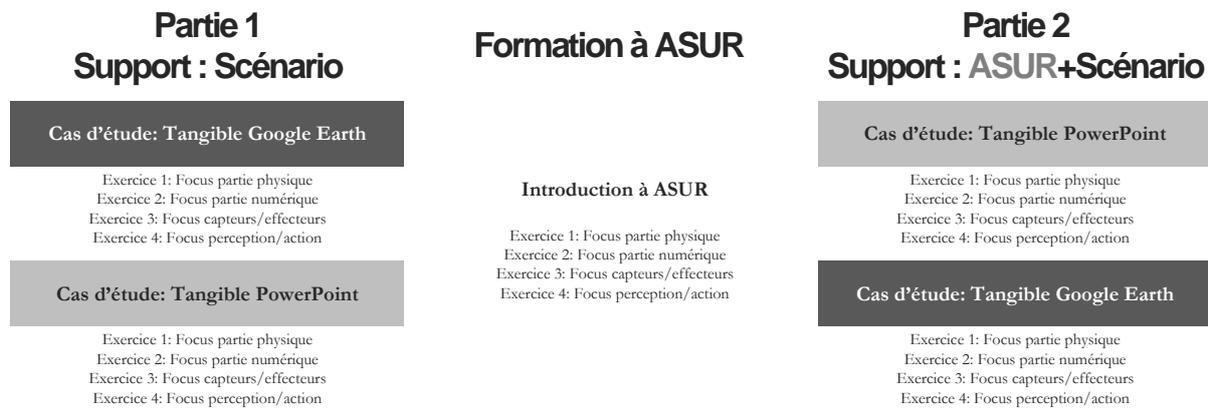
Le questionnaire est composé de trois parties. Chaque partie répond à une structure commune, composée de la présentation d'un cas d'étude suivi de quatre exercices. Chacun des exercices est relatif à une des considérations au cœur d'un SIM, de manière similaire aux considérations présentées dans l'étude précédente dans la partie 2.4.1.1. Pour rappel, ces considérations sont la suivantes : 1) partie physique, 2) partie numérique, 3) capteurs/effecteurs et 4) perception/action. La Figure 68 illustre l'organisation globale du questionnaire et de cette étude.

Dans la partie 1, un cas d'étude est présenté sous la forme d'un scénario illustré (i.e. texte + photos). Puis sur la base de ce cas d'étude, les participants doivent produire un scénario en réponse à chacun des quatre exercices de résolution de problème relatifs aux considérations centrales de l'interaction mixte.

Cette première partie est suivie d'un cours visant à former les participants à ASUR. Pour y parvenir, un expérimentateur a présenté le modèle ASUR sous la forme d'un cours d'environ ½ heure. Puis, suite à cette formation les participants ont eu la possibilité s'exercer une première fois via la notation du modèle sur un second cas d'étude : quatre autres exercices réalisés avec l'animateur consistaient à encoder un SIM avec le modèle ASUR.

Enfin, suite à cette formation la partie 2, présente un troisième cas d'étude sous la forme d'un modèle ASUR et d'un scénario illustré. Au même titre que la partie 1, sur la base de ce cas d'étude, les participants ont répondu à quatre exercices relatifs à des considérations centrales des SIM sur un problème du cas

d'étude à résoudre. Dans cette partie 2, les participants ont répondu sous la forme d'un modèle ASUR et d'un scénario.



**Figure 68 : Structure du questionnaire de générativité du modèle ASUR**

A l'issue de ce questionnaire, un ensemble de questions relatives à la perception des participants est posé. Ces questions sont relatives à la qualité du modèle et à l'assistance qu'il a apportée durant la résolution des exercices posés. Ces questions ont pris la forme d'échelles de Likert de 1 à 10, 10 étant la meilleure note.

Dans la partie suivante nous détaillons les cas d'études et les représentations utilisées dans la partie 1 et dans la partie 2. Puis nous détaillons le protocole de cette étude, les participants et l'organisation du questionnaire en fonction des deux groupes (A et B) mis en place pour contrebalancer l'impact possible des cas d'étude considérés.

### 3.2.2 Cas d'études utilisés

Dans la partie 1 et dans la partie 2, deux cas d'études ont été utilisés. Ces derniers ont tous été modélisés avec ASUR. Pour éviter les biais potentiels relatif aux connaissances relatives à un domaine d'application particulier, les cas d'études étaient des applications destinées au grand public.

Le premier cas d'étude est le système Google Earth Tangible (cf. Tableau 8). Dans ce système décrit en détail dans (Dubois, Truillet, & Bach, 2007), l'utilisateur manipule une planche sur laquelle est dessinée une boussole. La position de la planche est détectée via une caméra et les déplacements de la planche sont répercutés sur le point de vue de la scène 3D représentant la planète Terre. Le point de vue est rendu à l'utilisateur sous la forme d'images satellites texturant un globe 3D.

Le second cas d'étude est une application de pilotage de PowerPoint via l'usage d'un bloc note tangible (cf. Tableau 8). Dans cette application, décrite en détail dans (Gauffre & Dubois, 2011) un utilisateur de PowerPoint dispose d'un bloc-notes interactif pour l'assister durant sa présentation. Chaque fois qu'il tourne une page du carnet, le diaporama affiche directement la diapositive associée sur l'ordinateur portable ainsi que sur le vidéoprojecteur pour l'audience. Les pages sont reconnues via une caméra et un système de reconnaissance de formes qui permet d'identifier la page en question. Pour dérouler les étapes d'animation du diaporama, l'utilisateur peut cliquer sur un capteur de toucher attaché sur le côté du carnet. Le carnet est également équipé d'un mini écran LCD affichant le temps de présentation, l'index de diapositive (diapo courante/nombre de diapo) sous forme de texte.

Le Tableau 8 récapitule les scénarios et les modèles utilisés pour chacun des deux cas d'étude Google Earth Tangible et PowerPoint Tangible. Comme illustré dans la Figure 68, seul le scénario est fourni dans l'étape 1 du questionnaire alors que le scénario et le modèle associé sont fournis dans l'étape 2 du questionnaire.



EXEMPLE DE CONSIGNE DE LA PARTIE 1

**Contexte** : Le bloc-notes pose le problème du lien entre le nombre de diapositives et le nombre de pages du bloc-notes. Il doit y avoir le même nombre de page que de diapositives, donc il faut un bloc-notes par diaporama.

Pour résoudre ce problème, *modifiez le scénario initial (page 2) ci-dessus, proposez un nouveau scénario (ou partie de scénario)* permettant d'effectuer la même tâche mais en rectifiant le problème identifié ci-dessus.

**Indication** : Une technique d'interaction supplémentaire affectant la partie physique est attendue.

EXEMPLE DE CONSIGNE DE LA PARTIE 2

**Contexte** : Le bloc-notes pose le problème du lien entre le nombre de diapositives et le nombre de pages du bloc-notes. Il doit y avoir le même nombre de page que de diapositives, donc il faut un bloc-notes par diaporama.

Pour résoudre ce problème, *modifiez le scénario (ou partie) ainsi qu'une évolution du modèle initial (page 9)* permettant d'effectuer la même tâche mais en rectifiant le problème identifié ci-dessus.

**Indication** : Une technique d'interaction supplémentaire affectant la partie physique est attendue

Tableau 9 : Exemple d'une consigne d'un exercice instancié sur la partie 1 et sur la partie 2 du questionnaire

3.2.3 Protocole

Pour éviter l'effet du cas d'étude sur la générativité nous avons contrebalancé les cas d'étude et les parties en carré latin (Tableau 10). En effet, certains cas d'étude peuvent être plus propices à l'identification de solutions alternatives que d'autres. Par conséquent deux questionnaires ont été conçus et répartis sur deux groupes, respectivement nommé A et B.

24 étudiants en Master 2 spécialité Interaction Homme Machine ont participé à cette étude. Ces étudiants étaient sensibilisés aux problématiques traditionnelles du domaine de l'IHM mais n'avaient aucune connaissance préalable des modèles et des cas d'étude présentés. Les 24 étudiants ont rempli le questionnaire au même moment et dans la même salle. Un observateur était en charge de vérifier qu'ils ne communiquent pas entre eux. Au total un temps de 1h30 heures était accordé pour cette étude, 30 minutes pour chacune des 3 parties. Dans la partie suivante nous présentons les métriques et les techniques d'analyses que nous avons utilisées ainsi que les résultats de cette étude.

	GROUPE A	GROUPE B
PARTIE 1: SCÉNARIO	Google Earth Tangible	Powerpoint Tangible
PARTIE 2: SCÉNARIO+MODÈLE	Powerpoint Tangible	Google Earth Tangible

Tableau 10 : Carré latin des cas d'étude du questionnaire. L'ordre des cas d'études est contrebalancé et l'ordre des supports utilisés pour présenter les cas d'étude et pour répondre aux exercices est fixe

3.2.4 Analyse & résultats

3.2.4.1 Procédure d'analyse

Les réponses dans les questionnaires étaient de deux formes différentes : des scénarios en réponse aux exercices de la partie 1 et des scénarios + des modèles ASUR en réponse à la partie 2.

Pour analyser ces données qualitatives, nous avons procédé à l'extraction et à la classification des concepts constitutifs des réponses des participants. Pour y parvenir, deux juges ont simultanément analysé et classé en accord, les éléments de réponses selon quatre catégories : les éléments physiques, les éléments numériques, les adaptateurs (capteurs/ effecteurs) et les éléments de langage.

Dans cette étude, nous avons toutefois ajouté une cinquième catégorie appelée « autre » pour classer les éléments de réponse ne correspondant à aucune des quatre catégories ci-dessus. Ces catégories sont illustrées dans le Tableau 11.

CATÉGORIES DE CONCEPT	DÉFINITION	EXEMPLES D'INSTANCES
Eléments Physiques	Objets physiques mentionnés dans la réponse.	Planche, sphère, stylet, étiquette, bloc-notes, plateforme, feuille, post-it, etc.
Eléments Numériques	Concepts numériques mentionnés dans la réponse.	Mode de visualisation, information de dénivelé, timer, diaporama, pointeur, widget, etc.
Adaptateurs (capteurs/effecteurs)	Eléments technologiques permettant de traverser la frontière entre le monde physique et le monde numérique.	Ecran, gyroscope, accéléromètre, vidéoprojecteur, caméra, PDA, dalle tactile, etc.
Langage	Eléments d'action, de transfert d'information, en entrée comme en sortie du système.	Afficher le temps, incliner, pointer, dérouler, entourer, cacher, choisir, manipuler, vibrer, etc.
Autres	Eléments constitutifs de la solution n'appartenant pas à une des quatre catégories ci-dessus.	Deux fois, liberté de mouvement, sans danger pour les yeux, etc.

**Tableau 11 : Catégories utilisées pour classer les concepts mentionnés dans les réponses des participants**

A titre d'exemple, le Tableau 12 illustre un exemple de codage d'une réponse d'un participant contenant un scénario ainsi qu'un modèle ASUR.

SOLUTION PRODUITE	CATÉGORIES DE CONCEPTS	INSTANCES D'ÉLÉMENTS IDENTIFIÉS DANS LA SOLUTION
<p>On pourrait imaginer plutôt une seule page sur laquelle l'utilisateur écrit le numéro de la diapo qu'il veut visiter.</p> <p>Une partie de la page lui indique donc en permanence le nombre de page total à travers l'index de la diapositive.</p> <pre> graph TD     Utilisateur -- "écriture du numéro" --&gt; Page     Page -- "numéro" --&gt; Diaporama     Diaporama -- "index" --&gt; Camera     Diaporama -- "suivant" --&gt; Capteur_de_toucher     Capteur_de_toucher -- "clic" --&gt; Diaporama     Diaporama -- "état courant" --&gt; Ecran_LCD     Ecran_LCD -- "index de diapos + temps" --&gt; Utilisateur     </pre>	Eléments Physiques	une page
	Eléments Numériques	diaporama
	Adaptateurs (capteurs/effecteurs)	caméra, capteur de toucher, mini écran LCD
	Langage	écrire le numéro, numéro, index, id numérique, suivant, état courant, index de diapo, clic
	Autres	Indiquer en permanence

**Tableau 12 : Exemple de codage d'une réponse à l'exercice 1 de la partie 2 (modèle ASUR + Scénario) pour le cas d'étude PowerPoint Tangible**

### 3.2.4.2 Résultats

Les résultats montrent tout d'abord que les participants ont globalement tous correctement répondu aux problèmes posés dans chacune des deux parties. En effet, nous avons observé et jugé qu'une grande majorité des solutions générées constituaient une solution répondant correctement au problème (89% pour la partie 1 et 84% pour la partie 2). Ce premier résultat montre donc que l'utilisation du modèle ne nuit pas à l'adéquation entre les solutions et les problèmes de conception proposés. Le focus des participants n'est donc pas détourné du problème de conception lors de la manipulation du modèle.

Puis, comme illustré sur le Tableau 12, nous avons ensuite comptabilisé le nombre d'instances de concepts présents dans chacune des deux parties. Pour les deux cas d'études, les 24 participants et les cinq catégories de concepts, au total 944 instances d'éléments ont été extraites des scénarios et des modèles produits. Dans la partie 1, les 24 participants ont généré au total 431 éléments contre 513 éléments dans la

partie 2, tous cas d'études confondus et exercices confondus. Cette différence correspond à un gain de de 20% d'éléments générés via l'introduction du modèle.

Toutefois, une analyse plus approfondie de ces données nous conduit à mitiger ce premier résultat. En effet, comme le montre la Figure 69, les participants ont généré 11% d'instances en plus pour le cas d'étude Google Earth Tangible sans utiliser le modèle. Cette tendance s'inverse fortement sur le cas d'étude Powerpoint tangible avec un gain d'environ 40% via ASUR.

Ce second résultat nous amène donc à penser que l'utilisation du modèle combiné à un scénario, contribue à se focaliser sur les détails de l'interaction de la solution proposée. Toutefois la différence constatée entre les deux cas d'étude nous incite à rester prudent face à cette conclusion.

Nous avons ensuite analysé les éléments produits par catégorie de concepts (Figure 70). L'usage du modèle semble avoir aidé les participants à produire 23% d'éléments physiques en plus, 60% d'adaptateurs en plus et 21% d'éléments de langage en plus. Toutefois, cette tendance s'inverse pour les éléments numériques avec 17% en moins après l'introduction du modèle.

Ce résultat montre donc un impact globalement positif de l'utilisation du modèle sur la génération de solutions. Notons en particulier que les catégories de concepts privilégiées sont des concepts centraux dans le modèle utilisé. En effet, les éléments physiques, les adaptateurs et les éléments de langage sont les concepts sous-jacents à l'interaction avec un SIM. Or, la génération de ces éléments est justement dynamisée en comparaison aux concepts numériques moins prépondérants pour définir l'interaction avec un SIM. Pour conclure, outre l'effet globalement positif de l'utilisation du modèle sur la génération des éléments en lien avec les concepts exprimés par le modèle, ce troisième résultat soulève donc le possible impact du modèle sur la générativité suscitée.

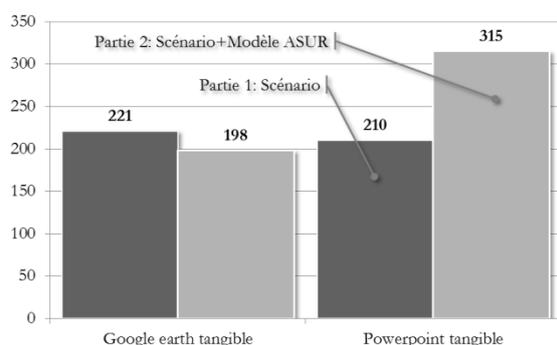


Figure 69 : Nombre d'éléments générés par partie et par cas d'étude

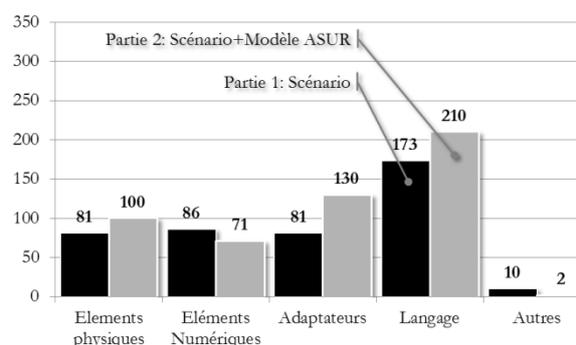


Figure 70 : Nombre d'éléments générés par partie et par catégorie de concepts

Pour consolider ces résultats nous avons enfin analysé les réponses des participants aux questions subjectives posées en fin de questionnaire. Les réponses à ces questions indiquent que les participants n'ont majoritairement pas perçu le modèle comme une aide à l'imagination de nouvelles idées (à la question « *pour imaginer des nouvelles idées, considérez-vous avoir été aidé par le modèle ?* » ;  $M=3,9$   $SD=1,85$  sur une échelle de Likert de 1 à 10, 10 étant la meilleure réponse.).

A contrario les participants ont plutôt perçu le modèle comme une aide à l'expression des idées (à la question « *avez-vous pu exprimer avec le modèle les solutions que vous avez imaginé ?* » ;  $M=6,1$   $SD=1,66$  sur une échelle de Likert de 1 à 10, 10 étant la meilleure réponse.).

Enfin, les participants ont majoritairement trouvé que le modèle est complémentaire au scénario. En effet, à la question « *Pensez-vous que le modèle 1) synthétise, 2) complète ou 3) précise le scénario* », 60% des participants ont mentionnés que le modèle complétait le scénario, 20% ont répondu qu'il le synthétisait, 10% qu'il le complétait et 10% étaient sans avis.

Ces données qualitatives sont en ligne avec les résultats obtenus à l'issue de l'analyse des éléments par catégorie de concepts. En effet, grâce au modèle les participants ont pu exprimer plus facilement un grand nombre d'idées, la notation du modèle exprimant d'elle-même une partie de la sémantique des idées exprimées. Les participants n'avaient donc pas nécessairement besoin d'expliquer textuellement de manière détaillée la signification et le type des concepts encodés, ces informations étant déjà exprimées par la notation du modèle ASUR.

Dans la partie suivante nous concluons sur cette étude, ces résultats et sur les limites identifiées à cette première exploration de la générativité d'un modèle.

### 3.2.5 Conclusions et limites de cette étude préliminaire

Tout d'abord, il est important de rappeler qu'à notre connaissance, à ce jour aucune étude visant à évaluer la générativité d'un modèle d'interaction n'a été conduite. Toutefois des approches récentes similaires ont été conduites dans le domaine du design industriel avec des novices. Par exemple, une récente étude a montré que l'introduction d'un ensemble d'attributs (e.g. concurrence, continuité, prédictibilité, distance et vitesse de mouvement, etc.) dans une tâche de conception aidait les concepteurs à produire des artefacts plus expressifs, plus sophistiqués impliquant de nouveaux matériaux et que de nouveaux styles d'interaction étaient considérés et utilisés (Youn-kyung, Sang-Su, & Da-jung, 2011). L'étude que nous avons conduite ici visait des objectifs similaires mais appliqué au domaine des SIM et via l'introduction d'un modèle d'interaction mixte.

Les analyses que nous avons conduites nous ont permis d'éprouver le caractère génératif du modèle ASUR. Tout d'abord, nous avons observé que l'introduction du modèle n'affectait pas la pertinence des réponses proposées mais permettait l'expression d'un nombre plus important d'éléments ( $\approx 20\%$ ). Une analyse plus approfondie nous a montré que le gain de concepts produits par les participants était particulièrement focalisé sur les concepts centraux exprimés par le modèle utilisé (i.e. augmentation de 23% d'éléments physiques, 60% d'adaptateurs et 21% d'éléments de langage).

A ces résultats s'ajoute l'avis des participants. En effet, les participants ont majoritairement considéré le modèle comme une aide à l'expression des idées et comme un complément à l'expression des éléments de solutions. Ces résultats nous invitent donc à penser que *la connaissance et la manipulation d'un modèle d'interaction mixte impacte la quantité et la nature de solutions produites.*

Toutefois compte tenu d'un certain nombre de biais que nous avons identifiés a posteriori de cette étude, nous restons prudents quant à ces résultats. Tout d'abord comme nous l'avons observé via l'analyse des éléments produits par cas d'étude, ce dernier peut avoir un impact possible sur la génération d'idée. Ce paramètre, insuffisamment contrôlé se traduit par une différence de -10% à +40% d'idées générées en fonction du cas d'étude.

De plus, le protocole expérimental mis en œuvre ne nous permet pas de déterminer si les participants ont élaboré les idées en utilisant le modèle comme support de réflexion ou uniquement comme support d'expression. C'est une limite majeure de cette étude. Une approche expérimentale basée sur l'analyse de protocole (Gero & Mc Neill, 1998) permettrait d'étudier les processus cognitifs impliqués dans de tels exercices de résolution de problème avec et sans modèle. C'est une perspective de recherche importante pour déterminer de manière sûre un gain de générativité via le modèle.

Puis nous pensons que la durée de l'expérimentation a eu un impact important sur les résultats obtenus. En effet, la partie 2 du questionnaire a été remplie après 1 heure de travail. Nous supposons que les participants étaient fatigués lors du remplissage de la partie 2, ce qui peut expliquer le manque de générativité suite à l'introduction du modèle. Diviser cette étude en deux temps aurait été plus efficace.

Malgré ces biais, cette étude nous a permis de montrer qu'avec ou sans l'usage du modèle ASUR les participants étaient capables de générer des alternatives. L'introduction du modèle n'a donc pas bridé

pas la générativité des participants.

De plus, même si cela n'était pas l'objectif premier de cette étude, nous avons pu observer dans la partie 2 que 96% des participants ont utilisés la notation du modèle pour exprimer leurs idées. Seul un participant sur 24 n'a pas utilisé la notation dans sa réponse. Cette observation est un indicatif fort sur la capacité de novices à utiliser le modèle pour exprimer leurs idées dans la notation du modèle et donc sur la possibilité pour le modèle de jouer le rôle de support à l'expression des idées dans une séance de MACS. Les études de séance de MACS en situation réelles présentées dans le chapitre 6 confirmeront d'ailleurs cette assertion.

En conséquence, dans l'état actuel de ce travail de recherche, nous pensons que des novices ne peuvent pas tirer pleinement profit du pouvoir génératif d'un modèle comme ASUR. Pour tirer profit des dimensions exprimées par le modèle dans l'exploration des possibles, l'introduction du modèle ne suffit pas. Pour ce faire, nous avons développé un ensemble de techniques permettant d'exploiter plus méthodiquement la générativité du modèle. Nous proposons donc dans la partie suivante de définir ces techniques et de les illustrer sur deux cas d'étude différents. De cette manière nous illustrons comment l'espace de conception peut être exploré systématiquement en manipulant le modèle.

### 3.3 Approche théorique de la générativité du modèle ASUR

Dans cette partie, nous définissons tout d'abord trois techniques de générativité, puis nous les illustrons sur deux exemples d'applications et montrons comment générer de manière méthodique des solutions alternatives à une situation d'interaction mixte.

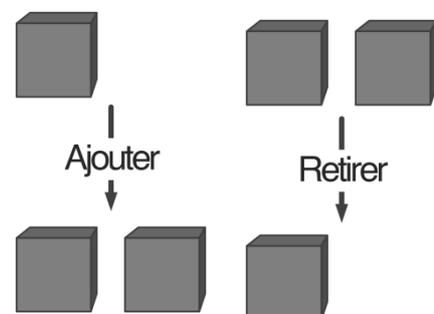
#### 3.3.1 Définition de trois techniques de générativité

Pour opérationnaliser l'exploration systématique de l'espace de conception au travers d'un modèle des SIM nous avons identifié trois techniques élémentaires. Ces trois techniques visent à mettre en œuvre un principe d'exploration bien connu en conception dans différents domaines (e.g. design, architecture, etc.) : la technique du « What if ? ».

Cette technique déjà mise en œuvre dans certaines activités de conception tel que le design collaboratorium (Bødker & Buur, 2002) consiste à suggérer des modifications sur une solution en cours de conception. Ainsi dans une discussion, ce principe prendra la forme d'une question du type « et si nous modifions telle partie ? » ou encore « et si on ajoutait ça ? ». Dans le domaine de l'interaction mixte, nous avons identifié trois types de modifications :

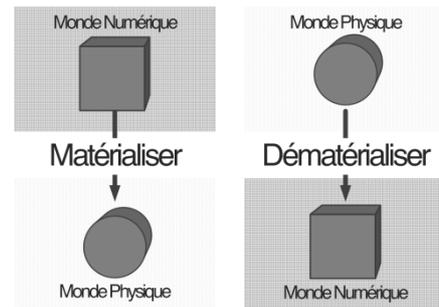
*Ajouter/Retirer des Eléments* : Cette technique consiste à introduire ou à retirer un élément dans la situation interactive.

*Exemple* : Ajouter un intermédiaire physique entre l'utilisateur et une surface tactile, Ajouter d'un dispositif de rendu pour envisager de nouvelle modalité d'interaction en sortie, Retirer un intermédiaire physique ou un feedback, etc.



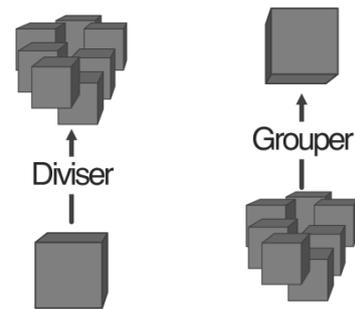
*Matérialiser/Dématérialiser des Eléments* : Cette technique consiste à matérialiser un concept du monde numérique pour le transformer en un objet physique ou inversement à dématérialiser un objet physique en un concept numérique.

*Exemple* : Matérialiser une palette de dessin numérique en palette physique, Dématérialiser un outil tangible en widget numérique, etc.



*Diviser/Grouper des Eléments* : Cette technique consiste soit à sélectionner plusieurs éléments constitutifs de la situation interactive et à les regrouper en un seul, soit à sélectionner un élément constitutif de la situation interactive et à le diviser en plusieurs.

*Exemple* : Diviser un objet physique remplissant plusieurs fonctionnalités en plusieurs objets remplissant une fonctionnalité, Grouper, des widgets numériques en un seul outil multifonction, Grouper des modalités de rendu en une seule modalité plus expressive, etc.



Dans une situation concrète, l'application de ces transformations requiert toutefois une certaine expertise car il est nécessaire d'identifier un potentiel de variation sur une solution. C'est en partie pour cette raison que nous recommandons l'intervention d'un expert du modèle en tant que facilitateur de la séance d'un MACS. Dans les parties suivantes nous illustrons comment ces techniques peuvent être appliquées à des situations réelles.

### 3.3.2 Application de trois techniques de générativité

Cette sous-section est découpée en deux parties. Tout d'abord nous définissons les principes de base d'ASUR (Gauffre & Dubois, 2011), le modèle des SIM qui nous servira de support à l'illustration des techniques de générativité. Nous avons fait le choix d'utiliser ASUR pour deux raisons majeures. Premièrement, comme nous l'avons montré dans le Chapitre 3, c'est un des modèles les plus descriptifs Du domaine des SIM à ce jour. De plus, l'équipe de recherche dans laquelle ces travaux ont été conduits disposent d'une expertise forte dans l'usage de ce modèle.

Dans la deuxième partie de cette section, nous appliquons séquentiellement nos trois techniques de générativité sur deux cas d'études. L'objectif est d'illustrer comment elles permettent d'explorer l'espace de conception en générant des solutions alternatives.

Les deux cas d'études sélectionnés sont une application permettant de manipuler Google Earth via un gouvernail et l'application de composition musicale Reactable. Nous avons fait le choix de ces deux cas d'étude pour les raisons suivantes :

- Les deux applicationsinstancient une activité concrète et ne se limitent pas à une technique d'interaction générique
- Les deux applications sont grand public et donc ne nécessitent pas de connaissances particulières vis-à-vis d'un domaine
- Les deux applications sont différentes du point de vue du domaine des SIM (i.e. places du monde physique différentes, forme de communication différentes et cohérence entre les monde physique et numérique différente).

Dans les parties suivantes nous définissons tout d’abord ces applications et leur fonctionnement puis nous appliquons nos techniques de générativité séquentiellement.

### 3.3.3 Exemple 1 : générer des alternatives au Google Earth tangible

Pour commencer, nous nous appuyons sur l’application Google Earth Tangible déjà utilisée dans l’étude que nous avons présentée précédemment. Pour rappel, dans ce système l’utilisateur manipule une planche sur laquelle est dessinée une boussole (Figure 71). La position de la planche est détectée via une caméra et les déplacements de la planche sont répercutés sur le point de vue de la scène 3D représentant la planète Terre. Le point de vue est rendu à l’utilisateur sous la forme d’images satellites texturant un globe 3D.

Nous avons choisi ce système comme premier cas d’étude car il implique un nombre limité d’éléments dans la situation interactive ce qui le rend relativement facile à comprendre et à modéliser via ASUR. Bien qu’étant limité, ce nombre d’élément permet tout de même d’exploiter les concepts essentiels du modèle ASUR. A partir de cette première version du système nous montrons maintenant comment en appliquant les techniques de générativité proposée ci-dessus, il est possible de guider la génération systématique de solutions interactives alternatives.

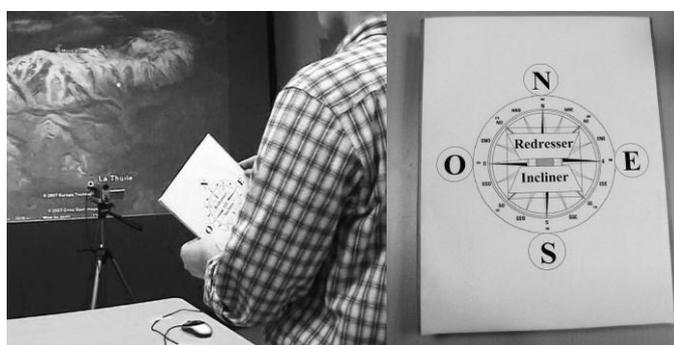


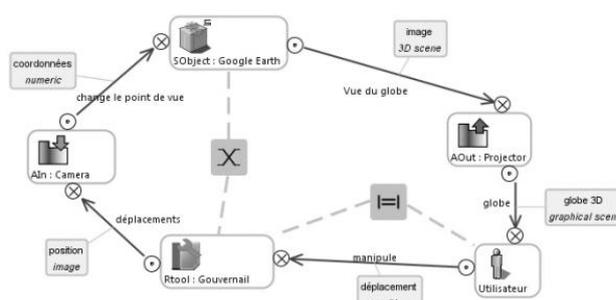
Figure 71 : Photos du système Tangible Google Earth

La démonstration ci-après est organisée comme suit : à partir du modèle représentant la version initiale de l’application Google Earth Tangible, nous allons appliquer successivement les trois types de techniques génératives. A chaque fois qu’une technique est appliquée le nouveau modèle est présenté à droite, l’impact des modifications est entouré en pointillé et l’impact de ces modifications est discuté à gauche.

SOLUTION INITIALE:

Le modèle ci-contre représente la première version du système Google Earth Tangible décrit ci-dessus. Dans ce système le gouvernail permet de contrôler les 4 axes cardinaux pour déplacer le globe 3D.

En conséquence, nous proposons de diviser l’objet physique Gouvernail en 4 et donc d’appliquer une première technique générative.



#### APPLICATION DE LA TECHNIQUE : DIVISER L’OBJET PHYSIQUE GOUVERNAIL

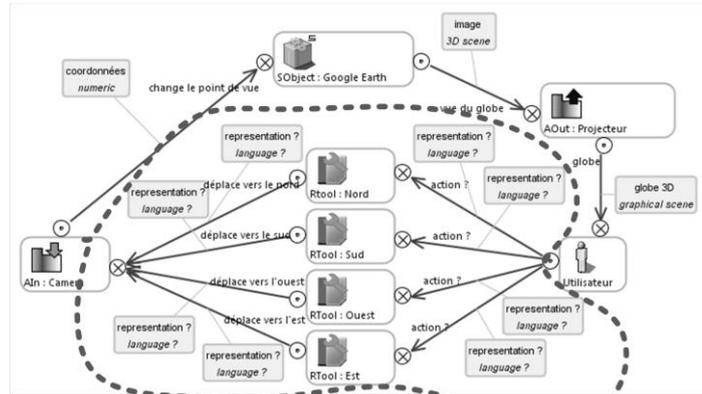
SOLUTION GÉNÉRÉE 1

Une fois la division appliquée sur l'outil physique Gouvernail une toute nouvelle technique d'interaction est générée.

En effet, dans cette version du système l'utilisateur doit manipuler quatre objets physiques différents pour contrôler les quatre axes cardinaux du globe.

Une instanciation potentielle pour ces outils serait par exemple, quatre zones au sol ou encore des objets à placer ou à présenter face à la caméra, etc.

Pour continuer l'exploration des possibles, nous proposons ensuite d'appliquer une seconde technique générative : la dématérialisation.



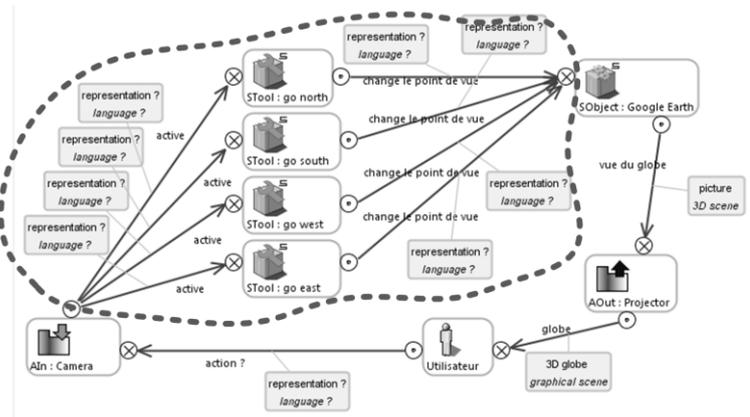
APPLICATION DE LA TECHNIQUE: DÉMATÉRIALISER LES 4 OBJETS PHYSIQUES EN 4 OBJETS NUMÉRIQUES

SOLUTION GÉNÉRÉE 2

Une fois la dématérialisation appliquée, l'interaction entre l'utilisateur et le système est encore une fois complètement modifiée. En effet, les quatre objets physiques se sont transformés en quatre outils numériques.

Ces quatre outils pourraient être des widgets à l'écran qu'il faudrait activer avec la main, ou encore des sliders numériques permettant de naviguer, etc.

Sur cette troisième base, nous proposons ensuite d'appliquer une troisième technique générative : l'ajout d'un élément.

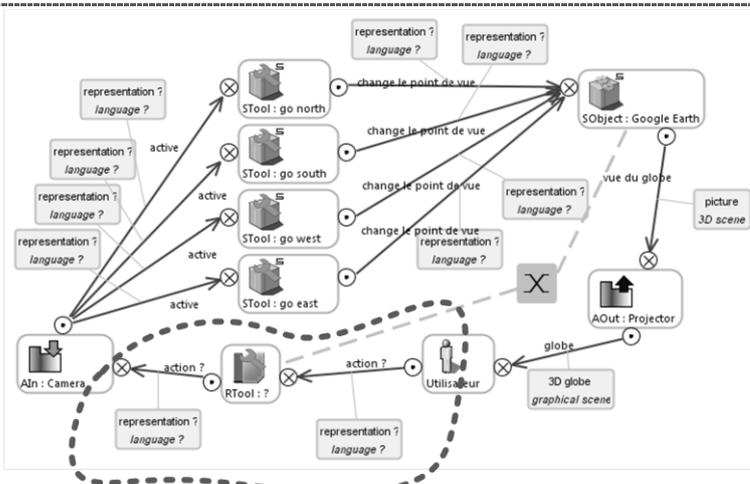


APPLICATION DE LA TECHNIQUE: AJOUTER UN OBJET PHYSIQUE INTERMÉDIAIRE

SOLUTION GÉNÉRÉE 3

Dans la solution générée précédemment, l'utilisateur interagit avec le système sans intermédiaire physique, c'est-à-dire directement avec son corps (mains ou pieds, ou tête, etc.). En conséquence, il est possible d'envisager l'ajout d'un outil physique entre l'utilisateur et le système.

Par exemple, dans le contexte applicatif de Google Earth, un tel outil physique pourrait prendre la forme d'un pointeur permettant de sélectionner les quatre widgets numérique généré précédemment.



Ce premier cas d'étude nous a permis de mettre en œuvre nos trois types de techniques de générativité, à savoir : *Diviser* un élément, *Dématérialiser* un élément et *Ajouter* un élément.

Nous soulignons que l'ordre d'utilisation de ces trois techniques n'est pas contraint. Par exemple, l'application de « l'ajout d'un élément physique » à la solution initiale aurait pu nous conduire à imaginer l'ajout d'un globe physique sur lequel sont projetées les images satellites et dont la rotation serait pilotée par un moteur. En somme, il s'agirait encore d'une toute autre solution.

Dans la partie suivante, nous proposons d'appliquer une seconde fois ces types de techniques de générativité, sur un deuxième cas d'étude, sensiblement différent du premier : la Reactable.

### 3.3.4 Exemple 2 : générer des alternatives à la Reactable

Dans cette partie nous allons réappliquer nos trois techniques de générativité sur un second cas d'étude : la Reactable (Jordà et al., 2007). Ce système permet de composer de la musique électronique en manipulant et en associant des palets sur une surface tactile. Les palets matérialisent soit un extrait sonore (ou sample), soit un effet à appliquer sur ce dernier. La fréquence et le volume des effets et des samples sont modifiables au travers de widgets tactiles positionnés autour des objets tangibles qui représentent les samples (Figure 72).

La solution initiale dans le tableau suivant représente cette version originale du système. Toutefois, dans un souci de simplification de la démonstration suivante, cette modélisation est restreinte à la tâche d'ajout et de paramétrage d'un sample sur la table.

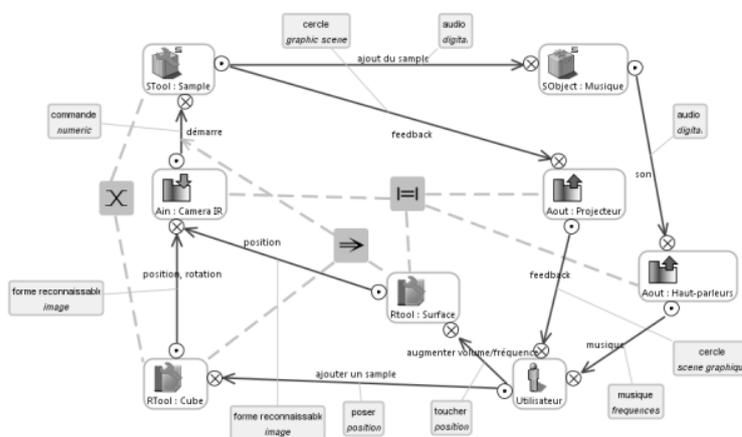
Dans l'exemple de Google Earth, nous avons appliqué la division, la dématérialisation et l'ajout. En conséquence pour illustrer nos techniques de générativité dans la totalité, nous appliquons pour ce cas d'étude le parallèle à nos trois techniques de générativité utilisée dans l'exemple précédent, à savoir : *Grouper* des éléments, *Matérialiser* un élément et *Retirer* un élément.



Figure 72 : Illustrations de la Reactable

Le modèle ci-contre représente la version existante de la Reactable. Dans ce système, l'utilisateur interagit un cube représentant un sample ainsi qu'avec la surface tactile pour augmenter le volume et la fréquence du sample. Le sample audio est rendu sous forme de feedback au travers du vidéoprojecteur et interfère avec la musique qui est rendue au travers d'un haut-parleur.

SOLUTION INITIALE :



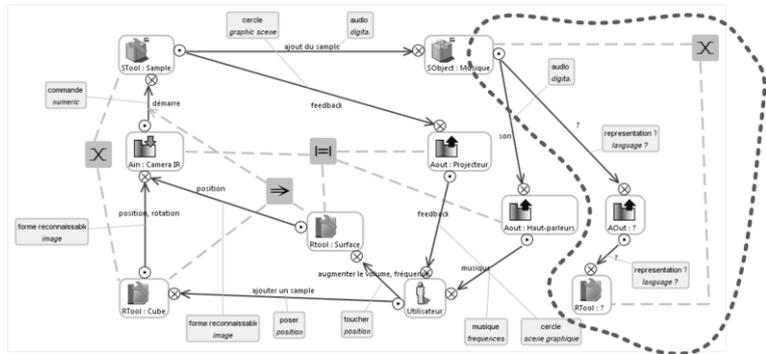
Pour impacter la technique d'interaction en entrée et explorer des alternatives à cette dernière, nous proposons d'appliquer une première technique générative : *Matérialiser* le concept numérique musique.

APPLICATION DE LA TECHNIQUE: MATÉRIALISER L'OBJET NUMÉRIQUE MUSIQUE

Dans la version précédente la musique était rendue via le son au travers d'un haut-parleur. Matérialiser l'élément numérique Musique revient donc à lui définir une forme physique, une tangibilité.

SOLUTION GÉNÉRÉE 1

En conséquence, cette matérialisation consiste tout d'abord en l'ajout d'un objet physique qui représentera la musique. Il est ensuite nécessaire d'envisager la ou les propriétés de cet objet qui varieront avec la variation de la musique. Cette variation est fonction de la forme de communication qui sera exploitée en sortie du système et de l'effecteur qui sera utilisé pour le véhiculer cette information. Dans cette voie plusieurs possibilités sont envisageables.



Par exemple, nous pouvons envisager que l'objet physique se déforme, se déplace, vibre, change de couleur, etc. en fonction de la musique. La matérialisation de l'objet numérique peut donc prendre une quantité de formes différentes.

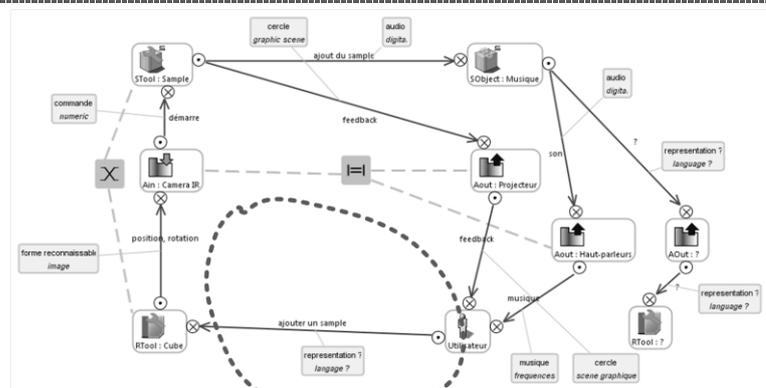
Pour poursuivre ce travail d'exploration, nous proposons ensuite d'appliquer une deuxième technique générative : Retirer l'objet physique Surface.

APPLICATION DE LA TECHNIQUE: RETIRER L'OBJET PHYSIQUE SURFACE

Le retrait de l'objet Surface impacte également considérablement l'interaction avec le système. L'utilisateur manipule désormais exclusivement le cube qu'il n'est plus possible de poser sur la surface tactile.

SOLUTION GÉNÉRÉE 2

Plusieurs manipulations de ce cube pourraient être envisagées. Par exemple, l'utilisateur pourrait simplement le présenter face à la caméra pour ajouter le sample en question, ou bien encore le presser, le secouer, etc. pour déclencher l'ajout du sample à la musique.



De plus, il est également nécessaire de repenser la modification du volume et de la fréquence. Le projecteur ayant été conservé, il est possible d'imaginer que les interacteurs numériques permettant de modifier ces paramètres soient affichés au sol et que l'utilisateur agisse dessus via le pied ou comme un pointage à distance avec sa main ou encore que le niveau de contraction de son corps soit le reflet du volume, ou simplement que ces actions soient aussi encodées au travers des manipulations du cube (e.g. la rotation contrôle le volume et la translation la fréquence).

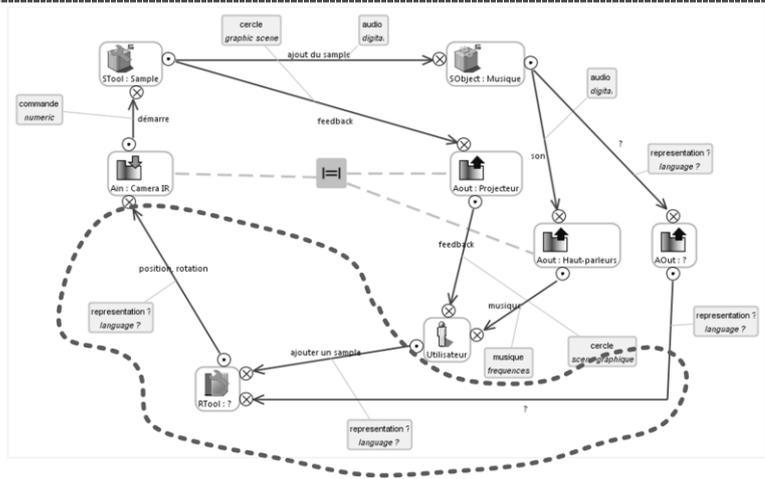
Pour finir nous appliquons notre dernière technique de générativité le groupement.

APPLICATION DE LA TECHNIQUE: GROUPEZ LES DEUX OBJETS PHYSIQUES

SOLUTION GÉNÉRÉE 3

Pour cette dernière technique de générativité nous avons fait le choix de grouper les deux objets physiques : le cube représentant le sample et l'objet encore indéfini variant avec la musique.

L'application de ce groupement sur deux objets dont les manipulations et la nature ont été définie au fur et à mesure de l'exploration précédente nous force à envisager des combinaisons des propriétés qui ont été envisagées précédemment.



Par exemple dans cette nouvelle configuration, l'utilisateur manipule un objet dans l'espace dont certaines propriétés varient aussi en fonction du son. Par exemple, un objet malléable se déformant au rythme de la musique que l'utilisateur peut presser ou secouer pour ajouter des samples. Ceci est à priori une solution purement imaginaire, mais les matériaux de demain pourraient peut-être nous permettre de l'envisager. La frontière des possibles est donc ici repoussée.

A l'issue de l'illustration de nos trois techniques de générativité sur ces deux cas d'études, nous proposons dans la partie suivante une rapide synthèse sur l'usage de ces techniques ainsi que sur leurs apports et leurs limitations en termes d'exploration.

### 3.3.5 Techniques de générativité : apports & limites

Nous avons introduit trois techniques de générativité s'appuyant sur l'application de modifications sur un modèle du domaine des SIM. Nous avons ensuite étudié leur application sur deux SIM et montré comment ces techniques permettent d'explorer l'espace de conception en générant de manière systématique des solutions alternatives. A la suite de ces deux cas d'étude nous pouvons d'ores et déjà retirer un ensemble d'apports et de limites à l'applicabilité de ces techniques.

Tout d'abord, nous constatons que l'application d'une technique de générativité ne fournit pas de sémantique aux éléments créés. En effet, dans les deux cas d'études précédent et pour chacune des techniques appliquées, nous avons toujours procédé en deux étapes. Nous avons tout d'abord modifié l'instance du modèle puis nous nous sommes interrogés sur la sémantique à apporter aux éléments impactés par l'application de la technique générative.

Par exemple, appliquer la technique d'ajout d'un objet physique ne définit ni ne suggère la nature de cet objet ou de ses interactions avec les autres éléments. En conséquence, cette méthode de générativité doit impérativement être associée à un mode de pensée complémentaire telle que la pensée divergente par exemple.

De plus, il est important de préciser que ces techniques ne permettent pas de générer de nouvelles solutions mais leur application est supposée provoquer la créativité du concepteur. En effet, l'application d'une technique modifie l'instance du modèle et renégocie potentiellement la totalité de la situation interactive décrite en rendant certains éléments obsolètes ou inappropriés. En conséquence, cette nouvelle situation guide le concepteur à réinterpréter le modèle. Au travers de cette réinterprétation, le concepteur doit reconsidérer le problème et se dégager de la solution précédente pour explorer de nouvelles pistes. En ce sens, ces techniques de générativité supportent 1) la réinterprétation, activité essentielle en situation de conception (Schön, 1984) et 2) la flexibilité de la pensée, facteur d'influence cognitif essentiel dans le processus créatif (Lubart et al., 2003).

Ensuite, nous avons illustré nos techniques dans deux situations de re-conception. En effet, les points de départ des deux cas d'étude étaient des modélisations de systèmes existants. Ce constat met en évidence que ces techniques nécessitent un point de départ pour être mises en œuvre.

Toutefois, une fois une solution modélisée définie comme point de départ, nous avons montré que ces techniques sont applicables de manière systématique un nombre illimité de fois et dans n'importe quel ordre. Ainsi à partir d'une solution initiale il est possible d'aller d'alternative en alternative en appliquant les techniques les unes après les autres.

En somme, l'application de ces techniques de générativité n'a de limite que les concepts définis par le modèle et que les contraintes imposées par le cas d'étude.

Enfin, nous avons souligné que nos trois techniques de générativité instancient le principe d'exploration « What if ? » pour le domaine des SIM. Bien qu'applicable systématiquement, cette technique nécessite toutefois des compétences d'encodage sélectif. Rappelons que l'encodage sélectif est une faculté permettant de relever des informations en rapport avec le problème dans l'environnement (Lubart et al., 2003). Dans notre cas il est nécessaire d'identifier quelle technique utiliser et sur quelle partie du modèle l'appliquer.

En effet, bien que les techniques puissent être appliquées de manière aléatoire sur n'importe quel élément et dans n'importe quel ordre, réaliser le choix d'une technique pour aboutir à une solution pertinente requiert non seulement de connaître le modèle utilisé mais aussi d'avoir une vue d'ensemble des exigences et des contraintes induites par le domaine d'application.

Nous retenons donc qu'un usage efficace de ces techniques nécessite une bonne connaissance de la notation utilisée et du domaine d'application.

Pour finir, nous intégrons dans la section suivante les résultats obtenus à l'issue de cet ensemble d'étude de la compréhensibilité et de la générativité des modèles. Nous concluons en mettant en évidence les éléments de mise en œuvre que nous avons injectés dans la méthode MACS.

## 4 CONCLUSIONS SUR LA COMPREHENSIBILITE ET LA GENERATIVITE DES MODELES DU DOMAINE DES SIM

Dans ce chapitre nous avons étudié le caractère compréhensible et génératif des modèles du domaine des SIM. L'objectif de cette étude était d'identifier des limites à la combinaison d'un modèle des SIM tel qu'ASUR, MIM ou TAC et d'une activité de conception collaborative et créative. Cette combinaison est à la base des principes d'une séance de MACS. Deux questions ont dirigé ce travail : 1) la compréhensibilité des modèles par des non-experts et 2) l'opérationnalisation de la générativité d'un modèle des SIM.

Concernant la compréhensibilité des modèles, nous avons appris que des individus sans aucune connaissance préalable du modèle ASUR ou MIM étaient capables d'interpréter correctement la majorité des concepts exprimés. Cette compréhension partielle est en partie explicable par le fait que les représentations adoptées pour chacune des dimensions des modèles ne sont pas comprises équitablement. Pour optimiser cette compréhensibilité, nous pouvons soit retravailler les représentations associées à chacun de ces concepts soit apporter un support à la compréhension de chacun des concepts. Nous avons donc fait le choix d'apporter un support sous la forme d'une légende de la notation. Cette légende sera introduite aux participants d'un MACS en amont de la séance. Dans une telle situation de conception collaborative et créative, le choix de la légende présente deux avantages : 1) Aider les participants à interpréter correctement les concepts du modèle, et 2) Stimuler les participants en leur rappelant l'existence des concepts du modèle utilisé.

Concernant la générativité du modèle ASUR nous avons appris que l'introduction du modèle n'engendre pas systématiquement une majoration de la générativité des participants. Toutefois nous avons aussi montré que l'introduction du modèle ne bride pas non plus la production d'idées. C'est un premier résultat positif confortant l'usage d'un modèle d'interaction dans une séance de MACS. De plus nous avons inféré de cette deuxième étude, qu'un support était nécessaire pour permettre aux participants d'exploiter efficacement les propriétés génératives du modèle.

Par conséquent, en s'appuyant sur la technique suggestive du « What if » déjà utilisée dans les activités de conception créative, nous avons mis au point trois techniques de générativité basées sur des manipulations d'un modèle d'interaction mixte.

Nous avons ensuite illustré comment l'utilisation de ces techniques pouvait guider l'exploration de l'espace de conception. En effet, ces techniques ne permettent pas de créer systématiquement des solutions, la créativité étant avant tout une faculté humaine mais doivent être vues comme des outils à la redéfinition du problème, à l'exploration des possibles et donc à la stimulation de la créativité.

De plus, nous avons mis en évidence que ces techniques nécessitent à la fois une connaissance du modèle mais aussi du domaine d'application. Le facilitateur d'une séance de MACS étant à l'interface du modèle et des participants experts du domaine d'application, ces techniques lui sont dédiées. Via l'usage de ces techniques le facilitateur pourra guider les participants d'alternatives en alternatives, provoquant les participants de différentes disciplines à générer de nouvelles solutions en apportant une sémantique aux éléments impactés par l'application de ces techniques.

En conclusion, ces études nous ont permis de produire trois principes de mise en œuvre majeurs : 1) l'identification d'un support à la compréhensibilité du modèle par des novices, 2) l'identification de techniques de générativité visant à stimuler la créativité des participants et 3) le besoin non négligeable de la participation d'un expert du modèle et d'un expert du domaine traité dans une séance de MACS. Dans le chapitre suivant nous illustrons un ensemble de cas d'étude de la méthode MACS puis nous procédons à deux types d'analyses de ces mises en œuvre : 1) une analyse des solutions produites et 2) une analyse de

## *Conclusions sur la compréhensibilité et la générativité des modèles du domaine des SIM*

protocole verbal et comportemental de deux de ces séances. Ces analyses seront complétées par un ensemble d'observations qualitatives et de leçons tirées de nos mises en œuvre de la méthode.

## 5 BIBLIOGRAPHIE

- Aranda, J., Ernst, N., Horkoff, J., & Easterbrook, S. (2007). A Framework for Empirical Evaluation of Model Comprehensibility (p. 7). {IEEE} Computer Society. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1269010>
- Beaudouin-Lafon, M. (2004). Designing interaction, not interfaces. *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI'04)* (p. 15). ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=989863.989865>
- Blackwell, A., & Green, T. R. G. (2002). Notational Systems - the Cognitive Dimensions of Notations framework. *HCI Models, Theories, and Frameworks: Toward a Multidisciplinary Science* (John M. Ca.). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.13.2023>
- Bresciani, S., Blackwell, A., & Eppler, M. (2008). A Collaborative Dimensions Framework: Understanding the Mediating Role of Conceptual Visualizations in Collaborative Knowledge Work. *Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 364). Los Alamitos, {CA,} {USA}: {IEEE} Computer Society. doi:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HICSS.2008.7>
- Bødker, S., & Buur, J. (2002). The design collaboratorium: a place for usability design. {ACM} *Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 9(2), 152-169. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=513665.513670>
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2008). Balancing physical and digital properties in mixed objects (pp. 305-308). Napoli, Italy: ACM. doi:[10.1145/1385569.1385619](https://doi.org/10.1145/1385569.1385619)
- Dubois, E., Truillet, P., & Bach, C. (2007). Evaluating advanced interaction techniques for navigating Google Earth (pp. 31-34). University of Lancaster, United Kingdom: British Computer Society. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1531407.1531416&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=68487993&CFTOKEN=22079647>
- Gauffre, G., & Dubois, E. (2011). Taking Advantage of Model-Driven Engineering Foundations for Mixed Interaction Design. (H. Hussmann, G. Meixner, & D. Zuehlke, Eds.) *Model-Driven Development of Advanced User Interfaces*, 340, 219-240. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:[10.1007/978-3-642-14562-9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14562-9)
- Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, 19(1), 21-61. doi:[10.1016/S0142-694X\(97\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00015-X)
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. 139-146). ACM. doi:[10.1145/1226969.1226998](https://doi.org/10.1145/1226969.1226998)
- Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjam, S., & Zenasni, F. (2003). *Psychologie de la créativité (Psychology of Creativity)*. Armand Colin.
- Moody, D. L., Sindre, G., Brasethvik, T., Sølberg, A., Clarke, L., Dillon, L., & Tichy, W. (2003). Evaluating the quality of information models: empirical testing of a conceptual model quality framework. *25th International Conference on Software Engineering 2003 Proceedings* (Vol. 6, pp. 295-305). IEEE Computer Society. doi:[10.1109/ICSE.2003.1201209](https://doi.org/10.1109/ICSE.2003.1201209)
- Patig, S. (2008). A practical guide to testing the understandability of notations. *Proceedings of the fifth Asia-Pacific conference on Conceptual Modelling (APCCM '08)* (pp. 49-58). Wollongong, {NSW,} Australia: Australian Computer Society, Inc. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1379429.1379438>
- Schön, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action* (1st ed.). Basic Books.
- Wellner, P. (1993). Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communications of the ACM*, 36(7), 87-96. doi:[10.1145/159544.159630](https://doi.org/10.1145/159544.159630)
- Youn-kyung, L., Sang-Su, L., & Da-jung, K. (2011). Interactivity Attributes for Expression-oriented Interaction Design. *International Journal of Design (IJDesign)*, 5(3), 113-128. Retrieved from

*Bibliographie*

<http://www.ijdesign.org/ojs/index.php/IJDesign/article/view/718>

# CHAPITRE VI : ANALYSE CLINIQUE DE LA METHODE MACS

*Mesure ce qui est mesurable et ce qui ne peut pas être mesuré... rend le mesurable. (Galileo Galilée)*

# CHAPITRE VI : TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>165</b>
1.1	Hypothèses.....	165
1.2	Une vue globale de nos cas d'étude.....	166
1.2.1	Diversité des contextes de mise en œuvre.....	167
1.2.2	Forces et faiblesses des différentes mises en œuvre.....	167
1.3	Séances analysées : contexte & mise en œuvre.....	167
1.3.1	MACS 2 : explorer une classification du vivant dans un environnement virtuel 3D.....	168
1.3.2	MACS 3 : manipuler une arborescence 3d représentant une classification du vivant.....	170
1.3.3	MACS 4 : rendre l'émotion d'un danseur de ballet.....	173
1.4	Plan des analyses conduites.....	175
<b>2</b>	<b>METHODE D'ANALYSE.....</b>	<b>176</b>
2.1	Mesure des solutions produites.....	176
2.1.1	Variabilité par concepts.....	176
2.1.2	Exploitation des entrées/sorties.....	176
2.1.3	Adéquation avec le problème de conception.....	177
2.2	Analyse de protocole.....	177
2.2.1	Approches existantes.....	178
2.2.2	Notre analyse de protocole verbal.....	179
2.2.2.1	Schéma & instructions.....	179
2.2.2.2	Processus d'analyse du protocole verbal.....	181
2.2.3	Notre analyse de protocole comportemental.....	183
2.2.3.1	Schéma & instructions.....	183
2.2.3.2	Processus d'analyse du protocole comportemental.....	184
<b>3</b>	<b>ANALYSE DES SEANCES DE MACS.....</b>	<b>186</b>
3.1	Analyse des solutions produites.....	186
3.1.1	Etude de la variabilité par concepts.....	186
3.1.2	Etude de l'exploitation des entrées/sorties.....	187
3.1.3	Etude de l'adéquation des solutions avec le problème de conception.....	188
3.1.4	Analyse des solutions produites : synthèse.....	189
3.2	Analyse de protocole verbal.....	189
3.2.1	Caractéristiques des corpus étudiés.....	190
3.2.2	Distribution des codes.....	191
3.2.2.1	Par participant.....	192
3.2.2.2	Par catégorie : modulation/action(argument).....	192
3.2.3	Analyse détaillée des références au modèle.....	194
3.2.4	Liens entre actions de génération et références au modèle.....	196
3.2.5	Etude de l'usage du support d'annotation.....	198

3.2.6	Analyse de protocole verbal : synthèse.....	200
3.3	Analyse de protocole comportemental.....	201
3.3.1	Caractéristiques du corpus étudié.....	201
3.3.2	Etude de l'édition collaborative du modèle.....	202
3.3.3	Analyse de protocole comportemental : synthèse.....	204
<b>4</b>	<b>DISCUSSION&amp; CONCLUSION.....</b>	<b>205</b>
4.1	Validation des hypothèses.....	205
4.1.1	Hypothèse 1: durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.....	205
4.1.2	Hypothèse 2: durant un MACS, le modèle joue le rôle de langage de référence.....	206
4.1.3	Hypothèse 3: durant un MACS, le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.....	207
4.2	Limites de l'étude et perspectives.....	208
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>210</b>



# 1 INTRODUCTION

Nous avons mis en évidence à l'issue du chapitre 3, que la combinaison entre représentation formelle des SIM et activité de conception collaborative et créative constituait une approche plus que prometteuse pour contribuer au développement des SIM. Nous avons ensuite mis en évidence que l'implémentation d'une telle approche permettrait d'assister l'exploration de l'espace de conception, d'établir un langage de référence entre disciplines et d'ancrer la conception au sein du processus en produisant des spécifications consistantes pour le prototypage.

Puis, dans le chapitre 4, nous avons décrit la méthode de conception qui est au cœur de ce travail de recherche. Cette approche est une activité de conception collaborative et créative appelée MACS. Rappelons que cette approche est composée de cinq étapes :

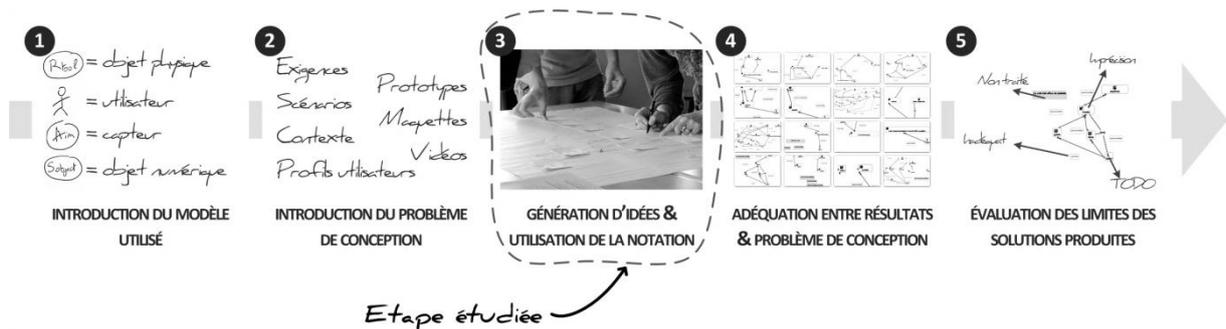


Figure 73 : Illustration du focus sur l'étape 3 de la méthode MACS

Parmi les questions identifiées, nous avons souligné la nécessité d'étudier l'efficacité de l'approche : c'est l'objectif des analyses conduites dans ce chapitre.

Pour y parvenir, nous avons analysé plusieurs mises en œuvre de l'étape 3 de cette méthode. Cette étape constitue le cœur de notre approche. C'est en effet au sein de celle-ci que les solutions sont produites collaborativement en utilisant un modèle d'interaction.

Nous avons donc analysé trois séances de MACS au travers de deux types d'analyses. Le premier type d'analyse s'intéresse aux solutions produites par ces séances de conception. Au travers de plusieurs critères nous avons en effet étudié l'adéquation de ces solutions avec le problème de conception ainsi que les éléments constitutifs de ces solutions quant au domaine de l'interaction mixte.

Le second type d'analyse s'intéresse au processus de conception mis en œuvre durant ces séances. Pour y parvenir nous avons étudié les protocoles verbaux et comportementaux des participants de deux séances de MACS de plus de 2h chacune. L'étude de ces protocoles vise à analyser l'usage du modèle durant les séances de MACS. Ces analyses nous permettront de vérifier un ensemble d'hypothèses que nous présentons ci-après.

## 1.1 Hypothèses

Dans une séance de MACS le modèle introduit est supposé jouer trois rôles majeurs. Tout d'abord ce dernier est supposé **stimuler les participants non experts du domaine des SIM** en mettant en évidence des dimensions qu'il est nécessaire de considérer pour concevoir un SIM. Cet apport est d'autant plus important lorsque les dimensions en question sont inconnues des participants non-experts du domaine des SIM. Par conséquent notre première hypothèse est la suivante :

*Hypothèse 1 : Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.*

Puis nous avons également argumenté sur l'importance de définir clairement les concepts théoriques utilisés dans les situations interdisciplinaires. Dans un MACS, le modèle est supposé **jouer le rôle d'objet frontière entre les disciplines** en définissant les concepts qui seront manipulés. L'objectif est de permettre aux participants de faire référence au modèle pour exprimer leurs idées. Par conséquent notre deuxième hypothèse est la suivante :

*Hypothèse 2 : Durant un MACS, le modèle joue le rôle de langage de référence.*

Enfin en situation de conception collaborative et créative nous avons montré en quoi il était primordial **d'utiliser une représentation externe** au travers de laquelle les solutions de conception pourront être annotées. De cette manière la représentation utilisée doit permettre aux participants d'exprimer explicitement les propositions relevant du problème et les propositions non pertinentes. Par conséquent notre troisième et dernière hypothèse est la suivante :

*Hypothèse 3 : Durant un MACS, le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.*

Dans la suite de ce chapitre, nous allons tout d'abord illustrer la diversité de cas d'étude sur lesquels nous avons eu l'opportunité de mettre en œuvre la méthode MACS. Puis nous présenterons de manière plus détaillée les cas d'étude ayant fait l'objet d'analyse approfondies, nous permettant d'éprouver nos hypothèses.

## 1.2 Une vue globale de nos cas d'étude

Comme nous l'avons annoncé dans le chapitre 4, au cours de ces travaux de recherche nous avons mis en œuvre la méthode MACS sur sept cas d'étude avec sept équipes de conception différentes.

N°	PROBLÈME DE CONCEPTION	DOMAINE D'APPLICATION	MODÈLE UTILISÉ	PARTICIPANTS	ENTRÉES DE LA SÉANCE	SUPPORT D'ÉDITION
1	Conception de techniques d'interaction pour l'application « boîte à comparaison », visant à comparer différentes espèces du vivant	Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse	ASUR	1 Facilitateur 2 Informaticiens 1 Ergonome	Prototype informatique Basse-fidélité	Édition du modèle guidée en 10 étapes
2	Conception de techniques d'interaction pour l'application « MIMÉ » visant à explorer une classification du vivant dans un environnement virtuel 3D	Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse	2 mises en œuvre avec deux équipes différentes respectivement avec ASUR et MIM	1 Facilitateur 1 Designer 1 Expert SIM 1 Ergonome 1 spécialiste IHM	Modèle de Tâche, scénario, prototype basse fidélité	Éditeur logiciel Guide-me
3	Conception de techniques d'interaction pour l'application « CladiBulle », visant à manipuler une arborescence 3D	Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse	ASUR + Légende	1 Facilitateur 1 Expert SIM 1 Expert IHM 1 Technicien 1 Ergonome	Modèle de Tâche, Prototype vidéo, Liste de Fonctionnalité	Éditeur logiciel Guide-me
4	Conception d'un système de rendu de l'émotion d'un danseur de ballet	Ballet de Biarritz	ASUR + Légende	1 Facilitateur 1 Expert SIM 1 Expert 3D 1 Expert Emotion 1 Danseur 1 Spectatrice 1 Ergonome	Illustrations, Vidéos, Exigences, Contraintes	Éditeur papier du Modèle ASUR
5	Conception de techniques d'interaction pour pointer sur un environnement combinant 2D/3D	Monitoring Aéronautique	ASUR + Légende	1 Facilitateur 1 Expert 3D 1 Ergonome 1 Expert IHM 1 Expert SIM	Prototype Vidéo, Liste de Fonctionnalité	Éditeur papier du Modèle ASUR
6	Conception de techniques d'interaction pour pointer sur un environnement 2D/3D	Monitoring Aéronautique	ASUR + Légende	1 Facilitateur 1 Expert Domaine 2 Expert 3D 1 Expert SIM	Prototype Vidéo, Liste de Fonctionnalité, Scénario	Éditeur papier du Modèle ASUR
7	Conception de techniques d'interaction pour la collaboration à distance entre un ouvrier et un expert en maintenance	Maintenance minière	ASUR + Légende	1 Facilitateur 1 Expert Domaine 1 Expert SIM 1 Expert 3D	Liste de tâche, scénario	Éditeur papier du Modèle ASUR

**Tableau 13 : Ensemble des séances de MACS conduites à ce jour. Les séances qui ont fait l'objet d'analyses approfondies sont surlignées**

### 1.2.1 Diversité des contextes de mise en œuvre

Ces mises en œuvre ont été relativement opportunistes. En effet, nous avons utilisé la méthode MACS à chaque fois qu'une situation de conception de SIM se présentait à nous. De ce fait, nous avons pu éprouver la méthode pour des problèmes de conception relatifs à une grande variété de domaines d'application tel que : la conception d'exposition interactives pour le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse, la conception d'un système de réalité augmentée pour la ballet de Biarritz, le développement de techniques d'interaction pour une application de monitoring aéronautique pour la société Global Vision System ou la conception d'un système de collaboration distribuée pour l'assistance à la maintenance minière en Australie.

De plus, dans chacune des situations, les équipes de conception étaient différentes (même si certains individus ont participé à plusieurs séances). Cette double diversité (domaine d'application/équipe de conception), nous valide empiriquement la viabilité de la méthode et sa répliquabilité. De plus, chacune de ces séances a produit des solutions modélisées répondant au problème de conception sous-jacent. Nous illustrerons certaines de ces solutions dans le Chapitre 7.

Le Tableau 13 résume l'ensemble des mises en œuvre de la méthode et leurs paramètres constitutifs des mises en œuvre de la méthode MACS. De plus, ces mises en œuvre nous ont permis d'identifier les forces et les faiblesses de nos différentes implémentations et de faire évoluer la méthode. Deux aspects majeurs ont évolué : La structuration de la méthode et le support d'édition du modèle.

### 1.2.2 Forces et faiblesses des différentes mises en œuvre

Concernant la structuration de la méthode, la première séance (n°1 dans le Tableau 13) était structurée en 10 étapes chacune visant à définir un des aspects composant la solution finale (e.g. contexte, tâche, concepts du domaine, entités physiques, numériques, échanges de données, etc.). Cette première version, fondamentalement différente de la version actuelle de la méthode (cf. Chapitre 4), est décrite plus en détail dans (Dubois, Bach, Gauffre, Charfi, & Salembier, 2006).

Dans la deuxième mise en œuvre (n°2 dans le Tableau 13), la méthode a évolué pour permettre aux participants de s'exprimer plus librement au travers de la pensée divergente stimulée par le modèle. Le cœur de la méthode a donc évolué pour être structuré comme une discussion libre où les idées sont encodées à la volée dans la notation. Cet aspect est relatif à l'étape 3 de la méthode qui est décrite en détail dans le Chapitre 4.

Les supports d'édition ont également subi des évaluations. En effet, à partir de la séance n°4, le support d'édition du modèle a évolué pour permettre une édition collaborative. En effet, dans les trois premières mises en œuvre, le logiciel Guide-Me (Viala, Dubois, & Gray, 2004) était utilisé pour éditer le modèle ASUR. Les séances suivantes (n°5, 6, 7 dans le Tableau 13) étaient toutes similaires quant aux principes de mise en œuvre et respectaient la version actuelle de la méthode décrite en détail dans le Chapitre 4.

## 1.3 Séances analysées : contexte & mise en œuvre

Parmi les diverses mises en œuvre de la méthode MACS, nous avons fait le choix d'analyser les MACS 2, 3 et 4 pour leur caractère interdisciplinaire.

En effet, ces trois mises en œuvre ont eu lieu dans le cadre du projet ANR CARE ("CARE Project," 2008) qui offrait un contexte interdisciplinaire riche grâce à une collaboration entre plusieurs laboratoires français (i.e. IRIT, LIG, LIMSI, ESTIA, UTI), plusieurs sociétés (i.e. Immersion SAS, Métapages) et plusieurs centres culturels (i.e. Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse et Ballet de Biarritz). De ce fait, chercheurs, informaticiens, ergonomes, psychologues, conservateurs, danseurs, et spécialistes des

différents domaines étaient impliqués autour d'un projet commun : développer des Systèmes Interactifs Mixtes dans le domaine culturel. Par conséquent ce cadre offrait la possibilité de mettre en œuvre la méthode sur des cas concrets avec de réels objectifs et des participants impliqués. Ensuite, ces trois mises en œuvre de la méthode sont au cœur de l'affinement de ses principes constitutif. De cette manière l'analyse de ces mises en œuvre nous permet d'illustrer l'usage de la méthode d'une situation quasi-expérimentale (MACS 2 et 3) jusqu'à une utilisation écologique (MACS 4).

De plus, il est important de préciser que ces trois mises en œuvre étaient inscrites des situations de conception réelles. En effet, pour ces trois séances, des problématiques de conception concrètes étaient posées. De cette manière nous avons pu étudier la méthode avec de véritables équipes de conception pour lesquelles l'atteinte d'une ou plusieurs solutions constituait un enjeu crucial. Par conséquent, les données des problèmes de conception posés étaient intrinsèquement floues, ambiguës, incomplètes, incertaines, instables, originales, et conflictuelles tel qu'ils sont définis par (Simon, 1969) et (Schön, 1984).

Dans les parties suivantes, nous détaillons la mise en œuvre de ces trois séances en expliquant le contexte de mise en œuvre tel que les participants, le problème de conception, les données en entrée de la séance, la durée, le lieu et le support d'édition du modèle.

### 1.3.1 MACS 2 : explorer une classification du vivant dans un environnement virtuel 3D

Pour cette mise en œuvre du MACS deux séances ont été conduites. Ces deux mises en œuvre ont été conjointement réalisées avec des participants de profils similaires, une durée fixée, un cas d'étude fixé et les mêmes éléments de définitions du problème de conception. La seule variation entre ces deux séances se trouvait donc dans l'emploi du modèle utilisé, ASUR (Dubois & Gray, 2007) pour l'une et MIM (Coutrix & Nigay, 2008) pour l'autre.

Deux aspects ont motivé cette double mise en œuvre : 1) s'assurer de l'aspect générique du principe de mise en œuvre de la méthode MACS vis-à-vis du modèle utilisé et 2) étudier les différences dans les solutions produites. Dans les paragraphes suivants nous présentons les éléments de mise en œuvre de la séance. Chacune des deux séances (MIM et ASUR), a respecté ces spécificités.

*Participants* Dans chacune des deux séances cinq participants étaient impliqués. Les profils étaient les suivants : un facilitateur (expert SIM et expert du modèle), un designer d'objet, un expert des SIM, ergonomiste spécialiste des usages dans le domaine des IHM, un expert IHM. Trois observateurs passifs étaient présents durant la séance.

---

*Problème de conception* Le problème de conception visait une application destinée au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse. Ce système devait permettre aux visiteurs du muséum de parcourir un arbre de classification du vivant, ou cladogramme. Cet arbre prenait la forme d'un environnement virtuel composé de salles et de tunnel, à l'image d'un labyrinthe. L'objectif était de faire comprendre aux visiteurs qu'une espèce (une feuille de l'arbre) est caractérisée par l'ensemble des critères phylogénétiques (les nœuds de l'arbre) depuis la racine. Par conséquent le problème de conception était d'envisager différentes techniques d'interaction mixte pour explorer cet environnement 3D.

---

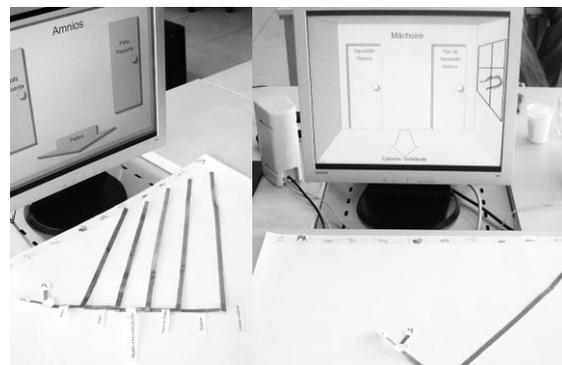


Figure 74 : Maquette présentée aux participants lors de l'étape 2 du MACS 2

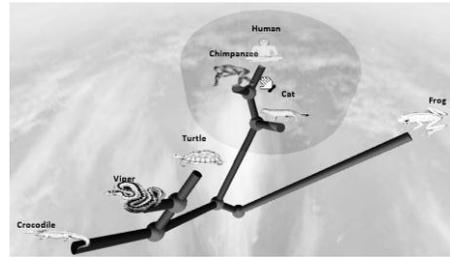
<i>Exigences</i>	Fonctionnalités	Contraintes
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choisir le critère suivant (gauche ou droit)</li> <li>• Revenir au critère précédent</li> <li>• Consulter le descriptif du critère ou espèce courant</li> <li>• Prendre connaissance d'un frère</li> <li>• Consulter l'avancement sur la carte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustesse au changement de collection</li> <li>• Non Equipement de l'utilisateur</li> </ul>
<i>Données en entrées de la séance</i>	<p>La conception de ce système était relativement peu avancée lors du déroulement du MACS. Seul un prototype basse-fidélité illustrant le principe de fonctionnement de l'exposition interactive avait été conçu (Figure 74). Durant l'étape 2 de la méthode MACS les artefacts suivants ont été présentés pour introduire le problème de conception et le contexte d'usage :</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• les contraintes sous-jacentes aux environnements publics et à la médiation culturelle,</li> <li>• un scénario d'usage (afin de faciliter sa compréhension, nous avons présenté une classification de véhicules, plutôt que d'espèces vivantes),</li> <li>• un arbre de tâche sous la forme d'un modèle K-MADe (Scapin &amp; Bastien, 2001),</li> <li>• les exigences fonctionnelles/non-fonctionnelles et l'objectif de l'application (« parcourir un chemin dans un environnement depuis un point de départ vers un objectif fixé, par étapes successives »)</li> <li>• un prototype initial (maquette carton/diaporama, cf. Figure 74)</li> </ul>	
<i>Durée et Lieu</i>	<p>Chacune des deux séances a duré deux heures : 30 minutes d'introduction (étape 1 et étape 2), 1 heure de génération d'idées (étape 3) et 30 minutes de débriefing.</p> <p>La séance utilisant le modèle MIM a eu lieu à Grenoble et la séance utilisant le modèle ASUR a eu lieu à Toulouse.</p>	
<i>Support d'édition</i>	<p>Pour la séance utilisant le modèle ASUR, ce dernier était édité par le facilitateur au fur et à mesure des propositions des participants grâce à l'éditeur Guide-Me (Viala et al., 2004). L'édition était projetée sur un tableau blanc et visible par tous les participants. Pour la séance utilisant le modèle MIM le modèle était édité à la main sur un tableau blanc.</p>	

Dans ce contexte les deux séances de MACS ont été conduites avec les deux modèles d'interaction différents : ASUR et MIM. Étonnamment, chaque session a produit cinq instanciations du modèle d'interaction utilisé. Pour le problème de conception posé, l'espace des possibles était ouvert à tous types de techniques d'interaction en entrée et à tous types de rendu de l'environnement virtuel. Les productions des deux séances étaient toutefois bien différentes.

A l'issue de la session mise en œuvre avec **ASUR**, chacun des cinq modèles produit était relatif à une **métaphore différente**, impliquant différents artefacts physiques/numériques. Par exemple, l'une des solutions portait sur l'utilisation de petits cailloux et d'une machine de pesage pour naviguer dans le labyrinthe représentant l'arbre, chaque caillou représentant un nœud de l'arbre. Une autre solution modélisée proposait l'utilisation d'un volant de voiture, de pédales et d'un levier de vitesse pour naviguer de manière immersive dans l'environnement virtuel représentant le cladogramme. Sur cette base les participants ont ensuite couplé les pédales et le levier de vitesse (i.e. des entités physiques) pour aboutir sur une métaphore relative à la manipulation d'un vélo et d'un guidon. Puis les participants ont envisagé une correspondance directe entre l'environnement virtuel et l'utilisateur, en dématérialisant l'utilisateur en tant qu'avatar numérique. Pour finir, ils ont ajouté une lampe de poche dans les mains de l'utilisateur. Des manipulations élémentaires de cette lampe permettaient d'explorer l'intérieur de l'arbre comme dans une grotte. Pour des raisons que nous développons dans le Chapitre 7, cette dernière solution a été retenue



*Problème de conception* La thématique de cette étude de cas traitait également de la classification du vivant pour le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse. L'application, appelée CladiBulle visait à expliquer pourquoi certains groupes d'espèces bien connus, tels que les poissons ou les reptiles, ne sont plus valables en termes de cladistique. Les visiteurs étaient invités à manipuler un cladogramme 3D afin de déplacer des espèces (feuille de l'arbre) pour les rapprocher les unes des autres, puis de les regrouper spatialement en manipulant une bulle en 3D. L'application validait ou invalidait ensuite le groupe en fonction des principes cladistique. Par conséquent, le problème de conception était d'envisager plusieurs formes d'interaction mixte pour interagir avec cet arbre en 3D.



**Figure 76 : Extrait du prototype vidéo de l'application CladiBulle présenté aux participants lors de l'étape 2 du MACS 3**

*Exigences*

Fonctionnalités

- Choisir le groupe que l'on veut effectuer
- Sélectionner un élément de l'arbre
- Effectuer une rotation autour de celui-ci
- Changer le point de rotation
- Faire apparaître la bulle
- Déplacer la bulle
- Agrandir/Rétrécir la bulle
- Valider la fin du groupement

Contraintes

- Robustesse au changement de collection
- Non Equipement de l'utilisateur

*Données en entrées de la séance*

Pour cette mise en œuvre la conception était relativement bien avancée. Un prototype fonctionnel était déjà implémenté (Figure 76). Toutefois un certain nombre de détails relatifs au rendu du système n'étaient pas figés et aucune technique d'interaction en entrée n'était conçue. Durant l'étape 2 de la méthode MACS les artefacts suivants ont été présentés pour introduire le problème de conception et le contexte d'usage :

- un arbre de tâche sous la forme d'un modèle K-MADe (Scapin & Bastien, 2001),
- les exigences fonctionnelles/non-fonctionnelles et l'objectif de l'application («Pour comparer des classifications en manipulant une structure il faut Regrouper des éléments de cette structure»)
- un prototype vidéo illustrant les manipulations du cladogramme 3D ainsi que le regroupement des espèces avec la bulle (Figure 76)

*Durée et Lieu*

La séance a durée 2h30. 30 minutes d'introduction (étape 1 et étape 2), 1h30 heure de génération d'idées et 30 minutes de débriefing.

La séance a eu lieu à Toulouse dans les locaux de l'IRIT. Les participants étaient assis autour d'une table rectangulaire. Le prototype vidéo était constamment accessible sur un ordinateur portable posé sur la table (Figure 77).

La séance a été entièrement enregistrée avec une caméra et un micro d'ambiance. Un observateur passif était en charge de gérer le matériel d'enregistrement.

*Support d'édition*

Le modèle ASUR était édité par le facilitateur au fur et à mesure des propositions des participants grâce à la seconde version de l'éditeur Guide-Me (Gauffre, Charfi, Bortolaso, Bach, & Dubois, 2010). Une légende du modèle ASUR était distribuée aux participants en amont de la séance (Figure 77).

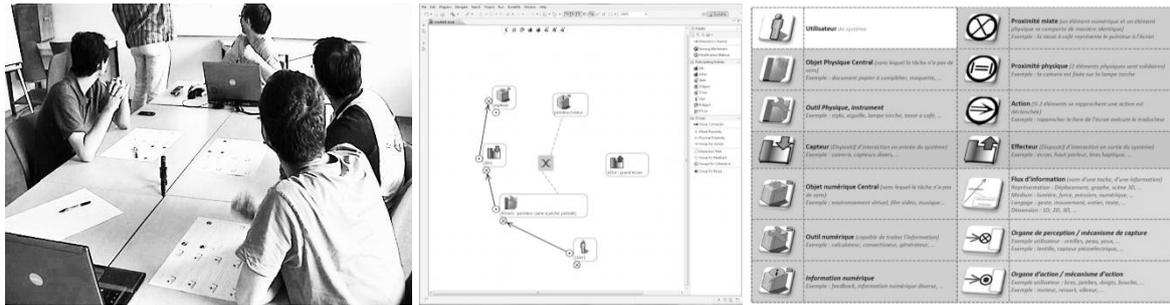


Figure 77 : Illustrations de la séance MACS 4. De gauche à droite : Extrait de la capture vidéo de la séance MACS 3, Capture du logiciel Guide-Me utilisé pour éditer le modèle et la légende du modèle ASUR distribuée aux participants

Au cours de la séance les participants ont produits 16 instances de modèles ASUR, la séance a donc été particulièrement productive. La Figure 78 illustre les productions de cette séance. En raison de la quantité de modèles produits, nous ne rapportons pas ici toutes les solutions, mais nous mettons l'accent sur les plus séduisantes. Un grand nombre de choix relatif au rendu de l'arbre en 3D étant figés, l'espace des possibles était principalement ouvert à tout type de techniques d'interaction en entrée.

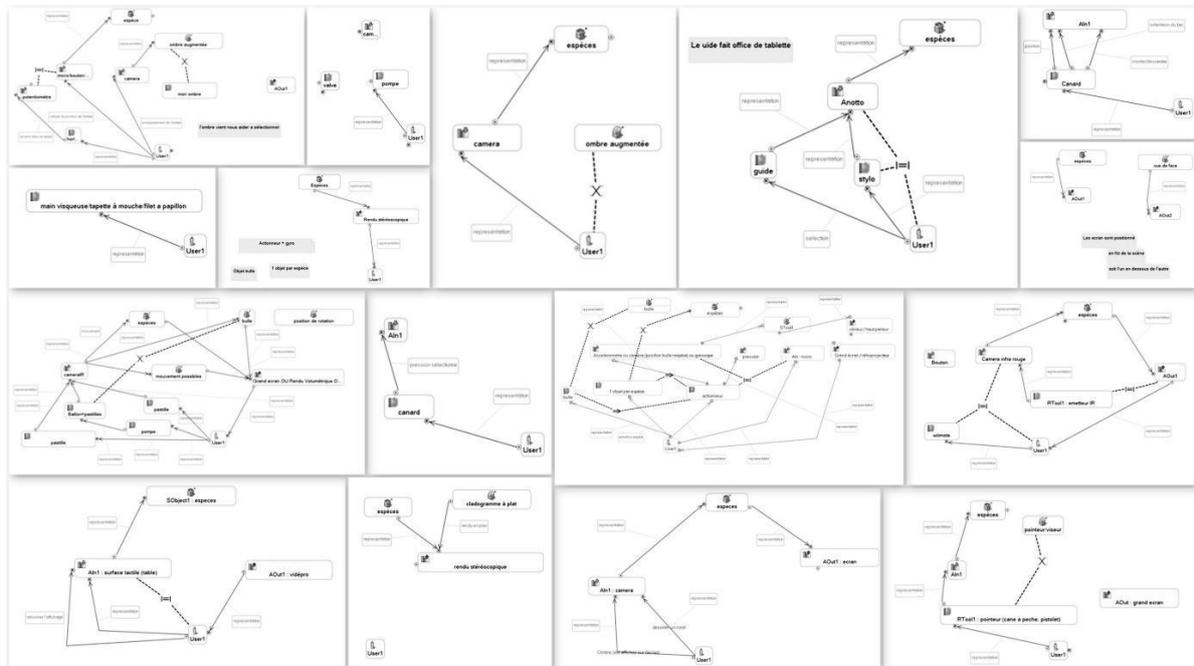


Figure 78 : Illustration des modèles produits à l'issue du MACS 3 avec ASUR

Par exemple, les participants ont suggéré la matérialisation de chacune des espèces numériques en plusieurs briques physiques. L'espèce à manipuler était sélectionnée lorsque la brique la représentant était associée physiquement à un objet, appelé actionneur, et permettant d'appliquer les mouvements de l'utilisateur sur l'environnement virtuel. Pour sélectionner les espèces les participants ont également envisagé l'usage d'une tapette à mouche, d'un pistolet, d'un filet, d'une main extensible, etc. De plus, au-delà des objets physiques, différents médiums ont été explorés. Par exemple, une solution proposait de matérialiser le comportement de la bulle en utilisant une pompe pour gonfler/dégonfler un ballon. Les participants ont également envisagé plusieurs utilisations d'une ombre numérique pour manipuler l'arbre. Elle s'appuie directement sur une dématérialisation de l'utilisateur dans le monde numérique. Une solution s'appuyait sur la manipulation d'un stylo Anoto sur un guide du musée comme tablette numérique tactile à distance.

Ces quelques exemples, illustrent la diversité des solutions produites durant la séance. Nous retiendrons que parmi ces solutions plusieurs d'entre elles apportaient une réponse adaptée au problème. Une analyse plus complète de ces solutions est présentée dans la partie 3.1. Parmi ces solutions une a été retenue pour le prototypage. Son implémentation est présentée dans le Chapitre 7.

### 1.3.3 MACS 4 : rendre l'émotion d'un danseur de ballet

Pour cette mise en œuvre le modèle ASUR a également été utilisé. L'originalité de cette mise en œuvre est le support d'édition utilisé. En effet, dans cette séance nous avons proposé un support tangible d'édition du modèle composé de grande feuille de papier, de stylos de couleur et des cartes représentant les concepts du du modèle. La légende était également utilisée.

*Participants* Dans cette séance sept participants étaient impliqués : 1 Facilitateur, 1 Ergonome, 1 Experte SIM, 1 Expert Emotion, 1 Danseur de Ballet, 1 Utilisatrice (Spectatrice initiée) et 1 Expert 3D



Figure 79 : Exemple d'illustration de ballet utilisée pour introduire le problème de conception lors de l'étape 2 du MACS 4

*Problème de conception* Ici le domaine d'application était le ballet de Biarritz. Le système à concevoir avait pour objectif de rendre perceptible aux spectateurs d'un ballet, l'émotion exprimée dans la chorégraphie du danseur. Les mouvements du danseur étaient donc captés via une combinaison, analysés et rendus au spectateur. Le problème de conception portait particulièrement sur ce dernier aspect, le rendu de l'émotion.

#### Exigences

##### Fonctionnalités

- Rendre une succession d'émotions

##### Contraintes

- Chaque spectateur doit pouvoir percevoir la même information
- Coprésence physique du danseur et des spectateurs
- Pas de retour pour le danseur

*Données en entrées de la séance* Pour cette mise en œuvre, nous avons fait face à un problème de re-conception. En effet, une première version du système avait déjà été développée dans le cadre du projet CARE. Toutefois l'équipe de conception souhaitait retravailler sur ce cas d'étude pour envisager d'autres possibilités.

Pour conséquent, durant l'étape 2 de la méthode MACS les artefacts suivants ont été présentés pour introduire le problème initial :

- les exigences fonctionnelles/non-fonctionnelles
- les contraintes du domaine
- la liste des émotions à traiter
- des photos & vidéos de chorégraphies et de ballet (Figure 79)

#### Durée et Lieu

La séance a duré au total 2h30 répartie entre une matinée et une après-midi : 30 minutes ont été accordées pour introduire le modèle ASUR, 2 heures ont été consacrées pour la génération d'idées.

A cette séance 30 minutes de débriefing ont été ajoutées en fin de journée pour un débriefing post-séance.

La séance a eu lieu à Tarbes dans les locaux de l'IUT. Une salle avec 5 tables était dédiée à la séance. Chaque table pouvait accueillir un support d'édition du modèle. Les participants

ont travaillé debout (Figure 80).

La totalité de la séance a été enregistrée avec une caméra haute-définition. Un observateur passif avait en charge de jouer le rôle de caméraman.

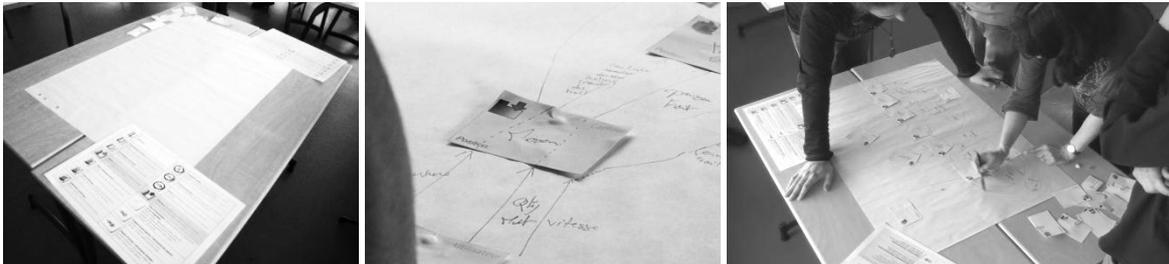
*Support  
d'édition*

Le modèle était édité à la main sur de grandes feuilles de paper-board (680mm x 950mm).

Les concepts du modèle ASUR étaient imprimés sur des petits morceaux de papier de couleur. Une couleur était attribuée pour chaque concept du modèle (physique : vert, numérique : bleu, adaptateurs : orange, groupes : violet, flux d'information : blanc).

La légende du modèle ASUR utilisait également ce code couleur. L'objectif des couleurs était de faciliter la reconnaissance des différents types de concepts. Des stylos de couleur étaient distribués aux participants. Une couleur par participant.

Ce support d'édition est illustré sur les photos de la Figure 80.



**Figure 80 : Illustrations de la séance MACS 4. De gauche à droite : Support d'édition avant la séance, un concept du modèle instancié en version papier, les participants travaillant sur une solution**

Cette dernière séance a produit cinq modèles ASUR. Les participants ont tous utilisés le support d'édition comme support au discours et comme moyen d'annotation des idées. Cinq modèles ont été réalisés : la séance a été productive. La Figure 81 illustre les productions de cette séance. Dans cette séance le modèle a été utilisé non seulement comme un support à la génération d'idées mais aussi fortement comme un artefact permettant de définir le focus de la discussion. De plus, le problème étant une situation de re-conception du système l'espace de conception était extrêmement ouvert, peu de données en entrée étant figés.

Dans ce contexte, dans un des modèles, les participants ont pu se focaliser sur l'interprétation de l'émotion de chaque spectateur individuellement, et proposer la création de divers dispositifs de retour (e.g. affichage personnalisé, vibrations, écouteurs, etc.) permettant de rendre l'émotion du danseur. Par ailleurs, le spectateur a été considéré comme une source d'entrée du système en imaginant la manipulation d'une vidéo 3D du danseur au sein d'un cube tactile. Grâce au modèle, les participants ont pu envisager le découplage/démultiplexage des mouvements composant la chorégraphie du danseur pour envisager leur restitution au spectateur au travers de médiums différents. Enfin une autre solution originale, visait à exploiter les mouvements du danseur pour sculpter un objet 3D. L'émotion serait alors rendue au travers des propriétés topologiques de la sculpture 3D. L'objet 3D résultant serait restitué en augmentant la scène via un affichage quelconque (e.g. projecteur, lunettes de réalité augmentée, etc.).

Comme l'illustre ces exemples de solution, l'espace des possibles a été exploré de manière large, les solutions étant relativement originales. Pour preuve, à l'issue de la séance les participants ont mentionné que certaines idées évoquées durant la séance n'avaient jamais été identifiées durant la totalité du projet qui avait déjà débuté depuis deux ans et demi.

Nous reviendrons sur l'analyse détaillée des solutions produites durant la séance dans la partie 3.1. Dans la partie suivante nous précisons quelles analyses ont été conduites et sur quels cas d'études parmi les trois détaillés ci-dessus.



Figure 81 : Illustration des modèles produits à l'issue du MACS 4 avec ASUR

### 1.4 Plan des analyses conduites

Comme précisé en amont de cette introduction, pour analyser les différentes mises en œuvre de ces séances de MACS nous avons eu recours à trois types d'outils : l'analyse des solutions produites, l'analyse du protocole verbal et l'analyse du protocole comportemental. Le Tableau 14 résume les analyses conduites par séance de MACS.

	ANALYSE DES SOLUTIONS	ANALYSE DE PROTOCOLE VERBAL	ANALYSE DE PROTOCOLE COMPORTEMENTAL
MACS N°2	X		
MACS N°3	X	X	
MACS N°4	X	X	X

Tableau 14 : Analyses conduites par cas d'étude

Tout d'abord les solutions de chacune des trois séances brièvement introduites dans cette section ont été analysées. Nous avons exploré la diversité des concepts instanciés qui les constituent en termes de composants constitutifs d'un SIM, en termes d'entrée/sortie du système ainsi qu'en termes d'adéquation avec le problème de conception. Puis le MACS 3 et 4 ayant été entièrement enregistrés nous avons procédé à une analyse du protocole verbal de ces séances. Ces deux séances ont par conséquent été entièrement retranscrites, segmentées et codées selon un schéma que nous détaillons dans la partie 2.2. L'objectif de cette analyse était d'étudier en détail l'usage du modèle et de ses concepts par les participants tout au long de la séance. Enfin le MACS 4 mettant en œuvre un support d'édition collaboratif nous avons également procédé à une analyse de protocole comportemental au travers de la visualisation de la vidéo de la séance. La vidéo de cette séance a donc entièrement codée selon un deuxième schéma que nous détaillons dans la partie 2.2. L'objectif de cette analyse était d'étudier plus particulièrement l'usage du support d'annotation papier et la capture des idées générés sur celui-ci. Dans la section suivante nous détaillons ces trois types d'analyses ainsi que les mesures conduites.

## 2 METHODE D'ANALYSE

Pour analyser une activité de conception collaborative telle que la méthode MACS, nous avons utilisé deux type d'analyses distinctes : l'étude des propriétés des modèles produits durant la séance et l'activité de la séance elle-même.

Cette décomposition est similaire à celle proposées dans (Détienne & Traverso, 2009), où les auteurs recommandent d'étudier ce type d'activité en termes d'unités de traitement (i.e. protocole verbal et comportemental) ainsi que les solutions issues de cette activité en termes d'objets de ce traitement (i.e. modèles produits).

Les métriques présentées dans cette section respectent cette dichotomie selon les deux axes suivants : 1) la mesure des solutions produites et 2) l'analyse de protocole.

### 2.1 Mesure des solutions produites

Les solutions élaborées durant les séances de MACS ont été analysées autour de trois critères relatifs à la variabilité par concept, la variabilité par entrée/sortie et à l'adéquation des solutions. Dans les parties suivantes, nous présentons chacun de ces critères et justifions leur intérêt.

#### 2.1.1 Variabilité par concepts

Le premier de ces trois critères consiste en l'étude de la variété des concepts constitutifs d'un SIM exprimés dans les modèles générés. Au travers de cette analyse nous étudions la variabilité inhérente aux SIM. Nous avons donc comptabilisé les instances de concept de différents types dans les modèles produits. Puis nous avons mis en confrontation ce décompte pour les différentes mises en œuvre.

La méthode MACS n'ayant pas été élaborée pour un modèle d'interaction en particulier, nous avons défini un référentiel indépendamment de toute représentation de l'interaction mixte. Ce référentiel, composé de quatre axes, est identique à celui utilisé dans les deux études de compréhensibilité et de générativité des modèles présentées dans le Chapitre 5.

Les quatre axes de ce référentiel sont les suivants : 1) les entités appartenant au monde physique, 2) les entités appartenant au monde numérique, 3) les entités appartenant à la frontière entre ces deux mondes (i.e. capteurs, effecteurs, ou divers dispositifs permettant la communication physique/ numérique) et 4) les langages ou les modes de communication employés dans la situation interactive.

L'analyse de la variabilité des solutions produites par type de concept fournit de précieuses indications quant à l'exploitation des dimensions du modèle par les participants et donc sur l'efficacité de l'exploration.

#### 2.1.2 Exploitation des entrées/sorties

Ce deuxième critère considère également les concepts constitutifs des solutions produites mais en adoptant un point de vue relatif aux entrées/sorties du système interactif mixte. Nous avons donc comptabilisé les instances de concepts dans les modèles produits en les catégorisant comme étant relatifs à l'entrée ou à la sortie du système.

L'analyse selon ce point de vue présente deux avantages majeurs. Tout d'abord, cette approche offre une vision plus globale et orthogonale à l'étude de la variabilité en termes de type de concepts présentée ci-dessus.

Ensuite, cette approche donne un second indice quant à l'influence du modèle sur les dimensions de l'espace d'exploration explorées. En effet, la nature du problème de conception conditionne fortement ce focus sur les entrées et les sorties. Par exemple dans le MACS 2 et 3, l'objectif était d'explorer les techniques d'interaction en entrée du système. Par conséquent, les solutions produites sont supposées

illustrer une diversité certaine en termes de techniques d'interaction en entrée. A l'inverse nous pouvons nous attendre à ce que les solutions produites à l'issue du MACS 4, relatif au rendu de l'émotion d'un danseur de ballet, soit plus particulièrement focalisée sur les sorties du système.

Ce point de vue sur les solutions produites nous permettra donc de déterminer si la méthode contraint les participants à se focaliser sur un aspect du système ou si la méthode permet d'explorer l'espace de conception plus largement.

### 2.1.3 Adéquation avec le problème de conception

Enfin ce troisième critère d'analyse des solutions produites vise à évaluer une forme d'efficacité des solutions générées. En effet nous avons mesuré le recouvrement des modèles générés avec les exigences présentées en amont de la séance. Par conséquent ce critère nous permet d'étudier le niveau de complétude des solutions produites face au problème de conception.

Afin de mesurer cette efficacité des modèles générés, il est nécessaire de lister les fonctionnalités à concevoir puis de définir si chacun des modèles produits permet de remplir ces fonctionnalités.

Cette évaluation nous permettra de savoir si les solutions produites sont immédiatement exploitables pour un prototypage ou si un effort supplémentaire est nécessaire. En somme, ce critère d'analyse nous permettra d'étudier la nécessité de l'étape 4 du MACS (i.e. Adéquation entre résultats et problème de conception).

## 2.2 Analyse de protocole

L'analyse de protocole est une méthode d'analyse désormais largement acceptée dans l'étude des activités de conception. Cette méthode s'appuie sur la capture des actions et des paroles des individus pour déterminer les processus cognitifs impliqués (Ericsson & Simon, 1993; Gero & Mc Neill, 1998). L'analyse d'un protocole s'appuie généralement sur un schéma de codage contenant des catégories d'actions. Au travers d'un enregistrement un ou plusieurs codeurs doivent alors noter chronologiquement les actions réalisées par les individus.

Par exemple, nous pourrions étudier l'activité de réalisation d'un croquis d'un architecte en annotant temporellement les actions qu'il réalise (e.g. tracer un trait, gommer, temps d'arrêt). De cette manière, nous élaborerions une représentation quantitative sur laquelle il serait possible de réaliser des inférences statistiques. C'est ce type d'analyse que nous avons appliqué pour étudier l'utilisation de la méthode MACS.

Comme rappelé dans (Kim & Maher, 2008), deux types de protocoles existent pour analyser une activité de conception : les protocoles concurrents et les protocoles rétrospectifs.

Les protocoles concurrents s'appuient sur la collecte d'information durant la tâche et permettent d'étudier la cognition du point de vue des processus mentaux tel qu'ils sont définis par Simon (Simon, 1969) dans la théorie SIP (cf. Chapitre 1, System Information Processing). Ce type de protocole est généralement élaboré à partir de l'expression verbale des participants via la technique de la pensée à voix haute par exemple (i.e. think aloud protocol).

Les protocoles rétrospectifs s'appuient sur la collecte d'information à posteriori de la réalisation de tâche et permettent d'étudier la cognition du point de vue de la production des représentations externes telle que défini dans la réflexion dans l'action (cf. Chapitre 1) de Schön (Schön, 1992). Dans ce type d'approche, les sujets sont généralement invités à réaliser un travail rétrospectif en visionnant un enregistrement vidéo de leur activité et en commentant les artefacts qu'ils ont produits (Suwa & Tversky, 1997).

Cette dualité dans les techniques d'analyse fait clairement écho aux paradigmes de la conception que nous avons présenté dans le chapitre 1. Toutefois, pour étudier le MACS, nous avons fait le choix de recourir à une analyse de protocole concurrent. Deux raisons ont guidé ce choix : Tout d'abord, les trois métriques

présentées précédemment ont déjà pour but d'étudier les solutions produites à l'issue d'un MACS. Malgré cela, la mise en œuvre d'une analyse basée sur un protocole rétrospectif pourra faire l'objet de perspectives d'analyses pertinentes dans le cas d'une édition du modèle collaborative comme cela a été mise en œuvre dans le MACS 4 par exemple. Nous n'en traitons pas dans cette étude.

Pour élaborer un protocole concurrent, un certain nombre de traitements et de données sont requis. Par exemple les données constitutives d'un protocole peuvent être des enregistrements audio ou vidéo, des notes, des dessins, etc. L'analyse de protocole est généralement constituée des étapes suivantes : 1) l'enregistrement audio/vidéo, 2) la définition d'un schéma de codage, 3) la transcription, 4) la segmentation, 5) le codage et 6) l'analyse du codage. A l'issue de ce processus, le protocole est analysable et des données quantitatives peuvent être extraites. Dans les parties suivantes nous commençons par détailler le schéma de codage que nous avons utilisé pour analyser les séances de MACS.

### 2.2.1 Approches existantes

Notre schéma de codage est inspiré de plusieurs schémas existants dans la littérature. Tout d'abord nous nous sommes inspirés du schéma introduit par Suwa et Gero (Suwa, Gero, & Purcell, 2000; Suwa et al., 1998). Ce schéma permet de coder des **activités de conception** autour de quatre dimensions majeures : 1) les actions physiques, 2) les actions perceptuelles, 3) les actions fonctionnelles et 4) les actions conceptuelles.

Ce schéma permet de déterminer des patterns d'activités, des occurrences d'actions, l'usage des représentations externes utilisées. Les auteurs argumentent que grâce à ce schéma il est possible d'étudier d'un point de vue macroscopique, la manière dont les concepteurs interagissent avec leurs représentations externes (Suwa et al., 1998).

Toutefois bien que particulièrement adapté aux situations de conception, ce schéma de codage comporte un certain nombre de limites pour analyser une séance de MACS. En effet, ce schéma est particulièrement focalisé sur les actions physiques des individus et non sur la parole, dimension centrale dans une séance de conception collaborative. De plus, aucun support n'est fourni pour étudier l'aspect collaboratif de notre situation de conception.

Pour étudier la dimension collective des activités de conception, l'analyse de l'activité verbale constitue un moyen privilégié (Gronier, 2010).

Dans cette voie, des outils tel qu'ALCESTE (i.e. Analyse Lexicale par Contexte d'un Ensemble de Segments de TextE) (Reinert, 2001), offrent la possibilité d'étudier les aspects lexicaux des échanges verbaux coopératifs, sans se restreindre, à priori, à une analyse sémantique prédéfinie. ALCESTE est un logiciel permettant d'extraire des classes d'énoncés représentatives, puis d'associer chaque mot à une des classes identifiées par un test de  $\chi^2$ . De cette manière, il est possible d'établir systématiquement une représentation des informations contenues dans un corpus textuel. Seulement, ALCESTE a pour objectif l'identification d'un corpus lexical représentatif. Cette approche n'apparaît donc pas adaptée à l'étude de l'usage du modèle d'interaction introduit dans une séance de MACS.

Une autre approche consiste à coder l'activité verbale à partir d'une grille préalablement établie. Ainsi, la méthode COMET ; une méthode d'analyse et de modélisation de situation de conception coopérative ; s'intéresse à l'analyse du dialogue (Détienne & Traverso, 2009). COMET analyse les situations de conception selon deux niveaux : 1) le niveau fonctionnel, c'est-à-dire les actions et les objets évoqués par des individus et 2) le niveau coopératif, c'est à dire une mise en correspondance entre les actions et les mouvements coopératifs.

Contrairement au schéma de codage proposé par Suwa et Gero, COMET s'appuie sur un codage systématique du dialogue. Cette méthode propose une grille d'analyse permettant de décrire les unités verbales présentes dans les différents tours de parole. Chaque tour de parole doit donc être découpé en

unités verbales répondant au prédicat « modulation/action(argument) » :

1. **La modulation** correspond à la forme de l'intervention. C'est-à-dire une affirmation ou une question.
2. **L'action** correspond à la manière d'aborder un sujet. Il y en a 4 types : 1) génération 2) évaluation, 3) interprétation et 4) information.
3. **L'argument** correspond au thème qui est abordé dans l'unité verbale ou segment. Il en existe plusieurs types : **les fragments de solutions**, les données du problème, les objets du domaine, les buts, les procédures ou règles du domaine, ou encore les tâches.

A ce codage, COMET associe la gestion des solutions produites à deux niveaux : les solutions globales et les fragments de solution. Ce niveau d'analyse apparaît particulièrement adéquat pour l'étude du MACS car il permet de distinguer les métaphores d'interaction produites (i.e. des modèles) et les éléments qui les composent (i.e. les instances de concepts du modèle).

De plus, la méthode COMET a été étendue à l'analyse des actions graphico-gestuelles (Détienne, Visser, & Tabary, 2006). Cette extension permet de modéliser les actions de pointage, de geste, d'écriture, etc. réalisées sur les artefacts de la situation de conception. Cette extension complète donc le schéma « modulation/action(argument) » en considérant macroscopiquement l'aspect situé (Greeno & Moore, 1993) de l'activité de conception. En conclusion, les propriétés de la méthode d'analyse COMET apparaissent être particulièrement adaptées à l'étude des mises en œuvre de la méthode MACS.

Par conséquent nous avons utilisé pour cette analyse de protocole un schéma de codage fortement inspiré de la méthode COMET (Détienne & Traverso, 2009) et de son extension aux actions graphico-gestuelles (Détienne, Visser, et al., 2006). Nous l'avons complété via quelques éléments du schéma de codage de Suwa et Gero (Suwa et al., 1998) pour distinguer les actions physiques et les actions perceptuelles. En raison de la nature des données en entrée (i.e. vidéo et script) et des outils que nous avons utilisés dans cette analyse, ce schéma de codage a été divisé en deux :

1. les actions physiques/perceptuelles ont été analysées au travers des données vidéos et
2. les actions verbales ont été analysées au travers de la transcription textuelle des séances.

De plus, dans chacune de ces parties les actions sont associées à un indicateur temporel et à un participant de la séance. Dans les parties suivantes nous présentons et définissons les dimensions de ce schéma de codage. Nous détaillons notre processus de construction du protocole verbal et comportemental et les outils que nous avons utilisés.

## 2.2.2 Notre analyse de protocole verbal

Pour analyser le protocole verbal des séances de MACS, nous nous sommes appuyés sur une adaptation mineure de la méthode COMET. Par conséquent, dans les parties suivantes nous présentons le schéma ainsi que les instructions de codage qui en découle. Puis nous illustrons le processus mis en œuvre pour transformer la capture vidéo en un protocole viable.

### 2.2.2.1 Schéma & instructions

L'analyse de notre protocole de codage verbal s'appuie principalement sur le schéma de codage de la méthode COMET. Par conséquent, le schéma de codage est structuré en trois dimensions :

#### MODULATION / ACTION (ARGUMENT)

Le Tableau 15 définit de schéma de codage et les classes possibles pour la modulation, l'action et l'argument.

Nous avons toutefois adapté ce schéma pour apporter un niveau de précision supplémentaire à l'**argument** notamment quand il s'agit de **fragments de solution**. Ces derniers sont désormais divisés en cinq sous-classes d'arguments (en gris sur le Tableau 15) :

- 4 niveaux de précision pour les fragments de solutions relatifs aux dimensions exprimées dans le modèle : métaphore, entité, attribut et flux d'information.
- 1 niveau de précision pour les solutions non relatives aux dimensions exprimées dans le modèle (solution autre dans le Tableau 15).

DIMENSION	CLASSE	CODE	DÉFINITION	
Modulation	Assertion	<i>as</i>	Affirmation	
	Requête	<i>re</i>	Question	
Action	Générer	<i>ge</i>	Nouvelle partie de solution exprimée. A utiliser lorsque l'idée/le concept évoqué n'a jamais été mentionné dans la discussion auparavant et qu'il s'agit d'un fragment de solution (cf. argument)	
	Evaluer	<i>ev</i>	Jugement d'une idée, donner une opinion, jugement de valeur	
	Interpréter	<i>it</i>	Rephrasage, reformulation, évoquer une idée, un concept, sans rien ajouter de nouveau (à utiliser par défaut)	
	Informé	<i>if</i>	Spécifier, compléter, préciser une idée ou un concept évoqué en amont	
Argument	Fragments de solution	métaphore	<i>ms</i>	La métaphore englobante d'un modèle.
		entités	<i>me</i>	Une entité du modèle : objet physique/numérique, dispositif, capteur, effecteur
		attribut	<i>ma</i>	Un attribut : caractéristique d'une entité, représentation, proximité physique, attribut d'un utilisateur (main, pied, etc.)
		flux d'information	<i>mc</i>	Communication entre 2 entités (souvent (mais pas exclusivement) relié à un verbe de tâche)
	Solution autre	<i>ot</i>	Un fragment de solution non modélisable	
	Données du problème	<i>pd</i>	Données du problème en entrée de la séance ou contrainte dans la solution proposée	
	Objets du domaine	<i>do</i>	Concept du domaine relatif à l'application	
	Buts	<i>go</i>	Objectif global de l'application	
	Procédures/règles du domaine	<i>dp</i>	Contrainte imposée par le domaine d'application	
	Tâches.	<i>ta</i>	Tâche/fonctionnalité de l'application	

Tableau 15 : Schéma de codage du protocole verbal

De plus, nous avons précisé les définitions des **actions** existantes pour les instancier sur les séances de MACS :

- L'action de **génération** est définie comme l'expression d'un fragment de solution n'ayant jamais été mentionnée précédemment dans la discussion.
- L'action d'**évaluation** correspond à un jugement ou à une opinion.
- L'action d'**information** correspond par exemple à la précision d'un fragment de solution généré précédemment, ou à la précision d'une donnée du problème.
- L'action d'**interprétation** est l'action par défaut, consistant à mentionner, à faire référence, à rephraser une idée, un concept sans ajouter d'information particulière.

Ce schéma de codage a été utilisé pour coder le script de plusieurs séances de MACS (cf. Tableau 14). Dans la partie suivante nous précisons comment le codage a été réalisé et comment nous avons obtenu un protocole viable.

**2.2.2.2 Processus d'analyse du protocole verbal**

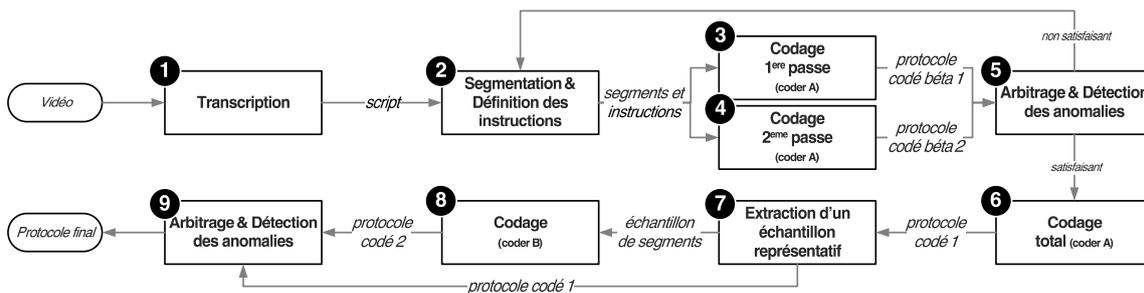
A partir d'un enregistrement vidéo, plusieurs étapes sont nécessaires pour analyser un protocole verbal. En effet, comme recommandé dans la méthode COMET, il est nécessaire de transcrire le texte, de le découper en segment et d'attribuer un code à chaque segment en suivant le schéma de codage. A titre illustratif nous proposons ci-dessous dans le Tableau 16 un extrait du script du MACS 3.

Comme nous pouvons le remarquer dans le Tableau 16, un tour de parole peut être découpé en plusieurs segments (e.g. segment 6,7 sont partie du même tour de parole du participant « Usa » dans le Tableau 16). De plus, comme précisé sur notre schéma de codage les segments étant caractérisés comme une action de génération (i.e. Action = ge) sont complétés via la précision de la solution générée.

N° SEGMENT	TEMPS	PARTICIPANT	TRANSCRIPTION	MOD	ACT	ARG	SOLUTION GÉNÉRÉE	MODÈLE ÉDITÉ
1	0:29:02	Facilitateur	On pourrait avoir un objet pour sélectionner l'espèce, un pointeur	as	ge	me	Un pointeur pour sélectionner	
2	0:29:10	Facilitateur	On pourrait avoir une caméra	as	ge	me	Caméra	
3	0:29:27	Facilitateur	L'objet je ne sais pas ce que c'est ?	re	it	me		
4	0:29:30	Ergonome	On pourrait le faire directement avec la main ?	re	ge	ot	Avec la main	
5	0:29:36	Expert SIM	Même plutôt, euuuuh, on a tout ce qu'on veut ? Tous les dispositifs ?	re	it	pd		
6	0:30:00	Ergonome	Là c'est un peu petit on ne voit pas bien les espèces,	as	ev	do		
7		Ergonome	Faudrait penser à une projection plus grosse	as	ge	me	Grosse projection	
8	0:30:15	Facilitateur	Un grand écran donc,	as	nf	me		
9		Facilitateur	Pour voir mieux les espèces	as	nf	me		
10	0:30:28	Facilitateur	Et aussi d'aller utiliser la main pour sélectionner	as	nf	ot		
11	0:30:33	Expert IHM	Sélectionner sur l'écran ?	re	nf	ta		

**Tableau 16 : Exemple de codage du protocole verbal (extrait tiré du MACS 3)**

Pour analyser ce protocole verbal, nous avons eu recours à un processus bien spécifique. En effet, une des limitations connue de l'analyse de protocole est qu'elle est fortement influencée par l'interprétation de l'individu réalisant le codage. Un processus de codage bien particulier doit donc être appliqué pour tendre vers une forme d'objectivité. Pour y parvenir, nous avons appliqué un processus de codage similaire à celui proposé dans (Gero & Mc Neill, 1998). Nous détaillons ci-dessous ce processus par étapes numérotées telles qu'elles le sont sur la Figure 82 :



**Figure 82 : Processus de codage du protocole verbal**

- 1 *Transcription*

Tout d'abord à partir de la vidéo d'une séance, nous avons retranscrit la totalité des échanges verbaux sous la forme d'un script en notant pour chaque tour de parole : le temps, le participant, et le texte de l'intervention.

Nous avons ensuite segmenté chaque tour de parole en suivant la structure modulation/action(argument).
- 2 *Segmentation et Définition des instructions*

Puis nous avons défini les instructions, c'est-à-dire apporté une définition à chaque classe du schéma de codage. Les instructions définissent clairement les règles à suivre pour coder le script. Elles sont composées du schéma de codage (cf. Tableau 15), d'exemples, des étapes à suivre pour coder un segment et de la légende du modèle utilisé.
- 3 *Codage 1ère passe*

A partir du script segmenté et des instructions, un premier codeur A a procédé au codage d'un échantillon du script. En effet, le script des MACS étant de taille conséquente (i.e. respectivement 973 et 1814 segments pour le MACS 3 et 4), cette 1<sup>ère</sup> passe a été réalisée sur un échantillon de 20%.
- 4 *Codage 2ème passe*

Plusieurs jours plus tard, le même codeur A a recodé le même échantillon sans prendre connaissance du premier codage.

Puis à partir des deux codages du codeur A, un travail d'identification des différences a été réalisé. Les écarts identifiés nous ont conduits à retravailler sur les définitions des classes du schéma de codage.
- 5 *Arbitrage et détection des anomalies*

De plus, l'identification d'anomalies pouvait éventuellement donner lieu à un amendement de la segmentation réalisée.

Ce processus d'affinage de l'étape 2 à 5 a été réalisé plusieurs fois. A l'issue de cette itération les instructions ont été figées.
- 6 *Codage total*

Le script a été codé dans sa totalité par le codeur A à partir de la dernière segmentation et des instructions.
- 7 *Extraction d'un échantillon représentatif.*

A partir de ce codage, un échantillon de 20% représentatif de la distribution des codes du codeur A a été extrait.

$$RMSE(\theta_1, \theta_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i,1} - x_{i,2})^2}{n}}$$

Une erreur quadratique moyenne (i.e. RMSE en anglais) a été utilisée pour calculer la représentativité de l'échantillon sélectionné vis-à-vis de la totalité du codage.
- 8 *Codage*

Pour éprouver la validité du codage total réalisé par le codeur A, l'échantillon du script, extrait de l'étape précédente, a été codé par un second codeur B. Les instructions, le script segmenté et les modèle produits ont été fourni au codeur B.
- 9 *Arbitrage et Détection des anomalies*

Puis à partir des deux codages du codeur A et du codeur B, un travail de comparaison et d'identification des différences a été réalisé. L'accord inter-juges entre codeur A et B a été mesuré en calculant un coefficient de Kappa (Bergeri, Michel, & Boutin, 2002).

A l'issue de cette étape les analyses ont été effectuées sur le codage total réalisé par le codeur A, le coefficient de Kappa calculé atteste de la confiance que nous pouvons porter dans le protocole utilisé.

Toutes les étapes de codage ont été réalisées via le logiciel Excel. Le contenu des cellules relatives aux trois dimensions du codage (i.e. modulation, action, argument) était contraint via une liste déroulante proposant toutes les options disponibles pour la dimension en question. Lorsque l'action sélectionnée était une action de génération un message était affiché pour rappeler au codeur qu'il devait spécifier le nom de la solution générée.

En ce qui concerne le processus de codage, deux différences s'établissent entre notre processus et celui proposé par (Gero & Mc Neill, 1998).

Tout d'abord, nous avons accéléré le processus de codage du protocole verbal en mettant en place, un

codage croisé (i.e. codeur A et B) sur un échantillon représentatif et non sur la totalité du script. En effet, la taille conséquente des protocoles, rendent le temps de codage d'un protocole dans sa totalité extrêmement long (plus de 60h pour coder un protocole de 1000 segments).

Ensuite la deuxième différence est que nous avons eu recours à une première passe de codage et d'arbitrage pour valider nos instructions. L'objectif était de s'assurer que les instructions ne seraient pas sujettes à mécompréhension et que par conséquent le processus de codage ne ferait intervenir que l'interprétation du codeur. Rappelons que l'interprétation du codeur a ensuite été mesurée au travers de la mesure de l'accord inter-juges (i.e. étape 9). Les coefficients de confiance ainsi que les données relatives à l'analyse du protocole des séances MACS 3 et 4 sont présentées dans la partie 3.2.1.

### 2.2.3 Notre analyse de protocole comportemental

Le protocole comportemental des séances de MACS s'appuie sur un schéma de codage inspiré du schéma de codage de Suwa et Gero (Suwa et al., 1998), des actions graphico-gestuelles qui étendent la méthode COMET (Détienne, Visser, et al., 2006) et de notre propre expérience des actions observables durant une mise en œuvre de la méthode MACS. Par conséquent, dans les parties suivantes nous présentons le schéma que nous avons utilisé ainsi que les instructions de codage qui en découle. Puis nous illustrons le processus mis en œuvre pour analyser le protocole via l'outil ACTOGRAM (Kerguelen, 2008).

#### 2.2.3.1 Schéma & instructions

Le schéma de codage de notre protocole comportemental s'appuie sur deux dimensions majeures inspirées de la décomposition des classes de codage proposées par (Suwa et al., 1998) :

- **Les actions physiques**, c'est à dire les mouvements ou les modifications effectuées dans l'environnement des individus : créer un modèle, ajouter/éditer une entité, ajouter/éditer un flux d'information, s'exprimer avec des gestes, dessiner,
- **Les actions perceptuelles**, c'est-à-dire les actions servant à supporter une autre action tel que la parole ou la réflexion : pointer le modèle et pointer la légende.

DIMENSION	CLASSE	CODE	DÉFINITION
Action physique	Créer un modèle	<i>Elément</i>	Un participant initie la création d'un nouveau modèle. Cela entraîne le groupe (potentiellement quelques secondes plus tard) sur l'édition d'un modèle sur une nouvelle feuille de papier.
	Ajouter/Editer une entité	<i>Modèle</i>	Un participant ajoute un post-it, écrit sur un post-it.
	Ajouter/Editer un flux d'information	<i>FluxInfo</i>	Un participant trace une flèche, un lien entre deux post-it, écrit sur le lien en question ou sur la boîte des caractéristiques associées.
	S'exprimer avec des gestes	<i>Dessin</i>	Un participant utilise des gestes pour expliquer une idée. Les gestes à encoder ne sont pas ceux qui relèvent du langage non verbal banal mais des gestes ou des mouvements bien précis visant à compléter l'explication d'une solution.
	Dessiner	<i>Gestes</i>	Un participant dessine sur la feuille de papier. Le dessin ne doit pas utiliser la représentation du modèle utilisé mais exprimer des fragments de solution complémentaires.
Action perceptuelle	Pointer le modèle	<i>PointerModèle</i>	Un doigt, main, stylo, pointé explicitement en direction du modèle pour appuyer une assertion ou pour attirer l'attention.
	Pointer la légende	<i>PointerLegende</i>	Un doigt, main, stylo, pointé explicitement en direction de la légende du modèle pour appuyer une assertion ou pour attirer l'attention

Tableau 17 : Schéma de codage du protocole comportemental

Ce schéma est adapté aux actions réalisables pendant le déroulement de la méthode MACS dans la version impliquant une édition collaborative du modèle tangible (i.e. grande feuilles de papier, cartes des concepts du modèle et légende). Globalement l'objectif de ce schéma de codage est de permettre l'étude de l'usage

et la fréquence d'usage des artefacts proposés durant la séance. Le Tableau 17 définit de schéma de codage et les classes possibles pour ces deux classes d'actions.

Ces actions ont volontairement été sélectionnées à un haut niveau d'abstraction car le point de vue de la vidéo ne nous permettait pas systématiquement de distinguer tous les détails. Par exemple, la capture vidéo ne permettait pas systématiquement de distinguer le tracé d'un flux d'information et l'écriture d'une information sur celui-ci.

Ce schéma de codage a été utilisé pour coder la vidéo de la séance de MACS 4 (cf. Tableau 14), première séance mettant en œuvre l'édition collaborative du modèle. Dans la partie suivante nous précisons les outils et le processus mis en œuvre pour réaliser le codage de la vidéo.

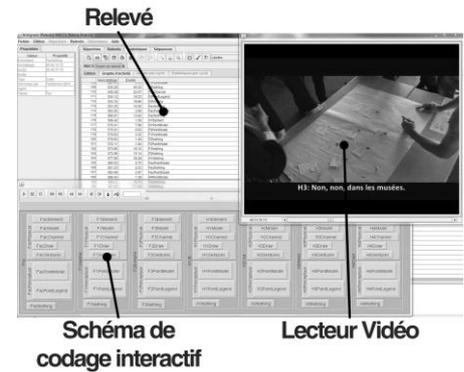


Figure 83 : Illustration de l'outil ACTOGRAM, utilisé pour analyser le protocole vidéo

### 2.2.3.2 Processus d'analyse du protocole comportemental

Pour analyser l'enregistrement vidéo au travers du schéma de codage présenté ci-dessus nous avons utilisé le logiciel ACTOGRAM (Kerguelen, 2008). Cet outil est dédié au traitement d'observations chronologiques et permet de saisir un schéma de codage, de réaliser un relevé et propose un ensemble de statistiques sur le relevé effectué. ACTOGRAM est donc particulièrement adapté à l'analyse d'un protocole. Toutefois ce logiciel ne permet d'importer que des données de type vidéo ce qui le rend uniquement adapté à l'analyse du protocole comportemental des séances de MACS et difficilement à l'analyse du protocole verbal.



Temps départ : 0:08:57 Participant : Spe Code : PointLegend  
Temps fin : 0:09:01



Temps départ : 1:12:26 Participant : MIS Code : Channel  
Temps fin : 1:12:32



Temps départ : 1:19:41 Participant : Dan Code : PointModel  
Temps fin : 1:19:45



Temps départ : 1:51:06 Participant : MIS Code : Entity  
Temps fin : 1:51:22

Figure 84 : Exemples de codage du protocole comportemental (extraits tirés du MACS 4).

Pour concrétiser, cette activité de codage nous proposons sur la Figure 84, quatre exemples d’actions relevées sur l’enregistrement vidéo de la séance MACS 4. Chacune de ces captures vidéo illustre une action physique ou perceptuelle. De manière générale pour chacune des actions observées, le temps, le participant impliqué ainsi que le code correspondant à l’action en question était noté.

Au même titre que pour l’analyse du protocole verbal, nous avons eu recours à un processus bien spécifique pour le codage de cet enregistrement vidéo. Ce processus est sensiblement similaire à celui appliqué pour le codage du protocole verbal. La Figure 85 illustre ce processus.

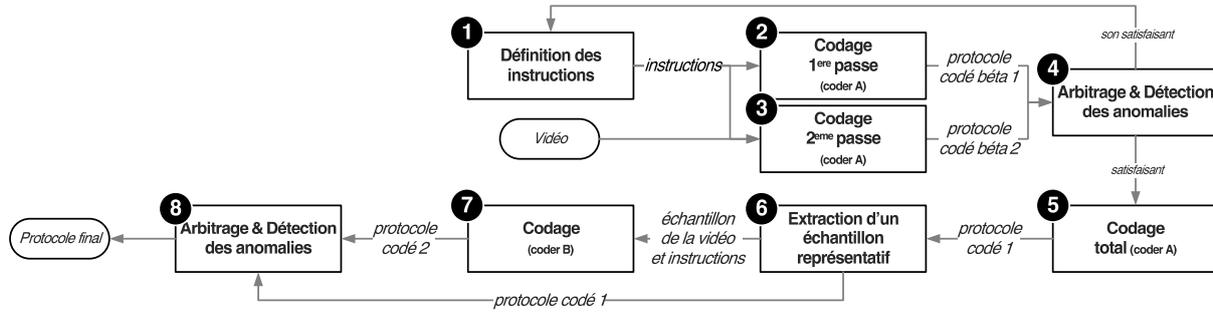


Figure 85 : Processus de codage du protocole comportemental

Le processus étant globalement identique à celui mis en œuvre pour le protocole verbal (cf. 2.2.2.2 Processus d’analyse du protocole verbal), nous ne reviendrons pas sur son explication détaillée mais uniquement sur les différences. Deux détails de mise en œuvre différencient ce processus du précédent :

3. Aucune étape de transcription et aucune étape de segmentation n’ont été réalisées car elles n’ont pas besoin d’être appliquées sur des données vidéo. En effet, dans ce cas, les actions de chacun des participants étaient codées de manière atomique directement au travers du visionnage de la vidéo.
4. La vidéo a été prétraitée pour être encodée dans un format compatible avec les prérequis d’ACTOGRAM (i.e. format MOV, codec H264).

Dans la section suivante nous présentons les résultats extraits grâce à l’analyse des solutions produites, et à l’analyse des protocoles verbaux et comportementaux.

### 3 ANALYSE DES SEANCES DE MACS

Pour étudier les trois hypothèses que nous avons posées en amont de ce chapitre nous avons analysé les solutions produites et les protocoles verbaux et comportementaux des trois séances de MACS selon le schéma posé dans la partie 1.4. Cette analyse est organisée selon les mesures que nous avons introduites dans la section précédente à savoir : 1) analyse des solutions produites, 2) analyse de protocole verbal et 3) analyse de protocole comportemental.

Nous complétons toutefois cette analyse avec un ensemble de retours qualitatifs provenant de questionnaires posés aux participants à l'issue des séances 3 et 4 ainsi qu'un ensemble de commentaires exposés durant les séances de débriefing de la méthode MACS.

#### 3.1 Analyse des solutions produites

Les solutions produites à l'issue des trois séances ont toutes été analysées en termes de variabilité de concepts exprimés, d'exploitation des entrées/sorties et d'adéquation avec le problème de conception.

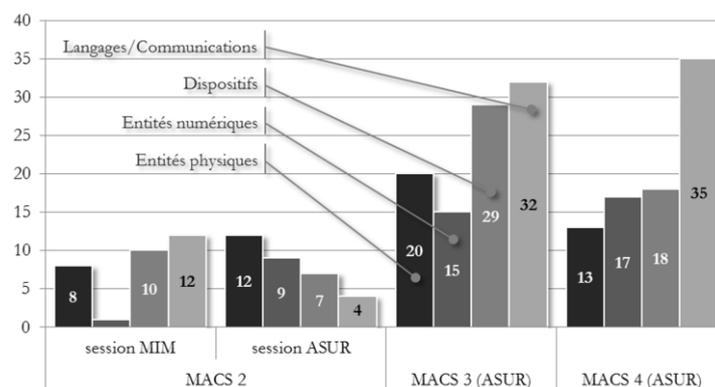
##### 3.1.1 Etude de la variabilité par concepts

Nous avons donc classé et comptabilisé les instances de concepts présents dans les modèles élaborés durant chacune des séances analysées (i.e. MACS 2, 3, 4) par type de concepts (i.e. physique, numérique, dispositif, langage, cf. partie 2.1.1). La Figure 86 illustre cette comptabilisation.

Tout d'abord nous pouvons commencer par comparer les résultats obtenus entre les deux séances du MACS 2 respectivement conduites avec les modèles MIM et ASUR sur le même cas d'étude.

La Figure 86 nous permet de constater que la proportion des types de concepts produits dans chacune de ces deux séances est inversée : la séance MIM a produit majoritairement des concepts de langage/communication et des dispositifs alors que la séance ASUR a produit majoritairement des entités physiques et numériques.

Une première interprétation de ce résultat pourrait nous amener à conclure que pour un cas d'étude donné, la génération d'idées s'articule autour des concepts prépondérants du modèle utilisé. En effet, ASUR est centré sur les composants participant à l'interaction (entités physiques et numériques), et MIM est articulé autour des constituants des modalités d'interaction (dispositifs et langages/modes de communication).



**Figure 86 : Comptabilisation par type de concept des éléments présents dans les modèles réalisés durant les séances de MACS**

Toutefois, pour ASUR la distribution des concepts sur les séances MACS 3 et MACS 4 indique non seulement une progression forte de la quantité d'instances exprimés mais aussi une tendance différente du MACS 2 ASUR en termes de distribution. La différence fondamentale entre la séance 2 et les séances 3 et 4 est l'introduction de la légende du modèle ASUR. Cette légende (cf. Figure 77 & Figure 78) avait pour but de proposer une définition simple des concepts exprimés par le modèle.

En conséquence, les résultats obtenus nous amènent à penser que sans assistance à la compréhension du

modèle, les participants sont amenés à se focaliser sur les concepts prépondérants exprimés par le modèle. L'apport d'une assistance à la compréhension du modèle facilite la compréhension des concepts les moins centraux et assiste les participants dans leur exploitation. Deux conclusions peuvent déjà être extraites de ces résultats. Premièrement, les concepts du modèle semblent donc bien influencer le focus des participants. L'analyse de protocole verbal présentée ci-après confirmera cette assertion. Deuxièmement, la légende est indispensable pour une utilisation efficace du modèle.

### 3.1.2 Etude de l'exploitation des entrées/sorties

Nous avons ensuite classé puis comptabilisé les instances de concept présents dans les modèles élaborés durant chacune des séances analysées (i.e. MACS 2, 3, 4) comme étant relatifs à l'entrée ou à la sortie du système. La Figure 87 illustre ce décompte.

Tout d'abord cette décomposition en termes d'entrée/sortie nous amène à observer le gain considérable en termes de nombre total d'instances de concept entre les séances MACS 2 (34 pour MIM et 34 pour ASUR) et les séances MACS 3 et 4 (96 pour MACS 3 et 83 pour MACS 4).

Comme expliqué précédemment la légende a été introduite à partir de la séance MACS 3. Nous pensons que l'introduction de celle-ci est une des raisons de cette variation de productivité des participants.

Ensuite une comparaison entre entrée et sortie par séance apporte des indications sur le focus des participants. Par exemple, les résultats de la séance MACS 3 sont fortement focalisés sur les entrées (i.e. MACS 3 : 73 entrées contre 23 sorties), alors que la séance MACS 4 est plus mitigée (i.e. MACS 4 : 50 sorties contre 33 entrées).

Nous expliquons cette variation de par la nature du problème de conception posé. Par exemple, dans la séance MACS 3, l'espace problème était restreint à la conception de techniques d'interactions en entrée pour l'application CladiBulle. En effet, dans cette séance, la conception de la représentation des informations de ce système était déjà conçue et présentée aux participants.

A l'inverse, dans la séance MACS 4, le problème de conception visait à explorer des modes de représentation de l'émotion. Il apparaît donc normal que les modèles contiennent plus d'instances de concepts relatifs aux sorties qu'aux entrées. Les éléments relatifs aux entrées de ce modèle sont toutefois élevés car durant la séance les participants ont envisagé des modes de correspondance entre les entrées et les sorties pour représenter l'émotion. Le modèle ne semble donc pas avoir d'influence particulière sur le focus en termes d'entrée/sortie. Ce focus en termes d'entrée/sortie serait donc essentiellement influencé par le problème de conception posé.

Toutefois, au travers de cette caractérisation des modèles en termes d'entrée/sortie du système, nous avons observé que certains modèles générés ne comportaient des solutions que pour les entrées ou pour les sorties du système. Comme l'illustre la Figure 88, sur la totalité des séances, la proportion de modèles ne comportant que des entrées ou que des sorties correspond presque à la moitié des modèles produits. Ce sont donc des cas de modèles partiels ou inachevés.

Ce constat renforce tout d'abord l'intérêt de l'étape 4 de la méthode MACS visant à recombinaison des sous-

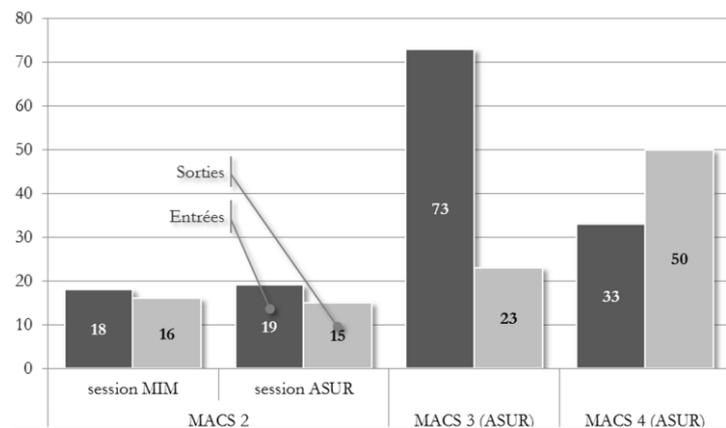


Figure 87 : Comptabilisation par entrée/sortie des éléments présents dans les modèles réalisés durant les séances de MACS

ensembles de modèles incomplets. De plus, un regard plus approfondi sur le déroulement des séances nous a conduit à remarquer que les participants génèrent volontairement des sous-ensembles de solutions représentant des alternatives. Par exemple dans la séance MACS 3, les participants ont envisagé l'usage d'un pointeur à distance et ont proposé un ensemble d'alternatives à celui-ci en ne spécifiant que les différences à ce premier modèle.

Par conséquent, pour les futures versions de la méthode, il apparaît nécessaire de considérer la gestion des alternatives à un sous-ensemble d'un modèle généré. Une telle considération pourra par exemple faire partie d'un outil logiciel support à l'édition de modèle en séance de MACS.

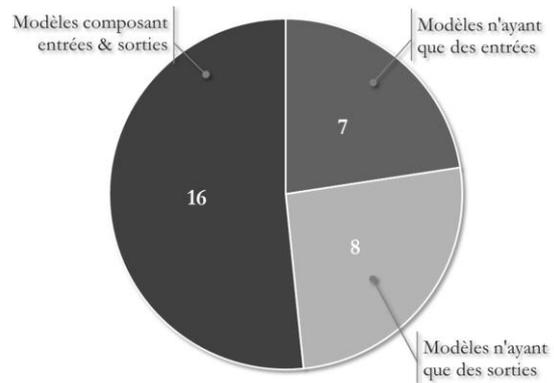


Figure 88 : Nombre de modèles parmi les séances analysées n'ayant que des entrées, que des sorties ou les deux.

### 3.1.3 Etude de l'adéquation des solutions avec le problème de conception

Pour finir nous avons caractérisé chacun des modèles produits dans les séances comme répondant ou non aux exigences fonctionnelles et non fonctionnelles du problème de conception posé en amont des séances. Ces exigences sont définies pour chacune des séances dans la partie 1.3.

A l'évidence, les cas d'étude n'étant pas les mêmes pour toutes les séances, l'adéquation des modèles produits entre les séances n'est que peu comparable. En effet, une grande quantité d'exigences est plus difficile à satisfaire qu'une faible quantité. C'est toutefois un indicateur pertinent de l'usage du modèle durant la séance et de la qualité des solutions produites.

La Figure 89 illustre en pourcentage l'adéquation des modèles produits de chacune des séances avec leurs problèmes de conception respectifs. Nous observons tout d'abord une certaine disparité entre les solutions produites dans l'adéquation avec les exigences du problème de conception. La séance MACS 4 est la seule à faire mention de plusieurs modèles étant en totale adéquation avec le problème de conception posé. Toutefois, le problème de conception de cette séance (i.e. rendre l'émotion d'un danseur de ballet) était faiblement contraint et les exigences fonctionnelles en entrée étaient peu nombreuses. Il apparaît donc normal que les objectifs aient été plus facilement atteints.

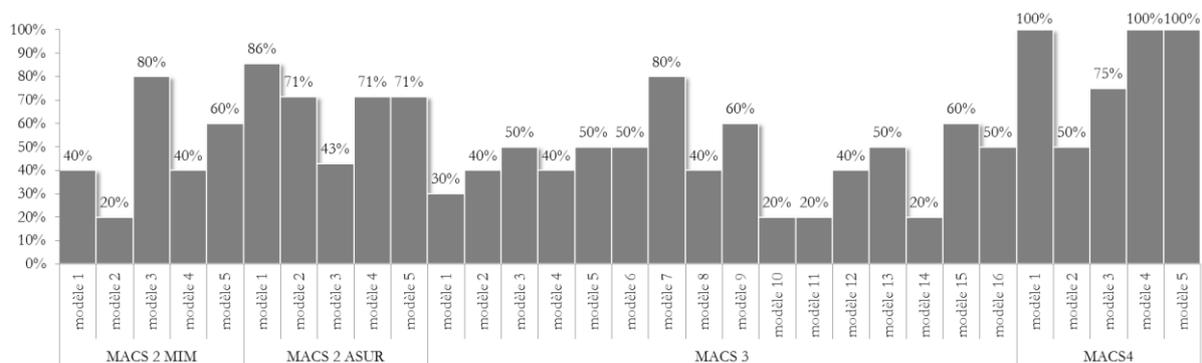


Figure 89 : Pourcentage d'adéquation avec les exigences des problèmes de conception pour chacun des modèles de chacune des séances analysées

De plus, nous observons qu'au travers de toutes ces mises en œuvre certains modèles générés sont incomplets. L'introduction de la légende dans le MACS 3 puis du support à l'édition collaborative du modèle ne semble pas avoir d'influence sur l'adéquation des solutions produites avec le problème de conception.

Inversement, au travers des séances aucun modèle ne s'est avéré complètement hors-champs. Tout modèle avait au moins un lien avec une des exigences du cas d'étude et en moyenne les modèles couvrent plus de la moitié des exigences posées ( $MD=58\%$ ,  $SD=21\%$ ). Ce résultat encourageant, tend donc à montrer que le MACS permet aux participants de focaliser leur attention sur les exigences définies en amont de la séance.

En résumé, ces résultats sur l'adéquation des solutions avec les exigences du problème de conception nous conduit à deux conclusions. Premièrement, le constat de la non-complétude de certains modèles renforce la nécessité de l'étape 4 de la méthode MACS, à savoir le post-traitement des résultats visant à recombinaison des sous-ensembles de modèles incomplets. Deuxièmement, ce constat nous amène à penser qu'une stimulation additionnelle focalisée sur les exigences du problème de conception pourrait être bénéfique. Par exemple, les modèles pourraient être caractérisés en fonction des exigences qu'ils satisfont à la volée durant la séance, de manière à indiquer les contraintes qui n'ont pas encore été satisfaites. Une telle caractérisation pourrait être réalisée par le facilitateur ou bien par un outil logiciel dédié.

### 3.1.4 Analyse des solutions produites : synthèse

ANALYSE	RÉSULTAT	HYPOTHÈSE RELATIVE
Partie 3.1.1 Etude de la variabilité par concepts	Les concepts du modèle semblent influencer le focus des participants	<i>Hypothèse 1 : Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.</i>
Partie 3.1.2 Etude de l'exploitation des entrées/sorties	Les participants génèrent des alternatives à un sous-ensemble d'un modèle généré.	<i>Hypothèse 3 : Durant un MACS, le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.</i>
Partie 3.1.3 Etude de l'adéquation des solutions avec le problème de conception	Une stimulation focalisée sur les exigences du problème de conception pourrait être bénéfique.	<i>Hypothèse 1 : Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.</i>

Tableau 18 : Récapitulatif des résultats l'analyse des solutions produites

## 3.2 Analyse de protocole verbal

Dans cette partie nous présentons le deuxième type d'analyse que nous avons conduit : l'analyse de protocole verbal. Comme spécifié dans la partie 1.4, le protocole verbal a été recueilli pour les séances MACS 3 et 4. Rappelons que l'objectif de cette analyse est d'étudier l'usage du modèle durant les séances de MACS. Dans ces analyses, nous mettrons donc tout particulièrement l'accent sur la distribution des codes comprenant un argument de type solution du modèle (i.e. ms : métaphore, me : entités, ma : attributs, mc : flux d'information). L'objectif des séances de MACS étant de générer des solutions d'interaction mixte, nous mettrons également l'accent sur les actions de génération d'idées (i.e. action ge). Pour y parvenir, ces protocoles verbaux ont été analysés, selon quatre axes :

1. *La distribution des codes par participant et par codes (mod, act, arg)* : De cette manière nous avons déterminé le focus thématique des participants et par voie de conséquence apprécié l'usage du modèle et de ces concepts dans les séances MACS 3 et 4. Cette métrique nous apporte des éléments de réponses pour notre première hypothèse : le modèle impacte la génération d'idée
2. *L'analyse détaillée des références au modèle* : L'objectif de cette étude est de déterminer de quelle manière et dans quelles limites les participants utilisent des concepts qui sont relatifs au modèle. Cette métrique nous apporte des éléments de réponses pour notre deuxième hypothèse : le modèle joue le rôle de langage de référence
3. *Liens entre Actions de Génération et Références au Modèle* : Nous avons étudié ici dans quelle mesure les références du modèle stimule les participants dans la génération d'idées. Cette métrique nous apporte d'autres éléments de réponses relatifs à notre première hypothèse : le modèle impacte la génération d'idée
4. *Etude de l'usage du support d'annotation* : Cette dernière étude met en correspondance les idées présentes dans les modèles édités et les idées qui sont effectivement générées pour évaluer le potentiel de capture du support d'annotation. Cette métrique nous a apporté un ensemble de réponses relatives à notre troisième hypothèse : le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.

Mais avant d'entrer dans le détail de ces analyses nous proposons un ensemble de données descriptives du protocole étudié.

### 3.2.1 Caractéristiques des corpus étudiés

Pour rappel les séances MACS 3 et 4 ont duré environ deux heures chacune. Cinq 5 participants étant présents dans le MACS 3 et 7 participants pour le MACS 4. Par conséquent, les échanges ont été plus nombreux sur la séance MACS 4 que sur la séance MACS 3. Le Tableau 19 fournit les informations relatives à la taille du corpus en termes de nombre de mots, de tour de parole, de segments, de segments effectivement codés (i.e. segments valides), ainsi que les informations relatives à l'échantillon soumis au codage croisé (nombre de segments de l'échantillon et représentativité de cet échantillon).

	MACS3	MACS4
Nombre de mots du protocole	9896 mots	16861 mots
Nombre de tour de parole du protocole	665 tours de parole	1786 tours de parole
Nombre de segments du protocole	974 segments	1815 segments
Nombre de segments du protocole codé	901 segments codés	1531 segments codés
Nombre de segments du protocole soumis au jugement croisé	188 segments	363 segments
Représentativité de la distribution des codes de l'échantillon soumis au jugement croisé	96,66%	98,27%

**Tableau 19 : Données descriptives des deux protocoles verbaux**

Pour mesurer la confiance que nous pouvons porter dans le codage du protocole, nous avons calculé un coefficient d'accord inter-juge, dit Kappa (K) de Cohen (Bakeman & Gottman, 1997) sur l'échantillon soumis au jugement croisé pour chacune des séances. Ce coefficient permet de déterminer le degré d'accord entre les différents codeurs.

Pour calculer un coefficient de Kappa, il est nécessaire de construire une matrice d'accords. Cette matrice comporte  $n$  lignes et  $n$  colonnes,  $n$  étant le nombre de codes du schéma de codage. De cette manière il est possible de représenter le nombre d'occurrences où les jugements sont identiques et le nombre d'occurrences où les jugements divergent. A partir de cette matrice, l'indice Kappa est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$K = \frac{(P_0 - P_C)}{(1 - P_C)}$$

$P_0 =$  La proportion des accords observés. Cette proportion s'obtient en additionnant les occurrences d'accord (i.e. diagonale de la matrice) et divisant cette somme par le nombre total d'occurrences.

$P_C =$  La proportion des accords dus au hasard. Elle s'obtient en calculant le produit matriciel de la somme des lignes et des colonnes et en divisant ce résultat par le carré du nombre total d'occurrences.

Dans notre cas, nous avons calculé un coefficient de Kappa pour les trois protocoles impliqués dans l'étape d'arbitrage final (cf. partie 2.2.2.2 et Figure 82). A savoir : le protocole du codeur A, le protocole du codeur B et le protocole final issu de l'arbitrage entre A et B.

	MACS3			MACS4		
	A&B	A&F	B&F	A&B	A&F	B&F
KAPPA	0,59	0,61	0,71	0,69	0,70	0,77

A&B : protocole 1 (codeur A) & protocole 2 (codeur B)  
 A&F : protocole 1 (codeur A) & protocole final  
 B&F : protocole 2 (codeur B) & protocole final

**Tableau 20 : Coefficients de Kappa pour les étapes du codage du protocole verbal**

Rappelons toutefois que du à la taille importante du protocole verbal de chacune des séances, cet accord inter-juges n'a été calculé que pour 20% de la totalité du codage final sur un échantillon représentatif de la distribution des codes du codeur A. Malgré cette limitation, ce codage atteste toutefois de la confiance que nous pouvons porter dans le codage effectué et donc de l'adéquation du schéma de codage employé avec les évènements de la séance.

Les coefficients de Kappa sont globalement supérieurs à 0,6, ce qui indique un bon accord inter-juge (Bergeri et al., 2002). Les écarts d'interprétation entre les juges se situaient principalement au niveau de l'action et de l'argument. Plusieurs raisons expliquent ces écarts.

Tout d'abord, en termes d'action (i.e. la seconde dimension du schéma de codage du protocole verbal) nous avons noté d'importants écarts de codage entre les actions d'interprétation et d'information (i.e. it et nf). L'ambiguïté potentielle entre le choix d'un de ces deux codes est connue et a déjà été soulignée dans (Gronier, 2010). Nous avons également noté des écarts d'interprétation entre les actions de génération et d'information (i.e. ge et nf). Cet écart est explicable par la difficulté à identifier la granularité d'une idée. Par conséquent, l'action d'information peut être vue comme le complément d'une idée déjà exprimée ou comme la génération d'une nouvelle idée.

En termes d'argument (i.e. la troisième dimension du schéma de codage du protocole verbal) les confusions s'établissent principalement entre les différents niveaux de granularité des fragments de solution du modèle (i.e. ms, me, ma, mc). En effet, si déterminer qu'une idée est relative aux concepts du modèle est relativement facile, déterminer quelle forme va prendre cette idée dans le modèle requiert une expertise particulière. A cela s'ajoute une forte proportion d'écarts entre les objets du domaine et les procédures du domaine (i.e. do et dp).

### 3.2.2 Distribution des codes

Dans cette partie nous analysons la distribution des codes pour chacune des dimensions du codage du protocole verbal (i.e. modulation, action, argument). L'objectif est de déterminer le focus thématique des participants pour étudier un des objectifs du modèle dans la méthode MACS : la stimulation de la génération d'idée.

### 3.2.2.1 Par participant

Tout d'abord nous avons observé que le nombre de segments variait entre les participants. En effet, comme l'illustre la Figure 90, dans les deux séances analysées, *le facilitateur tient une place importante* (i.e. 40% des segments pour le MACS 3 et 22% des segments pour le MACS 4). Cette occupation du temps de parole est explicable par le triple rôle que doit jouer le facilitateur durant les séances, à savoir : assister les participants dans l'utilisation du modèle, proposer des variations sur les modèles générés et surtout gérer la dynamique de groupe.

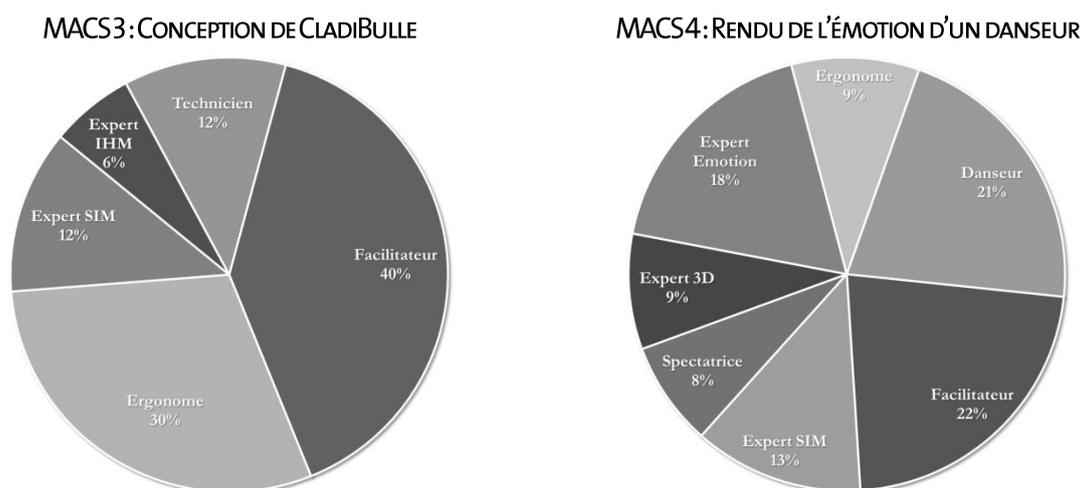


Figure 90 : Distribution des segments par participant pour chacune des séances MACS 3 (à gauche) et la séance MACS 4 (à droite)

Ensuite, nous observons dans les deux séances que le second participant ayant une place importante est respectivement l'ergonome pour le MACS 3 et le danseur pour le MACS 4. Ce résultat apparaît cohérent avec les profils des participants et le domaine d'application traité. En effet, dans le MACS 3, l'ergonome bénéficiait d'une expérience notable dans la conception d'expositions muséales et dans le MACS 4 le danseur était le représentant attiré du domaine d'application du ballet de Biarritz. *L'expert du domaine d'application tient donc une place importante dans les séances de MACS.* Enfin nous remarquons globalement que tous les participants sont intervenus, dans des proportions non négligeables.

### 3.2.2.2 Par catégorie : modulation/action(argument)

Tout d'abord, bien que le nombre de segments ne soit pas identique entre les deux séances, nous remarquons qu'en termes de modulations (i.e. assertion ou requête) et d'actions (i.e. génération, évaluation, interprétation, information) *la distribution entre les deux séances est similaire.*

En effet, comme le montre la Figure 91, les assertions prédominent largement les requêtes dans les deux séances. L'objectif des séances de MACS étant de proposer des solutions à un problème, ce résultat apparaît cohérent.

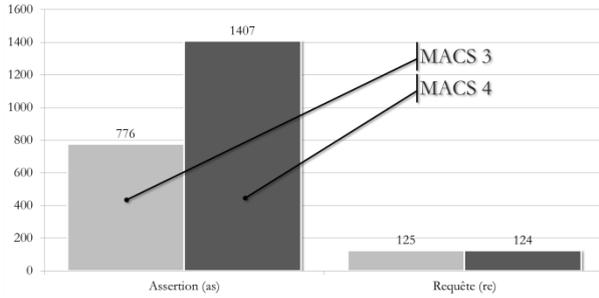


Figure 91 : Distribution des codes de modulation pour chacune des séances

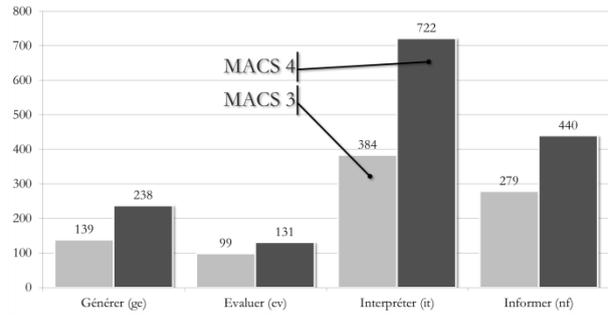


Figure 92 : Distribution des codes d'action pour chacune des séances

Ensuite, la Figure 92 nous montre que les actions d'interprétation et d'information prédominent largement les actions de génération et d'évaluation. La faible proportion d'actions de génération est explicable par notre méthode de codage. En effet, dans notre codage la génération d'une idée a été codée comme un élément ponctuel du discours (e.g. « ...je voyais par exemple un écran derrière où tu as écrit "colère"... »). Une action de génération est généralement suivie d'un ensemble d'actions d'information visant à compléter/préciser l'idée proposée, puis d'un ensemble d'actions d'interprétation permettant aux participants de s'assurer mutuellement qu'ils ont bien compris. Ce constat apparaît être en ligne avec l'observation de la prédominance des activités de synchronisation cognitive soulignée dans (Darses, Détienne, Falzon, & Visser, 2010). De plus, l'objectif principal des séances de MACS étant de produire des solutions, peu de place dans le discours est laissé aux actions d'évaluation, c'est-à-dire au jugement des idées produites.

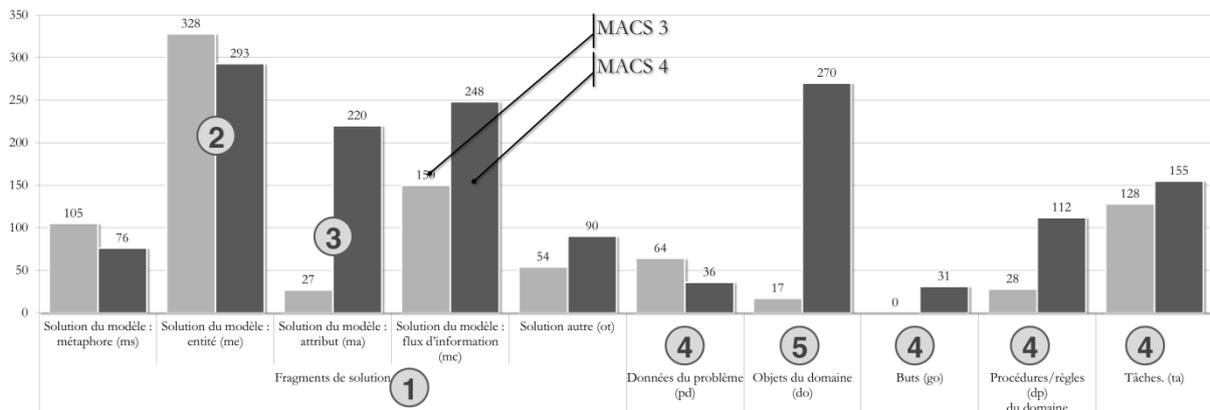


Figure 93 : Distribution des codes d'argument pour chacune des séances

En termes d'argument (i.e. sujet traité par un segment : ms, me, ma, mc, ot, pd, do, go, dp, ta), les fragments de solutions prédominent largement (cf. Figure 93 n°1) dans chacune des deux séances. Les participants sont donc focalisés sur la production de solutions. C'est une preuve empirique que l'objectif des séances de MACS est bien atteint.

De plus, nous observons des disparités au sein même des différents types constituant ces fragments de solution. En effet, la séance MACS 3 est très distinctement focalisée sur les entités du modèle (cf. Figure 93 n°2) (i.e. entités physiques, numériques et adaptateur dans ASUR) alors que la séance MACS 4 est plus hétérogène.

Une rapide comparaison entre les deux séances nous permet de constater un gain d'intérêt porté aux attributs du modèle (cf. Figure 93 n°3) (e.g. représentation, médium, propriétés des entités participant à l'interaction) dans la séance MACS 4. Cette divergence entre les deux séances est très probablement due à la nature du problème de conception.

En effet, le problème de conception de la séance MACS 3 requérait la conception de dispositifs, d'objets, de composantes physiques et numériques de l'interaction pour manipuler l'arbre 3D de classification du vivant (cf. partie 1.3.2). Les entités du modèle (codées *me*) étaient donc à l'œuvre. A contrario, la séance MACS 4 portait sur le rendu de l'émotion du danseur. Peu d'objets physiques et numériques étaient donc nécessaires pour atteindre cet objectif. Un travail exploratoire spécifique devait être conduit quant aux canaux de communication, aux représentations et aux médiums nécessaires pour représenter l'émotion. Il apparaît donc cohérent que le focus des participants ait porté sur les attributs et les flux d'information du modèle. *Ce premier constat montre donc que les participants sont capables de tirer profit des concepts du modèle pertinents pour le problème de conception posé.*

Nous relevons également un focus moindre quant aux autres catégories d'arguments (cf. Figure 93 n°4) (i.e. *pd*, *go*, *dp*, *ta* sur la Figure 93) dans chacune des deux séances. Cette tendance apparaît être analogue aux deux séances. Nous pensons que les principes de mise en œuvre de la méthode MACS peuvent expliquer la faible distribution de certains de ces arguments. Par exemple, les données du problème et les buts sont très peu mentionnés. *L'étape 2 de la méthode MACS visant à établir clairement une définition de ces données et de ces buts a donc bien joué son rôle.* Par conséquent, les participants n'ont pas ou peu besoin d'y refaire référence durant la séance.

Comme l'illustre la Figure 93, dans la séance MACS 4, les objets du domaine (cf. Figure 93 n°5) se détachent toutefois de la tendance générale. En effet, dans la séance MACS 4 les participants ont énormément fait référence au domaine d'application du ballet (e.g. danse, chorégraphie, émotion, scène, spectacle, salle, spectateur, etc.). Nous pensons que le caractère ouvert du problème de conception explique cette augmentation de focus thématique. En effet, comme nous l'avons mentionné dans la partie 1.3.3, ce cas d'étude était une situation de re-conception du système. Un grand nombre de possibilités était donc envisageable. Concrètement, durant la séance MACS 4, les participants ont redéfini la situation du ballet pour déterminer de nouveaux objets du domaine d'application à considérer dans l'interaction. Par exemple, l'interprétation des spectateurs comme facteur d'influence dans la boucle perception/action du danseur a été considérée et discutée alors qu'elle ne l'avait auparavant jamais été.

Pour étudier l'impact du modèle dans la séance, nous revenons dans la partie suivante en détail sur la distribution des fragments de solution relatifs au modèle.

### 3.2.3 Analyse détaillée des références au modèle

Nous avons vu dans la partie précédente que les arguments relatifs aux fragments de solution dominaient largement le focus des participants. Dans cette partie, nous analysons la quantité et la fréquence de références à des thèmes du modèle pour étudier un des objectifs du modèle dans la méthode MACS : le rôle de langage de référence.

Pour rappel, un fragment de solution correspond à tout objet de la discussion étant relatif à une réponse au problème de conception posé. Les données du problème (*pd*), les objets du domaine (*do*), les buts (*go*), les procédures du domaine (*dp*) et les tâches (*ta*), ne font donc pas partie de ces fragments.

Par conséquent nous analysons la proportion de fragments de solution relatifs au modèle (i.e. *ms* : métaphore, *me* : entités, *ma* : attributs, *mc* : flux d'information). Pour y parvenir nous avons calculé deux ratios (cf. Tableau 21) :

1. Le premier ratio est le nombre de segments relatifs à un fragment de solution du modèle (*ms*, *me*, *ma*, *mc*) divisé par la totalité des segments. Ce ratio nous fournit une indication sur le focus porté aux éléments de solutions relatifs aux concepts du modèle utilisé durant la séance.
2. Le second ratio est le nombre de segments relatifs à un fragment de solution du modèle (*ms*, *me*, *ma*, *mc*) divisé par le nombre de segments relatif à un fragment de solution qu'il soit relatif au modèle ou non (i.e. *ms*, *me*, *ma*, *mc* et *oi*). Ce ratio détermine le focus des participants lorsqu'il s'agit de traiter d'une solution durant la séance.

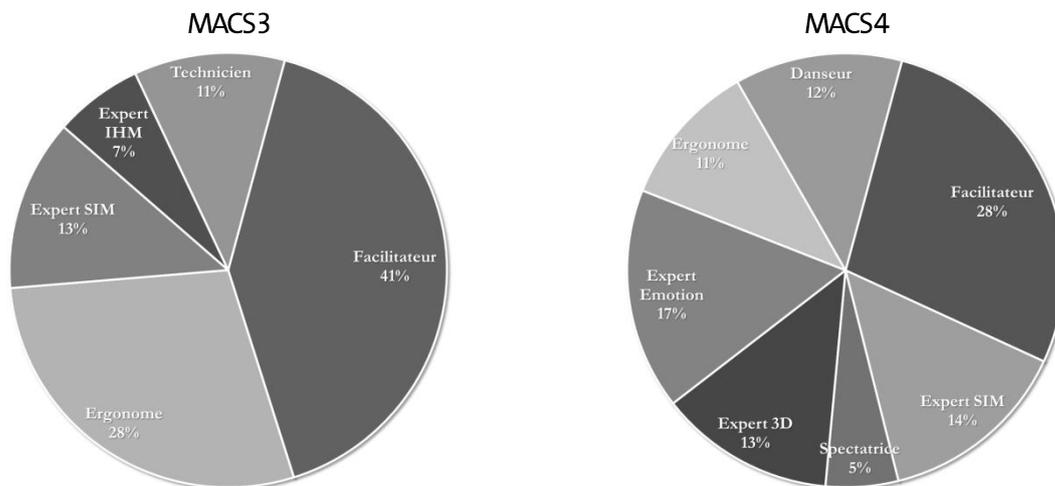
	MACS3	MACS4
$\text{Usage du modèle} = \frac{\text{Segments relatifs au modèle (ms, me, ma, mc)}}{\text{Totalité des segments}}$	67,7 % des segments sont attribuables à une instance de concept du modèle	54,6 % des segments sont attribuables à une instance de concept du modèle
$\text{Solution relatives au modèle} = \frac{\text{Segments relatifs au modèle (ms, me, ma, mc)}}{\text{Segments relatifs aux solutions (ms, me, ma, mc, ot)}}$	91,87 % des solutions proposées sont attribuables à une instance de concept du modèle	90,29 % des solutions proposées sont attribuables à une instance de concept du modèle
Fréquence d'apparition d'un fragment de solution relatif au modèle (ms, me, ma, mc)	M = 09,111 sec SD = 16,780 sec	M = 08,746 sec SD = 26,382 sec

**Tableau 21 : Ratios et fréquence d'usage du modèle et de solutions relatives au modèle durant les séances MACS 3 et MACS 4**

Tout d'abord, nous remarquons que ces deux ratios convergent entre les deux séances. C'est une preuve de stabilité de mise en œuvre la méthode. De plus, ces deux ratios indiquent un usage important des concepts relatifs au modèle utilisé durant la séance. *Nous pouvons en déduire que les participants utilisent les concepts du modèle pour s'exprimer de manière générale et pour exprimer les éléments relatifs à la solution en cours.* Le focus de la séance s'établit donc majoritairement autour des instances de concepts du modèle.

Pour appuyer ce résultat nous avons également calculé la fréquence d'apparition d'un fragment de solution relatif au modèle (Tableau 21, 3<sup>ème</sup> ligne). Pour y parvenir nous avons calculé les écarts de temps entre deux références au modèle, puis calculé l'écart de temps moyen. *Pour chacune des deux séances, la fréquence moyenne indique que toutes les 10 secondes, un participant mentionne une instance de concept du modèle. Les participants s'expriment donc dans des termes relatifs au modèle très fréquemment.* Nous retiendrons que les participants utilisent les concepts du modèle fréquemment tout au long de la séance.

Pour entrer dans le détail nous avons analysé le ratio d'usage du modèle par participant (Figure 94). De cette analyse nous avons fait deux constats. Premièrement au même titre que pour la distribution des segments par participant (cf. Figure 90), le facilitateur tient une place importante dans la quantité de référence au modèle. Cela est cohérent avec les principes de la méthode. En effet, le facilitateur à en charge de guider les participants au travers des concepts du modèle. Toutefois l'écart-type de cette fréquence moyenne est respectivement de 17 secondes pour la séance MACS 3 et de 26 secondes pour la séance MACS 4. Les références aux concepts exprimés dans le modèle sont donc relativement irrégulières.



**Figure 94 : Distribution des segments relatifs à l'usage du modèle (argument = ms | me | ma | mc) par participant pour chacune la séance MACS 3 (à gauche) et la séance MACS 4 (à droite)**

Le deuxième constat que nous faisons est que tous les participants de chacune de ces deux séances ont fait

des références au modèle. Les quantités de références sont bien sur variables entre les participants. Nous ne pensons pas que le profil disciplinaire des participants soit en cause dans ces proportions. En effet, à titre d'exemple dans la séance MACS 4 le danseur, l'expert 3D et l'expert SIM ont quasiment fait référence au modèle en quantité identique (i.e. 12%  $\approx$  13%  $\approx$  14%).

Des variations en termes de compréhension de la notation modèle pourraient être une source d'explication à cette variabilité inter-individu (cf. Chapitre 5). Nous retenons toutefois que *tous les profils de participants ont fait référence à des concepts ou des instances de concept du modèle*. C'est un indicatif fort sur la capacité des participants à utiliser ces concepts pour communiquer.

### 3.2.4 Liens entre actions de génération et références au modèle

Nous avons vu dans la partie précédente que parmi la totalité des segments, les références au modèle étaient majoritaires. Dans cette partie nous allons étudier un des objectifs du modèle dans la méthode MACS : la stimulation de la génération d'idée.

Cette analyse s'appuie fortement sur le paradigme de l'action située en conception (cf. Chapitre 1). Selon l'approche située (Schön, 1984), l'activité de conception peut être vue comme une action à la fois contextuellement dépendante et séquentiellement ancrée (Détienne & Traverso, 2009). Une séance de MACS peut donc être considérée comme un système d'échange entre les participants et le support d'édition du modèle mais aussi entre les participants entre eux. Dans ce système, la prise de parole/tour définit l'ordre social de la séance et à chaque tour de parole les participants peuvent changer "les règles du jeu".

Cette paire contexte/temporalité (i.e. « *given the first, the second is expectable* ») constitue ici notre cadre d'analyse de la situation. Nous pouvons donc raisonnablement penser que chaque prise de parole constitue un input (parmi d'autres) du tour de parole suivant et peut par voie de conséquence l'influencer, le conditionner.

Le modèle et son support d'annotation définissent la représentation externe de la solution en cours de conception. Une conversation réflexive entre cette représentation et les participants doit donc s'établir (Schön, 1984). Par conséquent, au cours de la séance, les participants sont sans cesse stimulés par cette représentation et celle-ci fait potentiellement émerger des propriétés, des aspects du système que les participants n'avaient pas préalablement considérés. De ce fait, nous pouvons supposer que le fait qu'un participant génère/évalue/interprète/informe un fragment de solution relatif au modèle peut provoquer une réaction chez le participant suivant.

Pour analyser les protocoles verbaux selon ce point de vue situé, nous avons analysé les séquençements entre les segments d'un participant à un autre dans les deux protocoles verbaux. Notre focus étant porté sur l'identification des événements pouvant déclencher une génération d'idée, nous avons développé un algorithme comptabilisant pour chacun des arguments possibles d'un participant A, les occurrences d'action de génération du tour de parole suivant d'un participant B.

N°	SEGMENT	TEMPS	PARTICIPANT	TRANSCRIPTION	MOD	ACT	ARG	SOLUTION GÉNÉRÉE
231	0:58:05	Ergonome	c'est plus précis qu'une caméra !	as	nf	me		
232	0:58:09	<b>Facilitateur</b>	mais quel serait l'intérêt de mettre des <b>accéléros</b> et des <b>gyros</b> ?	re	it	<b>me</b>		
233	0:58:25	<b>Technicien</b>	ça pourrait servir à faire des <b>gestes</b> quand on déplace dans les nœuds !	as	<b>ge</b>	mc	Gestes pour déplacer les nœuds	
234	0:58:30	Facilitateur	ah oui on peut faire des gestes !	as	it	mc		

Tableau 22 : Exemple de séquençement considéré. Le segment 232 du participant « *Facilitateur* » est source de la génération du segment 233 du participant « *Technicien* ».

Le Tableau 22 illustre un exemple de séquençage que nous avons considéré. Dans cet exemple, le segment n° 232 du Facilitateur questionne les participants sur l'intérêt de l'utilisation de dispositifs de type accéléromètre ou gyroscope. Dans le segment suivant, le technicien génère la possibilité d'utiliser des gestes pour déplacer les nœuds de l'arbre 3D (cf. 1.3.2). Selon le paradigme de l'action située, nous pouvons présumer que la proposition de l'utilisation de gestes a été inférée par le technicien, suite à la suggestion de l'emploi d'accéléromètres/gyroscopes. En effet, ces deux types de dispositifs peuvent être utilisés pour capter différentes sortes de mouvement ou de gestes.

Les résultats de cette analyse ont été classés dans une matrice dont les Figure 95 et Figure 96 illustrent respectivement les résultats pour les séances MACS 3 et MACS 4. Ces figures représentent la quantité d'enchaînements entre un segment relatif à un argument défini à un segment relatif à une action de génération. Dans ces figures, l'épaisseur des flèches illustre le nombre d'occurrences de séquençage identifiées entre les arguments et l'action de génération.

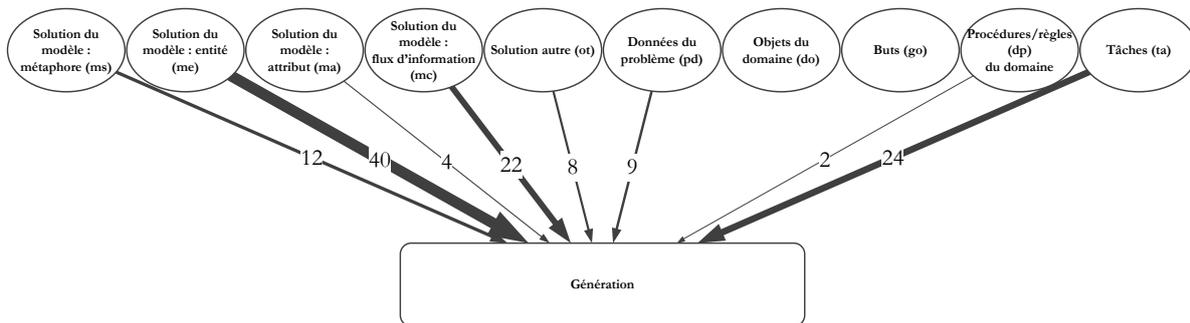


Figure 95 : Occurrences de succession d'un argument et d'une action de génération (ge) entre deux participants différents pour la séance MACS 3.

Pour la séance MACS 3, la Figure 95 nous apprend que les arguments relatifs aux entités du modèle (i.e. entité physiques, numérique, dispositifs) sont la source du plus grand nombre d'action de génération avec 40 enchaînements identifiés durant la totalité de la séance. Puis, les segments relatifs à la tâche et aux flux d'information suivent. Nous faisons le constat que ce premier résultat est parfaitement en ligne avec la distribution des codes présentée dans la partie 3.2.2.2 (cf. Figure 93) et qui montrait que les codes *me*, *mc* et *ta* sont les plus nombreux.

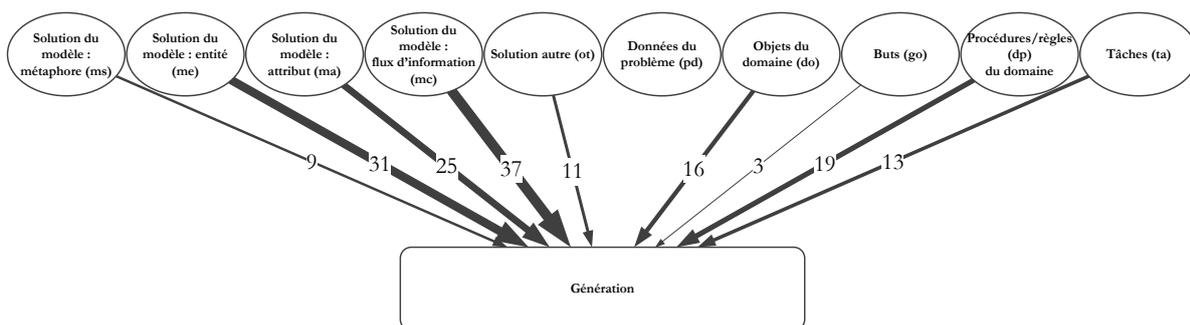


Figure 96 : Occurrences de succession d'un argument et d'une action de génération (ge) entre deux participants différents pour la séance MACS 4

De la même manière, la Figure 96 nous apprend pour la séance MACS 4, que les arguments relatifs aux solutions du modèle de type flux d'information (i.e. langage, communication entre les entités d'un SIM) et les solutions de type entité du modèle sont les deux plus grandes sources d'action de génération avec respectivement 37 et 31 enchaînements identifiés. Puis, les segments relatifs aux attributs du modèle suivent ce résultat avec 25 enchaînements. Enfin, les procédures et les objets du domaine précèdent respectivement 19 et 16 actions de génération.

Nous soulignons de plus ici que les objets du domaine (i.e. codés *do*), fortement présents dans la distribution des codes de la séance MACS 4 (cf. Figure 93) ne sont ici que très faiblement sources d'action de génération avec 16 enchainement identifiés. Pour cette séance, nous faisons donc le constat que ce résultat est également en ligne avec la distribution des codes présentée dans la partie 3.2.2.2 à l'exception des codes liés aux objets du domaine (i.e. codés *do*).

Pour conclure sur les résultats de ces séquençements, nous retenons que dans les deux séances, *les arguments précédant le plus grand nombre d'action de génération sont des fragments de solution relatifs au modèle*. Il s'agit en effet, dans la séance MACS 3, d'entités du modèle et dans la séance MACS 4 de flux de communication, d'entités et d'attributs. Ce constat est parfaitement en ligne avec le focus thématique de chacune des deux séances.

De plus, cette corrélation entre précédant d'action de génération et distribution générale des codes pourrait nous conduire à penser que ces enchainements sont corrélés avec la probabilité d'occurrence des codes observés. Toutefois, la séance MACS 4 montre une irrégularité faisant exception. En effet, dans la séance MACS 4 les objets du domaine ne précèdent que très peu les actions de génération alors que ceux-ci dominaient le focus thématique de la séance. Ce constat est une preuve empirique que la prédominance les enchainements des fragments de solutions relatifs au modèle/action de génération n'est pas simplement fonction de la distribution des codes et n'est pas due à une distribution aléatoire. *Les concepts exprimés dans le modèle semblent donc bien être la source majeure de génération d'idée dans chacune des deux séances.*

Il est toutefois important de pondérer ces résultats car ils ont été obtenus automatiquement. Un algorithme implémentant les règles que nous avons énumérées a été développé et appliqué aux deux protocoles verbaux pour obtenir des matrices de séquençement argument/action. Par conséquent, ces résultats comportent un certain nombre de limitations.

Par exemple, rien ne nous permet d'affirmer que la génération d'une idée est à coup sûr majoritairement influencée par l'intervention du participant la précédant immédiatement. Les phénomènes d'incubation d'une idée ne sont pas considérés ici. En effet, un laps de temps non négligeable peut se produire entre la génération d'une idée et l'expression verbale de celle-ci. L'étude de ces phénomènes est toutefois particulièrement complexe. Des analyses additionnelles devront donc être conduites pour compléter ces résultats.

### 3.2.5 Etude de l'usage du support d'annotation

Nous avons vu dans la partie précédente que les idées générées étaient majoritairement déclenchées par une référence à une instance de concept du modèle. Idéalement dès qu'une idée est générée celle-ci est inscrite sur le support d'annotation. Dans cette partie nous allons étudier la troisième hypothèse de notre étude et objectif de la méthode MACS : le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.

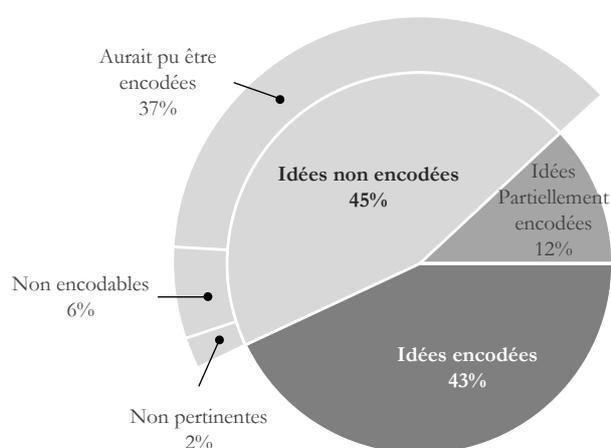
Pour y parvenir, nous avons mis en relation les actions de génération d'idées extraites du protocole verbal avec les modèles issus de la séance. De cette manière, nous pouvons mesurer la quantité d'idées générées qui sont effectivement annotées sur le diagramme. De plus, rappelons que le support d'annotation dans le MACS 3 et 4 n'était pas le même. Dans le MACS 3 le facilitateur était seul à avoir le contrôle de l'édition via le logiciel Guide-Me, alors que dans le MACS 4, un support collaboratif en papier était utilisé.

Dans cette analyse, nous avons donc qualifié toutes les idées générées (action = ge) au cours de la séance et avons vérifié si ces dernières étaient :

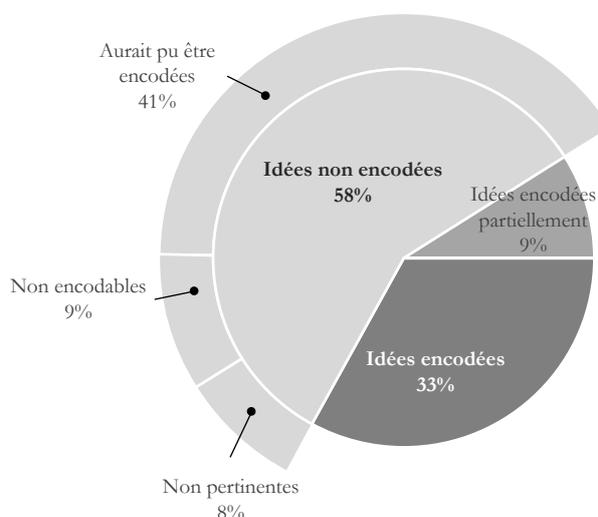
- *Encodées* : c'est à dire présentes sur le modèle associé.
- *Encodées partiellement* : c'est à dire présentes sur le modèle associé mais en omettant certain détails ou caractéristiques.

- *Non encodées* : C'est-à-dire non présente sur le modèle associé. Nous avons ensuite requalifié chacune de ces idées non encodées comme :
- *Aurait pu être encodées* : c'est-à-dire qu'il s'agit d'une idée, relative à un concept du modèle. Cela signifie que les participants ne l'ont tout simplement pas annotée.
- *Non encodables* : c'est-à-dire que c'est une idée pertinente pour résoudre le problème de conception mais que le modèle ne permet pas de décrire.
- *Non pertinentes* : c'est-à-dire que c'est une idée qui ne répond pas au problème de conception.

Les Figure 97 et Figure 98 illustrent les résultats obtenus à l'issue de cette mesure. Ces deux graphiques montrent tout d'abord que dans le MACS 3, 55% des idées ont été encodées ou partiellement encodées contre 42% pour la séance MACS 4. Les idées sont plus encodées via l'éditeur guide-me que via l'éditeur papier. Nous pensons que deux raisons sont à l'origine de cet écart.



**Figure 97 : Pourcentages d'idées encodées/partiellement encodée/non encodées via l'éditeur Guide-Me utilisé dans la séance MACS 3**



**Figure 98 : Pourcentages d'idées encodées/partiellement encodée/non encodées via l'éditeur papier utilisé dans la séance MACS 4**

Tout d'abord, dans la séance MACS 3 seul le facilitateur pouvait éditer le modèle. Celui-ci étant supposé être un expert de la notation, il a les compétences pour encoder facilement et rapidement les solutions proposées. Deuxièmement, à l'issue des nombreuses séances que nous avons conduites, nous sommes désormais capables d'affirmer que le support papier que nous avons développé pour éditer le modèle manque d'efficacité. En effet, à titre d'exemple, pour ajouter un élément avec le support papier, il est nécessaire de saisir une carte de d'élément, de l'apposer sur la feuille, de l'attacher avec une colle ou de la pâte, et enfin d'instancier ce dernier pour l'idée en question. Malgré l'aspect informel et habituel du papier et des stylos, nous pensons que l'effort requis n'incite pas les participants à éditer le modèle en version papier.

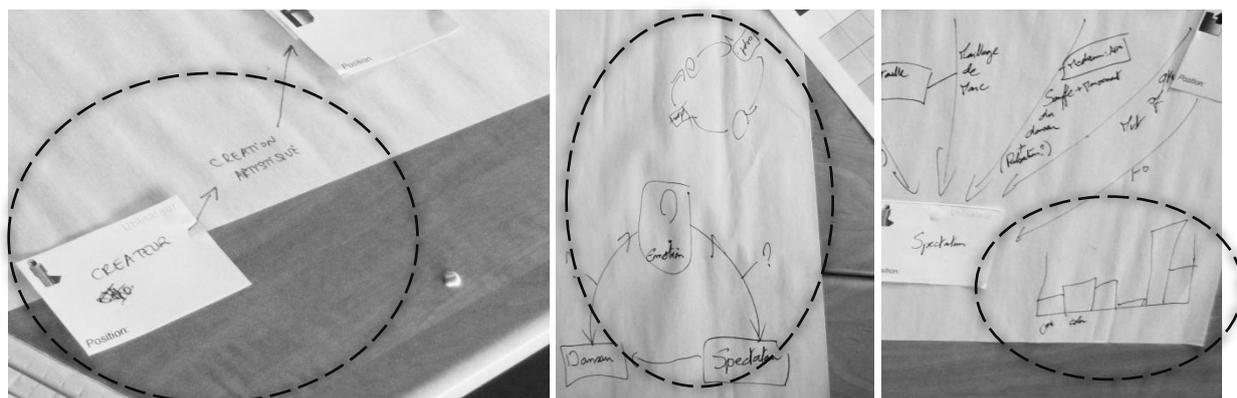


Figure 99 : Différents exemples d'utilisation dérivée du support d'édition du modèle en papier

De plus, parmi les idées non encodées nous remarquons que la majorité d'entre elles constituent bien des réponses adéquates au problème, et aurait pu être encodé dans le modèle. Parmi ces dernières, nous avons constaté que la majorité d'entre elles représentaient des cas complexes à représenter avec la notation du modèle ou des détails que les participants n'ont pas jugés pertinent de conserver.

Toutefois, nous ne pensons pas que le modèle lui-même soit en cause mais uniquement le support d'édition de sa notation. En effet, à différentes reprises, durant la séance MACS 4 les participants ont fait preuve d'une créativité certaine pour annoter les idées qui n'étaient pas exprimables dans les termes du modèle (Figure 99). En comparaison à l'éditeur logiciel Guide-Me, c'est un des avantages majeurs du support d'annotation papier : permettre l'édition du modèle tout en conservant une forme libre d'expressivité.

### 3.2.6 Analyse de protocole verbal : synthèse

ANALYSE	RÉSULTAT	HYPOTHÈSE RELATIVE
Partie 3.2.2 Distribution des codes	les participants sont capables des tirer profit des concepts du modèle pertinents pour le problème de conception posé	<i>Hypothèse 1 : Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.</i>
Partie 3.2.3 Analyse détaillée des références au modèle	les participants utilisent les concepts du modèle fréquemment tout au long de la séance pour exprimer les éléments relatifs à la solution en cours & tous les profils de participants ont fait référence à des concepts ou des instances de concept du modèle	<i>Hypothèse 2 : Durant un MACS, le modèle joue le rôle de langage de référence.</i>
Partie 3.2.4 Liens entre actions de génération et références au modèle	Les concepts exprimés dans le modèle seraient donc bien la source majeure de génération d'idée dans chacune des deux séances	<i>Hypothèse 1 : Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.</i>
Partie 3.2.5 Etude de l'usage du support d'annotation	Un grand nombre d'idées ne sont pas encodées car le support d'annotation manque d'efficacité.	<i>Hypothèse 3 : Durant un MACS, le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.</i>

Dans la partie suivante, nous complétons cette analyse de protocole verbal via l'analyse du protocole comportemental. Au travers de ce troisième type d'analyse, nous avons étudié plus en détail l'usage du support collaboratif papier d'édition du modèle de la séance MACS 4.

### 3.3 Analyse de protocole comportemental

Dans cette partie nous présentons le troisième type d'analyse que nous avons conduit : l'analyse de protocole comportemental. Pour des raisons que nous avons déjà élicitées dans la partie 1.4, nous n'avons conduit cette analyse que sur la séance MACS 4. L'objectif majeur était d'étudier plus en détail l'usage du support collaboratif papier d'édition du modèle.

Nous mettrons donc l'accent les actions physiques et perceptuelles effectuées autour du support d'édition durant la séance MACS 4. Avant d'entrer dans cette analyse, nous proposons tout d'abord un ensemble de données descriptives de ce protocole comportemental.

#### 3.3.1 Caractéristiques du corpus étudié

Pour rappel, le schéma et processus de codage du protocole comportemental sont décrits en détail dans la partie 2.2.3. Le Tableau 23 fournit les informations relatives à la durée de la vidéo exploitée, à la durée de la vidéo soumise au jugement croisé, au nombre d'évènements codés, au nombre d'évènements du protocole soumis au jugement croisé et à la représentativité de la distribution des codes de l'échantillon soumis au codage croisé.

MACS4	
Durée de la vidéo exploitée	2 :03 :10
Durée de la vidéo soumise au jugement croisé	0 :31 :51
Nombre d'évènements codés	1164 évènements identifiés
Nombre d'évènements du protocole soumis au jugement croisé	460 évènements identifiés
Représentativité de la distribution des codes de l'échantillon soumis au jugement croisé	99,02 %

**Tableau 23 : Données descriptives du protocole comportemental de la séance MACS 4**

Comme pour le codage du protocole verbal, nous avons mesurer la confiance que nous pouvons porter dans le codage du protocole, avec un coefficient de Kappa (K) (Bakeman & Gottman, 1997) sur l'échantillon soumis au jugement croisé.

MACS4	
A&B	
KAPPA	0,94

A&B : protocole 1 (codeur A) & protocole 2 (codeur B)

**Tableau 24 : Coefficient de Kappa entre les codages du protocole comportemental**

Le coefficient de Kappa indique un accord inter-juge de 94% (cf. Tableau 24). Ce niveau d'accord est considéré comme excellent (Bergeri et al., 2002). Pour cette raison, l'étape d'arbitrage final initialement prévue dans le processus de codage du protocole comportemental n'a pas été nécessaire, les codages originaux des deux codeurs étant déjà en accord.

Un tel niveau d'accord est explicable par le faible niveau d'interprétation requis par le schéma de codage. En effet, les évènements à coder étaient exclusivement des actions facilement reconnaissables dans la vidéo. De cet fait, ce codage ne laissait quasiment aucune place à l'ambiguïté. En effet, les seuls écarts observés étaient relatifs à la précision apportée au temps de début et de fin des évènements.

### 3.3.2 Etude de l'édition collaborative du modèle

Dans cette partie nous allons étudier la distribution et le temps des actions des participants. Cette manière nous allons étudier d'un second point de vue la deuxième hypothèse de notre étude : le modèle joue le rôle de langage de référence.

Pour y parvenir nous avons tout d'abord comptabilisé les occurrences de chacun des évènements pour chaque participant. La Figure 100 illustre cette distribution.

Ce premier résultat nous apprend tout d'abord que parmi les évènements observés le **pointage du modèle** est l'évènement plus fréquent (i.e. PointerModèle sur la Figure 100). En effet durant les deux heures de séances les participants ont pointés 374 fois le modèle sur le support d'annotation. Par conséquent en moyenne, un pointage sur le modèle est effectué toutes les 20 secondes.

Cet évènement de pointage du modèle est de plus relativement éphémère. En effet, comme l'illustre la Figure 101, les évènements de pointage durent en moyenne 4 secondes ( $MD=4,2$  secondes  $SD=5,1$  secondes,  $Min=0,5$  secondes,  $Max=21,8$  secondes). De notre expérience des différentes mises en œuvre de la méthode, *les participants pointent le modèle pour appuyer leur discours ou pour désigner le ou les éléments sur lesquels la discussion est focalisée à un moment donné.*

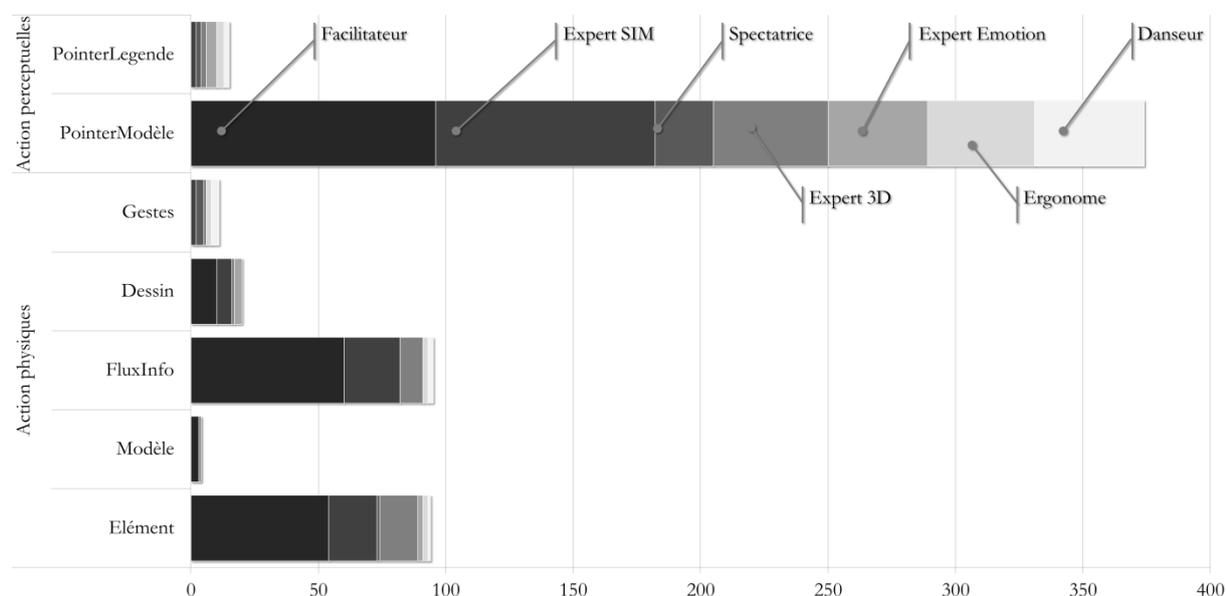


Figure 100 : Nombre d'occurrences des évènements par participant

De plus, comme le montre la Figure 100, nous avons observé que tous les participants pointaient le modèle durant la séance. Cette action de pointage est parfois même simultanée. L'extrait présenté sur la Figure 102 en est un exemple probant. La possibilité de référencer le modèle de manière simultanée est un des avantages majeurs du support d'édition collaboratif que nous avons utilisé et permet par conséquent l'usage du modèle comme support à l'expression des idées.

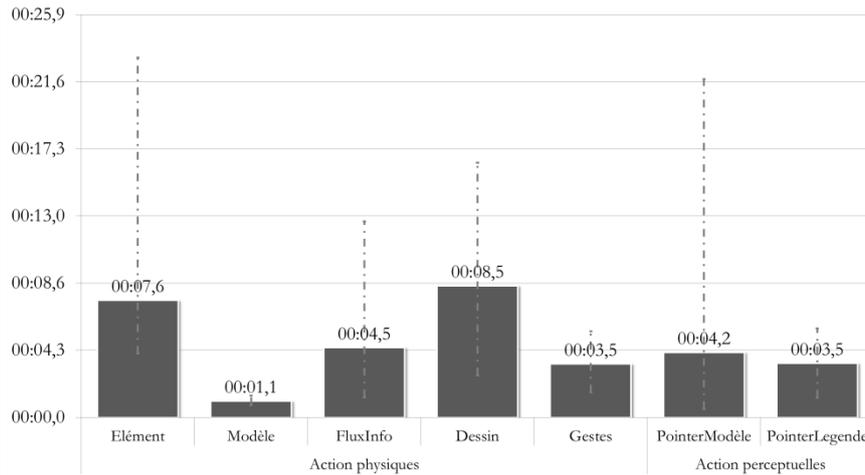


Figure 101 : Durée moyenne, minimum et maximum des évènements en seconde

Nous avons ensuite prêté attention aux trois évènements liés à des actions d'édition du modèle (Elément, Model et FluxInfo sur la Figure 100). Tout d'abord nous remarquons que l'action d'ajout de modèle (i.e. codé Model) est particulièrement faible. Cinq modèles ayant été créé durant la séance ce résultat apparait tout à fait cohérent. Nous noterons toutefois que le choix de créer un nouveau modèle a été majoritairement conduit par le facilitateur à l'exception d'une fois où l'expert 3D a pris l'initiative de commencer un nouveau modèle. Cette tâche n'est donc pas réservée au facilitateur mais peut-être déclenchée par les participants.



Figure 102 : Extrait de la vidéo du MACS 4 illustrant le pointage simultané du modèle par quatre participants



Figure 103 : Extrait de la vidéo du MACS 4 illustrant une édition collaborative simultanée du modèle

Ensuite, parmi les actions physiques, nous avons observé que l'ajout/édition d'un élément du modèle et le tracé d'un flux d'information sont les évènements d'édition les plus fréquents (i.e. Element et FluxInfo sur la Figure 100). Ces actions d'édition du modèle peuvent de plus se produire de manière simultanée. La situation illustrée sur la Figure 103 en est un exemple.

Nous remarquons toutefois que la distribution des évènements d'édition est hétérogène entre les participants. En effet, le facilitateur apparait être beaucoup plus actif que les autres participants dans l'édition du modèle : 60% des éléments du modèle et des flux d'informations ont été édités par le facilitateur.

De plus, en termes d'édition, nous observons une hétérogénéité entre les autres participants. Par exemple, l'expert SIM et l'expert émotions ont participé activement à l'édition du modèle alors que la spectatrice et le danseur ont faiblement été acteurs de l'édition. Nous pensons que le profil des

participants peut expliquer ce comportement.

En effet, dans cette séance, les profils de l'expert SIM et l'expert émotion appartiennent à des disciplines (i.e. informatique) pour lesquelles l'édition de ce type de représentation diagrammatique est usuelle. Par conséquent, nous présumons qu'ils avaient une plus grande confiance dans l'exactitude de leur édition que les participants de profils différents qui ont fait preuve d'appréhension à l'édition du modèle. Ce constat est directement en ligne avec les résultats quant à l'utilisation des modèles présentés dans le Chapitre 5. Par conséquent, nous pensons qu'un travail sur la compréhensibilité et la simplicité dans l'édition du modèle doit être conduit pour inciter les participants à éditer plus activement le modèle.

Pour finir, nous observons que les occurrences des autres événements (i.e. PointerLégende, Gestes, Dessin) sont bien moins fréquentes que les autres. En effet, les participants utilisent peu le dessin et la gestuelle pour exprimer leurs idées (i.e. comme précisé sur le schéma de codage nous n'avons retenu que les gestes désignant spécifiquement à décrire une idée, il ne s'agit pas donc de la totalité des événements d'expression non verbale.). Les participants désignent également peu la légende. Des résultats qualitatifs présentés dans la synthèse indiquent toutefois que la légende est utile pour comprendre le modèle.

Par conséquent nous retenons de cette analyse de protocole comportemental que le modèle joue le rôle de support à l'expression d'idées durant la séance. Les participants s'en servent donc majoritairement pour appuyer leurs propos. Ceci confirme le rôle du modèle comme objet frontière entre les participants.

### 3.3.3 Analyse de protocole comportemental : synthèse

ANALYSE	RÉSULTAT	HYPOTHÈSE RELATIVE
Partie 3.3.2 Etude de l'édition collaborative du modèle	les participants pointent le modèle pour appuyer leur discours ou pour désigner le ou les éléments sur lesquels la discussion est focalisée à un moment donné.	<i>Hypothèse 2 : Durant un MACS, le modèle joue le rôle de langage de référence.</i>

## 4 DISCUSSION & CONCLUSION

A l'issue de ces analyses, nous pouvons désormais évaluer si les hypothèses présentées en amont de ce chapitre (cf. partie 1.1) sont validées. Par conséquent, dans cette section, pour chacune de nos hypothèses, nous synthétisons les résultats de nos analyses et appuyons ces résultats par des retours qualitatifs obtenus lors des débriefings des différentes séances avec les participants. Nous discutons ensuite des limites de cette étude et des perspectives de recherche et d'évolution de la méthode qui ont été ouvertes par ces résultats.

### 4.1 Validation des hypothèses

Pour rappel, au travers de ces analyses nous avons cherché à démontrer empiriquement les apports du modèle durant les séances de MACS. Ces apports, au nombre de trois, sont relatifs aux enjeux dans la conception des SIM que nous avons mis en évidence dans le Chapitre 4. De cette manière nous avons cherché à valider les trois hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée.
- Hypothèse 2 : Durant un MACS, le modèle joue le rôle de langage de référence.
- Hypothèse 3 : Durant un MACS, le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer.

#### 4.1.1 Hypothèse 1 : durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée

Notre première hypothèse était que le modèle stimule la génération d'idée en mettant en évidence des dimensions qu'il est nécessaire de considérer pour concevoir un SIM.

En analysant, les liens entre actions de génération et références au modèle dans le protocole verbal, nous avons observé sous l'angle de l'action située que les concepts exprimés dans le modèle sont la source majeure des actions de génération d'idées. De plus, nous avons également montré que les participants sont focalisés sur la production de solutions en faisant majoritairement référence aux fragments de solutions relatifs au modèle durant la séance. Cela montre donc que les participants sont capables de tirer profit des concepts du modèle pertinents pour le problème de conception posé.

Par conséquent, ce double constat, nous conduit à valider notre première hypothèse et de conclure que l'introduction du modèle impacte le processus de génération d'idées.

Les participants des différentes séances ont également perçu cet apport du modèle. En effet, nous avons questionné les participants des deux séances quant à cet aspect génératif. Ainsi à l'issue du MACS 4, nous avons soumis les participants un bref questionnaire visant à apprécier leur ressenti quant aux principes de la méthode. Dans ce questionnaire, 80% des participants ont affirmé qu'ils n'auraient pas eu certaines idées sans l'appui du modèle et 100% des participants ont affirmé qu'ils n'auraient pas pensé à certaines caractéristiques sans utiliser le modèle.

Les participants ont de plus correctement cerné le rôle que le modèle peut jouer. Par exemple, durant la séance de débriefing du MACS 4, un participant mentionnait que le modèle « *permet de tourner autour d'une idée pour y trouver des variations ou des combinatoires* ». Le modèle a également été perçu comme une « *grille de lecture* » plus qu'en tant qu'outil d'imagination. Ce constat est directement en ligne avec les techniques de générativité que nous avons proposé dans le Chapitre 5. Ce retour nous conduit à penser qu'il serait pertinent

« *Le modèle permet de tourner autour d'une idée pour y trouver des variations ou des combinatoires* ».

(Le danseur à l'issue du MACS 4)

d'articuler la méthode autour des techniques de générativité présentées dans le Chapitre 5. C'est une première perspective d'évolution de la méthode.

De plus, le modèle a d'autres rôles dans le processus génératif que nous n'avions pas identifié préalablement. Par exemple dans la séance MACS 3, un participant nous a confié que le « *modèle aide à garder à l'esprit certains aspects du système, tel que les liens entre objets physiques et fonctionnalités du système* ». Le modèle permettrait donc d'établir des liens entre le problème de conception et les concepts du domaine des SIM. De la même manière à l'issue de la séance MACS 4, un participant précisait, « *moi ce qui m'a aidé, c'était cette idée d'entrée et de sortie. Je n'avais pas pensé à ça... Le sens de lecture du diagramme, on s'est dit tiens on aurait pu le prendre à l'envers, faire que la sortie soit l'entrée et l'entrée la sortie.* ». Ce participant soulève donc une voie d'exploration que nous n'avions pas identifiée au préalable à savoir l'inversion des entrées et des sorties ou l'utilisation du sens de lecture comme outil de reformulation du problème. Il pourrait à priori, s'agir d'une nouvelle technique de générativité qui viendrait compléter les trois techniques présentées à l'issue du Chapitre 5.

#### 4.1.2 Hypothèse 2 : durant un MACS, le modèle joue le rôle de langage de référence.

Notre deuxième hypothèse était que le modèle joue le rôle d'objet frontière entre les disciplines en définissant les concepts qui seront manipulés. Les participants peuvent donc s'en servir pour faire référence au modèle et pour exprimer leurs idées.

Tout d'abord, nous avons montré au travers de l'analyse de protocole verbal que la majorité des échanges verbaux de la séance s'articulaient autour des fragments de solutions relatifs au modèle. Nous avons également observé que malgré des divergences entre profils tous les participants ont fait référence à des concepts ou des instances de concept du modèle. Enfin notre analyse de protocole comportemental nous a montré que les participants utilisaient principalement le modèle comme support à la l'expression des idées en pointant du doigt les concepts auxquels ils font référence.

Ces observations nous conduisent à valider notre deuxième hypothèse et à conclure que le modèle joue bien le rôle de langage de référence entre les participants de différentes disciplines.

Les participants eux-mêmes ont également cerné le modèle comme un support à l'échange entre les différents niveaux d'expertise. Nous avons collecté un ensemble de retours qualitatifs durant les débriefings des différentes séances. Par exemple, à l'issue du MACS 3 un participant soulevait le transfert disciplinaire qui pouvait s'établir avec le modèle : « *Cela permet à chacun des participants de travailler à son niveau et avec son expertise propre sur l'interaction à concevoir* ».

De la même manière le danseur à l'issue du MACS 4, précisait que grâce au modèle « *moi j'arrive à comprendre, comment lui (en parlant des autres experts) il place ses machins, et donc moi tout d'un coup je peux intervenir à des niveaux ou d'habitude moi je n'interviens pas parce que moi je n'y connais rien. Et là tout d'un coup moi je me sens autorisé de dire 'mais la ça pourrait être comment ça'. Je peux faire mon malin en gros... Et ça m'a permis ainsi de maîtriser certains éléments qui ne sont pas de mon domaine, de manière à conceptualiser certaines idées.* ».

« *Le modèle a permis de fournir une base commune de communication entre les informaticiens et les autres* »

(l'expert émotion à l'issue du MACS 4)

« *...tout d'un coup je peux intervenir à des niveaux où d'habitude moi je n'interviens pas, parce que moi je n'y connais rien.* »

(le danseur à l'issue du MACS 4)

Ces commentaires soulignent le rôle d'objet frontière du modèle entre les disciplines et montre que celui-ci facilite le partage des connaissances théoriques du domaine des SIM.

Toutefois, cette assistance aux échanges disciplinaires apparaît être unilatérale. En effet, le modèle ne facilite le transfert des connaissances que du domaine qu'il traite (i.e. les SIM) vers les disciplines non-expertes. Par exemple, l'expert émotion à l'issue du MACS 4, mentionnait que « *le modèle a permis de fournir une base commune de communication entre les informaticiens et les autres* ». Une approche visant à combiner les connaissances théoriques de plusieurs domaines simultanément constitue donc une perspective à explorer.

#### **4.1.3 Hypothèse 3 : durant un MACS, le modèle fournit un canevas sur lequel les idées viennent se greffer**

Pour finir, notre troisième hypothèse s'appuyait sur la capacité de la notation du modèle à assister les participants dans l'annotation des idées. Nous supposions que le modèle pouvait jouer le rôle de grille ou de canevas sur lequel les idées pourraient être facilement rattachées.

Pour étudier cet aspect, nous avons analysé les solutions produites et montré que les séances ont produit des solutions modélisées quel que soit le support d'édition utilisé. Nous avons ensuite établi au travers d'un parallèle entre analyse de protocole verbal et modèle produits, qu'en pratique une grande quantité d'idées générées n'est pas capturée dans le modèle. Enfin, grâce à l'analyse de protocole comportemental nous avons identifié que tous les participants ne prenaient pas nécessairement part à l'édition du modèle.

Par conséquent, nous ne pouvons valider que partiellement cette troisième et dernière hypothèse car les idées générées ne sont que partiellement capturées dans la notation du modèle.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène. Tout d'abord, l'encodage des idées à la volée requiert un effort cognitif important. Une expertise particulière est donc requise pour réaliser cette tâche. Ceci explique pourquoi nous avons observé dans l'analyse de protocole comportemental que le facilitateur est le principal acteur de l'édition du modèle. Dans le MACS 4, où le support d'édition était collaboratif, ce travail d'édition a de plus perturbé certains participants. Par exemple, à l'issue du MACS 4 un participant mentionnait « *qu'il y a des éléments qui sont définis dans la dynamique de réflexion et on ne peut pas créer un nouveau concept et l'intégrer au modèle de manière à ce qu'il rentre en interaction avec les autres concepts.* ».

En collaboration avec les participants, cette limitation nous a conduits à l'identification d'un nouveau principe à l'édition du modèle : l'ouverture de la notation. En effet, pour éviter que l'effort nécessaire à l'encodage des idées dans la notation du modèle n'influe sur le flux créatif, nous avons ajouté le principe du *concept blanc* dans la notation. L'idée du concept blanc consiste à mettre à disposition des participants le moyen explicite d'exprimer rapidement une idée dont la sémantique n'a pas été prévue par le modèle. Ce nouveau principe renforce l'idée que le modèle doit jouer le rôle d'un cadre réflexif et non pas d'une contrainte expressive.

Toutefois, si les aspects d'édition du modèle doivent être améliorés, nous avons tout de même obtenu un ensemble de retours positifs quant au support d'édition du modèle. En effet, dans la séance MACS 4 les participants ont apprécié l'aspect « *tangible, flexible, ... séance d'atelier de loisir créatif* » de l'usage du support d'édition papier. En effet, comme nous l'avons montré au travers des modèles produits les participants ont exploité ce support papier non seulement pour éditer le modèle mais aussi pour exprimer des aspects que le modèle ne permettait pas de représenter.

De plus, les participants ont souligné l'avantage de la représentation diagrammatique des modèles utilisés. En effet, l'organisation spatiale des éléments semblerait présenter des avantages pour reconnaître rapidement un modèle d'un autre. A l'issue du MACS 3, un participant mentionnait que « *l'organisation spatiale du modèle m'aide à différencier une solution d'une autre très rapidement* ». Par conséquent, nous retiendrons que la représentation diagrammatique des modèles utilisés, constitue un des critères de succès au déroulement d'un MACS.

Enfin, à l'issue du MACS 3, nous avons questionné les participants quant à la légende du modèle. Tous les participants ont précisé avoir utilisé la légende et les participants ont jugé l'utilité de cette légende à 8,5 sur

une échelle de Likert de 1 à 10, 10 étant la meilleure réponse. Par conséquent, nous retiendrons aussi que la légende est un élément essentiel à la compréhension du modèle et à son édition par des non experts du domaine des SIM.

## **4.2 Limites de l'étude et perspectives**

Ces travaux de recherche nous ont permis d'étudier la méthode MACS dans le détail et sous plusieurs angles de vue. En effet, grâce à l'analyse de protocole et à l'analyse des solutions, nous avons pu approcher finement le déroulement de deux mises en œuvre de la méthode. De cette manière nous avons montré en quoi le modèle impactait la génération d'idées, la communication entre les participants et l'annotation des idées durant la séance. Ces analyses nous ont permis d'étudier la viabilité de l'approche que nous avons développée. Nous sommes désormais dans la capacité de dire que la méthode est efficace.

En termes de génération d'idée, il est important de préciser que nous avons démontré l'efficacité de la méthode non son efficacité. En effet, hormis notre expérience empirique pour l'instant rien ne nous permet d'affirmer que l'utilisation d'un MACS produira de meilleurs résultats qu'un brainstorming par exemple. Une approche comparative dans des conditions contrôlées devra donc être conduite.

Toutefois la mise en œuvre d'une telle comparaison soulève des problèmes épistémologiques non négligeables. Par exemple, comment contrôler le potentiel créatif de plusieurs groupes ? Comment contrôler la connaissance préalable du domaine des participants ? Comment contrôler l'ouverture à la production d'alternatives d'un cas d'étude ? Comment juger la qualité créative des solutions produites ? Pour toutes ces raisons, la conduite d'une telle approche comparative apparaît être difficile.

Notre expérience de la méthode et de récentes avancées illustrant des approches similaires (Youn-kyung, Sang-Su, Da-jung, et al., 2011) ainsi que des techniques avancées telles que la linkographie (Chou, 2002) nous encourage fortement à poursuivre ces travaux dans cette direction.

Une autre perspective de recherche concerne la caractérisation du transfert disciplinaire qui s'est opéré durant nos mises en œuvre. En effet, nous avons montré que des novices étaient capables de s'approprier les concepts du modèle, de les instancier et d'y faire référence pour communiquer avec les autres participants. Nous pouvons donc désormais nous questionner sur la nature de ce transfert de connaissances : Comment s'est-il opéré ? Dans quelles limites ? Quel est le niveau de compréhension et de maîtrise des concepts manipuler par les non-experts ? Peut-on l'optimiser ?

La communication entre experts de différentes disciplines et entre experts et utilisateurs constituant un critère de réussite clé de la conception centrée utilisateur, ces questions ouvrent des perspectives de recherche dont l'enjeu est crucial dans le domaine de l'IHM.

De plus notre expérience de la méthode à l'issue de ces différentes mises en pratiques, nous a montré que les participants d'un MACS ne sont pas restreints pas le modèle dans leurs réflexions durant une séance. Les différents dessins et annotations étant en marge de la notation du modèle dans les observations effectuées dans la séance MACS 4 (Figure 99) en sont des exemples probants. Les concepts introduits par le modèle sont donc bien une stimulation et non pas une barrière.

De plus, ces expériences empirique de la méthode MACS, nous ont renseigné sur les critères à adopter pour d'un modèle avec un niveau de détail adéquat. Dans l'éditeur Guide-Me utilisé dans les toutes premières séances de MACS, toutes les caractéristiques sont présentes, jusqu'aux plus petits détails (e.g. médium d'un canal de communication, dimension, forme de langage, etc.). Toutefois nos observations nous ont montré que les participants n'utilisaient pas un tel niveau de détail, car probablement trop précis, trop formel. C'est pour cette raison que nous avons simplifié le modèle ASUR dans la légende présentée aux participants et dans le support papier utilisé par la suite. Seuls les concepts majeurs sont introduits pour limiter l'effort d'apprentissage et d'utilisation. Nous supposons que le nombre de 7 +/- 2 concepts

pourrait constituer la granularité nécessaire à l'utilisation d'un modèle dans ce type de séance. Cette supposition est bien évidemment à éprouver et constitue une perspective de recherche pertinente.

Pour finir, les difficultés des participants lors de l'édition du modèle nous incitent à explorer les perspectives d'outillage. En effet, nous avons observé que le support d'annotation papier était apprécié par les participants malgré l'effort cognitif requis pour encoder les idées dans la notation du modèle. Par conséquent, nous pensons que le développement d'un outil collaboratif d'annotation et de partage des idées, des modèles et des concepts manipulés peut apporter une plus-value non négligeable à la méthode.

En effet, l'instrumentation logicielle de la méthode MACS nous permettrait de faciliter grandement l'encodage dans la notation du modèle, voire même d'en automatiser une partie. De plus, le développement d'un tel outil pourrait faciliter la manipulation et l'édition des modèles produits au travers de fonctionnalités élémentaires tel que copier/coller ou undo/redo. De telles fonctionnalités doivent toutefois être reconçues pour les situations d'édition collaborative.

Mais des fonctionnalités plus spécifiques à la méthode sont envisageables. Par exemple, nous avons observé que dans une séance que les participants dérivait les solutions pour envisager des alternatives à une même métaphore (e.g. en changeant uniquement la nature d'un objet physique ou en modifiant la représentation d'une information). Par conséquent un outil logiciel pourrait implémenter ces usages qui sont contraignants à mettre en œuvre avec des outils rudimentaires tel que le papier.

Nous avons d'ores et déjà commencé à explorer une telle perspective d'outillage et présentons une version préliminaire d'un prototype collaboratif permettant l'édition du modèle dans le chapitre suivant.

Pour finir, nous rappelons que la méthode MACS a initialement été conçue pour être intégrée dans un processus de conception complet. Pour illustrer sa mise en œuvre dans un cadre de conception concret nous présentons également dans le chapitre suivant le développement de deux prototypes respectivement nommé MIME et CladiBulle et respectivement issus de la mise en œuvre des séances MACS 2 et MACS 3.

## 5 BIBLIOGRAPHIE

- Bakeman, R., & Gottman, J. M. (1997). *Observing Interaction: An Introduction to Sequential Analysis*. (C. U. Press, Ed.) *Language and Speech* (Vol. 2, pp. 62–67). Cambridge University Press.
- Bergeri, I., Michel, R., & Boutin, J. P. (2002). Pour tout savoir ou presque sur le coefficient kappa... *Medecine Tropicale*, 62, 634:636.
- CARE Project. (2008). *Cultural experience: Augmented Reality and Emotions*, ANR. Retrieved February 16, 2012, from <http://www.careproject.fr/>
- Chou, S.-bin. (2002). A method for evaluating creativity in Linkography. *Measurement*, 1-6.
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2008). Balancing physical and digital properties in mixed objects (pp. 305-308). Napoli, Italy: ACM. doi:10.1145/1385569.1385619
- Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., & Visser, W. (2010). A Method for Analysing Collective Design Processes. *Tenth European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE 10: Confronting Reality)*. Linköping, Sweden. Retrieved from <http://en.scientificcommons.org/54786415>
- Dubois, E., & Gray, P. (2007). A Design-Oriented Information-Flow Refinement of the ASUR Interaction Model. In J. Gulliksen, M. B. Harning, P. Palanque, G. C. Veer, & J. Wesson (Eds.), *Engineering Interactive Systems* (Vol. 4940, pp. 465-482). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-92698-6
- Dubois, E., Bach, C., Gauffre, G., Charfi, S., & Salembier, P. (2006). Instrumentation de focus-group dans la co-conception de systèmes mixtes (pp. 163-166). Montreal, Canada: ACM. doi:10.1145/1132736.1132759
- Détienne, F., & Traverso, V. (2009). *Méthodologies d'analyse de situations coopératives de conception : Corpus MOSAIC*. (F. Détienne & V. Traverso, Eds.) (p. 317). Presses Universitaires de Nancy.
- Détienne, F., Visser, W., & Tabary, R. (2006). Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative. *Psychologie de l'interaction*, 21(22), 283-307. Retrieved from [http://hal.inria.fr/hal-00658587\\_v1/](http://hal.inria.fr/hal-00658587_v1/)
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis - Rev'd Edition: Verbal Reports as Data* (p. 496). A Bradford Book. Retrieved from <http://www.amazon.com/Protocol-Analysis-Rev'd-Verbal-Reports/dp/0262550237>
- Gauffre, G., Charfi, S., Bortolaso, C., Bach, C., & Dubois, E. (2010). Developing Mixed Interactive Systems: A Model-Based Process for Generating and Managing Design Solutions. In E. Dubois, P. Gray, & L. Nigay (Eds.), *The Engineering of Mixed Reality Systems* (pp. 183-208). Springer-Verlag London. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/t449714723820061/>
- Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, 19(1), 21-61. doi:10.1016/S0142-694X(97)00015-X
- Greeno, J. G., & Moore, J. L. (1993). Situativity and Symbols: Response to Vera and Simon. *Cognitive Science*, 17(1), 49-59. doi:10.1207/s15516709cog1701\_3
- Gronier, G. (2010). Méthodes d'analyse des communications fonctionnelles en situation de travail collectif. *Recherches Qualitatives, Hors serie*(9), 151-169. Retrieved from [http://www.guillaumegronier.com/cv/\\_articles\\_/2010\\_RecherchesQualitatives\\_Gronier.pdf](http://www.guillaumegronier.com/cv/_articles_/2010_RecherchesQualitatives_Gronier.pdf)
- Kerguelen, A. (2008). « Actogram Kronos » : Un outil d'aide à l'analyse de l'activité. In H. Norimatsu & P. N (Eds.), *Les techniques d'observation en sciences humaines* (pp. 142-158). Armand Colin.
- Kim, M. J., & Maher, M. L. (2008). The Impact of Tangible User Interfaces on Designers' Spatial Cognition. *Human-Computer Interaction*, 23(2), 101-137. Taylor & Francis. doi:10.1080/07370020802016415
- Reinert, M. (2001). Alceste, une méthode statistique et sémiotique d'analyse de discours. Application aux rêveries du promeneur solitaire. *Revue française de psychiatrie et de psychologie médicale*, 5(49), 32-36. Editions MF. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=13472237>

- Scapin, D., & Bastien, J. M. C. (2001). Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD\*. *Analyse et conception de {l'IHM}* (pp. 85-116).
- Schön, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action* (1st ed.). Basic Books.
- Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), 131-147. Springer London. doi:10.1007/BF01580516
- Simon, H. A. (1969). *Les Sciences de l'Artificiel - 3ème Edition* (p. 215). The MIT Press. Retrieved from <http://www.amazon.com/Sciences-Artificiel-Herbert-Simon/dp/0262691914>
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385-403. Elsevier. doi:10.1016/S0142-694X(97)00008-2
- Suwa, M., Gero, J. S., & Purcell, T. (2000). Unexpected discoveries and S-invention of design requirements: important vehicles for a design process. *Design Studies*, 21(6), 539-567. Elsevier. doi:10.1007/s00216-010-3781-x
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. S. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455-483. doi:10.1016/S0142-694X(98)00016-7
- Viala, J., Dubois, E., & Gray, P. (2004). GUIDE-ME: graphical user interface for the design of mixed interactive environment based on the ASUR notation (pp. 74-77). Nice, France: ACM. doi:10.1145/1050873.1050892
- Youn-kyung, L., Sang-Su, L., Da-jung, K., Lim, Y.-kyung, Lee, S.-S., & Kim, D.-jung. (2011). Interactivity Attributes for Expression-oriented Interaction Design. *International Journal of Design (IJDesign)*, 5(3), 113-128. Retrieved from <http://www.ijdesign.org/ojs/index.php/IJDesign/article/view/718>



# **CHAPITRE VII : OUTILLAGE & CONCRETISATIONS DE LA METHODE MACS**

*« If I'd asked my customers what they wanted, they'd have said a faster horse. » Henry Ford.*

# CHAPITRE VII : TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>215</b>
<b>2</b>	<b>ONTOP : OUTILLAGE DE LA METHODE MACS.....</b>	<b>216</b>
2.1	Prérequis à l'outillage de la méthode.....	217
2.1.1	Surface tactile et conception collaborative : un duo prometteur.....	217
2.1.2	Objectifs de l'outillage.....	219
2.1.3	Extraction & identification des fonctionnalités.....	220
2.2	OnTop : illustration de l'outillage préliminaire.....	221
2.2.1	Choix de conception.....	221
2.2.2	OnTop en action.....	222
2.2.3	Implémentation matérielle & logicielle.....	224
2.3	Conclusions sur l'outil OnTop.....	225
<b>3</b>	<b>CONCRETISATIONS DES PRODUCTIONS DE LA METHODE MACS.....</b>	<b>228</b>
3.1	Processus de co-conception d'expositions muséographiques.....	228
3.2	La cladistique : une classification contre-intuitive.....	230
3.3	Cas d'étude 1: MIME – « explorer la classification du vivant de l'intérieur ».....	231
3.3.1	Prototype en action.....	231
3.3.1.1	Technique d'interaction écologique : lampe torche.....	233
3.3.1.2	Technique d'interaction basée Cubtile.....	233
3.3.2	Conception du prototype MIME : focus sur la mise en œuvre de la méthode MACS.....	234
3.3.3	Evaluations.....	236
3.3.3.1	Evaluation de la technique d'interaction écologique : lampe torche.....	236
3.3.3.2	Evaluation de la technique d'interaction basée Cubtile.....	238
3.4	Cas d'étude 2: CladiBulle – « manipuler la classification du vivant ».....	239
3.4.1	Prototype en action.....	239
3.4.1.1	Technique d'interaction écologique : la Cladipump.....	240
3.4.2	Conception du prototype CladiBulle : focus sur la mise en œuvre de la méthode MACS.....	241
3.5	MIME et CladiBulle : une architecture logicielle commune.....	244
3.6	Conclusions & perspectives.....	245
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>247</b>

# 1 INTRODUCTION

Dans ce Chapitre, nous présentons un ensemble de concrétisations matérielles et logicielles qui ont émané de ce travail de thèse. Comme l'illustre la Figure 104, ces concrétisations sont de deux types : un outillage de la méthode et des illustrations de systèmes issus de la méthode.

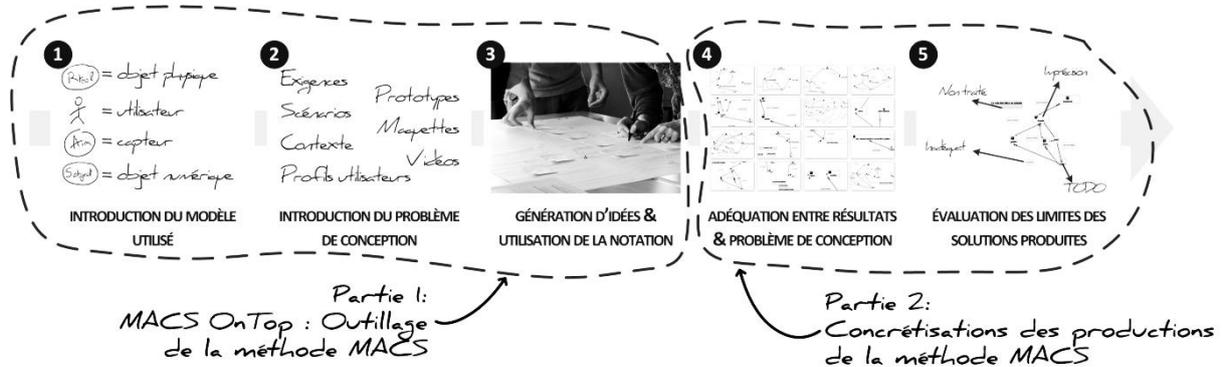


Figure 104 : Outillage & Concrétisations de la méthode MACS

Tout d'abord, nous consacrons la première partie de ce chapitre à la présentation d'un outil visant à instrumenter les étapes collaboratives de la méthode MACS. Cet outil nommé *OnTop* permet une édition collaborative du modèle durant une séance de MACS. Dans la première partie de ce chapitre, nous introduisons donc l'analyse qui nous a conduit au développement de cet outil, l'identification des fonctionnalités qui devront être supportées par ce dernier ainsi qu'une illustration du fonctionnement de sa première version.

Ensuite, nous consacrons la deuxième partie de ce chapitre à l'illustration de l'utilisation de la méthode MACS dans une situation de développement logiciel concret. Pour y parvenir, nous nous appuyons sur deux développements de SIM destinés au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse. Au travers de la présentation du processus de développement de ces deux prototypes nous présentons l'utilisation de la méthode MACS et mettons tout particulièrement le focus sur l'illustration des étapes 4 et 5 dites de post-traitement des résultats. De cette manière, nous montrons comment les solutions modélisées issues de la séance de créativité peuvent être injectées dans le processus de développement et prototypées.

## 2 ONTOP : OUTILLAGE DE LA METHODE MACS

Dans le Chapitre 6, nous avons montré que dans une séance de MACS, le modèle impactait la production des idées selon trois aspects : la génération d'idée, le langage utilisé et l'annotation des idées. C'est sur ce dernier point que nous allons nous focaliser dans cette section. Pour rappel, deux supports d'annotation des idées ont été utilisés à ce jour :

1. un éditeur logiciel nommé Guide-Me utilisé par le facilitateur et rétro-projeté pour être visible par tous les participants (cf. Figure 105) et
2. un support d'édition collaboratif composé de grandes feuilles de papier, de cartes représentant les concepts du modèle, de stylo et d'une légende du modèle (cf. Figure 106).

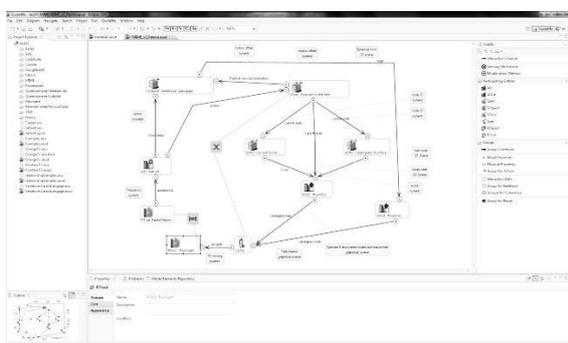


Figure 105 : Illustration d'un modèle réalisé avec l'éditeur logiciel Guide-Me

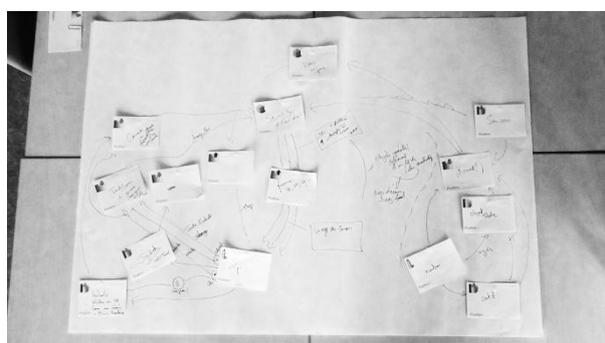


Figure 106 : Illustration d'un modèle réalisé avec le support papier

Dans le Chapitre 6, nous avons montré que dans la version actuelle de la méthode, l'annotation des idées sur le support papier que nous avons développé présentait des limites non négligeables. En effet, nous avons observé que l'édition du modèle via ce support d'édition papier était relativement fastidieuse. Par conséquent ce manque d'efficacité impacte négativement la dynamique des séances et donc le flux créatif.

De plus, notre expérience de la méthode nous a permis de mettre en évidence des comportements spécifiques durant l'édition du modèle qui ne sont actuellement pas réalisables avec le support papier. Par exemple, la création d'alternatives à une partie de solution s'avère complexe à réaliser avec le support papier, ou rend la lecture des schémas difficiles. Ces limitations dans l'édition du modèle sont majeures et doivent être considérées.

Ce double constat nous a conduits à envisager un support logiciel de la méthode qui combinerait les avantages des deux types de support d'annotation. Par conséquent nous présentons dans cette section, le résultat des premières phases du développement d'un outil d'édition collaborative appelé *OnTop* et visant à pallier les problèmes mentionnés ci-dessus. Cette section est articulée en deux parties. Dans la première partie, nous identifions les prérequis à un tel outillage en nous inspirant d'outils existants dans la littérature. Dans la seconde partie, nous présentons notre solution dans l'état actuel et détaillons son fonctionnement. Nous concluons cette section en mettant en évidence les travaux à poursuivre et des perspectives de recherche qui en découlent.

## 2.1 Prérequis à l'outillage de la méthode

L'issue des analyses conduites dans le Chapitre 6, nous a permis d'établir un double constat quant à l'usage des différents supports d'édition que nous avons utilisés.

Premièrement, l'encodage du modèle ASUR avec l'éditeur logiciel Guide-Me (Figure 105) est plus efficace que le support d'édition collaborative (Figure 106). En effet, la proportion d'idées capturées dans les modèles à l'issue des séances est plus élevée avec l'éditeur logiciel. Toutefois, l'édition n'étant réalisée que par un seul participant à la fois, le facilitateur en l'occurrence, ce support ne privilégie pas l'implication des participants et donc efface les phénomènes de réflexion dans l'action (Schön, 1992) qui stimulent les participants.

Deuxièmement, le support d'édition collaborative (Figure 106) permet aux participants d'être actifs dans la tâche d'édition du modèle et de faire très régulièrement des références physiques aux éléments du modèle en les pointant du doigt. Néanmoins, la proportion d'idées capturées via ce support d'annotation papier est moindre qu'avec l'éditeur logiciel. En effet, bien que l'édition soit collaborative et facile d'accès via ce support, l'édition reste lente et fastidieuse ce qui impacte négativement la dynamique de groupe. Malgré cela, les participants ont appréciés ce support d'édition collaboratif pour sa tangibilité et sa flexibilité.

Ce double constat efficacité du numérique/affordance des outils physiques est à l'origine du développement de nombreux systèmes interactifs mixtes. De ce fait, nous pensons que l'intégration des deux supports préalablement utilisés peut constituer une approche pertinente pour un outillage de la méthode. De cette manière, nous pourrions tirer profit des capacités d'automatisation des éditeurs logiciels et de la simplicité d'utilisation des outils informels tel que le papier.

Avant d'arriver à un tel résultat, nous proposons dans la partie suivante un bref tour d'horizon de systèmes analogues dont le but est d'assister le déroulement de séances de créativité en permettant l'édition et la manipulation de représentations externes de différentes formes.

### 2.1.1 Surface tactile et conception collaborative : un duo prometteur

Parmi les catégories de systèmes interactifs avancés, les surfaces interactives ont rapidement trouvé leur intérêt dans les situations de travail collaboratif. En effet, les interfaces multitouch fournissent des espaces de travail multi-utilisateurs permettant une participation égale des utilisateurs (Dourish & Bellotti, 1992).

En comparaison aux interfaces classiques (i.e. clavier/souris/écran), ces interfaces facilitent la coordination et la conscience du groupe. Les communautés du travail collaboratif assisté par ordinateur (i.e. CSCW) et de l'interaction homme-machine ont montré des avancées considérables depuis l'apparition des premières interfaces tactiles (Mehta, 1982) à la récente démocratisation des surfaces interactive tel Microsoft Surface 2 (Microsoft, 2011). Dès l'or, les activités de conception collaborative ont constitué une situation d'usage privilégiée pour ces types de système.

Parmi ces systèmes, certains mettent l'accent sur l'intégration de différents supports d'annotation pour augmenter la flexibilité. Ainsi l'outil *Pictionnaire* (Hartmann, Morris, Benko, & Wilson, 2010) est une table interactive dont



Figure 107 : Illustration de l'outil Pictionnaire d'après (Hartmann et al., 2010)

L'originalité est de faciliter le transfert d'information entre plusieurs supports de nature différente (cf. Figure 107). De manière similaire, le *Shared Design Space* (Haller et al., 2006) est focalisé sur l'utilisation de stylos numériques pour combiner de manière transparente des dessins réalisés sur du papier physique et sur une surface numérique.

La littérature fait également mention d'autres travaux focalisés sur l'orientation des objets ainsi que sur la territorialité du travail collaboratif. Par exemple, les *Interface Currents* (Hinrichs, Carpendale, Scott, & Pattison, 2005) sont un ensemble de techniques d'interaction multitouch permettant d'organiser visuellement sous différentes formes des objets numériques (Figure 108). L'accent est mis sur l'organisation automatique de l'information pour faciliter la perception des informations quel que soit le point de vue des utilisateurs autour de la table. De manière similaire, l'outil *Sketchtop* (Clifton et al., 2011) permet à plusieurs utilisateurs de dessiner simultanément dans des espaces de travail séparés puis de mettre en commun leurs productions dans un espace de travail commun.

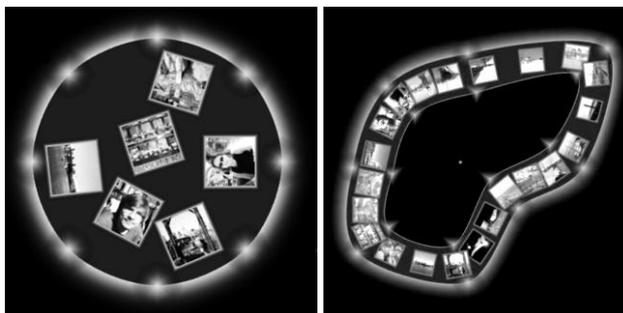


Figure 108 : Exemple d'Interface Currents d'après (Hinrichs et al., 2005)

Enfin nous notons dans la littérature des efforts récents visant à dépasser le simple espace de la table interactive pour aménager des espaces interactifs plus larges. C'est par exemple le cas de l'*AffinityTable* (Geyer, Pfeil, Budzinski, Höchtl, & Reiterer, 2011), un dispositif tactile multi-écrans permettant à plusieurs utilisateurs d'organiser des idées et des données sous la forme de petites cartes. Ce système est composé de plusieurs espaces, chacun ayant un rôle prédéfini (Figure 109). Ainsi la surface interactive horizontale joue le rôle d'espace de travail, les bords de la table sont des espaces personnels, la surface interactive verticale est un espace de réflexion et un angle de la surface horizontale est utilisé pour l'échange entre les affichages.



Figure 109 : Photo de l'Affinity Table d'après (Geyer et al., 2011)

Ces différents exemples de systèmes interactifs adaptés aux situations de conception collaborative et créative illustrent l'espace des possibles pour un outillage de la méthode MACS. Ainsi, l'orientation des éléments, la réorganisation spatiale, l'utilisation d'artéfacts tangibles, le couplage physique/numérique, l'édition simultanée, l'affichage multi-écrans, l'utilisation de stylos numériques sont des possibilités que nous avons envisagé.

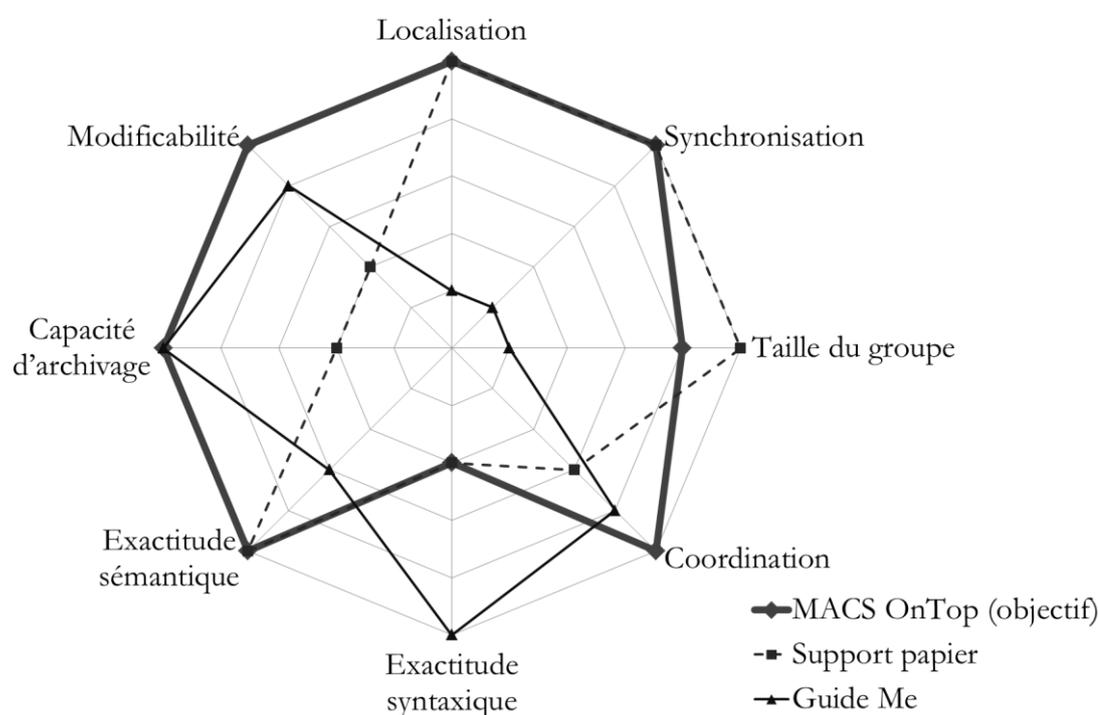
De plus, en comparaison aux outils classiques (e.g. papier, stylo, tableau, etc.), des travaux expérimentaux ont montré que ces systèmes interactifs avaient non-seulement un impact positif sur la créativité des utilisateurs (Buisine, Besacier, Najm, Aoussat, & Vernier, 2007) mais permettaient aussi de préserver la dynamique du groupe tout en bénéficiant des capacités du numérique (Geyer, Klinkhammer, & Reiterer, 2010).

Ces récents travaux nous invitent donc fortement à conclure qu'un outillage de la méthode MACS basé sur l'utilisation d'une surface tactile constitue une solution appropriée. Dans la partie suivante nous présentons les principes qui ont dirigé la conception de cet outil.

### 2.1.2 Objectifs de l'outillage

L'identification des objectifs présentés ci-après s'est principalement appuyée sur 1) les données issues des observations comportementales que nous avons analysées dans le Chapitre 6, 2) notre expérience de la méthode, 3) les retours informels des participants et 4) les solutions interactives existantes pour la conception collaborative et créative. Comme nous l'avons argumenté en amont de cette partie, l'outillage de la méthode MACS doit combiner les avantages des différents supports d'édition que nous avons utilisés, à savoir un éditeur logiciel de diagramme classique et le support papier que nous avons développé.

Pour classer et caractériser les principes directeurs de notre application nous avons utilisé les styles de travail collaboratif (Wu & Graham, 2004). Huit dimensions composent un style de travail collaboratif : quatre dimensions relatives au style de collaboration (i.e. localisation, synchronisation, taille du groupe, coordination) et quatre dimensions relatives à l'artefact édité (i.e. exactitude syntaxique, exactitude sémantique, capacité d'archivage, modifiabilité).



**Figure 110 : Comparaison des styles de travail entre les différents supports d'annotation du modèle pour la méthode MACS et l'outil OnTop**

La Figure 110 permet de comparer les styles de travail collaboratif des deux supports préalablement utilisés dans la méthode MACS et le style de travail collaboratif attendu avec l'outil *OnTop*. En termes de *localisation*, de *synchronisation*, de *coordination* et de *taille de groupe*, l'outillage *OnTop* devra

idéalement être aussi efficace que le support papier. En d'autres termes, l'outil devra permettre à cinq/sept participants d'éditer le modèle simultanément et de mettre en commun leurs productions.

En termes de *capacité d'archivage*, OnTop devra offrir les mêmes possibilités qu'un éditeur logiciel classique, c'est-à-dire permettre de sauvegarder différentes versions d'un ou de plusieurs modèles et de pouvoir les modifier à posteriori.

En termes de *modificabilité*, ce nouvel outil devra permettre une édition du modèle plus rapide que les différents supports utilisés précédemment. En effet, nous avons conclu à l'issue du chapitre 6 que la rapidité et la facilité de modification du modèle constituait un critère majeur à son édition dans la séance.

Enfin concernant *l'exactitude sémantique* et syntaxique du modèle, le futur outil devra être en ligne avec les possibilités offertes par le support papier. C'est-à-dire que l'outillage devra être *suffisamment flexible* pour permettre aux participants d'exprimer des aspects qui ne sont pas prévus dans la modélisation et *suffisamment contraint* par les concepts du modèle pour stimuler l'exploration. Par conséquent, un faible niveau d'exactitude syntaxique des modèles est attendu ; des entorses aux règles sous-jacentes à la modélisation pouvant être réalisées durant la génération d'idées ; et une forte exactitude sémantique est attendue, l'outil devra être suffisamment flexible pour permettre d'exprimer n'importe quelle idée le plus explicitement possible.

### 2.1.3 Extraction & identification des fonctionnalités

A ces spécificités relatives au travail collaboratif que nous avons détaillées ci-dessus, doivent s'ajouter les exigences fonctionnelles de l'outil. Le Tableau 25 fournit la liste des actions élémentaires qu'il sera possible de réaliser avec l'outil OnTop pour une utilisation optimale en séance de MACS. La plupart de ces actions sont présentes dans les outils d'édition de diagrammes et de travail collaboratif sur surface tactile. Ces actions sont organisées en fonctions de haut niveau.

FONCTIONS	ACTIONS
Editer le modèle	ajouter, éditer, supprimer, modifier les concepts du modèle, undo/redo, agrandir/rétrécir l'espace de travail
Proposer les concepts disponibles	palette d'édition, légende du modèle, exemple d'instanciations
Paralléliser	actions collaboratives, orienter la visualisation,
Dériver un modèle	sélectionner, copier/coller
Archiver un modèle	sauvegarder/ouvrir, lister les modèles produits
Evaluer	afficher les exigences, caractériser les modèles (nombres de concepts, entrée/sorties, adéquation avec le problème de conception)

Tableau 25 : Fonctionnalités de l'outil OnTop

La première fonction considère les actions élémentaires nécessaires pour éditer le modèle et ses concepts, c'est à dire l'ajout, la suppression, la modification et la visualisation des concepts du modèle.

La deuxième catégorie de fonction est relative à la fonction jouée par la légende du modèle dans la méthode, c'est-à-dire proposer les concepts du modèle pour les instancier.

La troisième catégorie de fonction est directement relative au style de travail collaboratif, toutes les actions devront être réalisables simultanément par les participants et la visualisation des éléments devra être orientable en fonction du sens de lecture des participants.

La quatrième catégorie de fonction est relative à une tâche que nous avons observé dans les séances : la dérivation d'un modèle. L'outil devra en effet, permettre d'enregistrer pour une même solution plusieurs instances alternatives pour certains concepts du domaine. Par exemple pour un objet physique impliqué dans une solution, l'outil doit permettre d'exprimer qu'il peut s'agir d'un marteau, d'un stylo, d'un filet,

d'une brique etc.

La cinquième catégorie de fonctions est relative à l'archivage des modèles produits. L'outil doit en effet permettre de créer une solution, de la sauvegarder et la ré-ouvrir et de visualiser l'ensemble des solutions produites.

Enfin, la sixième catégorie de fonction est relative à l'évaluation des solutions produites. En effet, les solutions élaborées durant la méthode MACS doivent satisfaire un certain nombre d'exigences constitutives du problème de conception posé. L'outil devra donc permettre de visualiser les exigences et de caractériser les solutions en fonction de ces exigences. De cette manière l'étape 4 de la méthode MACS (cf. Chapitre 4) pourrait être partiellement réalisée avec tous les participants. Le système pourra également proposer des statistiques quant aux solutions produites, tel que la quantité de concepts produits, le nombre d'entrée/sorties, etc.

Sur la base de ces objectifs, critères et fonctionnalités, nous avons développé l'outil *OnTop*. Dans la partie suivante nous proposons d'illustrer la première version de cet outil et justifions également certains de nos choix de conception et d'implémentation.

## 2.2 OnTop : illustration de l'outillage préliminaire

Pour concevoir cet outil d'édition collaboratif, nous avons mis en œuvre un processus de conception itératif centré utilisateur et participatif, impliquant des participants de séances de MACS et des experts dans la modélisation des SIM. Conformément au processus de conception que nous avons illustré dans le Chapitre 3, à ce jour plusieurs cycles d'analyse, conception, prototypage, évaluation ont été mis en œuvre pour développer les fonctionnalités élémentaires de cet outil.

Dans cette section, nous ne détaillons toutefois pas le déroulement de ce processus de conception mais insistons sur certains de nos choix de conception.

### 2.2.1 Choix de conception

Un des premiers choix de conception auquel nous avons été confrontés est relatif à la métaphore générale à employer. La question de la qualification et de la catégorisation des métaphores dans les interfaces tangibles est encore un sujet d'actualité dans la communauté IHM et aucun standard n'est encore établi à ce jour. En effet, des travaux récents ont illustré la difficulté dans la sélection d'une métaphore pertinente pour les objets tangibles (Celentano & Dubois, 2012; Oppl & Stary, 2011).

Par conséquent, pour chacune des fonctionnalités de l'application, une large possibilité de solutions s'offre à nous. Ces dernières se regroupent en deux catégories : l'emploi de gestes multitouch ou l'emploi d'objet tangibles. La question sous-jacente est donc « quelles tâches sont mieux adaptées aux interactions multitouch/gestuelles et quelles tâches sont adaptées à l'usage d'artefacts tangibles ? ».

Pour répondre à cette question, nous avons basé notre démarche de conception autour d'une métaphore globale. Cette dernière est inspirée d'un parallèle trivial avec les éditeurs de diagramme/dessin classiques (i.e. WIMP) et s'appuie sur la théorie de l'interaction instrumentale (Beaudouin-Lafon, 2000).

Cette métaphore, identifiée à l'issue de plusieurs itérations de conception suit la dichotomie suivante :

- Les interactions, dites de *manipulation directes* réalisées avec la souris dans un éditeur logiciel classique seront transformées en interactions *multitouch/gestuelles*. Par exemple, l'agrandissement d'un élément réalisée de manière standard avec une combinaison de touches (e.g. CTRL+Molette de la souris) sera réalisé au travers d'un geste d'étirement en multitouch (i.e. pinch/spread en anglais). Ce type de transformation a été appliqué sur beaucoup d'autres types de manipulations tel que clic pour sélectionner, drag pour déplacer, double-clic pour ouvrir, etc. et en suivant les standards proposés dans (Saffer, 2008).

- Les *instruments* (i.e. boutons sur une interface WIMP) seront réalisables via l'utilisation d'*objets tangibles*. Par exemple : palette d'éléments, outil d'agrandissement de la zone de travail, un outil de sauvegarde/chargement de modèle, un outil de dérivation de diagramme, un outil pour dupliquer des éléments déjà existant, etc.

Dans l'état actuel du développement de ce prototype, ce principe n'a été appliqué qu'à la palette des éléments du modèle, à terme cette métaphore sera étendue aux autres fonctionnalités tel que le copier/coller, la sauvegarde de diagramme, etc. Nous présentons l'ensemble des fonctionnalités développées dans la partie suivante.

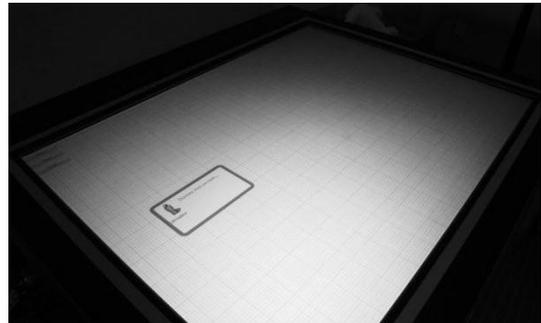
### 2.2.2 OnTop en action

L'outil *OnTop* est basé sur l'utilisation d'une surface tactile multitouch. Nous reviendrons plus tard sur les caractéristiques techniques de ce dispositif.

L'outil *OnTop* permet d'éditer des diagrammes collaborativement. Pour simplifier, le développement de ce prototype nous avons pour l'instant restreint les possibilités d'édition au modèle ASUR. Dans la partie suivante nous décrivons les fonctionnalités de l'application et les techniques d'interaction associées.

Au démarrage de l'application, la surface affiche un grand quadrillage que nous appellerons canevas, qui sert de support à l'édition du modèle.

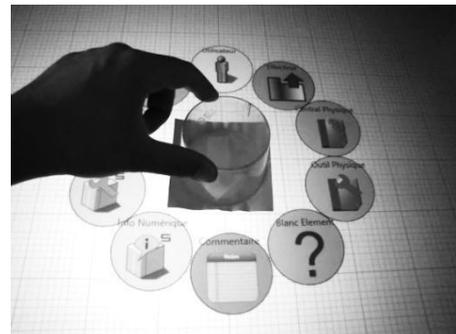
Une entité « Utilisateur » est initialement présente, car tout diagramme ASUR doit contenir un utilisateur au cœur du système interactif modélisé.



---

Un outil sous la forme d'un palet est à la disposition des participants. Lorsque celui-ci est posé sur la table, un menu circulaire apparaît. Si le palet est orienté, le menu s'oriente avec lui, de cette manière les éléments affichés dans le menu sont lisibles de tous les côtés de la table. Actuellement, nous n'avons utilisé la table qu'avec un seul palet, mais l'utilisation de plusieurs palets est possible.

En comparaison à une palette numérique fixe, l'avantage de ce palet est que les participants peuvent l'utiliser quel que soit leur position autour de la table et que la palette peut être affichée uniquement si nécessaire.



Ce menu circulaire propose toutes les entités qu'il est possible d'utiliser pour le diagramme à éditer. Un appui sur un des éléments du menu instancie automatiquement une entité. Pour ASUR, le menu propose des entités physiques, numériques, des adaptateurs (capteur/effecteur) et le type utilisateur.

De plus, deux autres types d'entités non spécifiques à ASUR sont également présentes : 1) Une entité commentaire, qui permet de saisir du texte indépendamment du modèle et 2) une entité « carte blanche » qui peut être typée à postériori.

En effet, à l'issue de nos analyses dans le Chapitre 6 nous avons mis en évidence que le choix d'une entité adaptée à une idée pouvait provoquer un effort cognitif important chez les participants. De ce fait, cette entité « carte blanche » permet aux participants de créer une entité rapidement et de définir son type à postériori.

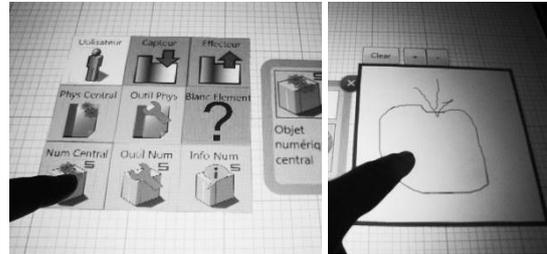
---

Lorsqu'une entité est créée, un clavier virtuel apparaît. Ce dernier est relié à l'entité. De cette manière, plusieurs utilisateurs peuvent saisir du texte simultanément sur des entités différentes.



Un appui rapide sur l'entité permet de faire disparaître/apparaître le clavier et les services associés.

L'entité propose également des services additionnels tels que le changement de type, l'ouverture d'un panneau permettant de dessiner rapidement une forme associée et la suppression de l'entité en question.

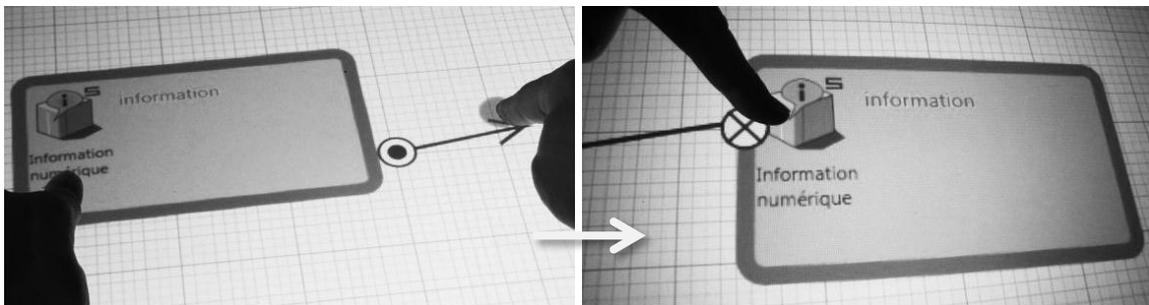


Les entités sont manipulables de deux manières différentes. Soit avec un seul doigt comme illustré ci-dessous. De cette manière le déplacement et l'orientation des entités est réalisable rapidement et facilement. Soit ces manipulations sont réalisables avec plusieurs doigts en suivant l'orientation de la main.



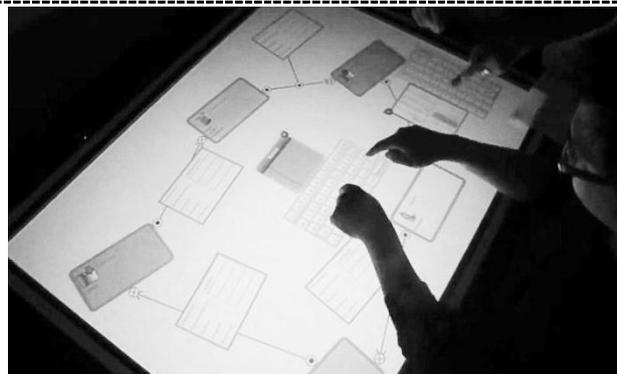
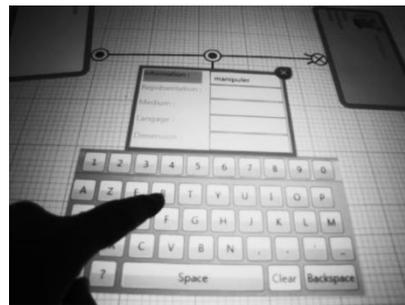
Pour relier deux entités, l'utilisateur doit tout d'abord poser deux doigts sur une entité, puis déplacer un de ces deux doigts en direction du bord de l'entité. Dès que ce doigt est sorti de l'entité un connecteur de sortie est automatiquement créé et une flèche apparaît. L'extrémité de la flèche est alors contrôlée par le doigt de l'utilisateur.

Dès que la flèche entre en contact avec une entité de destination, un connecteur d'entrée est automatiquement créé. Si l'utilisateur relève son doigt à ce moment-là la flèche est créée et les deux entités sont connectées. Si l'utilisateur ne relâche pas son doigt, il continue à contrôler l'extrémité de la flèche et peut poursuivre son tracé vers une autre entité. Si l'extrémité de la flèche est relâchée sur le canevas, la flèche disparaît.



Lorsqu'une flèche est créée, une boîte contenant les caractéristiques du flux d'information associé apparaît. De la même manière que pour les entités, un clavier virtuel est associé et permet d'éditer les différents champs du flux d'information (i.e. information, représentation, médium, dimension, forme de langage).

Un appui rapide sur la boîte de caractéristiques permet de faire apparaître/disparaître le clavier.



Pour conclure les fonctions remplies actuellement par l'outil *OnTop* permettent d'éditer collaborativement un diagramme ASUR dans sa totalité.

Cet outil est donc à ce jour à l'intersection de l'éditeur logiciel Guide-Me et du support papier que nous avons développé. Pour une vision globale de cette première version de l'outil et une illustration concrète de son utilisation, nous recommandons la visualisation de la vidéo démonstration (Bortolaso, 2011a).

### 2.2.3 Implémentation matérielle & logicielle

D'un point de vue matériel, nous avons utilisé la table tactile *Ilight™* développée par la société Immersion. La table est constituée d'une caméra infra-rouge, d'un vidéoprojecteur, de projecteurs infra-rouge et d'un serveur, le tout protégé par un boîtier. La table et son vidéoprojecteur permettent un affichage de 47 pouces avec une résolution de 1400x1050 pixels.

Cette table met en œuvre le principe d'illumination diffuse, qui consiste à immerger le contenu du boîtier avec un rayonnement infrarouge. Les perturbations de ce rayonnement sur la surface de la table sont alors captées par une caméra infra-rouge et analysées par le serveur.

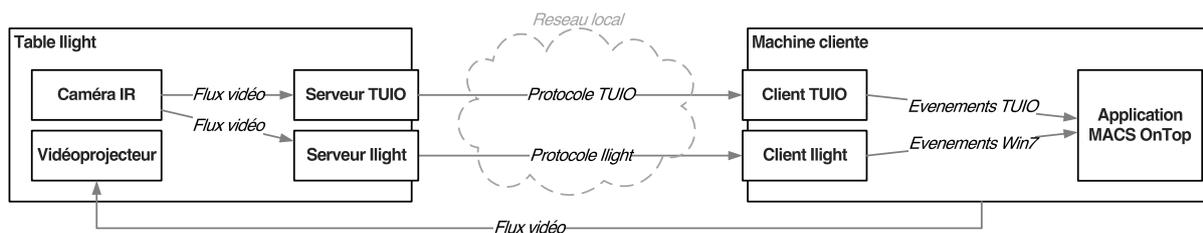


Figure 111 : Architecture Matérielle de l'outil OnTop

L'outil *OnTop* s'appuie sur une architecture client/serveur classique (Figure 111). Dans notre implémentation, la table joue le rôle de serveur et fournit en continu les données relatives à la détection des contacts multitouch ainsi que les données relatives à la détection des objets. Pour diffuser ces informations sur le réseau, deux protocoles sont utilisés :

- Le premier est un protocole propriétaire de la société immersion (i.e. *Ilight*) et diffuse les informations relatives à la position des contacts multitouch et à la détection des mains des utilisateurs. L'avantage de ce protocole est qu'il est compatible avec les événements multitouch du système d'exploitation Windows 7, ce qui simplifie considérablement le développement d'applications multitouch.
- Le second protocole est le standard TUIO (Kaltenbrunner, Bovermann, Bencina, & Costanza, 2005;

Tuio, 2011). Ce protocole, basé sur le transfert d'informations textuelles au travers d'un bus réseau, est initialement prévu pour transférer des informations relatives aux contacts multitouch et aux interfaces tangibles sur table tactile. Dans notre implémentation, il n'est toutefois utilisé que pour détecter la présence, la position et l'orientation d'objets sur la table qui n'est pas proposé par le protocole Ilight.

L'application a été entièrement développée dans le langage C# et s'appuie sur la bibliothèque graphique WPF4. Deux raisons majeures ont motivé ce choix technologique. Tout d'abord, le Framework WPF est particulièrement orienté graphisme 2D. En effet, le système graphique de cette bibliothèque est entièrement vectoriel ce qui nous permet d'adapter la taille et l'orientation des objets, d'envisager l'agrandissement/rétrécissement des éléments et d'optimiser la lisibilité du texte. Ensuite, la version 4 de WPF offre des services évènementiels adaptés aux applications tactiles. Les objets graphiques sont donc capables d'être à l'écoute d'évènements multitouch. De cette manière, nous avons pu nous concentrer sur le développement de techniques d'interaction adaptées plus que sur des aspects techniques.

### 2.3 Conclusions sur l'outil OnTop

A ce jour, l'outil *OnTop* permet d'éditer collaborativement un diagramme ASUR dans sa totalité. De ce fait, son utilisation peut être d'ores et déjà être envisagée dans une séance de MACS. Il est toutefois important de préciser que seules les actions relatives à l'édition du modèle ont été conçues et implémentées à ce jour. Ce travail de conception et d'implémentation doit donc être poursuivi pour implémenter les fonctions auxiliaires de l'outil tel que les actions d'édition avancées (e.g. dérivation de diagramme, duplication rapide d'éléments, etc.), les actions d'archivage (e.g. sauvegarde, visualisation de tous les diagrammes édités) ainsi que les fonctions d'aide à l'évaluation des modèles (e.g. statistiques quant à la création d'éléments, complétude vis-à-vis des exigences, etc.).

Sur la base de cette première version, nous avons toutefois déjà réalisé une première évaluation informelle de l'outil pour apprécier l'utilisabilité des techniques d'interaction que nous avons implémentées. Ces évaluations préliminaires étaient restreintes à un usage individuel et proposaient à un sujet de réaliser un diagramme ASUR sur la base d'un modèle à recopier.

Les retours sont globalement très positifs. Une grande majorité des participants arrive à réaliser le diagramme sans aucune aide ni indication quant à l'utilisation de l'outil. De plus, l'application a séduit un grand nombre de participants. Ces derniers ont particulièrement appréciés la facilité d'utilisation du menu circulaire tangible et la technique d'orientation des éléments avec un seul doigt, deux techniques d'interaction sur lesquelles nous avons porté notre focus.

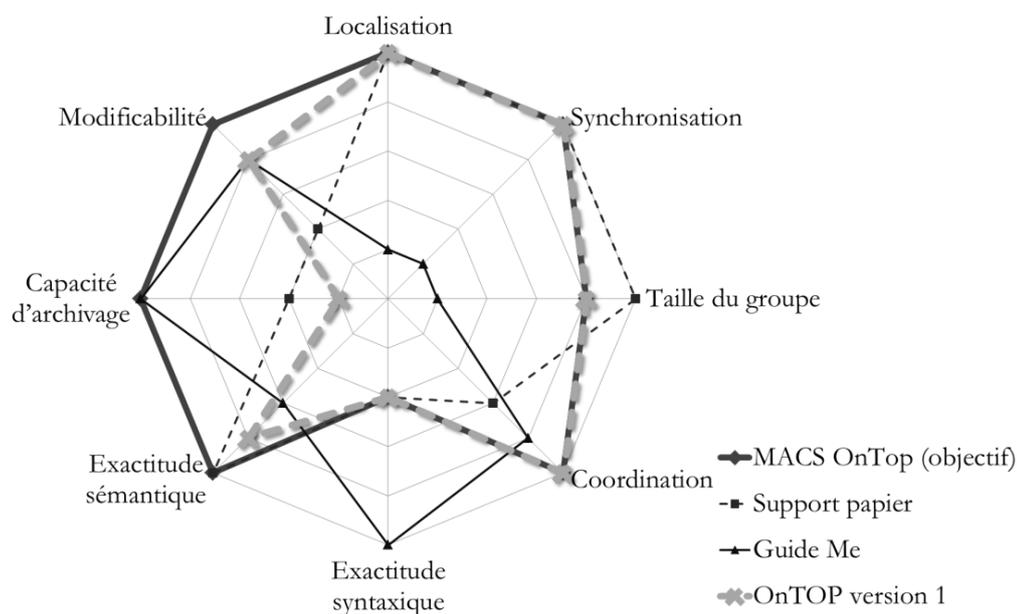
Ces évaluations nous ont également permis de soulever un certain nombre de problèmes. La saisie du texte avec le clavier virtuel et la création des flèches entre les entités sont deux aspects qui sont sujets à améliorations. Ces retours ouvrent des perspectives d'amélioration l'outil.

A l'issue de l'implémentation des fonctionnalités de l'outil, des évaluations plus approfondies devront toutefois être conduites. L'utilisation d'OnTop dans des situations de conception collaborative et créative concrètes devra être évaluée. Des travaux similaires et visant à étudier l'impact d'un outil numérique lors d'une tâche de conception ont déjà été conduits et ont montré que l'analyse de protocole est une méthode d'analyse pertinente pour une telle évaluation (Chevalier, Fouquereau, & Vanderdonckt, 2009).

D'un point de vue du style de travail collaboratif, nous avons comparé l'outil dans l'état actuel avec les objectifs posés en amont de cette section (cf. Figure 112). En termes de *localisation*, de *synchronisation*, de *coordination* et de *taille de groupe*, les objectifs sont atteints. En effet, à ce jour plusieurs individus co-localisés peuvent éditer un même modèle de manière simultanée.

Bien sûr, il serait possible d'aller plus loin, en développant des techniques d'interaction supportant une

coordination plus forte. Par exemple, nous pourrions envisager le tracé d'une même flèche par plusieurs participants séquentiellement, à la manière d'un stylo qui se passe de main en main pour continuer un tracé. Les fonctions d'édition avancées telle que le undo/redo collaboratif doivent aussi être envisagées. De telles techniques d'interaction nécessitent toutefois la conduite d'un travail de conception et de recherche conséquent.



**Figure 112 : Comparaison des styles de travail entre les différents supports d'annotation du modèle pour la méthode MACS et l'outil OnTop dans sa version actuelle**

Puis en termes de *capacité d'archivage*, les fonctionnalités initialement prévues n'ont pas encore été conçues et implémentées. Le développement de cet outil est donc à poursuivre dans cette voie.

En termes de *modificabilité*, un pas en avant considérable a été réalisé en comparaison au support papier. En effet, grâce à *OnTop*, le texte saisi est modifiable, les entités et flèches sont supprimables, et surtout les éléments du diagramme sont réorganisable. Ce dernier point est particulièrement important car dans une séance de MACS, l'ajout consécutif d'éléments rend rapidement la lecture du diagramme difficile. Le déplacement des éléments du modèle permet donc de réarranger la position des éléments et de faciliter la lecture.

Concernant *l'exactitude sémantique*, des progrès ont été effectués en comparaison à l'éditeur logiciel Guide-Me. En effet, en termes d'édition l'outil *OnTop* permet d'attacher des dessins aux entités pour annoter/conservé un certain nombre les idées que le modèle ne permet pas de représenter (e.g. comme les propriétés topologiques d'un objet physique par exemple). L'outil *OnTop* n'est toutefois pas aussi flexible qu'un support papier. Des travaux doivent donc être poursuivis pour permettre la saisie/écriture/dessins sur une surface numérique. Cette limitation ouvre des perspectives de recherche pertinentes quant aux écarts d'utilisabilité existant entre une surface numérique et un support papier dans les tâches d'écriture et de dessin.

Enfin d'un point de vue de *l'exactitude syntaxique*, l'outil *OnTop* présente l'avantage de n'être soumis à aucune règle d'édition particulière. En effet, en comparaison à l'outil Guide-Me, les règles exprimées dans le métamodèle d'ASUR (Gauffre & Dubois, 2011) ne sont pas vérifiées avec *OnTop*. De cette manière les participants d'un MACS peuvent éditer le modèle de manière flexible, sans entraver le flux créatif et en limitant l'effort cognitif requis à l'encodage des idées dans la notation. Bien sur la non-vérification de l'exactitude syntaxique du modèle ouvre la possibilité pour les participants d'effectuer des erreurs.

D'un point de vue du flux créatif cette flexibilité constitue un avantage important alors que d'un point de

vue de la formalisation il s'agit d'un inconvénient important. Cet écart constitue un compromis inhérent à la méthode MACS et à l'outil d'édition *OnTop*. L'étude la validité syntaxique des modèles réalisés dans une séance de créativité et sa caractérisation constitue une perspective de recherche à court termes.

L'implémentation de cet outil ouvre également des perspectives de recherches relatives aux interfaces tangibles et aux supports de la créativité en situation de conception collaborative.

Comme nous l'avons souligné dans la partie 2.2.1, peu de patrons de conception sont disponibles pour faciliter/guider le choix d'une métaphore d'interaction tangible pertinente. Des efforts sont donc à conduire dans cette voie. L'enjeu d'une telle recherche est double : 1) tendre vers des interfaces tangibles de plus en plus utilisables et 2) faciliter la démocratisation de ces systèmes.

Deuxièmement, l'outil que nous avons développé permet à plusieurs participants d'éditer un modèle dans une séance de créativité. Le modèle est supposé stimuler les participants en mettant en exergue des concepts, des dimensions qu'il est nécessaire de considérer. Dans l'état actuel de la méthode MACS, le facilitateur assiste les participants dans l'exploitation de ces concepts en soulignant des opportunités de variation qui pourraient guider la génération d'idées vers une nouvelle solution. Ce rôle est toutefois fastidieux et nécessite une bonne connaissance du modèle. Par conséquent, il serait intéressant d'explorer si un tel rôle est automatisable ou partiellement automatisable.

Envisager une stimulation automatique des participants à une séance créative soulève toutefois de nombreuses questions : Quelles informations ? À quelle fréquence/moment ? Sous quelle forme ? Ces questions restent à ce jour en suspend et gagneraient à être investiguées.

Dans la partie suivante, nous abordons le deuxième axe majeur des concrétisations de ces travaux de recherche : la concrétisation des productions de la méthode MACS.

### 3 CONCRETISATIONS DES PRODUCTIONS DE LA METHODE MACS

L'utilisation des modèles dans le processus de développement permet de décrire un ensemble de facettes du système. De cette manière, le modèle concrétise les choix de conception et offre une meilleure compréhension du système en cours d'élaboration.

Avec le développement de la méthode MACS, nous avons argumenté que l'encodage des idées d'une séance de créativité facilitait l'ancrage des idées produites dans le processus de conception. En effet, la modélisation des solutions générées est supposée fournir une spécification solide et non ambiguë pour concrétiser les choix de conception durant l'étape de prototypage.

Pour cette raison, la méthode MACS dont nous avons étudié le cœur dans le Chapitre précédent est complétée par deux techniques de post-traitement des résultats qui constituent l'étape 4 et 5 de la méthode. Ces deux techniques visent respectivement à évaluer l'adéquation entre modèles produits et exigences du problème de conception et évaluer les solutions produites pour identifier les aspects à considérer par la suite.

Pour illustrer ces techniques dans le contexte d'un développement concret, nous nous appuyons sur deux cas d'étude. Dans cette section, nous présentons le développement de deux expositions interactives visant à faire l'expérience de la cladistique au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

Cette partie est divisée en quatre. Tout d'abord nous présentons le processus de co-conception que nous avons utilisé. Ce processus est spécifique au développement d'expositions interactives mixtes en situation muséale. Puis nous posons les bases de la cladistique, la thématique qui constitue le cœur du problème de conception de nos deux cas d'étude. Ensuite, nous illustrons le développement de deux prototypes dédiés au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse : MIME et CladiBulle. Pour illustrer la conception de ces deux prototypes nous mettons le focus sur l'utilisation des étapes 4 et 5 de la méthode MACS. De cette manière, nous montrons quels aspects de l'interaction ont été extraits de la méthode et quels aspects ont été traités à posteriori. Enfin, nous clôturons cette section par une vue globale de l'implémentation logicielle de ces deux prototypes.

#### 3.1 Processus de co-conception d'expositions muséographiques

Pour développer les prototypes MIME & CladiBulle nous avons mis en œuvre un processus de conception centré utilisateur spécifique (Dubois, Bortolaso, Bach, Duranthon, & Blanquer-Maumont, 2011). Ce processus, spécialement mis au point pour la conception de SIM dédiés aux situations muséographiques, implique une collaboration étroite avec le personnel du Muséum. Les spécificités de ce processus de co-conception permettent aux concepteurs de se focaliser successivement sur des aspects centraux des expositions interactives en musée tel que l'identification d'une thématique scientifique, le décryptage des attentes muséographiques, la définition d'un message pédagogique, la conception de l'interaction, etc. Ce processus est composé de quatre grandes phases (Figure 113) :

1. L'« *analyse préliminaire* » est consacrée à l'analyse du domaine : identification d'un thème, des objectifs et des messages pertinents, de la position dans l'exposition, et surtout du profil de l'utilisateur. Le contexte muséographique est donc défini dans cette phase.
2. L'« *analyse des principes interactifs* » consiste en la définition d'un contexte interactif permettant d'atteindre les objectifs et les messages muséographiques identifiés. Cette phase est particulièrement caractérisée par l'identification du principe fonctionnel général qui définit l'activité des visiteurs face à l'exposition interactive. A l'issue de cette phase, un prototype basse-fidélité cristallisant tous les résultats des deux étapes d'analyse précédent est fourni en entrée de l'étape d'optimisation.
3. L'« *optimisation* » est une phase itérative qui vise à améliorer successivement différents aspects du prototype. Conformément au processus illustré dans le Chapitre 3 celui-ci est composé de quatre

étapes majeures : analyse, conception, prototypage et évaluation. Comme cela est illustré sur la Figure 113, c'est durant l'étape de conception de cette phase que la méthode MACS est appliquée. Chaque itération de ce processus se focalise sur un ou plusieurs aspects de l'exposition interactive tel que l'utilisabilité, l'interaction, l'expérience utilisateur, la mise en scène, la cognition, etc.

4. La « production » finalise le prototype pour tendre vers une industrialisation de la solution. Les divers prototypes, modèles et résultats d'évaluation réalisés dans les phases précédentes servent d'entrée à cette phase. A l'issue de cette phase une exposition robuste, utilisable est déployée de manière permanente au sein des autres expositions.

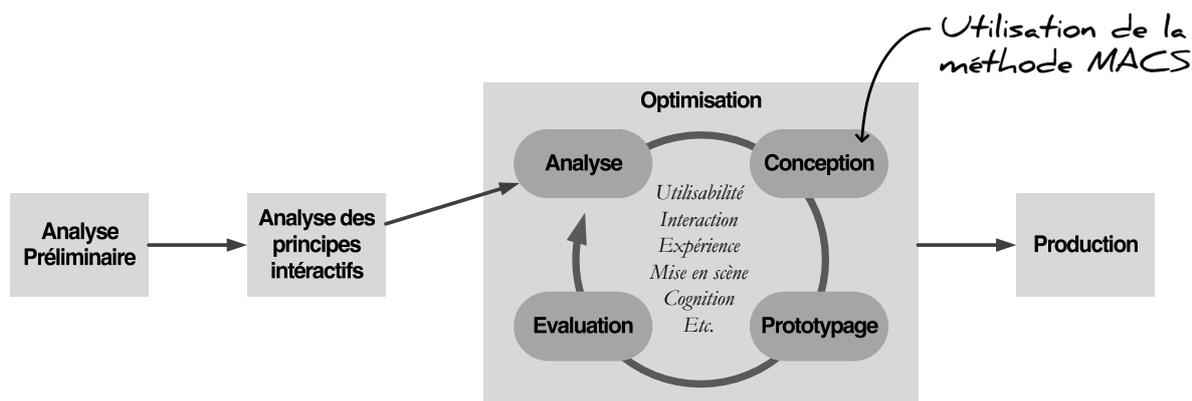


Figure 113 : Processus de co-conception d'expositions muséographiques

Ces quatre phases définissent la structure globale du processus et mettent en exergue les questions de conception liées aux aspects muséographiques d'une part, et à l'interaction et la diffusion du produit d'autre part. Ce processus de co-conception présente de nombreux avantages. En effet comme nous l'avons montré dans (Dubois et al., 2011) ce processus :

- *Facilite la communication* entre les intervenants de différentes disciplines au travers d'artefacts de conception concrets
- *Guide l'équipe* de conception au travers de l'analyse des besoins muséographiques
- *Aide à se focaliser* sur les aspects interactifs et muséographiques plus que sur les contraintes technologiques grâce aux deux premières phases d'analyses
- *Assiste l'exploitation et l'organisation des ressources* de conception de différents domaines notamment grâce à un outillage complet de l'analyse de la tâche au prototypage (Gauffre et al., 2010)
- *Assiste l'exploration* des attentes muséographiques, le focus étant mis sur les objectifs pédagogiques de l'exposition plutôt que sur les exigences des visiteurs
- *Supporte l'homogénéité* au sein des différentes expositions grâce à l'identification de principes fonctionnels génériques dans la phase d'analyse des principes interactifs
- *Assiste la mesure de l'utilisabilité* du système développé grâce à une entrée progressive au sein des expositions et à une série d'évaluations successives

Ce processus de co-conception dédié aux situations muséographiques a fait l'objet de plusieurs publications et est décrit en détail dans (Dubois et al., 2011). Ce processus se distingue d'un processus de conception centrée utilisateur classique par l'activité réalisée dans les phases d'analyse préliminaire et des principes interactifs. En effet, ces deux étapes sont spécifiques au développement d'expositions en milieu muséographique. De plus, les considérations traitées durant les cycles d'optimisations sont non seulement adaptées au développement d'applications interactives mais également aux spécificités des situations muséales.

De plus, à l'issue de quatre mises en œuvre avec des équipes de conception différentes et pour des cas d'étude différents, nous pouvons désormais affirmer que ce processus est *réapplicable et transférable*.

Dans les parties suivantes, nous illustrons le déroulement du développement des prototypes MIME et CladiBulle. Nous focaliserons cette présentation sur l'usage de la méthode MACS ainsi que sur l'influence de cette dernière sur les applications développées. Mais avant cela, nous proposons une brève introduction de la thématique et des enjeux muséographiques soulevés par le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

### 3.2 La cladistique : une classification contre-intuitive

Parmi les thématiques présentes au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse, la cladistique ou nouvelle classification des espèces est particulièrement prédominante. Proposé dans les années 1950, la cladistique est la méthode moderne pour la classification de la vie. Cette méthode de classification est basée sur l'évolution des critères phylogénétiques plutôt que sur les similitudes et les différences entre les espèces (Hennig, 1950).

Une classification est représentée avec des arbres d'évolution, appelés cladogrammes, dans lesquels les feuilles représentent les taxons (i.e. à n'importe quel niveau de la classification, à savoir les espèces, genres, etc.) et les nœuds représentent un ancêtre hypothétique. Ce dernier est caractérisé par un ensemble de critères acquis au cours de l'évolution (Figure 114).

Cette nouvelle classification systématique, fondée sur des caractéristiques mesurables, a changé notre représentation du monde du vivant. Par exemple, la cladistique montre que les poissons et les reptiles ne sont pas des unités naturelles (contenant un ancêtre et tous ses proches), mais uniquement une classification réalisée par analogie.

Toutefois, la cladistique est encore largement méconnue et mal comprise par le grand public. En effet, les experts en éducation ont souligné la difficulté dans l'apprentissage de la cladistiques (Lecoindre, Bonnet, Cariou, Ducu, & Collectif, 2008).

Par conséquent, nous avons travaillé en étroite collaboration avec le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse dans le but de proposer des systèmes interactifs avancés visant à simplifier l'expérience de la cladistique par le grand public dans les musées.

Le développement de ces systèmes interactifs constitue un double enjeu. D'un point de vue muséographique, ces développements offrent la possibilité pour le Muséum de Toulouse d'explorer l'apport des technologies interactives avancées dans le cadre de communications et d'expériences muséales portant autour des méthodes de classification du vivant.

D'un point de vue du domaine de l'IHM, ce cadre offre la possibilité d'étudier le développement et l'usage des SIM pour le grand public. Plus particulièrement, dans le cadre des travaux de recherche présentés dans cette thèse, ce contexte était propice à la mise en œuvre de la méthode MACS. Dans les parties suivantes, nous présentons deux SIM ayant trait à la problématique de la cladistique et pour lesquels la méthode MACS a été mise en œuvre.

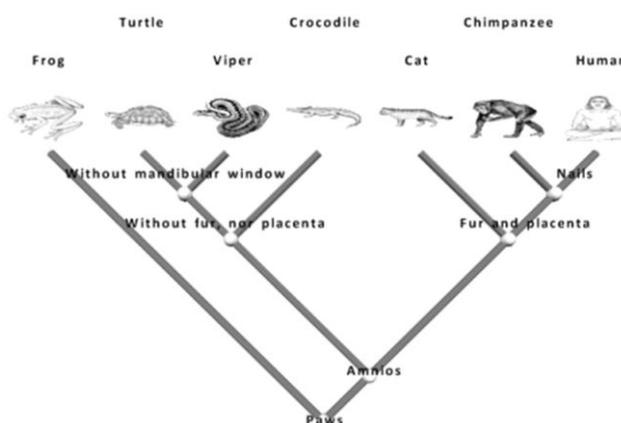


Figure 114 : Un exemple de Cladogramme

### 3.3 Cas d'étude 1 : MIME – « explorer la classification du vivant de l'intérieur »

Dans les parties suivantes nous présentons le prototype MIME. Nous ne détaillons pas la totalité du processus qui a conduit à son développement mais insistons sur certains aspects relatifs à sa conception et à son évaluation. Cette illustration nous permettra de mettre en évidence une première fois l'intérêt de la méthode MACS ainsi que la manière dont les résultats issus de la méthode peuvent être intégrés dans le processus. La mise en œuvre de chacune des étapes du processus pour le développement de MIME est plus particulièrement détaillé dans (Bortolaso, Bach, & Dubois, 2011).

#### 3.3.1 Prototype en action

MIME signifie *Mixed Interaction for Museum Environment* et vise à enseigner l'un des principes les plus importants de la cladistique: "*toutes les espèces d'un cladogramme sont définies par les caractères phylogénétiques hérités depuis la racine*". Pour y parvenir, les visiteurs sont invités à explorer un environnement 3D ayant la forme d'un cladogramme. MIME propose deux points de vue d'un cladogramme :

1. Une représentation 3D égocentrique d'un cladogramme. Il s'agit d'un environnement virtuel offrant un point de vue du cladogramme de l'intérieur des branches.
2. Une représentation 2D globale d'un cladogramme. Il s'agit d'un cladogramme jouant le rôle de carte de la représentation 3D.

La représentation 3D (Figure 115 n°1) permet aux utilisateurs de naviguer à l'intérieur des branches du cladogramme. Dans cette perspective, les nœuds et les feuilles du cladogramme sont représentés par des pièces sphériques reliées par des tunnels (Figure 115 n°2). Dans chaque pièce, les visiteurs peuvent changer leur point de vue de gauche à droite et accéder à des panneaux fournissant des détails sur le critère phylogénétique représenté ou sur l'espèce représentée par la pièce en question (Figure 115 n°4). Les panneaux sont composés de la liste des caractéristiques acquises depuis la racine cladogramme, d'une brève définition de l'espèce/critère actuel et d'une illustration.

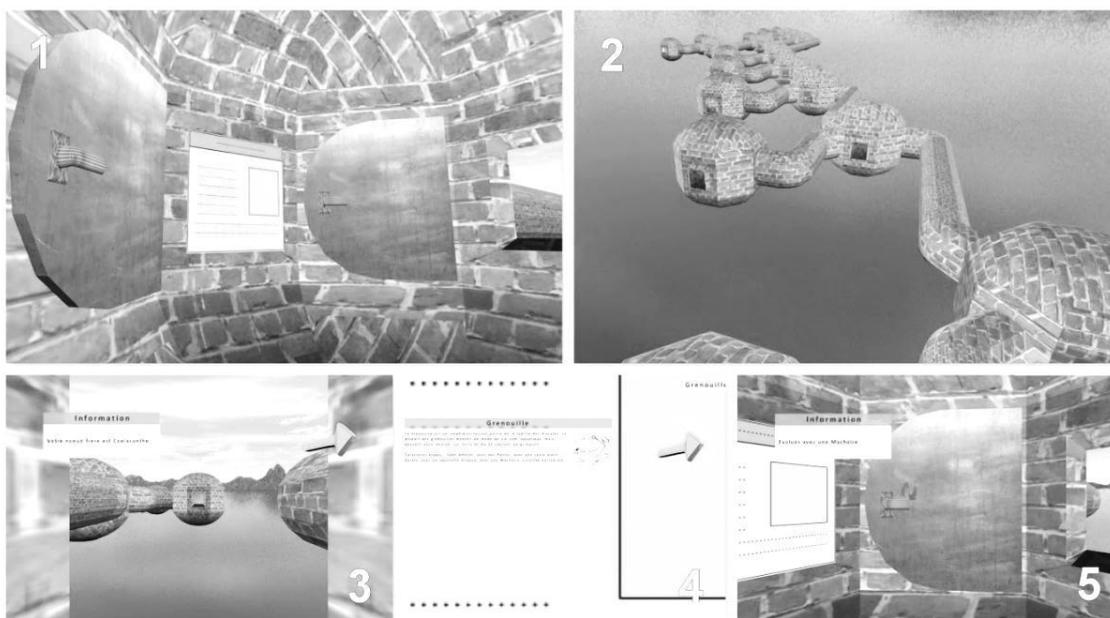


Figure 115 : Différents points de vue de la représentation 3D de MIME

Dans chacune des pièces représentant un nœud de l'arbre, les utilisateurs peuvent interagir avec deux portes permettant l'accès aux pièces liées à la pièce courante (Figure 115 n°5). L'ouverture d'une porte et le déplacement vers une autre pièce représente l'acquisition d'un nouveau critère phylogénétique et donc une étape dans l'évolution de la vie. Dans chaque pièce (i.e. feuilles et nœud) une troisième porte est présente pour permettre le retour en arrière. Enfin, dans chaque pièce les utilisateurs peuvent également interagir avec une fenêtre offrant un point de vue sur un nœud frère dans l'arbre.

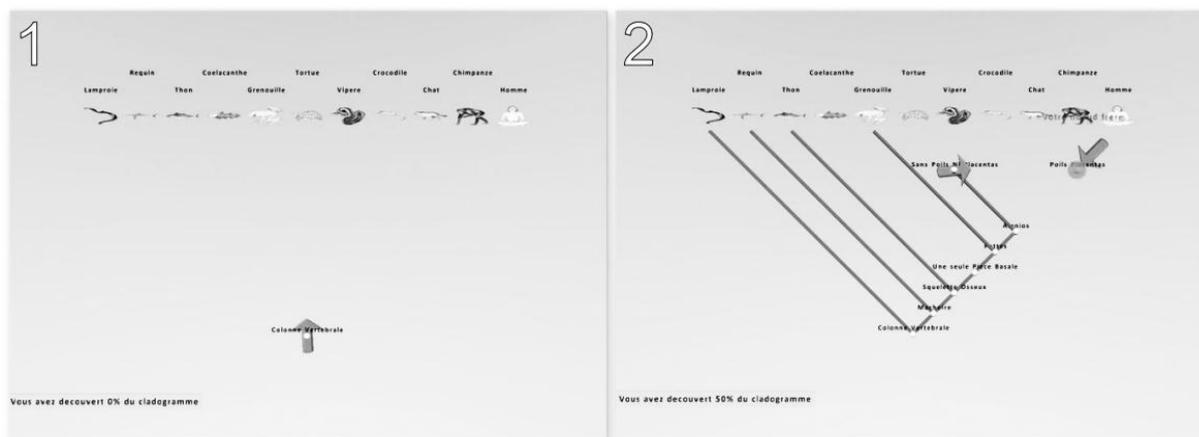


Figure 116 : Evolution de la représentation 2D, vue « carte » de MIME

La représentation 2D du cladogramme joue le rôle de carte (Figure 116). Cette vue fournit de nombreuses informations et feedbacks pour aider les visiteurs dans l'exploration du cladogramme. Lorsque l'application démarre, la vue sur la carte de la cladogramme est complètement cachée : seules les espèces (i.e. feuilles terminales, cf. Figure 116 n° 1) restent visibles.

Pour assister la localisation dans l'espace de la vue 3D égocentrique, la carte indique la direction du point de vue de l'utilisateur et sa position dans le cladogramme via une flèche orientée. De plus, lorsque l'utilisateur regarde par la fenêtre dans la vue égocentrique, le nœud frère est affiché en surbrillance orange sur la carte (Figure 116 n°2), même si celui-ci n'a pas encore été découvert. Enfin, pour encourager les utilisateurs à explorer le cladogramme, un pourcentage indique continuellement le taux d'exploration.

Les principes interactifs présentés ci-dessus ainsi que les tâches à réaliser dans l'environnement 3D ont été identifiés en collaboration avec les experts du domaine (i.e. conservateur du muséum et animateurs des expositions) à l'issue des phases d'analyse préliminaire et d'analyse des principes interactifs du processus. Suite à ces deux phases un ensemble de cycles d'optimisation a été conduit pour concevoir les aspects de mises en scène, d'intégration au sein de l'exposition, d'amélioration de l'utilisabilité du système mais aussi d'interaction avec cet environnement 3D.

En termes d'interaction, les prescriptions faites par des muséographes tels que Wagensberg, nous ont conduits à l'utilisation d'objets physiques (Wagensberg, 2005). Toutefois, la cladistique est un phénomène abstrait pour lequel aucun objet physique ne peut être identifié. Nous avons donc choisi d'intégrer la manipulation d'objets physiques pour soutenir l'exploration des concepts cladistiques : les objets physiques constituent une forme tangible pour l'interaction avec la représentation des concepts cladistiques que nous avons proposé.

L'usage de techniques d'interaction mixte pour interagir avec des applications multimédias implique intrinsèquement l'usage d'objets physiques. Ceci est supposé renforcer la cohérence sémantique entre les actions manipulatoires des utilisateurs et l'objet même de l'exposition. De cette manière le visiteur est guidé au travers de l'information présentée, et sa visite en devient transformée en expérience.

Nous avons développé deux techniques d'interaction différentes pour interagir avec MIME chacun d'entre elles comportent des aspects différents de la physicalité de l'interaction.

### 3.3.1.1 Technique d'interaction écologique : lampe torche

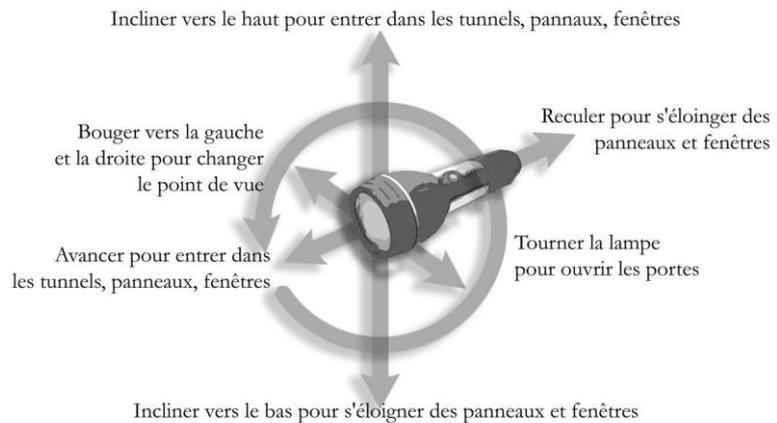
Cette première technique d'interaction, imaginée lors d'un MACS (cf. Chapitre 6 Partie 1.3.1 MACS 2) est basée sur la manipulation physique d'une lampe de poche. Cet objet est en ligne avec la métaphore de l'explorateur découvrant les critères phylogénétiques.

Comme le montre la Figure 117, des mouvements prédéfinis de la torche sont reconnus par le système.

En manipulant la lampe de poche, les utilisateurs peuvent changer leur point de vue, passer d'une pièce à l'autre, et accéder aux panneaux d'information dans la représentation 3D du cladogramme.

En conséquence, les visiteurs ont simplement à attraper la lampe de poche et à la déplacer pour commencer à interagir avec le système.

Pour une illustration concrète de l'utilisation de cette technique d'interaction et du prototype MIME, nous recommandons la visualisation de la vidéo démonstration (Bortolaso, 2011b).

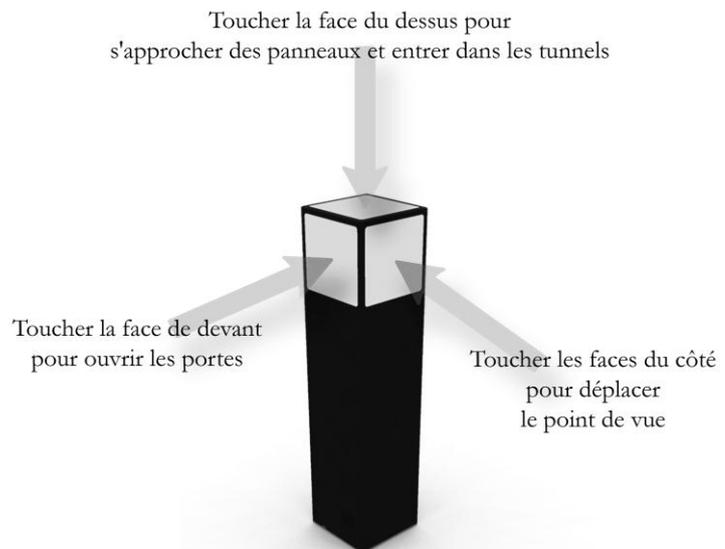


**Figure 117 : Description de la technique d'interaction basée lampe torche**

### 3.3.1.2 Technique d'interaction basée Cubtile

La deuxième technique d'interaction est basée sur l'utilisation du Cubtile™ (Bortolaso, Dubois, Dittlo, & de La Rivière, 2009), un cube à cinq faces multitouch. Le développement de cette technique d'interaction fait suite à un ensemble de constats relatifs à la matérialisation de l'espace physique, issus des évaluations du prototype MIME.

Comme le montre la Figure 118, nous avons associé à chaque face du cube, une action définie dans l'environnement MIME. Les faces gauche et droite sont utilisées pour changer le point de vue de l'utilisateur, respectivement vers la gauche et vers la droite, la face supérieure est utilisée pour accéder aux panneaux d'information, et la face avant est utilisée pour ouvrir des portes dans l'environnement. La face arrière reste inutilisée.



**Figure 118 : Description de la technique d'interaction basée Cubtile**

### 3.3.2 Conception du prototype MIME : focus sur la mise en œuvre de la méthode MACS

Comme précisé ci-dessus, la première technique d'interaction développée pour MIME est issue d'une mise en œuvre de la méthode MACS. Dans cette partie, nous ne reviendrons toutefois pas sur l'implémentation des étapes 1, 2 et 3 de la méthode MACS, ni sur le détail des solutions qui en ont été extraites car ces dernières ont déjà été présentées et analysées dans le Chapitre 6 (Partie 1.3.1 MACS 2). Dans cette partie, nous allons présenter de manière détaillée la mise en œuvre de l'étape 4 et de l'étape 5 de la méthode MACS pour illustrer comment les modèles produits durant la méthode peuvent être exploités pour fournir des spécifications consistantes pour l'étape de prototypage.

Durant les phases d'analyse préliminaire et d'analyse des principes interactifs, nous avons identifié les exigences du système en collaboration avec le conservateur et les animateurs du Muséum. Ces exigences sont composées des fonctionnalités élémentaires de l'application ainsi que de contraintes relatives au domaine d'application, aux utilisateurs ou au contexte d'usage.

Dans le cas de MIME, cinq fonctionnalités élémentaires ont été identifiées. Il s'agit de toutes les actions que l'utilisateur peut réaliser dans l'environnement virtuel : choisir le critère suivant, revenir au critère précédent, consulter le descriptif courant, prendre connaissance d'un frère et consulter l'avancement sur la carte.

A ces fonctionnalités s'ajoutent deux contraintes majeures. La première concerne la robustesse au changement de collection du cladogramme. En effet, une des exigences du muséum était de pouvoir facilement modifier le cladogramme présenté dans l'application. Ainsi l'exposition interactive est adaptable aux journées thématiques organisées par le muséum (e.g. plantes, reptiles, mammifères, dinosaures, etc.). La technique d'interaction en entrée doit donc rester pertinente quel que soit le cladogramme présenté. La seconde contrainte concerne le non-équipement de l'utilisateur. En effet, durant l'analyse des principes interactifs les muséographes ont rejeté la possibilité d'équiper chaque utilisateur du muséum avec un dispositif spécifique (e.g. casque de réalité virtuelle, smartphone, caméra, etc.).

Sur la base de ces exigences, à l'issue de la mise en œuvre de la méthode MACS avec le modèle ASUR, nous avons extrait cinq modèles illustrant des techniques d'interaction différentes. Comme préconisé par la méthode nous avons caractérisé les modèles issus de la séance de MACS en fonction de ces fonctionnalités et contraintes. Le Tableau 26 illustre cette caractérisation.

	Fonctionnalité élémentaires/tâches					Contraintes du domaine		% d'efficacité
	Choisir le critère suivant	Revenir au critère précédent	Consulter le descriptif courant	Prendre connaissance d'un frère	Consulter l'avancement sur la carte	Robustesse au changement de collection	Non Equipement de l'utilisateur	
1: Métaphore de la Voiture	x	x	x	-	x	x	x	85,7%
2: Métaphore d'un Vélo	x	x	-	x	-	x	x	71,4%
3: Avatar	-	-	x	-	-	x	x	42,9%
4: Balance et Cailloux	x	x	x	-	x	-	x	71,4%
5: Lampe torche	x	x	x	-	-	x	x	71,4%
1+2+5: Combinaison	x	x	x	x	x	x	x	100,0%

**Tableau 26 : Caractérisation des modèles produits durant la séance de MACS pour la conception de MIME.**

Pour rappel l'objectif de l'étape 4 de la méthode MACS est d'obtenir un ou plusieurs modèles complets en termes d'exigences et répondant, par conséquent le mieux possible aux problématiques

posées. Les modèles répondant à toutes les fonctionnalités sont conservés et laissés inchangés pour conserver leur cohérence et les modèles répondant partiellement aux exigences du système sont fusionnés dans le but d'obtenir des solutions qui répondent à tous les besoins du système.

La caractérisation présentée dans le Tableau 26 nous apprend tout d'abord qu'aucun des modèles produits ne répond à toutes les exigences. Par conséquent, nous avons combiné plusieurs éléments de modèles pour extraire une technique d'interaction complète. Nous détaillons ci-dessous le raisonnement qui nous a conduits à la solution interactive terminale.

Tout d'abord, le respect des contraintes du domaine étant critique, celui-ci a constitué un critère déterminant. Parmi les modèles répondant aux deux contraintes (i.e. 1, 2, 3, 5 dans le Tableau 2), nous avons retenu la modèle 5, pour l'adéquation sémantique de la métaphore de la lampe torche avec le contexte du muséum. En effet, la métaphore attachée à l'utilisation de la lampe torche évoque l'activité d'un explorateur qui est en accord avec le thème de MIME et de la cladistique.

Toutefois ce modèle 5 ne couvre pas toutes les fonctionnalités. Pour assurer la complétude de cette solution nous nous sommes inspirés de deux autres solutions générées durant la séance de MACS (cf. case grises dans le Tableau 26).

Nous avons donc extrait des fragments de solutions des modèles 1 et 2 pour compléter le modèle 5. Ainsi, nous avons conservé une partie du modèle 1 qui proposait l'affichage de la carte sur un écran séparé à la manière d'un système de navigation. Ceci s'est traduit dans la solution finale par une séparation de la représentation 3D et de la représentation 2D en deux affichages séparés. De plus nous avons conservé une partie du modèle 2 qui proposait d'afficher les nœuds frères dans le cladogramme sur les côtés de l'écran comme dans des rétroviseurs sur un vélo. Ceci s'est traduit par la création des fenêtres dans les pièces de l'environnement 3D permettant de visualiser les nœuds frères du cladogramme (cf. Figure 115). Concrètement, la combinaison de ces fragments de solution, nous a permis de construire une grande partie du modèle ASUR final. La Figure 119 présente ce modèle, et met en évidence en pointillé les éléments de solution issus du MACS.

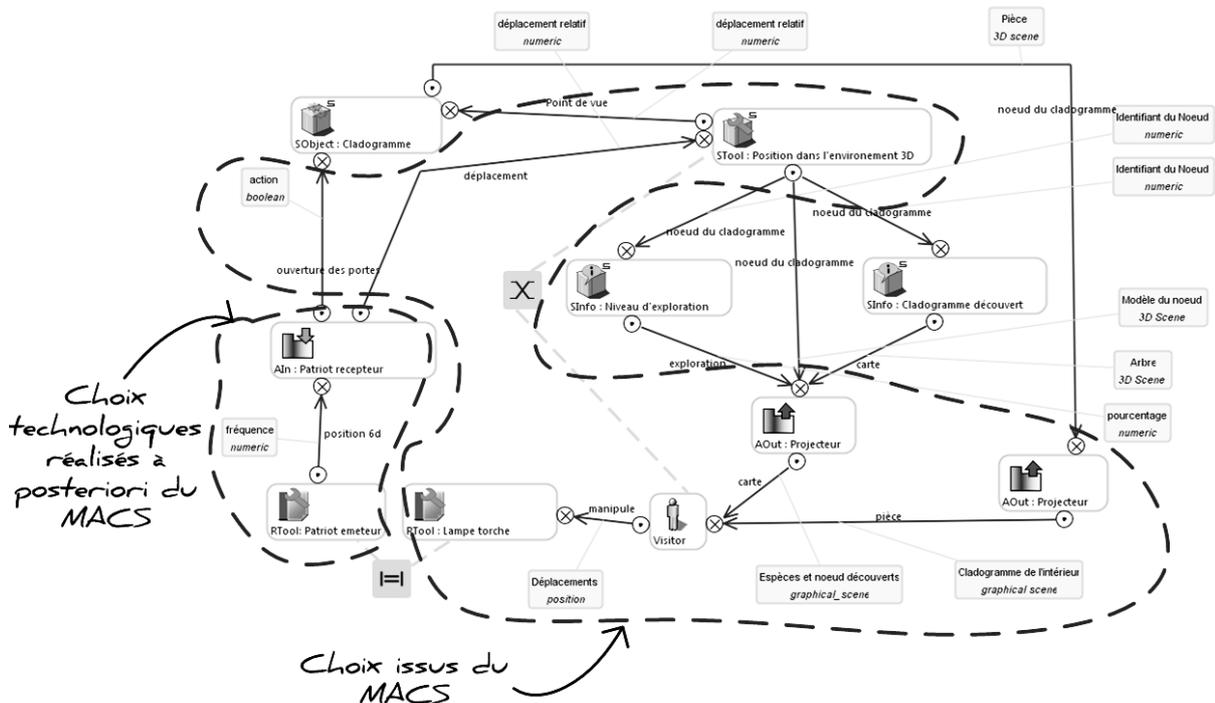


Figure 119 : Modèle ASUR final du prototype MIME. Les tracés en pointillé mettent en évidence les éléments issus de la méthode MACS et les choix technologiques réalisés à postériori. Les éléments non inclus par les tracés en pointillé sont issus des étapes d'analyse.

Puis sur la base de ce modèle nous avons appliqué l'étape 5 de la méthode MACS : l'évaluation des limites des solutions produites. Cette étape consiste à identifier les points non traités durant l'étape 3 et donc non déterminés par le modèle extrait.

Par exemple, la partie du modèle issue du MACS (cf. Figure 119) ne détermine pas de quelle manière les dispositifs d'affichage devront être positionnés dans l'exposition, ni quel technologie sera utilisée pour réaliser la capture des déplacements de la lampe torche. Ce modèle ne détermine pas non plus le détail des manipulations appliquées à la lampe torche pour interagir avec le système. Ces aspects sont des dimensions qui ont été considérées dans les phases d'optimisation suivantes, indépendamment de la méthode MACS.

Sur la base de ce modèle, nous avons procédé au choix d'une technologie de capture nous permettant d'atteindre les objectifs fixés. Notre premier choix s'est porté sur ARToolkit (Woods, Mason, & Billingham, 2003), une technologie utilisant la vision pour reconnaître des formes et déterminer leur position dans l'espace. Cette technologie présente l'avantage d'être peu coûteuse et de permettre la capture d'objet dans l'espace selon six degrés de liberté (i.e. trois translations et trois rotations).

Par la suite, pour des raisons de robustesse à l'environnement (i.e. forte variation de luminosité dans les locaux du musée), nous avons écarté les technologies de capture basées sur la vision et avons retenu une technologie magnétique permettant également la localisation d'un objet sur six degrés de liberté. Le dispositif retenu est le capteur magnétique Patriot™ wireless (Polhemus, 2008). Celui-ci présente l'avantage d'être sans fil et de permettre un périmètre de capture adapté (i.e. environ 2 mètres de diamètre). L'impact du choix de ce dispositif est mis en évidence dans le modèle ASUR présenté sur la Figure 119.

A l'issue de cette implémentation, nous avons procédé à un ensemble d'évaluations du prototype MIME dans divers contextes. C'est l'objet de la partie suivante.

### 3.3.3 Evaluations

L'évaluation de prototypes dans les musées implique de nombreuses questions de recherche relatives aux méthodes, aux outils, aux équipements, aux mesures, à la planification, etc. Tout au long de son développement, le prototype MIME a été soumis à un ensemble d'évaluations basées sur une utilisation progressive d'études en laboratoire et de terrain (Dubois et al., 2011).

Nous rapportons ici un ensemble de résultats d'évaluation conduit sur les deux versions de MIME (i.e. Lampe torche et Cubtile). Pour garantir un aspect écologique de la situation, ces évaluations ont été conduites au sein même des locaux du Musée via la plateforme d'évaluation *Foldi* (Dubois et al., 2011) ou « *Foldable Incubator* » (i.e. incubateur pliable, cf. Figure 120). Cette plateforme est dédiée aux évaluations nomades sur le terrain et est conçue pour être rapidement déployable dans différents contextes pendant de courtes périodes. Cette plateforme permet de réaliser des enregistrements vidéo et audio des séances d'usage.

#### 3.3.3.1 Evaluation de la technique d'interaction écologique : lampe torche

La version de MIME utilisant la lampe torche a été testée par 14 volontaires ayant préalablement visité le Musée de Toulouse. Les visiteurs du musée pouvaient librement observer l'expérience et y participer à leur demande. Techniquement, la représentation 3D et la représentation 2D du cladogramme étaient rétro-projetée côte à côte. Les participants ont utilisé l'application entre 10 et 15 minutes et ont exploré de 80 à 100% du cladogramme.

Au cours de ces évaluations, nous avons identifié, puis corrigé plusieurs, problèmes techniques imprévus. Par exemple, nous n'avons aucun contrôle sur la lumière ambiante de l'espace muséographique, ce facteur a fortement perturbé la capture de la lampe basée sur l'utilisation d'une caméra.

Un autre exemple de problème était lié à la taille des participants : nous avons dû ajuster régulièrement la

position de la camera détectant la position de la lampe torche. En effet, la hauteur du bras d'un adulte de 1m80 est sensiblement différente de celle d'un enfant de 8ans.

Comme mentionné en amont, ces retours nous ont amenés à faire évoluer le dispositif de capture basé sur la vision pour un dispositif de capture magnétique plus permissif quant aux variations physiques de l'environnement et aux variations de taille des utilisateurs.

Du point de vue muséographique, les participants étaient satisfaits du prototype et nous avons observé des comportements intéressants. Par exemple, au cours d'une session, plus de 20 visiteurs du Muséum ont demandé à être impliqué dans les sessions de tests ou ont demandé des précisions sur le processus de conception ou ont encore tout simplement spontanément suggéré des améliorations du prototype.



**Figure 120 : La plateforme Foldi : un laboratoire nomade déployé pour les expérimentations avec MIME au Muséum de Toulouse**

Nous avons également observé après l'utilisation de MIME, ou pendant les entretiens post expérimentaux, des associations spontanées entre le prototype MIME et l'exposition permanente du Muséum sur la cladistique. En effet, une partie de l'architecture du premier étage du Muséum est physiquement organisé comme un cladogramme. Toutefois, en pratique les visiteurs autonomes n'en prennent pratiquement jamais conscience. Après l'utilisation de MIME plusieurs participants nous l'ont fait remarqué avec enthousiasme: *« ce jeu me rappelle le premier étage du musée... c'est une sorte de grand cladogramme, je le comprends mieux maintenant... »*.

Cela signifie que MIME s'insère correctement dans l'exposition physique et permet aux visiteurs d'être plus sensibles au message muséographique, ce qui est un des principaux objectifs du prototype.

Par rapport à l'expérience de visite, nous avons également pu observer des comportements collectifs inattendus. Par exemple, pendant les tests, nous avons observé la formation spontanée de groupes de visiteurs (parfois jusqu'à 40 personnes) intéressés par le système interactif ou par l'observation d'un tiers s'en servant. Il semble donc que l'utilisation du prototype exerce un pouvoir d'attraction non négligeable sur le public.

De la même manière, au cours de ces sessions, les animateurs du Muséum ont pris le temps d'expérimenter concrètement le prototype et ont pu envisager comment ils pourraient s'en servir pour créer de nouvelles animations.

Pour conclure, les retours quant à l'utilisation du prototype MIME avec la lampe torche sont globalement très positifs. En effet, le dispositif interactif attire les participants et celui-ci a été qualifié à plusieurs de reprises de ludique. De plus, comme nous l'avons expliqué ci-dessus, le message muséographique est majoritairement bien compris, ce qui n'était pas le cas avec l'exposition physique du muséum. D'un point de vue pédagogique, le prototype MIME a donc atteint ses objectifs.

D'un point de vue interactif les participants ont su utiliser la technique basée lampe torche sans instruction particulière et dans un temps acceptable pour une exposition muséographique. Toutefois, cette technique

d'interaction a montré certaines faiblesses en termes de matérialisation de l'espace physique. En effet, malgré l'amélioration non négligeable apportée par le changement de technologie de capture (i.e. de webcam à capteur magnétique), une utilisation efficace de la lampe torche nécessite d'effectuer des mouvements dans un périmètre bien défini. Certains visiteurs ont rencontré des difficultés quant à la perception de cet espace de détection. C'est la raison majeure qui nous a guidé au développement de la seconde technique d'interaction basée Cubtile™. L'évaluation de cette dernière est présentée dans la partie suivante.

### 3.3.3.2 Evaluation de la technique d'interaction basée Cubtile

La version MIME Cubtile™ (cf. Figure 118) a été évaluée d'une manière légèrement différente. Premièrement cette version du prototype a été évaluée par des groupes de 3 à 5 visiteurs et deuxièmement ce test a été réalisé dans une pièce isolée des expositions du musée. Nous avons choisi cette configuration d'étude pour observer de près les interactions sociales au sein des groupes utilisant la version de MIME avec le Cubtile™. Techniquement, la vue 3D était rétro-projetée (230 cm de diagonale, cf. Figure 121) et la représentation 2D du cladogramme était disponible sur un écran d'ordinateur à proximité du Cubtile™. Nous n'avons pas rencontré de problèmes techniques inattendus dans cette configuration.



Figure 121 : Situation d'évaluation de l'application MIME avec le Cubtile

Vingt visiteurs ont participé aux tests (répartis sur 7 groupes). Nous avons pu ainsi observer une grande efficacité du Cubtile™ dans la tâche d'exploration du cladogramme

3D. En effet, la matérialisation de l'espace physique d'interaction par le Cubtile™ semble constituer un réel avantage pour pouvoir se servir rapidement de l'exposition interactive sans phase d'apprentissage. Nous avons également observé une exploration importante du cladogramme. Certains visiteurs ont exploré 100% de celui-ci, aucun participant n'en a exploré moins de 50%. Les utilisateurs ont utilisé le prototype de 10 à 20 min.

D'un point de vue de l'interaction sociale, nous avons observé de nouveaux comportements, en particulier avec les adolescents. Par exemple, nous avons remarqué l'apparition de :

- comportements de co-interaction (2 visiteurs utilisent une ou deux faces du Cubtile™ simultanément);
- alternance de rôles (les visiteurs jouent alternativement le rôle du guide en utilisant la carte sur la représentation 2D puis le rôle du pilote en utilisant le Cubtile™);
- distribution des rôles (un participant joue le pilote et le reste du groupe le guide).

Ce prototype a été perçu comme une bonne expérience pour les adolescents et pour les familles (parents avec un ou deux enfants), mais a été perçu comme très monotone et répétitive pour les couples entre 30 et 40 ans. De plus, de ces deux sessions de tests, nous avons pu extraire quelques suggestions intéressantes pour l'amélioration de l'application MIME (indépendamment de la technique d'interaction utilisée). Par exemple, plusieurs visiteurs ont suggéré des ajouts de graphiques, d'animations, de sons et/ou textures plus en adéquation avec les espèces (pour l'instant la texture utilisée est en cohérence avec l'architecture du musée). Les participants ont également suggéré l'utilisation d'un guide virtuel. En termes de mauvaises impressions, deux participants ont signalé des symptômes liés au mal des environnements virtuels dus aux mouvements et à la taille de l'écran 3D.

Pour finir, à l'issue de ces évaluations qualitatives, nous pouvons conclure que le développement de l'application MIME est un succès sur plusieurs points : les objectifs muséographiques ont été atteints, les techniques d'interactions sont utilisables sans apprentissage préalable, et l'expérience utilisateur apparaît être satisfaisante. Toutefois avant de conclure sur l'impact qu'a pu avoir l'utilisation du processus que nous avons mis en œuvre et sur l'utilisation de la méthode MACS pour développer la première technique d'interaction, nous présentons dans la partie suivante, CladiBulle un second cas d'étude, dont la technique d'interaction est également issue de la méthode MACS.

### 3.4 Cas d'étude 2 : CladiBulle – « manipuler la classification du vivant »

#### 3.4.1 Prototype en action

CladiBulle est la contraction de cladogramme et bulle. Au même titre que MIME, cette application vise à enseigner quelques notions de base de la cladistique. Globalement ce second cas d'étude partage un grand nombre de similarités avec le cas d'étude précédent. Le processus de conception adopté est le même, la méthode MACS a également été mise en œuvre pour identifier les fondements de la technique d'interaction en entrée (cf. MACS 3 dans le Chapitre 6 partie 1.3.2), le contexte d'usage et les profils des utilisateurs sont identiques, et la thématique muséographique traitée est toujours la cladistique. Toutefois ici nous nous sommes attaché à une problématique cladistique différente. En effet, CladiBulle vise à faire comprendre deux notions capitales : 1) l'ancienne classification n'est pas toujours valable et 2) la structure du cladogramme est équivalente quel que soit sa représentation.

Pour y parvenir, nous avons identifié durant les phases d'analyse préliminaire et d'analyse des principes interactifs que l'application devait permettre à l'utilisateur *de comparer la cladistique à des anciennes classifications* et qu'il était nécessaire de *conduire l'utilisateur à manipuler un cladogramme pour qu'il se rende compte que ce dernier est un système articulé*. L'application doit conduire l'utilisateur à travailler sur la structure du cladogramme. Ces deux principes de fonctionnement sont capitaux pour CladiBulle car ils structurent toute l'application.

Du point de vue de l'utilisateur l'objectif est de réaliser un groupe cladistiquement valable. Pour y parvenir, au démarrage de l'application le système propose un ensemble de groupe à réaliser. Pour constituer un groupe correctement l'utilisateur est amené à manipuler l'arbre et à déplacer spatialement les espèces pour les grouper. L'utilisateur est ensuite amené à comprendre qu'un groupe valable contient toutes les espèces d'un sous ensemble de l'arbre à partir d'un nœud commun.

Deux représentations du cladogramme ont été développées pour cette application :

1. Une représentation 3D dite « du dessus » d'un cladogramme
2. Une représentation 3D dite « de face » d'un cladogramme

La « vue du dessus » (Figure 122 n°1, 2 et 5) est à proprement parler la partie interactive de l'application. En effet, grâce à celle-ci les utilisateurs peuvent tout d'abord sélectionner un groupe qu'il aimerait reconstituer parmi une liste proposée (Figure 122 n°1). Puis, les utilisateurs sont amenés à reconstituer ce groupe en manipulant le cladogramme. Pour cela, ils doivent sélectionner les espèces avec un curseur et les déplacer pour déformer la structure de l'arbre (Figure 122 n°5). Lorsqu'une espèce est sélectionnée la partie de l'arbre descendant jusqu'au père de l'espèce en question (i.e. premier nœud en dessous de la feuille sélectionnée) est positionnée en vert, le reste du cladogramme est affiché en rouge. L'application indique donc le taxon actuellement sélectionné et indique à partir de quel nœud la rotation va s'effectuer. Lorsqu'une espèce est sélectionnée, l'utilisateur a également la possibilité de changer le point de rotation jusqu'à la racine pour procéder à la déformation du taxon.

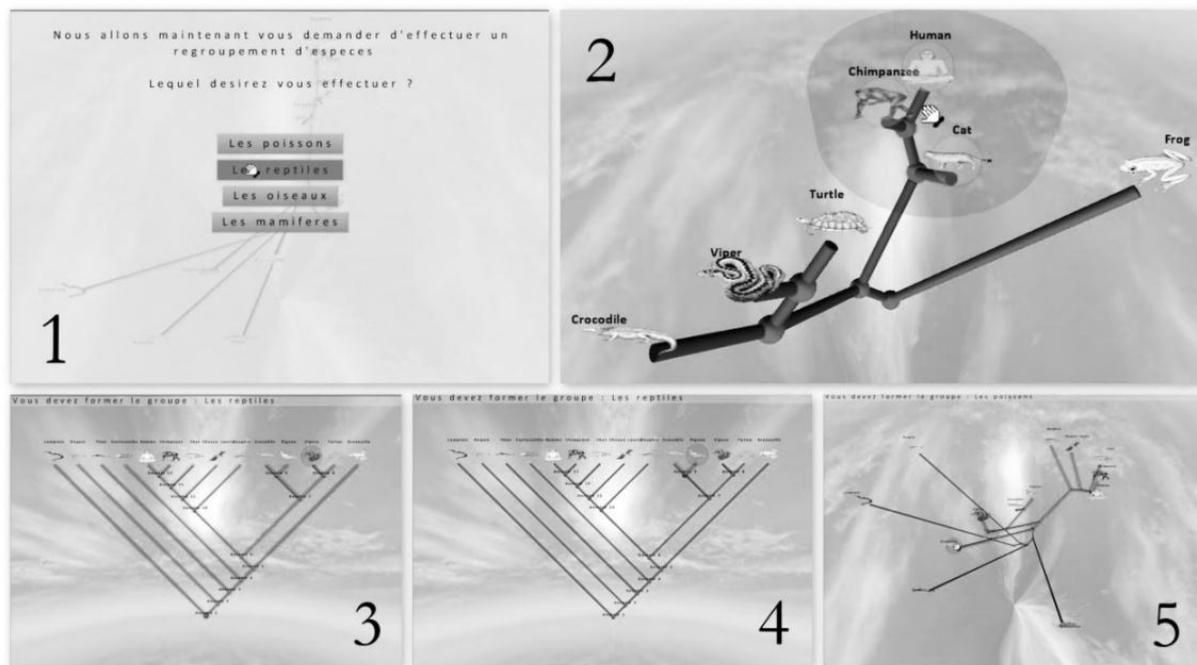


Figure 122 : Diverses impressions d'écrans illustrant le fonctionnement de l'application CladiBulle

Une fois les espèces spatialement rapprochées, l'utilisateur peut définir un groupe à l'aide d'une bulle (Figure 122 n°2). La bulle est gonflable et déplaçable. Lors de la manipulation de la bulle, le cladogramme met en évidence l'ancêtre commun des espèces se trouvant actuellement dans la bulle. Le second point de vue appelé « vue de face » a été conçue pour fournir une représentation lisible du cladogramme. Cette vue de face est une vision aplaniée de la vue de dessus; les rotations de situées entre  $\pi/2$  et  $3\pi/4$  étant dirigés vers la droite du cladogramme et les rotations de situées entre  $\pi/2$  et  $3\pi/4$  étant redirigées vers la gauche du cladogramme (Figure 122 n°3). De cette manière, l'utilisateur peut percevoir la structure du cladogramme en permanence.

Comme pour MIME, les principes interactifs présentés ci-dessus ainsi que les tâches à réaliser sur cet arbre 3D ont été identifiées en collaboration avec les experts du domaine à l'issue des phases d'analyse préliminaire et d'analyse des principes interactifs. Suite à ces deux phases un ensemble de cycles d'optimisation ont été conduits pour concevoir des aspects divers de la mise en scène à la technique d'interaction avec cet arbre 3D. Au même titre que pour MIME, nous avons cherché à intégrer la manipulation d'objets physiques pour soutenir l'exploration des concepts cladistiques. Nous avons donc développé une technique d'interaction spécifique basée sur la manipulation d'un dispositif dédié que nous présentons ci-après.

### 3.4.1.1 Technique d'interaction écologique : la Cladipump

Cette technique d'interaction a été en partie élaborée durant un MACS (cf. Chapitre 6 Partie 1.3.2 MACS 3). Elle s'appuie sur la manipulation d'un dispositif prototypé spécialement pour l'application CladiBulle. La Figure 123 illustre ce dispositif baptisé CladiPump.

Ce dispositif est une pompe instrumentée par un ensemble de capteurs. L'utilisation de ce dispositif est bi-manuelle. Avec une main, l'utilisateur manipule la valve de la pompe. L'extrémité de la valve joue le rôle de pointeur à distance et les déplacements effectués sont répercutés, sur un pointeur présent sur la « vue de dessus ». Pour sélectionner une espèce, l'utilisateur peut appuyer sur un bouton situé à l'extrémité de la valve. Une fois l'espèce sélectionnée, tant que le bouton est pressé les déplacements permettent de

déformer l'arbre.

Lors de la sélection d'une espèce, s'il désire changer de point de rotation, il peut également utiliser la pompe. Dans ce cas, l'action de pompage modifie le choix du nœud à partir duquel la rotation s'effectue.

Puis lorsque l'utilisateur désire regrouper les espèces, il saisit la pompe. La saisie de la pompe est détectée via une photorésistance, située à l'intérieur de la poignée de la pompe et la variation de lumière déclenche l'apparition de la bulle permettant de grouper les espèces. Dans ce cas, le pointeur situé au bout de la valve se transforme en bulle.

La pression à l'intérieur de la pompe est détectée par capteur de pression et permet de gonfler la bulle et donc d'agrandir la taille de la zone de sélection. Lorsqu'il relâche la poignée de la pompe, le groupement est validé, le groupe est évalué et un message concernant la validité cladistique du groupe réalisé est renvoyé à l'utilisateur. Pour une illustration concrète de l'utilisation de cette technique d'interaction et du prototype CladiBulle, nous recommandons la visualisation de la vidéo démonstration (Bortolaso, 2011c).

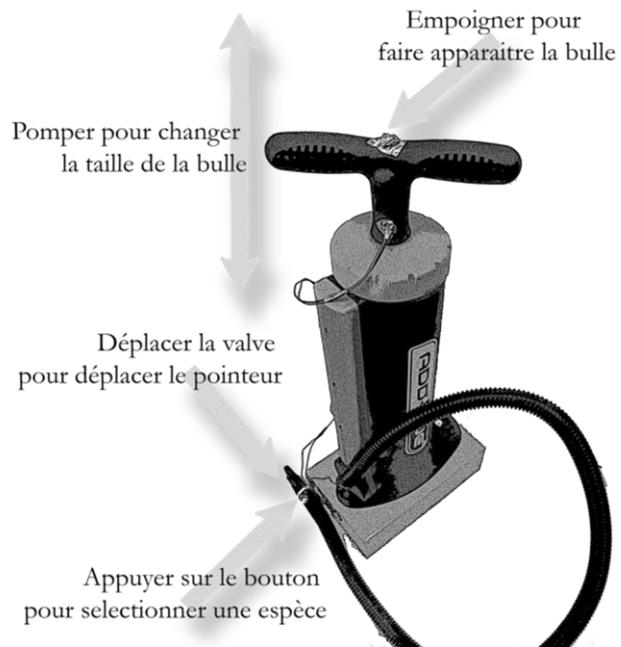


Figure 123 : Description de la technique d'interaction via la CladiPump

### 3.4.2 Conception du prototype CladiBulle : focus sur la mise en œuvre de la méthode MACS

Cette technique d'interaction est issue d'une mise en œuvre de la méthode MACS. Cette mise en œuvre et les solutions produites ont fait l'objet d'une analyse détaillée dans le Chapitre 6 (Partie 1.3.2 MACS 3). Comme pour le prototype MIME, nous illustrons dans cette partie la mise en œuvre de l'étape 4 et de l'étape 5 de la méthode MACS dans le contexte du développement de CladiBulle.

Durant les phases d'analyse préliminaire et d'analyse des principes interactifs, nous avons identifié les exigences du système CladiBulle en collaboration avec les muséographes. Au même titre que pour le cas d'étude précédent, ces exigences sont composées de fonctionnalités élémentaires et de contraintes. Huit fonctionnalités élémentaires ont été extraites de l'étape d'analyse : choisir le groupe que l'on veut effectuer, sélectionner un élément de l'arbre, effectuer une rotation autour de celui-ci, changer le point de rotation faire apparaître la bulle, déplacer la bulle, agrandir/rétrécir la bulle et valider la fin du groupement. La thématique et le contexte d'usage final étant similaire entre les deux cas d'étude, les contraintes posées sont les mêmes que pour le prototype MIME : robustesse au changement de collection et non équipement de l'utilisateur. Ces exigences ont servi à caractériser les 16 solutions extraites de la mise en œuvre de la méthode MACS avec le modèle ASUR. Le Tableau 27 illustre cette caractérisation.

	Fonctionnalité élémentaires/tâches								Contraintes du domaine		% d'efficacité
	Choisir le groupe que l'on veut effectuer	Sélectionner un élément de l'arbre	Effectuer une rotation autour de celui-ci	Changer le point de rotation	Faire apparaître la bulle	Déplacer la bulle	Agrandir/Rétrécir la bulle	Valider la fin du groupement	Robustesse au changement de collection	Non Equipement de l'utilisateur	
1: Pointeur Canne à pêche	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	30,0%
2: Surface tactile retournable	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	40,0%
3: Ombre pour sélectionner	-	x	-	-	x	-	x	-	x	x	50,0%
4: Wüimote	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	40,0%
5: Canard pointeur	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	50,0%
6: Canard déformable	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	50,0%
7: Actionneur + Espèces	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	80,0%
8: Ombre augmentée	-	x	-	-	-	-	x	-	x	x	40,0%
9: Pastilles sur les doigts	-	x	x	x	-	x	x	-	x	-	60,0%
10: Rendu stéréoscopique	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	20,0%
11: Double Rendu stéréoscopique	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	20,0%
12: Main Visqueuse	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	40,0%
13: Anoto	-	x	x	-	x	x	-	-	x	-	50,0%
14: Mise en scène de 2 écrans	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	20,0%
15: Pompe pour la bulle	-	x	x	-	-	x	x	-	x	x	60,0%
16: Ombre augmenté 2	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	50,0%
6+15: Combinaison	-	x	x	x	-	x	x	-	x	x	80,0%

**Tableau 27 : Caractérisation des modèles produits durant la séance de MACS pour la conception de CladiBulle**

Cette caractérisation nous apprend que les modèles 7, 9 et 15 se démarquent des autres solutions car ils satisfont respectivement 80%, 60% et 60% des exigences posées. Pour sélectionner, la solution qui constituera la base de la technique d'interaction à prototyper nous sommes entrés dans le détail de cette caractérisation.

Comme pour le cas d'étude précédent, le respect des contraintes du domaine a tout d'abord constitué un critère déterminant. Les modèles 7 et 9 ont donc été écartés. En effet, la solution 7 requiert l'utilisation d'un objet physique par espèce présente sur le cladogramme. Les objets physiques manipulés doivent donc évoluer en fonction de la collection utilisée. La solution 9 requiert l'équipement des utilisateurs avec des pastilles de couleur à l'extrémité des doigts. La seconde contrainte n'est donc pas respectée. Nous avons retenu le modèle 15 comme solution de base. Cette solution constitue les fondements de la technique d'interaction que nous avons développée. En effet, ce modèle 15 décrit une technique d'interaction qui s'appuie sur la manipulation d'une pompe visant à gonfler la bulle de l'application et la manipulation de la valve de la pompe pour déplacer un pointeur.

Toutefois ce modèle 15 ne couvre pas toutes les fonctionnalités. Pour assurer la complétude de cette solution nous nous sommes inspirés de deux autres solutions générées durant la séance de MACS (cf. case grises dans le Tableau 27). Ainsi pour changer le point de rotation, le modèle 6 proposait de presser un canard en plastique pour modifier le point de rotation dans le cladogramme.

Nous avons dérivé cette solution en suggérant que les pressions sur la pompe du modèle 15 pouvaient similairement être utilisées pour changer le point de rotation. La combinaison des modèles 6 et 15 nous a permis de construire une partie du modèle ASUR final. La Figure 124 présente ce modèle, et met en évidence en pointillé les éléments de solution issus du MACS et les choix réalisés à postériori. Les autres éléments non entourés sont issus des phases d'analyse.

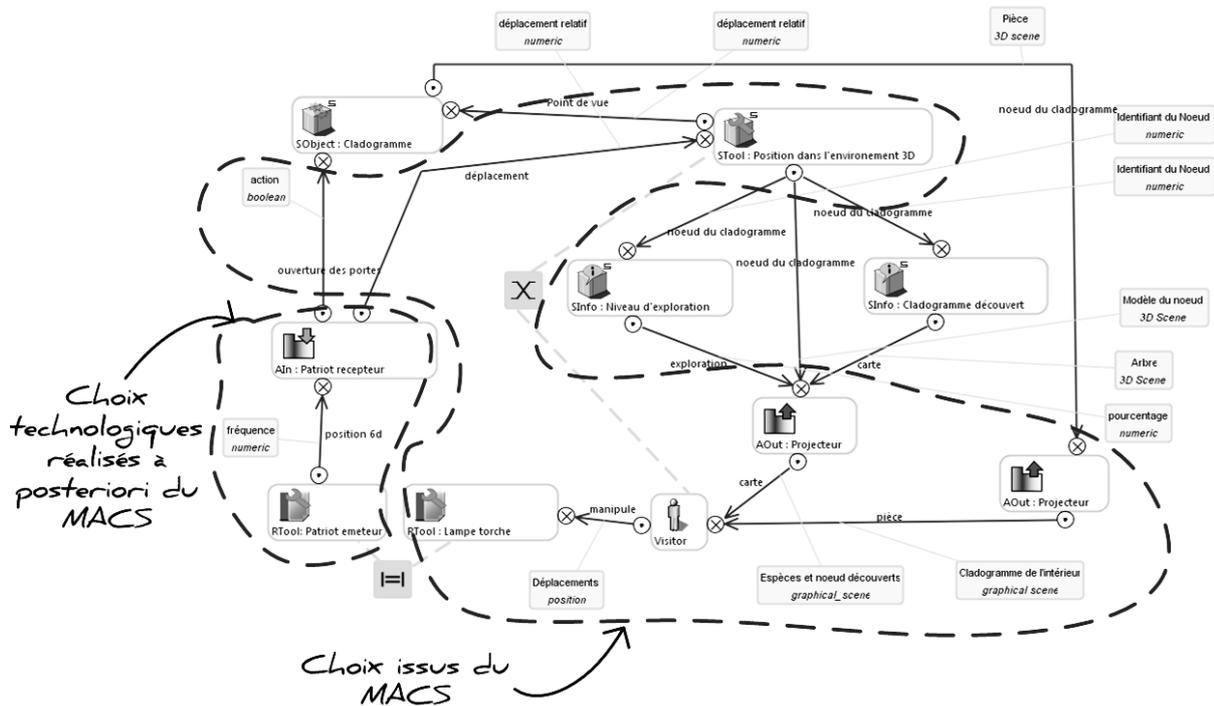


Figure 124 : Modèle ASUR final du prototype CladiBulle. Les tracés en pointillés mettent en évidence les éléments issus de la méthode MACS et les choix technologiques réalisés à postériori. Les éléments non inclus par les tracés en pointillés sont issus des étapes d'analyse.

Puis sur la base de ce modèle nous avons appliqué l'étape 5 de la méthode MACS : l'évaluation des limites des solutions produites. Cette étape consiste à identifier les aspects du système non déterminés. Sur la base de ce modèle nous avons appliqué la cinquième et dernière étape de la méthode MACS qui vise à évaluer les limites de cette solution. Tout d'abord, pour ce cas d'étude nous observons que la solution issue de la méthode MACS ne satisfait pas toutes les exigences. En effet, comme cela est illustré sur le Tableau 27, sur la base de la combinaison entre modèle 15 et modèle 6, trois fonctionnalités restent à être satisfaites : choisir le groupe que l'on veut effectuer, faire apparaître la bulle et valider la fin du groupement. Ces manques en termes de fonctionnalités ont guidé le travail de conception que nous avons conduit par la suite et indépendamment du MACS.

De plus, au même titre que pour MIME, à ce stade de la conception, le modèle extrait de la séance MACS ne détermine ni la technologie de capture de la position de la valve, ni quelle fonction de transfert relie la manipulation de la valve et le déplacement du pointeur. Ces aspects du système ont également été affinés dans des cycles d'optimisation ultérieurs.

Pour les mêmes raisons que MIME notre choix quant à la technologie de capture de la position de la valve s'est finalement porté sur le capteur magnétique Patriot™ wireless permettant la détection sans fil d'un objet dans l'espace selon six degrés de liberté.

De plus, la sélection d'une espèce a été repensée. En effet, la sélection était initialement conçue pour être réalisée en effectuant un geste rotatif avec la valve de la pompe lors du survol d'un élément de l'arbre cladistique. Toutefois, à l'issue de la première étape de prototypage, nous avons réalisé que cette technique d'interaction était particulièrement difficile à utiliser. Nous avons donc intégré un bouton sur l'extrémité de la valve permettant de réaliser la sélection. Ce bouton ainsi que les capteurs de pression et de lumière sont connectés à un microcontrôleur Phidgets (Greenberg & Fitchett, 2001). Les Phidgets (ou physical widgets) sont un ensemble de capteurs plug-&-play communiquant avec un ordinateur au travers d'un API robuste et événementielle.

Contrairement à MIME, le prototype CladiBulle n'a toutefois pas été encore évalué à ce jour. Nous ne

pouvons donc pas fournir de résultats particulier quand à son utilisabilité, ni à son intégration dans les expositions du Muséum. D'un point de vue logiciel, la particularité de ces deux prototypes est qu'ils sont construits sur la même architecture. Nous présentons cette architecture dans la partie suivante.

### 3.5 MIME et CladiBulle : une architecture logicielle commune

D'un point de vue logiciel, l'application MIME et CladiBulle sont les mêmes applications. Ces deux applications ont entièrement été développées en C++. Les représentations 2D et 3D ont été développées via le moteur 3D Irrlicht. Lors du lancement de l'application, une interface apparait et offre le choix entre MIME et CladiBulle. Des options additionnelles telles que la résolution d'affichage ou plus spécifiquement la technique d'interaction à utiliser en entrée sont également proposées.

Que ce soit pour MIME ou pour CladiBulle, les représentations 2D et 3D sont totalement générées à partir d'une description XML du cladogramme à représenter. De cette manière, la collection d'espèces représentées et leurs liens phylogénétiques peuvent être modifiés.

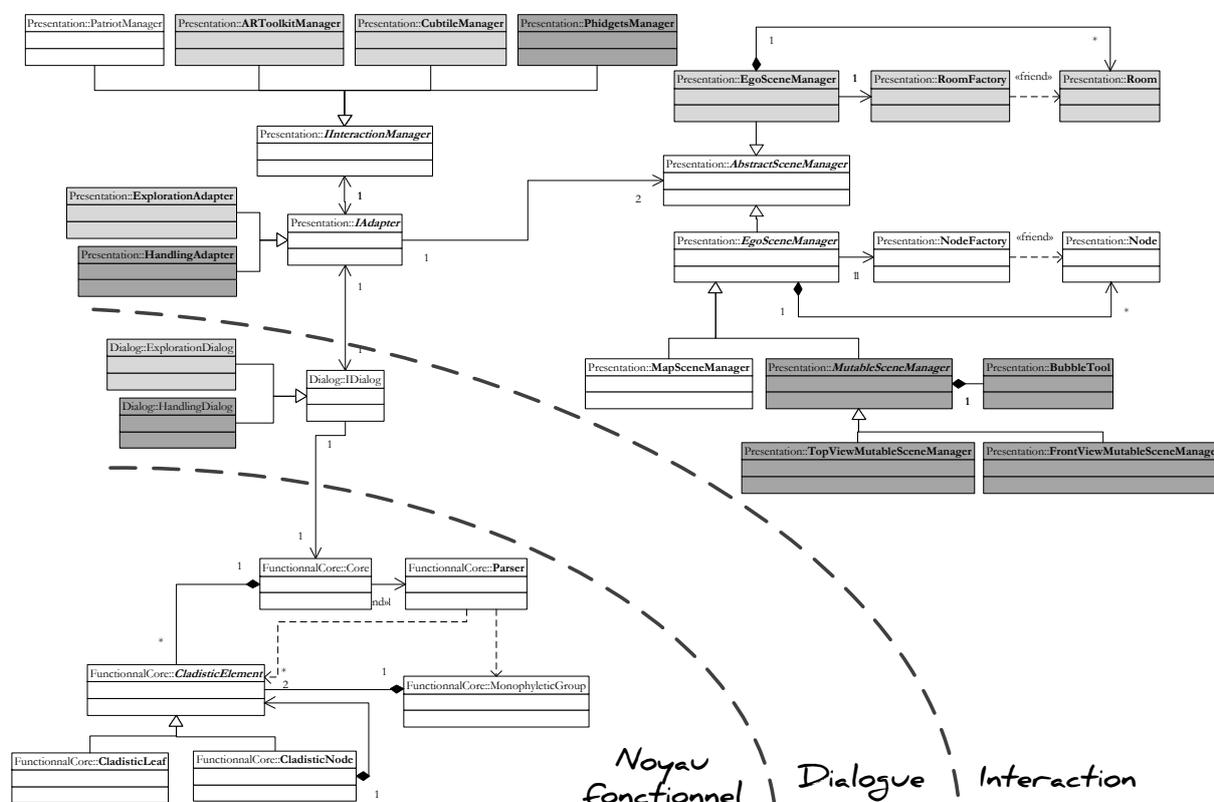


Figure 125 : Diagramme de classe UML commun à MIME et CladiBulle

En termes d'architecture logicielle, l'implémentation respecte le découpage fonctionnel décrit dans le modèle ARCH (Bass et al., 1991). L'objectif premier était double : 1) assurer une interchangeabilité de la technique d'interaction implémentée et 2) mettre en commun le noyau fonctionnel pour les deux applications. La Figure 125 représente le diagramme de classe UML de notre implémentation.

Dans ce diagramme, les classes blanches sont communes aux deux prototypes, les classes colorées en gris clair sont spécifiques à MIME et les classes colorées en gris foncé sont spécifiques à CladiBulle.

Les classes nommées *CladisticElement/Leaf/Node* et *MonophyleticGroup* représentent le noyau fonctionnel de l'application (i.e. la description en mémoire du cladogramme). Un cladogramme étant un arbre binaire, cette partie du noyau fonctionnel implémente le design pattern *Composite*. La classe *Parser* se charge d'instancier ces classes à partir d'une description XML du cladogramme à afficher. Ce noyau fonctionnel

est interfacé par la classe *Core* qui fournit tous les services applicables sur les données. Les deux applications permettant d'interagir avec un cladogramme, cette partie de l'architecture est totalement commune aux deux applications.

La classe *Dialog* est une interface qui représente le contrôleur de dialogue de l'application. Cette interface est implémentée par deux classes nommées *ExplorationDialog* et *HandlingDialog* décrivent respectivement le comportement de l'application MIME et CladiBulle. Le comportement général de chacune des deux applications est décrit au travers d'une machine à état, implémentée par ces deux classes. Ces deux classes sont également en charge de l'exécution de la boucle de polling gérant le rafraichissement de l'application. Ces contrôleurs de dialogue communiquent avec les classes implémentant l'interface *Adapter*. En effet, les classes *ExplorationDialog* et *HandlingDialog* sont respectivement des classes d'interfaçage de la partie interactive de MIME et CladiBulle. Elles permettent de gérer l'interaction en entrée et en sortie quel que soit la technique d'interaction utilisée en entrée et le rendu du cladogramme en sortie.

Les classes *PatriotManager*, *CubtileManager*, *ARToolkitManager* et *PhidgetsManager* implémentent le comportement des techniques d'interaction associées aux divers dispositifs de captures utilisés dans les deux applications (i.e. capteur magnétique Patriot, Cubtile, webcam, Phidgets). Cette décomposition permet de changer facilement de dispositif d'interaction en entrée du système. Ces classes implémentant le comportement de la technique d'interaction en entrée, c'est typiquement à ce niveau de l'architecture logicielle que les deux séances de MACS ont eu un impact.

Enfin les autres classes implémentent l'affichage des différents environnements 2D et 3D pour les deux applications. Ainsi la classe *EgoSceneManager* représente l'environnement 3D de MIME, la classe *MapSceneManager* représente l'environnement 2D de MIME, la classe *TopViewMutableSceneManager* représente la vue du dessus de CladiBulle et enfin la classe *FrontViewMutableSceneManager* représente la vue de face de CladiBulle.

L'implémentation de MIME et CladiBulle est un remarquable exemple de la modularité qu'offre l'architecture ARCH. En effet, les classes *Core* et *Adapter* jouent respectivement les rôles d'interface avec les données du noyau fonctionnel et d'interface avec la partie interactive en entrée et en sortie. De cette manière remplacer le moteur 3D Irrlicht par un autre serait relativement simple et les classes responsables des données et du comportement de l'application ne s'en verraient pas impactées. De la même manière au travers des différentes techniques d'interaction implémentées et des diverses technologies de capture utilisées, nous avons montré empiriquement que le remplacement d'une technique d'interaction par une autre ne nécessite que le développement d'une classe communiquant avec la classe *Adapter*. Cette généralité nous offre la possibilité d'envisager le développement d'autres applications interactives sur le thème de la cladistique, et impliquant de nouvelles représentations de cladogramme et de nouvelles techniques d'interaction.

### 3.6 Conclusions & perspectives

Dans la deuxième partie de ce Chapitre, nous avons mis en évidence l'implication de la méthode MACS dans le processus de développement sur deux cas d'étude. L'objectif était d'illustrer comment les modèles extraits de la méthode MACS peuvent être intégrés dans le processus de développement, notamment pour alimenter l'étape de prototypage. Pour y parvenir, nous avons illustré l'application des étapes 4 et 5 de la méthode MACS visant à post-traiter les modèles générés.

Tout d'abord, nous retenons que cette double application a illustré l'aspect répliquable de notre approche. L'étape 4 et 5 de la méthode MACS ont été similairement appliquées sur deux cas d'étude et ont permis d'extraire des solutions satisfaisantes et originales. Ces deux cas d'étude étaient toutefois relativement similaires et relatifs au même domaine d'application. D'autres utilisations de la méthode MACS dans des situations plus hétérogènes nous permettrons d'éprouver plus fortement la répliquabilité de

ces techniques de post-traitement des modèles.

De plus, au travers de ces cas d'étude nous avons montré que les solutions générées et encodées durant la partie créative de la méthode peuvent être réintégrées méthodiquement dans le processus de conception. En effet, les idées produites durant une séance de MACS étant directement encodées, elles peuvent être couplées à l'existant au travers de la modélisation. Ces étapes de post-traitement sont donc primordiales dans le processus car elles permettent de garantir l'exploitation des idées issues de l'étape d'exploration des possibles. Ces étapes de post-traitement constituent donc la transition nécessaire à l'intégration de la méthode MACS dans le processus de conception et à la satisfaction des exigences du système à concevoir.

Plus spécifiquement, la double application de l'étape 4, nous a appris qu'il est nécessaire de sélectionner en premier la solution respectant le plus grand nombre de contraintes (et non de fonctionnalité) parmi les solutions produites. En effet, s'il est possible de compléter une solution pour qu'elle permette d'accomplir toutes les tâches, il est parfois impossible de faire en sorte qu'elle satisfasse certaines contraintes sans la dénaturer.

Puis au travers de l'application de l'étape 5, nous avons illustré que le niveau de complétude du modèle permet d'identifier rapidement les aspects du système qu'il est nécessaire de considérer ultérieurement. En effet, l'effort de formalisation requiert le passage en revue de tous les aspects du système décrit par la notation utilisée. Ainsi, la modélisation d'une situation interactive, joue le rôle de checklist et met en évidence les manques dans la solution en cours d'élaboration. La modélisation des idées produites met donc en exergue les limites des idées produites et les aspects du système restant à concevoir.

Toutefois, à ce jour ce traitement des résultats est réalisé manuellement par le concepteur. Par conséquent, des erreurs ou des oublis peut être effectués. De plus, le choix d'une solution parmi d'autres peut être fortement guidé par l'adéquation d'une métaphore avec le domaine d'application. Une telle adéquation ne peut être réalisée à ce jour que de manière très subjective. Cette partie du rationnel guidant le choix de la ou les solutions à retenir n'est pas capturé par nos techniques de post-traitement des résultats. La méthode pourrait donc être complétée par d'autres outils plus traditionnellement utilisés dans les démarches d'ingénierie et de conception rationnelle.

A cela s'ajoute l'effort nécessaire pour réaliser le pont entre modèles réalisés sur papier et modèles réalisés sur l'outil de modélisation Guide-Me durant l'étape 4 de la méthode. Notre mise en pratique de la méthode nous a appris que le déroulement de cette étape n'est pas toujours trivial, particulièrement dans le traitement des idées qui sont hors du champ conceptuel du modèle. Les écarts syntaxiques pouvant être réalisés aussi durant la séance ne facilitent pas le pont du papier à la formalisation logicielle.

Pour résoudre ce problème, deux approches sont envisageables. Une première visant à limiter les écarts syntaxiques durant la séance via un outillage logiciel tel que l'outil OnTop présenté en amont de ce Chapitre. Toutefois travailler à cette limitation présenterait des risques de frustration de la dynamique de groupe et du flux créatif durant la séance.

Une deuxième approche pourrait viser à caractériser les écarts syntaxiques pouvant exister entre un modèle papier syntaxiquement inexact et à définir un processus et un ensemble de règles de traitement de ces écarts. Ce travail constitue une perspective de recherche à court termes pour améliorer dans l'efficacité des post-traitements de la méthode MACS. Les travaux comparatifs entre représentations papier et logicielle conduit par (Walker, Takayama, & Landay, 2002) constitue le point d'entrée de base à la conduction d'une telle recherche.

En conséquence, ce constat nous conduit à penser qu'un effort supplémentaire doit être conduit pour aboutir à une intégration systématique de la méthode dans le processus de développement.

Par exemple, la liste des exigences présentée en amont de la méthode et utilisée pour caractériser les modèles durant l'étape 4 pourrait être couplée à des outils de gestion des exigences tels que DOORS ("Rational DOORS," 2012). De cette manière une traçabilité efficace des choix de conception pourrait

être garantie.

De la même manière, des diagrammes Question Options Critères (Lacaze & Palanque, 2007) pourraient compléter le post-traitement des modèles durant l'étape 4 et 5. De ce fait, les diagrammes QOC pourraient fournir une documentation complémentaire aux tableaux définissant l'adéquation modèles/exigences.

De plus, il serait pertinent d'évaluer dans quelle limites les modèles extraits de la méthode MACS pourraient être intégrés automatiquement dans une approche IDM (i.e. Ingénierie Dirigée par les Modèles) telle que celle proposée par (Gauffre & Dubois, 2011). En effet comme nous l'avons illustré les modèles issus de la méthode MACS sont souvent partiels. Leur intégration dans une approche dirigée par les modèles pour tendre vers une solution logicielle dépendra donc fortement du niveau de description et de détails requis par les transformations de modèles en modèle. La définition de ces niveaux de détails en termes de description des modèles constituent des perspectives de recherches pertinentes et complémentaires.

Globalement la perspective d'un outillage complet constitue des travaux futurs qui tendent vers une intégration plus systématique des techniques de créativité au sein du processus de conception.

## 4 BIBLIOGRAPHIE

- Bass, L., Little, R., Pellegrino, R., Reed, S., Seacord, R., Sheppard, S., & R, S. M. (1991). The Arch Model: Seeheim revisited. *User Interface Developers Workshop*.
- Beaudouin-Lafon, M. (2000). Instrumental interaction: an interaction model for designing post-WIMP user interfaces. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (Vol. 2, pp. 446-453). The Hague, The Netherlands: ACM. doi:10.1145/332040.332473
- Bortolaso, C. (2011a). *MACS OnTop (prototype preview)*. Retrieved from [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=tzVGP5nxJiM](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=tzVGP5nxJiM)
- Bortolaso, C. (2011b). *MIME - Exploring a tree of life from its inside (Flashlight version)*. Retrieved from [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=\\_0bBe4f15w0](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=_0bBe4f15w0)
- Bortolaso, C. (2011c). *CladiBubble - Manipulation of 3D tree of life*. Retrieved from [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=kfpJuiVs9Ps](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=kfpJuiVs9Ps)
- Bortolaso, C., Bach, C., & Dubois, E. (2011). Co-Design of Interactive Museographic Exhibits: the MIME case study. In L. Ciolfi, K. Scott, & S. Barbieri (Eds.), *International conference on ReThinking Technology in Museums: Emerging Experiences* (pp. 37-48). Limerick, Ireland: University of Limerick. Retrieved from <http://www.idc.ul.ie/techmuseums11/paper/paper4.pdf>
- Bortolaso, C., Dubois, E., Dittlo, N., & de La Rivière, J.-B. (2009). 3D multitouch advanced interaction techniques and applications. *Proceedings of the International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (p. 1). Banff, Alberta, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1731951>
- Buisine, S., Besacier, G., Najm, M., Aoussat, A., & Vernier, F. (2007). Computer-Supported Creativity: Evaluation of a Tabletop Mind-Map Application. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 22-31). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7_3)
- Celentano, A., & Dubois, E. (2012). Metaphor modelling for tangible interfaces evaluation. *International Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI'12)* (p. in press). Capri Palace Hotel, Capri Island (Naples), Italy: ACM Press.
- Chevalier, A., Fouquereau, N., & Vanderdonck, J. (2009). The influence of a knowledge-based system on designers' cognitive activities: a study involving professional web designers. *Behaviour & Information Technology*, 28(1), 45-62. doi:10.1080/01449290701288833
- Clifton, P., Mazalek, A., Sanford, J., Rébola, C., Lee, S., & Powell, N. (2011). SketchTop : Design Collaboration on a Multi-touch Tabletop. *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '11* (p. 333). New York, New York, USA: ACM Press.

doi:10.1145/1935701.1935778

- Dourish, P., & Bellotti, V. (1992). Awareness and coordination in shared workspaces. (J. Turner & R. Kraut, Eds.) *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computersupported cooperative work CSCW 92*, 3(November), 107-114. ACM Press. doi:10.1145/143457.143468
- Dubois, E., Bortolaso, C., Bach, C., Duranthon, F., & Blanquer-Maumont, A. (2011). Design and Evaluation of Mixed Interactive Museographic Exhibits. *International Journal of Arts and Technology, Interactive Experiences in Multimedia and Augmented Environments*, 4(4), 408-441. doi:10.1504/IJART.2011.043441
- Gauffre, G., & Dubois, E. (2011). Taking Advantage of Model-Driven Engineering Foundations for Mixed Interaction Design. (H. Hussmann, G. Meixner, & D. Zuehlke, Eds.) *Model-Driven Development of Advanced User Interfaces*, 340, 219-240. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-14562-9
- Gauffre, G., Charfi, S., Bortolaso, C., Bach, C., & Dubois, E. (2010). Developing Mixed Interactive Systems: A Model-Based Process for Generating and Managing Design Solutions. In E. Dubois, P. Gray, & L. Nigay (Eds.), *The Engineering of Mixed Reality Systems* (pp. 183-208). Springer-Verlag London. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/t449714723820061/>
- Geyer, F., Klinkhammer, D., & Reiterer, H. (2010). Supporting Creativity Workshops with Interactive Tabletops and Digital Pen and Paper. (A. Krüger, J. Schöning, D. Wigdor, & M. Haller, Eds.) *Human Factors*, 7(c), 261-262. FAW-Verlag, Bamberg. Retrieved from [http://hci.uni-konstanz.de/downloads/ITS\\_Poster\\_Create\\_Workshop.pdf](http://hci.uni-konstanz.de/downloads/ITS_Poster_Create_Workshop.pdf)
- Geyer, F., Pfeil, U., Budzinski, J., Höchtl, A., & Reiterer, H. (2011). AffinityTable - A Hybrid Surface for Supporting Affinity Diagramming. In P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque, & M. Winckler (Eds.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011* (Vol. 6948, pp. 477-484). Lisbonne, Portugal: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-23765-2
- Greenberg, S., & Fitchett, C. (2001). Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets. In J. Marks & E. Mynatt (Eds.), *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology* (Vol. 3, pp. 209-218). ACM. doi:10.1145/502348.502388
- Haller, M., Brandl, P., Leithinger, D., Leitner, J., Seifried, T., & Billinghamurst, M. (2006). Shared Design Space: Sketching ideas using digital pens and a large augmented tabletop setup. *Lecture Notes In Computer Science*, 4282, 1-12. Springer. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/2W34W2TR74218V39.pdf>
- Hartmann, B., Morris, M. R., Benko, H., & Wilson, A. D. (2010). Pictionary: supporting collaborative design work by integrating physical and digital artifacts. *Proceedings of the 2010 ACM conference on Computer supported cooperative work* (pp. 421-424). Savannah, Georgia, {USA}: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1718918.1718989&coll=ACM&dl=ACM&CFID=86121424&CFTOKEN=83024968>
- Hennig, W. (1950). *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*. Berlin : Deutscher Zentralverlag. Retrieved from <http://www.assomat.info/Grundzuge-einer-Theorie-der>
- Hinrichs, U., Carpendale, S., Scott, S. D., & Pattison, E. (2005). Interface Currents : Supporting Fluent Collaboration on Tabletop Displays. *Star*, 185-197. Springer Verlag. doi:10.1007/11536482\_16
- Kaltenbrunner, M., Bovermann, T., Bencina, R., & Costanza, E. (2005). TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces. *Neuroinformatics*. Citeseer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.3890&rep=rep1&type=pdf>
- Lacaze, X., & Palanque, P. (2007). DREAM & TEAM: A Tool and a Notation Supporting Exploration of Options and Traceability of Choices for Safety Critical Interactive Systems. *Ifip International Federation For Information Processing*, 525 - 540. doi:10.1007/978-3-540-74800-7\_48
- Lecointre, G., Bonnet, M.-L., Cariou, F., Duco, A., & Collectif. (2008). *Comprendre et enseigner la classification du vivant* (2nd ed., p. 351). Belin. Retrieved from <http://www.amazon.fr/Comprendre-enseigner->

classification-du-vivant/dp/2701147980

- Mehta, N. (1982). *A Flexible Machine Interface*. University of Toronto. Retrieved from [http://www.citeulike.org/user/dominik\\_schmidt/article/5307730](http://www.citeulike.org/user/dominik_schmidt/article/5307730)
- Microsoft. (2011). Surface 2. Retrieved March 8, 2012, from <http://www.microsoft.com/surface/en/us/default.aspx>
- Oppl, S., & Stary, C. (2011). Towards informed metaphor selection for TUIs. *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems - EICS '11* (p. 247). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1996461.1996530
- Polhemus. (2008). PATRIOT Wireless - 6DOF Motion Tracking Technology. Retrieved March 15, 2012, from [http://www.polhemus.com/?page=Motion\\_PATRIOT Wireless](http://www.polhemus.com/?page=Motion_PATRIOT%20Wireless)
- Rational DOORS. (2012, March 19). IBM Corporation. Retrieved from <http://www-142.ibm.com/software/products/fr/fr/ratidoor/>
- Saffer, D. (2008). *Designing Gestural Interfaces* (Web Design., p. 247). O'Reilly Media, Inc.
- Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), 131-147. Springer London. doi:10.1007/BF01580516
- Tuio. (2011). Site officiel de TUIO. *TUIO*. Retrieved from [www.tuio.org](http://www.tuio.org)
- Wagensberg, J. (2005). The “total” museum, a tool for social change. *História, Ciências, {Saúde--Manguinhos}*, 12(Suppl), 309-321. doi:16680869
- Walker, M., Takayama, L., & Landay, J. A. (2002). High-Fidelity or Low-Fidelity, Paper or Computer Choosing Attributes When Testing Web Prototypes. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings* (Vol. 46, pp. 661–665). Human Factors and Ergonomics Society. doi:10.1.1.67.6221
- Woods, E., Mason, P., & Billinghamurst, M. (2003). MagicMouse: an inexpensive 6-degree-of-freedom mouse (pp. 285-286). Melbourne, Australia: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=604471.604539&coll=ACM&dl=ACM&type=series&idx=SERIES10737&part=series&WantType=Proceedings&title=GRAPHITE>
- Wu, J., & Graham, N. (2004). The Software Design Board: a Tool supporting Workstyle Transitions in Collaborative Software Design. *in Collaborative Software Design, Proceedings of EHCI/DSV-IS'04* (pp. 92-106). Springer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.156.6610>



# **CONCLUSION & PERSPECTIVES DE RECHERCHE**



## 1 SYNTHÈSE DE LA DÉMARCHE ADOPTÉE ET DE NOS CONTRIBUTIONS

Les travaux de thèse présentés dans ce manuscrit relèvent de la conception des systèmes interactifs mixtes. Dans ce cadre, l'objectif de notre travail était de fournir aux concepteurs de ces systèmes une méthode de conception collaborative et créative permettant :

1. de supporter une exploration systématique l'espace de conception des SIM,
2. de faciliter les échanges entre les autres acteurs de la conception et
3. de représenter des solutions en cours d'élaboration.

Pour y parvenir, notre démarche s'est décomposée en deux temps. Tout d'abord nous nous sommes appuyés sur une étude approfondie de la littérature pour identifier les principes fondamentaux d'une nouvelle approche de conception collaborative et créative adaptée au domaine des SIM. Puis sur la base de cette étude, nous avons élaboré une approche méthodologique originale s'appuyant sur la manipulation d'un modèle formel de l'interaction mixte. Nous avons ensuite évalué la faisabilité, l'efficacité et la pertinence de cette approche au travers d'un ensemble d'études et de mises en œuvre concrètes.

Dans les parties suivantes nous résumons étape par étape l'élaboration de notre approche et son évaluation par la suite.

### 1.1 Elaboration de la méthode MACS

#### *Compréhension des fondements d'une activité de conception collaborative et créative*

Les différentes théories de la conception individuelle et collaborative et la compréhension actuelle des activités créatives constituent la source d'inspiration majeure de notre contribution. En effet, dans le Chapitre 1, nous avons posé les fondements théoriques des activités de conception collaboratives et créatives dans le but de cerner les enjeux qu'elles soulèvent. De cette revue, nous avons extrait six grands principes qui ont guidé notre analyse des approches existantes pour la conception des SIM et posé les fondements de la méthode MACS.

#### *Compréhension de la nature du domaine des systèmes interactifs mixtes*

Nous avons ensuite montré dans le Chapitre 2, en quoi le domaine des SIM constituait une thématique nécessitant l'élaboration à l'adoption d'une méthode de conception adaptée. En effet, ces formes avancées d'interaction mettent en œuvre de nombreux axes de variabilité inexistant dans les systèmes interactifs traditionnels clavier/souris/écran. Ces axes de variabilité conduisent à l'émergence de deux caractéristiques impactant fortement l'activité de conception : l'exploration de l'espace problème et un besoin fort en interdisciplinarité.

#### *Identification d'une combinaison prometteuse entre représentation formelle du domaine des systèmes interactifs mixtes et activité de conception collaborative et créative*

Sur la base de ce constat nous avons ensuite exploré dans le Chapitre 3 les apports et limites des ressources de conception utilisables pour les SIM. Nous avons tout d'abord étudié l'articulation de ces ressources dans le processus de conception et mis en évidence que l'étape de conception de l'interaction

était l'étape où les spécificités des SIM étaient majoritairement traitées.

Nous avons ensuite exploré les deux types de ressources utilisées par les concepteurs durant cette étape : les représentations externes et les activités de conception.

Les représentations externes ont été étudiées selon leur pouvoir descriptif, exploratoire et compréhensible. Les activités de conception ont été caractérisées selon les six principes que nous avons extraits des théories de la conception.

De cette double analyse, nous avons identifié qu'une combinaison entre représentation formelle et activité de conception collaborative et créative constituait une approche prometteuse.

### ***Enjeux d'une combinaison entre représentation formelle et activité de conception collaborative et créative***

Nous avons ensuite développé et argumenté dans le Chapitre 4 que l'utilisation d'une représentation externe formelle adaptée aux SIM durant une séance de conception collaborative et créative permettrait de gérer l'explosion de l'espace de conception et le caractère fortement interdisciplinaire du domaine des SIM. Pour répondre à cette problématique une telle combinaison présenterait trois avantages majeurs :

Premièrement, l'emploi d'un modèle formel durant une activité de conception collaborative et créative *assiste l'exploration systématique de l'espace de conception*. En effet, le recours à un formalisme définit un ensemble de concepts existant et dont la combinaison et l'instanciation définissent les possibles.

Deuxièmement, l'emploi d'une représentation formelle dans les activités de conception *assiste les différentes disciplines dans l'établissement d'un langage de référence*. En effet, la notation d'un modèle fournit une définition non ambiguë des connaissances générales du domaine des SIM.

Troisièmement, l'emploi d'une représentation formelle dans les activités de conception *assiste la transition avec les phases aval du processus de conception*. En effet, l'encodage des idées produites dans une notation formelle produit des spécifications non ambiguës pour l'étape de prototypage.

## **1.2 Evaluation de la méthode MACS**

### ***Définition de la méthode MACS et questions de recherche associées***

Sur ce positionnement, nous avons proposé dans la deuxième partie du Chapitre 4, les principes de la méthode « *Model Assisted Creativity Session* » ou MACS, une approche de conception originale s'appuyant sur l'utilisation d'un modèle formel du domaine des SIM durant une séance de conception collaborative et créative.

Nous avons présenté les différentes étapes et les principes de mise en œuvre de cette méthode en illustrant en quoi elle répond aux principes de la conception collaborative et créative identifiés en amont du manuscrit. A l'issue de l'introduction de cette méthode nous avons soulevé quatre questions majeures pouvant affecter l'efficacité de la méthode :

- *Question 1* : Dans quelles limites une représentation formelle est compréhensible par des novices ?
- *Question 2* : Comment l'exploration des possibles avec une représentation formelle s'opère-t-elle ?
- *Question 3* : La méthode MACS permet-elle de répondre aux trois enjeux soulevés ?
- *Question 4* : Cette méthode s'articule-t-elle dans le processus de conception ?

Les différentes études et mise en œuvre conduite par la suite ont visé à répondre à ces questions. Nous synthétisons les résultats obtenus ci-dessous.

***Les modèles ASUR et MIM sont globalement compréhensibles par des novices***

Pour répondre à notre *première question*, nous avons présenté dans le Chapitre 5, une étude visant à évaluer la compréhensibilité des modèles ASUR et MIM conduite auprès de novices. Cette étude a montré que sans assistance particulière, des individus étaient capables de comprendre la majorité des concepts exprimés par le modèle. Ce résultat nous a conduits à envisager l'utilisation d'une légende du modèle durant les séances de MACS.

***L'usage du modèle ASUR ne bride pas la génération d'idée***

Pour répondre à notre *deuxième question*, dans le Chapitre 5, nous avons présenté une seconde étude visant à évaluer la générativité du modèle ASUR auprès de novices. Cette étude a montré que dans une tâche de résolution de problème l'usage du modèle ASUR ne bride pas la génération d'idée. Ce résultat nous a conduits à développer un ensemble de techniques génératives permettant de tirer systématiquement profit du pouvoir génératif d'un modèle des SIM.

***Durant un MACS, le modèle impacte la génération d'idée et joue le rôle de langage de référence***

Pour répondre à notre *troisième question*, nous avons ensuite analysé dans le Chapitre 6, les solutions ainsi que les protocoles verbaux et comportementaux de diverses mises en œuvre de la méthode MACS. Cette batterie d'analyse nous a permis de répondre à trois hypothèses relatives aux enjeux positionnés dans le Chapitre 4.

Nous avons notamment montré que durant une séance de MACS, le modèle impactait la génération d'idée et jouait le rôle de langage de référence entre disciplines.

Toutefois, au travers de l'analyse des solutions produites et de l'analyse de protocole verbal et comportemental, nous avons également appris que la capture des idées dans la notation du modèle était partielle. L'effort cognitif pour encoder les idées dans la notation du modèle et l'utilisabilité du support d'annotation serait la cause de cette observation. Pour cette raison, nous avons envisagé le développement d'un outillage adapté à la méthode et visant à faciliter l'annotation des idées. Une version préliminaire de cet outillage, nommé OnTop a été présenté dans le Chapitre 7.

***La méthode MACS s'ancre dans un processus de conception centré utilisateur***

Enfin pour répondre à notre *quatrième question* dans le Chapitre 7 nous avons présenté la conception de deux systèmes interactifs mixte dont la technique d'interaction est issue d'une mise en œuvre de la méthode MACS. Nous avons montré comment à partir des données extraites de l'étape d'analyse et de l'application des post-traitements de la méthode, les modèles générés durant la séance pouvaient être réintégré dans le processus conception pour donner suite au prototypage d'une solution. Cet aspect est primordial pour garantir une utilisation de la méthode dans un contexte de développement réel.

**1.3 Apports de notre contribution**

L'élaboration d'une méthode de conception collaborative et créative dédiée au domaine des SIM est issue de deux besoins : démocratiser l'utilisation des formalismes dédiés au domaine des SIM et exploiter le potentiel d'une représentation formelle dans les tâches créatives.

Tout d'abord comme nous l'avons illustré dans le Chapitre 2, les SIM se différencient nettement des systèmes interactifs traditionnels (clavier/souris/écran) par une quantité conséquente de variables

additionnelles à considérer durant le développement. Cette différence a conduit la communauté scientifique au développement de nombreuses approches de modélisation pour aider les concepteurs dans la gestion de cette complexité. Toutefois les modèles développés dans la communauté scientifique sont encore peu utilisés dans des contextes pratiques.

Pour contribuer à la démocratisation des modèles lors du développement des SIM, nous avons donc développé une approche de conception spécifique et montré comment cette dernière pouvait être mise en œuvre par des équipes de conception pluridisciplinaires. L'approche que nous avons développée fournit les principes de base pour explorer les possibles en termes d'interaction mixte. De cette manière nous avons développé une ressource de conception qui permet aux équipes de conception de ne pas se limiter aux quelques exemples qu'ils ont déjà rencontré mais d'explorer plus en profondeur le domaine au travers de la manipulation de variables constitutives du domaine. Une telle approche constitue donc une réponse cruciale à la démocratisation des avancées scientifiques dans le domaine des SIM et à l'utilisation des modèles dans les développements actuels.

De plus, en comparaison aux pratiques de conception utilisées traditionnellement dans le domaine de l'IHM et plus généralement du design, notre approche présente une originalité certaine. En effet, pour leur large pouvoir descriptif et leur facilité d'interprétation, les représentations externes informelles (e.g. scénario, dessin, story-boards, etc.) sont traditionnellement privilégiées dans les activités de conception collaboratives et créative. Comme nous l'avons argumenté dans ce manuscrit, l'efficacité de l'exploration des possibles est donc laissée aux compétences des concepteurs.

En pratique, le pouvoir génératif des représentations formelles est donc encore largement inexploité. L'approche de conception que nous avons élaborée et évaluée devait donc être étudiée. Les résultats de la recherche que nous avons conduite ont montré que notre approche constitue un apport important pour la communauté d'un point de vue de l'ingénierie des IHM et d'un point de vue scientifique.

## **2 LIMITES IDENTIFIEES & PERSPECTIVES A COURT TERME**

Sur la base de la description de la méthode et des principes qui la constitue, la transférabilité de notre approche peut désormais être soulevée. En effet, nous avons montré au travers de nombreuses mises en œuvre que la méthode est répliquable mais nous n'avons pas encore vérifié si n'importe quelle équipe de conception était capable de la mettre en œuvre. Un travail de documentation est donc à conduire pour assurer le transfert de la méthode MACS à d'autres équipes de conception.

Un tel travail de documentation pourrait de plus profiter pleinement d'une définition systématique des étapes des moyens à mettre en œuvre pour utiliser la méthode MACS. Il apparaît que la norme (ISO/IEC 24744, 2007) pourrait constituer un point d'entrée de base pour une documentation rigoureuse de la mise en œuvre de la méthode. Selon la norme, les acteurs de la méthode pourraient correspondre aux aspects organisationnels, la dimension managériale aux ressources disciplinaire et matérielles utilisées, la dimension d'ingénierie aux différentes étapes et à leur ordonnancement, et la dimension client au problème de conception posé et aux utilisateurs finaux du système à concevoir.

Ensuite, il est important de rappeler les raisons qui nous ont poussées à adopter une évaluation empirique de la méthode plutôt qu'une approche purement expérimentale. Nous pensons que conduire une expérimentation comparative entre un MACS et une méthode classique de conception collaborative et créative aurait été prématuré dans ces travaux.

En effet comme nous l'avons montré au fur et à mesure du manuscrit, l'affinement des principes de la méthode s'est établi au travers d'un grand nombre de mises en œuvre. Les bonnes pratiques pour conduire un MACS ont évolué dans la pratique au fur et à mesure des cas d'études. Comme nous l'avons vu dans le Chapitre 6, ce travail d'affinement des principes a été nécessaire pour aboutir au résultat escompté.

A ce jour, nous pensons que les principes de mise en œuvre sont stabilisés. En effet, nous avons montré que la méthode est efficace et produit les résultats escomptés. Par conséquent, une étude comparative visant à quantifier l'apport d'un MACS par rapport à une méthode traditionnelle tel que le brainstorming par exemple constitue une perspective de recherche à conduire à court terme. Dans une telle perspective, des techniques telles que l'analyse de protocole et la linkographie (Cai, Do, & Zimring, 2010; Chou, 2002) constituent des outils pertinents pour évaluer l'efficacité de l'approche d'un point de vue cognitif et créatif. Le protocole expérimental d'une telle étude reste toutefois à définir et présente de nombreux verrous relatifs à la variabilité inter-individus en termes de créativité, de connaissances préalable du domaine et de cas d'étude pour un tel exercice.

De plus, un aspect additionnel qui gagnerait à être investigué en détail concerne la sélection d'un modèle adapté. En effet, la méthode MACS est en principe utilisable avec n'importe quel type de modèle bénéficiant d'une notation. Cette notation les rend opérationnels car elle permet à un concepteur de représenter une solution en cours de construction.

Dans nos travaux, pour montrer cette généralité, nous avons mis en œuvre la méthode avec le modèle ASUR et avec le modèle MIM. Dans le Chapitre 5, nous avons de plus observé que la notation des modèles ASUR et MIM était majoritairement compréhensible par des novices. Cet aspect est indispensable pour une utilisation en MACS.

Toutefois hormis le besoin d'une notation compréhensible, nous n'avons pas établi de métriques précises permettant de déterminer si un modèle est adapté à une utilisation dans une séance de MACS. Dans cette voie, le niveau d'abstraction, la flexibilité d'annotation, le nombre de concepts exprimés, la qualité des représentations adoptées, etc. constituent des dimensions qu'il apparaît pertinent de considérer pour sélectionner un modèle approprié.

L'identification de ces dimensions constitue donc une perspective pertinente et complémentaire aux travaux présentés dans ce manuscrit et qu'il sera nécessaire de conduire. Les dimensions cognitives d'une notation (Blackwell, 2008) et leur adaptation aux situations collaboratives (Bresciani et al., 2008) constitue à notre sens le point d'entrée d'une telle recherche.

Puis nous avons introduit à l'issue du Chapitre 5 un ensemble de techniques de générativité s'appuyant sur des manipulations élémentaires d'un modèle. Bien que nous ayons illustré empiriquement l'utilité de ces techniques nous n'avons pas étudié en détail leur usage par les participants d'un MACS. Cet aspect de la méthode doit donc être approfondi.

De plus, il serait pertinent d'envisager d'instrumenter ces techniques de créativité au sein des séances. Par exemple, il serait possible de transformer l'édition du modèle en un jeu dans lequel les techniques de générativité, sous formes de cartes à jouer détermineraient les actions possibles. L'évolution de la méthode MACS en un jeu de conception constitue une perspective sérieuse s'apparentant aux travaux présentés dans (Brandt & Messeter, 2004). En effet, l'activité ludique stimule la créativité au travers de la désinhibition et en privilégiant la motivation intrinsèque des participants.

Toujours dans une perspective d'amélioration de la méthode, ces techniques de générativité pourraient trouver leur place directement au sein de l'outil OnTop au même titre que les fonctionnalités de l'outil que nous avons identifiées dans le Chapitre 7 et qui n'ont pas encore été implémentées à ce jour. Dans cette perspective, un effort de conception et de développement doit encore être conduit pour que l'outil OnTop soit entièrement fonctionnel.

Le développement de cet outil a notamment soulevé des questions de recherches relatives à l'utilisabilité des outils collaboratifs sur surface tactile. Par exemple, nous avons envisagé dans cet outil d'implémenter une fonctionnalité d'undo/redo multiutilisateur. L'aspect collaboratif et simultané d'une telle fonction est un exemple de complexité probante qui requiert le développement d'une technique d'interaction adaptée, qui à notre connaissance, a encore peu été exploré à ce jour.

Enfin, l'outil OnTop se voulant idéalement aussi flexible et facile d'utilisation qu'un support papier, il apparaît pertinent d'évaluer dans quelles limites les surfaces interactives et le papier peuvent fournir des services et une expérience utilisateur similaire. Une telle recherche aurait évidemment un intérêt pour un outillage de la méthode MACS, mais pourrait trouver un intérêt dans beaucoup d'autres types d'activités. Par exemple, les tâches de calligraphie pourraient bénéficier des apports du numérique. Dans un tel contexte, des aspects tels que le grain du papier ou les caractéristiques de l'outil d'écriture sont complexes à simuler et nécessitent d'être investigués.

### 3 OUVERTURE

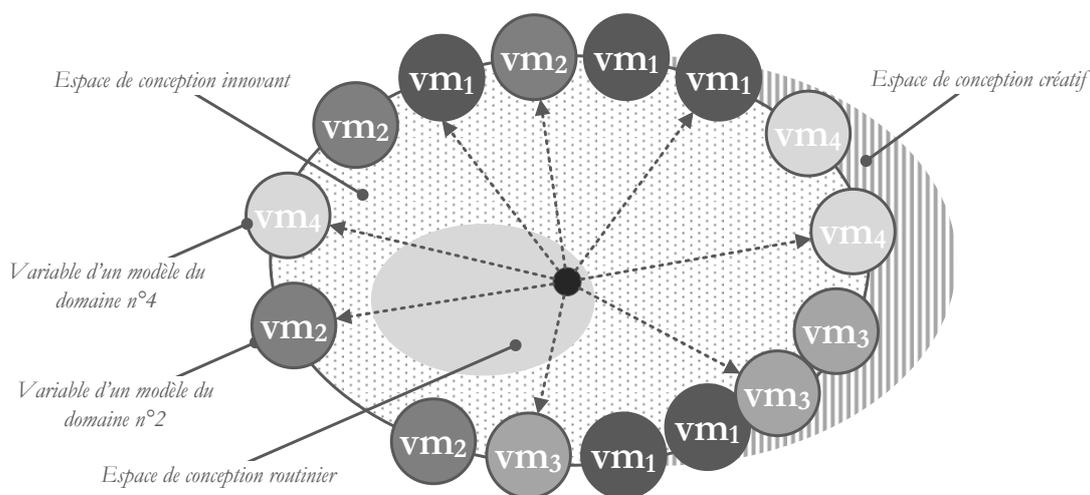
Nos travaux ont ouvert de nouvelles possibilités méthodologiques pour la conception des systèmes interactifs avancés.

Notre expérience de la méthode MACS est toutefois à ce jour réduite à la conception de l'interaction. Or la conception de systèmes interactifs implique de nombreux aspects pour aboutir à un produit fini. Par exemple dans le cas de l'interaction tangible, la topologie des objets, les technologies utilisées, l'architecture logicielle, les aspects esthétiques, etc. doivent être considérés dans le processus de conception. Ces aspects font généralement appel aux connaissances d'une ou plusieurs disciplines qui ont leurs propres pratiques et leurs propres théories et modèles. De ce constat, deux questions peuvent être soulevées.

Premièrement, la méthode MACS est-elle applicable à d'autres disciplines ? Une telle adaptation impliquerait l'utilisation d'autres modèles pour assister l'exploration de l'espace de conception. Ceci renforce la nécessité de définir les prérequis à l'utilisation d'un modèle dans un MACS.

Deuxièmement, si une telle adaptation est possible, comment articuler la mise en œuvre de plusieurs MACS impliquant différents modèles ? Cette seconde perspective fait directement écho aux problématiques soulevées par l'ingénierie dirigée par les modèles et aux tissages possibles entre différentes considérations.

Une telle approche est bien évidemment ambitieuse, et soulève de nombreux problèmes. Néanmoins comme l'illustre la Figure 126, l'utilisation de plusieurs modèles permettrait une exploration des possibles plus large garantirait l'identification de solutions innovantes de manière multidimensionnelle. Ceci constitue un projet de recherche à long termes.



**Figure 126 : Une exploration de l'espace de conception multi-modèle ? Ce schéma représente une exploration des possibles en s'appuyant sur les variables de plusieurs modèles qui ont traités des considérations différentes.**

## 4 BIBLIOGRAPHIE

- Blackwell, A. (2008). Cognitive Dimensions of Notations: Understanding the Ergonomics of Diagram Use. *Diagrammatic Representation and Inference* (pp. 5-8). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-87730-1\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-87730-1_4)
- Brandt, E., & Messeter, J. (2004). Facilitating collaboration through design games. *Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices - Volume 1* (pp. 121-131). Toronto, Ontario, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1011870.1011885&coll=ACM&dl=ACM&CFID=78624755&CFTOKEN=48702884>
- Bresciani, S., Blackwell, A., & Eppler, M. (2008). A Collaborative Dimensions Framework: Understanding the Mediating Role of Conceptual Visualizations in Collaborative Knowledge Work. *Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 364). Los Alamitos, {CA,} {USA}: {IEEE} Computer Society. doi:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HICSS.2008.7>
- Cai, H., Do, E. Y.-L., & Zimring, C. M. (2010). Extended linkography and distance graph in design evaluation: an empirical study of the dual effects of inspiration sources in creative design. *Design Studies*, 31(2), 146-168. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.destud.2009.12.003
- Chou, S.-bin. (2002). A method for evaluating creativity in Linkography. *Measurement*, 1-6.
- ISO/IEC 24744. (2007). ISO/IEC 24744. ISO. Retrieved from [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=38854](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38854)



# PUBLICATIONS

- Dubois, E., Scapin, D., Charfi, S., & **Bortoloso, C.** (2012). Usability Recommendations for Mixed Interactive Systems: extraction and integration in a design process. In T. Huang, L. Alem, & M. Livingston (Eds.), *Human factors in augmented reality environments* (Springer U., p. in press).
- Bortoloso, C.**, Bach, C., & Dubois, E. (2011). Co-Design of Interactive Museographic Exhibits: the MIME case study. In L. Ciolfi, K. Scott, & S. Barbieri (Eds.), *International conference on ReThinking Technology in Museums: Emerging Experiences* (pp. 37-48). Limerick, Ireland: University of Limerick. Retrieved from <http://www.idc.ul.ie/techmuseums11/paper/paper4.pdf>
- Bortoloso, C.**, Bach, C., & Dubois, E. (2011). MACS: combination of a formal mixed interaction model with an informal creative session. *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems* (pp. 63-72). Pisa, Italy: ACM New York, NY, USA ©2011. doi:10.1145/1996461.1996496
- Dubois, E., **Bortoloso, C.**, & Gauffre, G. (2011). Models Articulations for Ubiquitous System Design. In T. Schlegel & S. Pietschmann (Eds.), *1st International Workshop on Model-based Interactive Ubiquitous Systems (Modiquitous 2011)* (pp. 1-6). Pisa, Italy: IFIP. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-787/paper1.pdf>
- Graham, N., Dubois, E., **Bortoloso, C.**, & Wolfe, C. (2011). Scenarchitectures: The Use of Domain-Specific Architectures to Bridge Design and Implementation. In P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque, & M. Winckler (Eds.), *Proceedings of Interact'11* (Vol. 6947, pp. 341-358). Lisbon, Spain: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-23771-3
- Dubois, E., **Bortoloso, C.**, Bach, C., Duranthon, F., & Blanquer-Maumont, A. (2011). Design and Evaluation of Mixed Interactive Museographic Exhibits. *International Journal of Arts and Technology, Interactive Experiences in Multimedia and Augmented Environments*, 4(4), 408-441. doi:10.1504/IJART.2011.043441
- Gauffre, G., Charfi, S., **Bortoloso, C.**, Bach, C., & Dubois, E. (2010). Developing Mixed Interactive Systems: A Model-Based Process for Generating and Managing Design Solutions. In E. Dubois, P. Gray, & L. Nigay (Eds.), *The Engineering of Mixed Reality Systems* (pp. 183-208). Springer-Verlag London. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/t449714723820061/>
- Bortoloso, C.**, Dubois, E., Bach, C., Nigay, L., & Coutrix, C. (2009). Conception de systèmes interactifs mixtes: articulation d'une méthode informelle et d'un modèle d'interaction. In A. I. C. P. Series (Ed.), *Proceedings de la 21ème conférence internationale d'Interaction Homme Machine* (pp. 293-302). Grenoble: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1629826.1629874>
- Bortoloso, C.**, Dubois, E., Dittlo, N., & de La Rivière, J.-B. (2009). 3D multitouch advanced interaction techniques and applications. *Proceedings of the International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (p. 1). Banff, Alberta, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1731951>
- Moussa, W. A., Dubois, E., **Bortoloso, C.**, Salembier, P., Jessel, J.-P., & Bach, C. (2008). SIMBA: méthodologie et plateforme de prototypage moyenne fidélité pour les systèmes interactifs mixtes. In E. Dubois & J.-M. Pierson (Eds.), *Ubiquité et Mobilité, (UBIMOB 2008)* (pp. 21-28). Saint Malo, France: ACM. doi:10.1145/1376971.1376977

# BIBLIOGRAPHIE

- Adi, G. (2006). Aexitimia. Retrieved from <http://www.paulagaetano.com.ar>
- Altshuller, G., & Seredinski, A. (2004). *40 Principes d'innovation : Tris pour toutes applications* (Broché). Retrieved from <http://www.amazon.fr/40-Principes-dinnovation-toutes-applications/dp/2952139407>
- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context. Boulder* (p. xviii, 317 p). Westview Press. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Creativity+in+Context#0>
- Amberg, M., Giraud, F., Semail, B., Olivo, P., Casiez, G., & Roussel, N. (2011). STIMTAC: a Tactile Input Device with Programmable Friction. *Proceedings of the 24th annual ACM symposium adjunct on User interface software and technology - UIST '11 Adjunct* (p. 7). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/2046396.2046401
- Aranda, J., Ernst, N., Horkoff, J., & Easterbrook, S. (2007). A Framework for Empirical Evaluation of Model Comprehensibility (p. 7). {IEEE} Computer Society. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1269010>
- AttrakDiff. (2005). *User Interface Design GmbH*. Retrieved December 21, 2011, from <http://www.attrakdiff.de/en/Home/>
- Augsten, T., Kaefer, K., Meusel, R., Fetzer, C., Kanitz, D., & Stoff, T. (2010). Multitoe : High-Precision Interaction with Back-Projected Floors Based on High-Resolution Multi-Touch Input. (K. Perlin, M. Czerwinski, & R. Miller, Eds.) *Direct*, 37(9), 209-218. ACM. doi:10.1145/1866029.1866064
- Axure: Interactive Wireframe Software and Mockup Tool. (2012). *Axure Software Solutions*. Retrieved March 27, 2012, from <http://www.axure.com/>
- Bach, C. (2004). *Elaboration et validation de Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels. Methods*.
- Bach, C., & Scapin, D. (2005). Critères Ergonomiques pour les Interactions {Homme-Environnements} Virtuels : définitions, justifications et exemples. Retrieved from <http://www.inria.fr/rrrt/rr-5531.html>
- Bach, C., & Scapin, D. (2010). Comparing Inspections and User Testing for the Evaluation of Virtual Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26(8), 786-824. Taylor & Francis. doi:10.1080/10447318.2010.487195
- Bailey, B. P., & Konstan, J. A. (2003). Are informal tools better?: comparing DEMAIS, pencil and paper, and authorware for early multimedia design. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 313-320). Ft. Lauderdale, Florida, USA. Retrieved from <http://portal.acm.org/gate6.inist.fr/citation.cfm?id=642611.642666>
- Bakeman, R., & Gottman, J. M. (1997). *Observing Interaction: An Introduction to Sequential Analysis*. (C. U. Press, Ed.) *Language and Speech* (Vol. 2nd, pp. 62-67). Cambridge University Press.
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. Taylor & Francis. doi:10.1080/10447310802205776
- Barthet, M. F., Tarby, J. C., & Vanderdonck, J. (1996). The Diane+ method (pp. 95-120). Namur, Belgium: Presses Universitaires de Namur.
- Bass, L., Little, R., Pellegrino, R., Reed, S., Seacord, R., Sheppard, S., & R, S. M. (1991). The Arch Model: Seeheim revisited. *User Interface Developers Workshop*.
- Bastide, R., Navarre, D., & Palanque, P. (2002). A model-based tool for interactive prototyping of highly interactive applications. *CHI 02 extended abstracts on Human factors in computing systems CHI 02*, 516. ACM Press. doi:10.1145/506443.506457

- Bastien, J. M. C., & Scapin, D. (2002). Les méthodes ergonomiques : de l'analyse à la conception et à l'évaluation. Biarritz.
- Baudisch, P., Becker, T., & Rudeck, F. (2010). Lumino:Tangible Blocks for Tabletop Computers Based on Glass Fiber Bundles. *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems CHI 10*, 1165. ACM Press. doi:10.1145/1753326.1753500
- Beard, D. V., Smith, D. K., & Denelsbeck, K. M. (1996). QGOMS: a direct-manipulation tool for simple GOMS models (pp. 25-26). Vancouver, British Columbia, Canada: ACM. doi:10.1145/257089.257112
- Beaudouin-Lafon, M. (2000). Instrumental interaction: an interaction model for designing post-WIMP user interfaces. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (Vol. 2, pp. 446-453). The Hague, The Netherlands: ACM. doi:10.1145/332040.332473
- Beaudouin-Lafon, M. (2004). Designing interaction, not interfaces. *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI'04)* (p. 15). ACM Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=989863.989865>
- Bergeri, I., Michel, R., & Boutin, J. P. (2002). Pour tout savoir ou presque sur le coefficient kappa... *Medecine Tropicale*, 62, 634:636.
- Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, 27(5), 587-613. doi:10.1016/j.destud.2006.02.002
- Blackwell, A. (2008). Cognitive Dimensions of Notations: Understanding the Ergonomics of Diagram Use. *Diagrammatic Representation and Inference* (pp. 5-8). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-87730-1\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-87730-1_4)
- Blackwell, A., Edge, D., Dubuc, L., Rode, J. A., Stringer, M., & Toye, E. F. (2005). Using solid diagrams for tangible interface prototyping. *IEEE Pervasive Computing*, 4(4), 18-21. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.99.7005>
- Blackwell, A., & Green, T. R. G. (2002). Notational Systems - the Cognitive Dimensions of Notations framework. *HCI Models, Theories, and Frameworks: Toward a Multidisciplinary Science* (John M. Ca.). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.13.2023>
- Boehm, B. (1986). A spiral model of software development and enhancement. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 11(4), 22-42. doi:10.1145/12944.12948
- Bonnardel, N. (2000). Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment. *{Knowledge-Based} Systems*, 13(7-8), 505-513. doi:10.1016/S0950-7051(00)00067-8
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception : Approches cognitives et ergonomiques*. Solal Editeurs.
- Bono, E. D. (1985). Six Thinking Hats. *Thinking*, 44(0), 1-8. Penguin Books Ltd. Retrieved from <http://video.yahoo.com/watch/111582/992708>
- Bortolaso, C. (2011a). *MACS OnTop (prototype preview)*. Retrieved from [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=tzVGP5nxJiM](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=tzVGP5nxJiM)
- Bortolaso, C. (2011b). *MIME - Exploring a tree of life from its inside (Flashlight version)*. Retrieved from [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=\\_0bBe4f15w0](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=_0bBe4f15w0)
- Bortolaso, C. (2011c). *CladiBubble - Manipulation of 3D tree of life*. Retrieved from [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=kfpJuiVs9Ps](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=kfpJuiVs9Ps)
- Bortolaso, C., Bach, C., & Dubois, E. (2011). Co-Design of Interactive Museographic Exhibits: the MIME case study. In L. Ciolfi, K. Scott, & S. Barbieri (Eds.), *International conference on ReThinking Technology in Museums: Emerging Experiences* (pp. 37-48). Limerick, Ireland: University of Limerick. Retrieved from <http://www.idc.ul.ie/techmuseums11/paper/paper4.pdf>
- Bortolaso, C., Dubois, E., Dittlo, N., & de La Rivière, J.-B. (2009). 3D multitouch advanced interaction techniques and applications. *Proceedings of the International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (p.

- 1). Banff, Alberta, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1731951>
- Boy, G. A. (1997). The group elicitation method for participatory design and usability testing. *interactions*, 4(2), 27-33. doi:10.1145/245129.245132
- Brandt, E. (2007). How Tangible Mock-Ups Support Design Collaboration. *Knowledge, Technology, and Policy*, 20(3), 179-192. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/s12130-007-9021-9>
- Brandt, E., & Grunnet, C. (2000). Evoking the future: Drama and props in user centered design. In T. Cherkasky, J. Greenbaum, & P. Mambrey (Eds.), *Proceedings of Participatory Design Conference PDC 2000* (pp. 11-20). Retrieved from <http://www.itu.dk/courses/I/F2004/PDC00-drama-endelig.pdf>
- Brandt, E., & Messeter, J. (2004). Facilitating collaboration through design games. *Proceedings of the eighth conference on Participatory design: Artful integration: interweaving media, materials and practices - Volume 1* (pp. 121-131). Toronto, Ontario, Canada: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1011870.1011885&coll=ACM&dl=ACM&CFID=78624755&CFTOKEN=48702884>
- Bresciani, S., Blackwell, A., & Eppler, M. (2008). A Collaborative Dimensions Framework: Understanding the Mediating Role of Conceptual Visualizations in Collaborative Knowledge Work. *Hawaii International Conference on System Sciences* (p. 364). Los Alamitos, {CA,} {USA}: {IEEE} Computer Society. doi:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HICSS.2008.7>
- Bucciarelli, L. L. (2002). Between thought and object in engineering design. *Design Studies*, 23(3), 219-231. Elsevier. doi:10.1016/S0142-694X(01)00035-7
- Buisine, S., Besacier, G., Najm, M., Aoussat, A., & Vernier, F. (2007). Computer-Supported Creativity: Evaluation of a Tabletop Mind-Map Application. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 22-31). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7_3)
- Buur, J., Jensen, M. V., & Djajadiningrat, T. (2004). Hands-only scenarios and video action walls: novel methods for tangible user interaction design (pp. 185-192). Cambridge, {MA,} {USA}: ACM. doi:10.1145/1013115.1013141
- Buxton, B. (2007). *Sketching user experiences: getting the design right and the right design*. Interactive Technologies (p. 445). Morgan Kaufmann. Retrieved from <http://www.amazon.ca/exec/obidos/redirect?tag=citeulike09-20&path=ASIN/0123740371>
- Bødker, S., & Buur, J. (2002). The design collaboratorium: a place for usability design. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 9(2), 152-169. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=513665.513670>
- Bødker, S., Ehn, P., Sjogren, D., & Sundblad, Y. (2000). Co-operative design perspectives on 20 years with the Scandinavian IT design model. *Proceedings of Nordi CHI 2000*. Stockholm.
- CARE Project. (2008). *Cultural experience: Augmented Reality and Emotions*, ANR. Retrieved February 16, 2012, from <http://www.careproject.fr/>
- Cai, H., Do, E. Y.-L., & Zimring, C. M. (2010). Extended linkography and distance graph in design evaluation: an empirical study of the dual effects of inspiration sources in creative design. *Design Studies*, 31(2), 146-168. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.destud.2009.12.003
- Carroll, J. M. (1995). *Scenario-Based Design: Envisioning Work and Technology in System Development*. (J. M. Carroll, Ed.) *Workshop* (Vol. 27, p. 408). John Wiley & Sons.
- Carroll, J. M. (2000). *Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions*. *interactions* (p. 368). MIT Press. Retrieved from <http://www.amazon.com/Making-Use-Scenario-Based-Human-Computer-Interactions/dp/0262032791>
- Celentano, A., & Dubois, E. (2012). Metaphor modelling for tangible interfaces evaluation. *International Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI'12)* (p. in press). Capri Palace Hotel, Capri Island (Naples), Italy: ACM Press.
- Chalon, R., & David, B. T. (2008). IRVO: an Architectural Model for Collaborative Interaction in Mixed

- Reality Environments. Retrieved from <http://citeseer.ist.psu.edu/639629.html>
- Cheok, A. D., Teh, K. S., Nguyen, T. H. D., Qui, T. C. T., Lee, S. P., Liu, W., Li, C. C., et al. (2006). Social and physical interactive paradigms for mixed-reality entertainment. *Comput. Entertain.*, 4(2), 5. doi:10.1145/1129006.1129015
- Cheung, D., Tigli, J.-Y., Lavirotte, S., & Riveill, M. (2006). Wcomp: a Multi-Design Approach for Prototyping Applications using Heterogeneous Resources. *Seventeenth IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping* (pp. 119-125). Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1630759&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1630759&tag=1)
- Chevalier, A., Fouquereau, N., & Vanderdonck, J. (2009). The influence of a knowledge-based system on designers' cognitive activities: a study involving professional web designers. *Behaviour & Information Technology*, 28(1), 45-62. doi:10.1080/01449290701288833
- Chou, S.-bin. (2002). A method for evaluating creativity in Linkography. *Measurement*, 1-6.
- Clifton, P., Mazalek, A., Sanford, J., Rébola, C., Lee, S., & Powell, N. (2011). SketchTop : Design Collaboration on a Multi-touch Tabletop. *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '11* (p. 333). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1935701.1935778
- Coutrix, C. (2009). *Interfaces de Réalité Mixte : Conception et Prototypage*. Université Joseph Fourier. Retrieved from <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=139215905>
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2008). Balancing physical and digital properties in mixed objects (pp. 305-308). Napoli, Italy: ACM. doi:10.1145/1385569.1385619
- Coutrix, C., & Nigay, L. (2011). OP: A Novel Programming Model for Integrated Design and Prototyping of Mixed Objects. In P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque, & M. Winckler (Eds.), *Proceedings of Interact'11* (pp. 54-72). Lisbonne, Portugal: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/F301752212525341.pdf>
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. 1996. New York (4 Tra.). Harper Collins. Retrieved from <http://www.amazon.fr/Creativity-Flow-Psychology-Discovery-Invention/dp/0060928204>
- Dance Central™. (2011). *Harmonix Music Systems, Inc.* Retrieved December 5, 2011, from <http://www.dancecentral.com/>
- Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., & Visser, W. (2010). A Method for Analysing Collective Design Processes. *Tenth European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE 10: Confronting Reality)*. Linköping, Sweden. Retrieved from <http://en.scientificcommons.org/54786415>
- Davis, R. C., Colwell, B., & Landay, J. A. (2008). K-Sketch : A “ Kinetic ” Sketch Pad for Novice Animators. *Construction Equipment*, 413-422. ACM. doi:10.1145/1357054.1357122
- Dievendorf, L. A., Brock, D. P., & Jacob, R. J. K. (1995). Extending the User Action Notation (UAN) for Specifying Interfaces with Multiple Input Devices and Parallel Path Structure. {NAVAL} {RESEARCH} {LAB} {WASHINGTON} {DC}.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., & Beale, R. (2004). *Human-computer interaction* (3rd ed., p. 834). Prentice Hall. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=249491>
- Dourish, P., & Bellotti, V. (1992). Awareness and coordination in shared workspaces. (J. Turner & R. Kraut, Eds.) *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computersupported cooperative work CSCW 92*, 3(November), 107-114. ACM Press. doi:10.1145/143457.143468
- Dragicevic, P., Fekete, J.-D., Kastler, R. A., & Chantreire, L. (2001). Input Device Selection and Interaction Configuration with ICON. Retrieved from <http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.25.1638>
- Dubois, E. (2001). *Chirurgie Augmentée, un cas de Réalité Augmentée. Conception et réalisation centrées sur l'utilisateur*. Université Joseph Fourier.

- Dubois, E. (2009). *Conception, Implémentation et Evaluation de Systèmes Interactifs Mixtes : une Approche basée Modèles et centrée sur l'Interaction*. Université de Toulouse.
- Dubois, E., Bach, C., Gauffre, G., Charfi, S., & Salembier, P. (2006). Instrumentation de focus-group dans la co-conception de systèmes mixtes (pp. 163-166). Montreal, Canada: ACM. doi:10.1145/1132736.1132759
- Dubois, E., Bortolaso, C., Bach, C., Duranthon, F., & Blanquer-Maumont, A. (2011). Design and Evaluation of Mixed Interactive Museographic Exhibits. *International Journal of Arts and Technology, Interactive Experiences in Multimedia and Augmented Environments*, 4(4), 408-441. doi:10.1504/IJART.2011.043441
- Dubois, E., & Gray, P. (2007). A Design-Oriented Information-Flow Refinement of the ASUR Interaction Model. In J. Gulliksen, M. B. Harning, P. Palanque, G. C. Veer, & J. Wesson (Eds.), *Engineering Interactive Systems* (Vol. 4940, pp. 465-482). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-92698-6
- Dubois, E., Gray, P., & Nigay, L. (2002). ASUR++: A Design Notation for Mobile Mixed Systems (pp. 123-139). Springer-Verlag. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=666588>
- Dubois, E., Nigay, L., & Troccaz, J. (2001). Consistency in Augmented Reality Systems. *Proceedings of the 8th IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction (EHCI '01)* (pp. 111-122). London, UK: Springer-Verlag. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=645350.650721>
- Dubois, E., Truillet, P., & Bach, C. (2007). Evaluating advanced interaction techniques for navigating Google Earth (pp. 31-34). University of Lancaster, United Kingdom: British Computer Society. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1531407.1531416&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=68487993&CFTOKEN=22079647>
- Détienne, F., Boujut, J.-françois, & Hohmann, B. (2004). Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering Design Situation. *6th International Conference on the Design of Cooperative Systems - COOP'04* (pp. 83-98). Retrieved from <http://hal.inria.fr/inria-00117077/en/>
- Détienne, F., Martin, G., & Lavigne, E. (2006). Viewpoints in co-design: a field study in concurrent engineering. *Design Studies*, 26(3), 215-241. Elsevier. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/cs/0611152>
- Détienne, F., & Traverso, V. (2009). *Méthodologies d'analyse de situations coopératives de conception : Corpus MOSAIC*. (F. Détienne & V. Traverso, Eds.) (p. 317). Presses Universitaires de Nancy.
- Détienne, F., Visser, W., & Tabary, R. (2006). Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative. *Psychologie de l'interaction*, 21(22), 283-307. Retrieved from [http://hal.inria.fr/hal-00658587\\_v1/](http://hal.inria.fr/hal-00658587_v1/)
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis - Rev'd Edition: Verbal Reports as Data* (p. 496). A Bradford Book. Retrieved from <http://www.amazon.com/Protocol-Analysis-Rev'd-Verbal-Reports/dp/0262550237>
- Eye of Judgment™. (2007). *Sony Computer Entertainment*. Retrieved December 5, 2011, from <http://www.eyeofjudgment.com/>
- EyePet™. (2009). *Sony Computer Entertainment Europe*. Retrieved December 5, 2011, from <http://www.eyepet.com/>
- FaceReader. (2011). *Noldus Information Technology*. Retrieved December 21, 2011, from <http://www.noldus.com/human-behavior-research/products/facereader>
- Fiore, S. M., Rosen, M., Salas, E., Burke, S., & Jentsch, F. (2007). Problem-solving : Parsing and Defining the Theoretical Problem Space. *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 143-163.
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(5),

- 347-358. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1023819>
- Fowler, M., & Highsmith, J. (2001). The Agile Manifesto. *Software Development*, 9(August), 28–35. [San Francisco, CA: Miller Freeman, Inc., 1993-. Retrieved from [http://andrey.hristov.com/fht-stuttgart/The\\_Agile\\_Manifesto\\_SDMagazine.pdf](http://andrey.hristov.com/fht-stuttgart/The_Agile_Manifesto_SDMagazine.pdf)
- Foyle, D. C., Andre, A. D., & Hooey, B. L. (2005). Situation Awareness in an Augmented Reality Cockpit: Design, Viewpoints and Cognitive Glue. *Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction* (p. 10). Lawrence Erlbaum Associates. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Situation+Awareness+in+an+Augmented+Reality+Cockpit:+Design,+Viewpoints+and+Cognitive+Glue#0>
- Franken, R. E. (2001). *Human Motivation* (p. 480). Wadsworth Publishing. Retrieved from <http://www.amazon.com/Human-Motivation-InfoTrac-Robert-Franken/dp/0534555306>
- Gamboa-Rodriguez, F., & Scapin, D. (1997). Editing MAD\* task descriptions for specifying user interfaces, at both semantic and presentation levels. *Proceedings DSV-IS '97, 4th International Eurographics Workshop on Design, Specification, and Verification of Interactive Systems*. Granada, Spain.
- Gardner, H. (1993). *Creating Minds: An Anatomy of Creativity As Seen Through the Lives of Freud, Einstein, Picasso, Stravinsky, Eliot, Graham, and Gandhi* (p. 464). New York: Basic Books.
- Gauffre, G., Charfi, S., Bortolaso, C., Bach, C., & Dubois, E. (2010). Developing Mixed Interactive Systems: A Model-Based Process for Generating and Managing Design Solutions. In E. Dubois, P. Gray, & L. Nigay (Eds.), *The Engineering of Mixed Reality Systems* (pp. 183-208). Springer-Verlag London. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/t449714723820061/>
- Gauffre, G., & Dubois, E. (2011). Taking Advantage of Model-Driven Engineering Foundations for Mixed Interaction Design. (H. Hussmann, G. Meixner, & D. Zuehlke, Eds.) *Model-Driven Development of Advanced User Interfaces*, 340, 219-240. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-14562-9
- Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, 11(4), 26. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=95788.95793>
- Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, 19(1), 21-61. doi:10.1016/S0142-694X(97)00015-X
- Geyer, F., Klinkhammer, D., & Reiterer, H. (2010). Supporting Creativity Workshops with Interactive Tabletops and Digital Pen and Paper. (A. Krüger, J. Schöning, D. Wigdor, & M. Haller, Eds.) *Human Factors*, 7(c), 261-262. FAW-Verlag, Bamberg\$. Retrieved from [http://hci.uni-konstanz.de/downloads/ITS\\_Poster\\_Create\\_Workshop.pdf](http://hci.uni-konstanz.de/downloads/ITS_Poster_Create_Workshop.pdf)
- Geyer, F., Pfeil, U., Budzinski, J., Höchtl, A., & Reiterer, H. (2011). AffinityTable - A Hybrid Surface for Supporting Affinity Diagramming. In P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque, & M. Winckler (Eds.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011* (Vol. 6948, pp. 477-484). Lisbonne, Portugal: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-23765-2
- Glucksberg, S., & Weisberg, R. W. (1966). Verbal behavior and problem solving: Some effects of labeling in a functional fixedness problem. *Journal of Experimental Psychology*, 71(5), 659–664. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/xge/71/5/659.pdf>
- Greenbaum, J., & Kyng, M. (1991). *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*. (J. M. Greenbaum & M. Kyng, Eds.) *Design at Work Cooperative Design of Computer Systems* (Vol. Design at, p. 294). Lawrence Erlbaum Associates. doi:10.1007/BF02298175
- Greenberg, S., & Fitchett, C. (2001). Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets. In J. Marks & E. Mynatt (Eds.), *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology* (Vol. 3, pp. 209-218). ACM. doi:10.1145/502348.502388
- Greeno, J. G., & Moore, J. L. (1993). Situativity and Symbols: Response to Vera and Simon. *Cognitive Science*, 17(1), 49-59. doi:10.1207/s15516709cog1701\_3
- Gronier, G. (2010). Méthodes d'analyse des communications fonctionnelles en situation de travail

- collectif. *Recherches Qualitatives, Hors serie(9)*, 151-169. Retrieved from [http://www.guillaume Gronier.com/cv/\\_articles\\_/2010\\_RecherchesQualitatives\\_Gronier.pdf](http://www.guillaume Gronier.com/cv/_articles_/2010_RecherchesQualitatives_Gronier.pdf)
- Grudin, J. (1990). The computer reaches out: the historical continuity of interface design. (J. C. Chew & J. Whiteside, Eds.) *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Empowering people CHI 90, 90*, 261-268. ACM Press. doi:10.1145/97243.97284
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454.
- Haller, M., Brandl, P., Leithinger, D., Leitner, J., Seifried, T., & Billinghamurst, M. (2006). Shared Design Space: Sketching ideas using digital pens and a large augmented tabletop setup. *Lecture Notes In Computer Science*, 4282, 1-12. Springer. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/2W34W2TR74218V39.pdf>
- Harrison, C., Benko, H., & Wilson, A. D. (2011). OmniTouch: wearable multitouch interaction everywhere. *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '11* (p. 441). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/2047196.2047255
- Hartmann, B., Morris, M. R., Benko, H., & Wilson, A. D. (2010). Pictionary: supporting collaborative design work by integrating physical and digital artifacts. *Proceedings of the 2010 {ACM} conference on Computer supported cooperative work* (pp. 421-424). Savannah, Georgia, {USA}: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1718918.1718989&coll=ACM&dl=ACM&CFID=86121424&CFTOKEN=83024968>
- Hassenzahl, M. (2006). Hedonic, emotional, and experiential perspectives on product quality. In C. Ghaoui (Ed.), *Encyclopedia of Human Computer Interaction* (pp. 266-272). Idea Group. doi:10.4018/978-1-59140-562-7.ch042
- Hennig, W. (1950). *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*. Berlin : Deutscher Zentralverlag. Retrieved from <http://www.assomat.info/Grundzuge-einer-Theorie-der>
- Hinrichs, U., Carpendale, S., Scott, S. D., & Pattison, E. (2005). Interface Currents : Supporting Fluent Collaboration on Tabletop Displays. *Star*, 185-197. Springer Verlag. doi:10.1007/11536482\_16
- Hornecker, E. (2007). Sketches, Drawings, Diagrams, Physical Models, Prototypes, and Gesture as Representational Forms. *Second International Workshop on Physicality*, (September), 2-3. Retrieved from [http://www.physicality.org/Physicality\\_2007/Entries/2008/3/8\\_Physicality\\_2007\\_proceedings\\_files/Physicality2007Proceedings.pdf#page=97](http://www.physicality.org/Physicality_2007/Entries/2008/3/8_Physicality_2007_proceedings_files/Physicality2007Proceedings.pdf#page=97)
- Hornecker, E. (2010a). Creative idea exploration within the structure of a guiding framework: the card brainstorming game. *Tangible and embedded interaction*, 10, 101-108. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1709886.1709905>
- Hornecker, E. (2010b). The Tangible Interaction Cards: A Brainstorming Exercise Game. Retrieved December 26, 2011, b from <http://www.ehornecker.de/CardGame.html#process>
- Hornecker, E., & Buur, J. (2006). Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction (pp. 437-446). Montréal, Québec, Canada: ACM. doi:10.1145/1124772.1124838
- Horowitz, R. (1994). ASIT Créativité - résolution créative - conception innovante - innovation et différenciation. Retrieved from <http://www.asit.info/>
- Horowitz, R. (1999). *Creative Problem Solving in Engineering Design*. TEL-AVIV UNIVERSITY. Retrieved from <http://ebookbrowse.com/creative-problem-solving-in-engineering-design-thesis-by-roni-horowitz-pdf-d40009706>
- Hunter, S., Kalanithi, J., & Merrill, D. (2010). Make a Riddle and TeleStory : Designing Children ' s Applications for the Siftables Platform. *Human Factors*, 206-209.
- Hutchinson, H., Mackay, W. E., Westerlund, B., Bederson, B. B., Druin, A., Plaisant, C., Beaudouin-Lafon, M., et al. (2003). Technology probes: inspiring design for and with families. *Proceedings of the {SIGCHI} conference on Human factors in computing systems* (pp. 17-24). Ft. Lauderdale, Florida, {USA}: ACM. doi:10.1145/642611.642616

- ISO/IEC 24744. (2007). ISO/IEC 24744. ISO. Retrieved from [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=38854](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38854)
- Ishii, H., Mazalek, A., & Lee, J. (2001). Bottles as a minimal interface to access digital information. *CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '01* (p. 187). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/634067.634180
- Ishii, H., Ratti, C., Piper, B., Wang, Y., Biderman, A., & Ben-Joseph, E. (2004). Bringing Clay and Sand into Digital Design — Continuous Tangible user Interfaces. *BT Technology Journal*, 22(4), 287-299. Springer Netherlands. doi:10.1023/B:BTJ.0000047607.16164.16
- Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008). Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. *Proceeding of the twenty-sixth annual {SIGCHI} conference on Human factors in computing systems* (pp. 201-210). Florence, Italy: ACM. doi:10.1145/1357054.1357089
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. 139-146). ACM. doi:10.1145/1226969.1226998
- Kaltenbrunner, M., Bovermann, T., Bencina, R., & Costanza, E. (2005). TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces. *Neuroinformatics*. Citeseer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.3890&rep=rep1&type=pdf>
- Kerguelen, A. (2008). « Actogram Kronos » : Un outil d'aide à l'analyse de l'activité. In H. Norimatsu & P. N (Eds.), *Les techniques d'observation en sciences humaines* (pp. 142-158). Armand Colin.
- Kim, M. J., & Maher, M. L. (2008). The Impact of Tangible User Interfaces on Designers' Spatial Cognition. *Human-Computer Interaction*, 23(2), 101-137. Taylor & Francis. doi:10.1080/07370020802016415
- Kirk, D., Crabtree, A., & Rodden, T. (2005). Ways of the hands. In U. K. Hans Gellersen Lancaster University, D. Kjeld Schmidt IT University of Copenhagen, F. Michel Beaudouin-Lafon Université Paris-Sud, & F. Wendy Mackay INRIA (Eds.), *Proceedings of ECSCW'05* (pp. 1-21). Paris, France: Springer-Verlag New York, Inc. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1242029.1242030>
- Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive Science*, 18(4), 513-549.
- Koleva, B., Egglestone, S. R., Schnädelbach, H., Glover, K., Greenhalgh, C., Rodden, T., & Dade-Robertson, M. (2009). Supporting the creation of hybrid museum experiences. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI '09* (p. 1973). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1518701.1519001
- Kontio, J., Lehtola, L., Bragge, J., & Box, P. O. (2004). Using the Focus Group Method in Software Engineering: Obtaining Practitioner and User Experiences. *Proceedings of the 2004 International Symposium on Empirical Software Engineering* (pp. 271-280). Washington, DC, USA: {IEEE} Computer Society. doi:10.1109/ISESE.2004.35
- Krasner, G. E., & Pope, S. T. (1988). A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80. *J. Object Oriented Program.*, 1(3), 26-49. Retrieved from [http://www.itu.dk/courses/VOP/E2005/VOP2005E/8\\_mvc\\_krasner\\_and\\_pope.pdf](http://www.itu.dk/courses/VOP/E2005/VOP2005E/8_mvc_krasner_and_pope.pdf)
- Lacaze, X., & Palanque, P. (2007). DREAM & TEAM : A Tool and a Notation Supporting Exploration of Options and Traceability of Choices for Safety Critical Interactive Systems. *Ijfp International Federation For Information Processing*, 525 - 540. doi:10.1007/978-3-540-74800-7\_48
- Larkin, J. H. (1989). Display Based Problem Solving. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex Information Processing* (pp. 69-108). Lawrence Erlbaum Associates.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11(1), 65-100. Elsevier. doi:10.1016/S0364-0213(87)80026-5

- Law, E. L.-C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P. O. S., & Kort, J. (2009). Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems* (pp. 719-728). ACM. doi:10.1145/1518701.1518813
- Lecointre, G., Bonnet, M.-L., Cariou, F., Duco, A., & Collectif. (2008). *Comprendre et enseigner la classification du vivant* (2eme ed., p. 351). Belin. Retrieved from <http://www.amazon.fr/Comprendre-enseigner-classification-du-vivant/dp/2701147980>
- Leithinger, D., & Ishii, H. (2010). Relief: a scalable actuated shape display . *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '10* (pp. 221-222). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1709886.1709928
- Lepore, T. (2010). Sketches and Wireframes and Prototypes! Oh My! Creating Your Own Magical Wizard Experience. *{UX} Matters*. Retrieved from <http://www.uxmatters.com/mt/archives/2010/05/sketches-and-wireframes-and-prototypes-oh-my-creating-your-own-magical-wizard-experience.php>
- Lin, J., Newman, M. W., Hong, J. I., & Landay, J. A. (2000). DENIM: finding a tighter fit between tools and practice for Web site design. *Interface* (Vol. 2, pp. 510-517). ACM. doi:10.1145/332040.332486
- Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjam, S., & Zenasni, F. (2003). *Psychologie de la créativité (Psychology of Creativity)*. Armand Colin.
- Mackay, W. E. (1996). Réalité augmentée : Le meilleur des deux mondes. *La Recherche*, (285), 32-37. Sophia. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3115676>
- Mackay, W. E., Ratzer, A. V., & Janecek, P. (2000). Video artifacts for design: bridging the Gap between abstraction and detail. *Proceedings of the 3rd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques* (pp. 72-82). New York City, New York, United States: ACM. doi:10.1145/347642.347666
- Marsh, R. L., Landau, J. D., & Hicks, J. L. (1996). How examples may (and may not) constrain creativity. *Memory cognition*, 24(5), 669-680. Springer. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8870535>
- Martinie, C., Palanque, P., & Winckler, M. (2011). Structuring and composition mechanisms to address scalability issues in task models. *Proceeding INTERACT'11, 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction* (pp. 589-609). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag . Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2042182.2042235>
- Masson, D., Demeure, A., & Calvary, G. (2010). Magellan, an evolutionary system to foster user interface design creativity. *Proceedings of the 2nd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems - EICS '10* (p. 87). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1822018.1822032
- Mehta, N. (1982). *A Flexible Machine Interface*. University of Toronto. Retrieved from [http://www.citeulike.org/user/dominik\\_schmidt/article/5307730](http://www.citeulike.org/user/dominik_schmidt/article/5307730)
- Microsoft. (2011). Surface 2. Retrieved March 8, 2012, from <http://www.microsoft.com/surface/en/us/default.aspx>
- Milgram, P., & Colquhoun, H. W. (1999). A Framework for Relating Head-Mounted Displays to Mixed Reality Displays. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 43, 1177-1181. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/hfes/hfproc/1999/00000043/00000022/art00002>
- Monk, A., & Howard, S. (1998). Methods & tools: the rich picture: a tool for reasoning about work context. *interactions*, 5(2), 21-30. doi:10.1145/274430.274434
- Moody, D. L., Sindre, G., Brasethvik, T., Sølberg, A., Clarke, L., Dillon, L., & Tichy, W. (2003). Evaluating the quality of information models: empirical testing of a conceptual model quality framework. *25th International Conference on Software Engineering 2003 Proceedings* (Vol. 6, pp. 295-305). IEEE Computer Society. doi:10.1109/ICSE.2003.1201209
- Mori, G., Paternò, F., & Santoro, C. (2002). CTTE: support for developing and analyzing task models for

- interactive system design. *{IEEE} Trans. Softw. Eng.*, 28(8), 797-813. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=636196.636202&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=23197686&CFTOKEN=88858182>
- Moussa, W., Jessel, J.-pierre, & Dubois, E. (2006). Notational-based prototyping of mixed interactions. *2006 IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 229-230). IEEE. doi:10.1109/ISMAR.2006.297818
- Muller, M., Wildman, D. M., & White, E. A. (1993). "Equal opportunity" PD using PICTIVE. *Commun. {ACM}*, 36(6), 64. doi:10.1145/153571.214818
- Nardi, B. A. (1996). Studying context: A comparison of activity theory, situated action models, and distributed cognition. In B. A. Nardi (Ed.), *Context and consciousness Activity theory and humancomputer interaction* (pp. 69-102). MIT Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (Englewood .). NJ: Prentice-Hall.
- Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In J. Nielsen & R. L. Mack (Eds.), *Usability Inspection Methods* (Vol. 17, pp. 25-62). John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1089/tmj.2010.0114
- Nigay, L., & Coutaz, J. (1997). Multifeature Systems : The CARE Properties and Their Impact on Software Design The Design Space : Physical Devices and Interaction Languages. *Intelligence and multimodality in multimedia interfaces*, (Nigay). AAAI Press. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.12.7140&rep=rep1&type=pdf>
- NintenDogs™. (2011). *Nintendo*. Retrieved December 5, 2011, from <http://nintendogspluscats.nintendo.com/>
- Norman, D. A. (1990). *The Design of Everyday Things*. Doubleday Business.
- Norman, D. A. (1993). Cognition in the Head and in the World: An Introduction to the Special Issue on Situated Action. *Cognitive Science*, 17(1), 1-6. Psychology Press. doi:10.1207/s15516709cog1701\_1
- Norman, D. A. (2003). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things* (p. 272). Basic Books; 1 edition. Retrieved from <http://www.amazon.com/Emotional-Design-Love-Everyday-Things/dp/0465051359>
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=576915>
- Nussbaum, B. (2011). Design Thinking Is A Failed Experiment. So What's Next? *Fast CoDesign*. Retrieved from <http://www.fastcodesign.com/1663558/design-thinking-is-a-failed-experiment-so-whats-next>
- Oliver, J. (2007). Level Head. Retrieved December 6, 2011, from <http://selectparks.net/~julian/levelhead/>
- Olson, G. M., & Olson, J. S. (2000). Distance Matters. (J. M. Carroll, Ed.) *Human-Computer Interaction*, 15(2), 139-178. Taylor & Francis. doi:10.1207/S15327051HCI1523\_4
- OmniGraffle. (2012). *The Omni Group*. Retrieved March 27, 2012, from <http://www.omnigroup.com/products/omnigraffle/>
- Oppl, S., & Sary, C. (2011). Towards informed metaphor selection for TUIs. *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems - EICS '11* (p. 247). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1996461.1996530
- Osborn, A. F. (1965). *L'Imagination constructive* (2nd ed.). Paris: Dunod. Retrieved from <http://www.amazon.fr/LImagination-constructive-Alexander-Faickney-Osborn/dp/2040030581>
- Paternò, F., Santoro, C., & Tahmassebi, S. (1998). Formal Models for Cooperative Tasks: Concepts and an Application for En-Route Air Traffic Control. *DSV-IS*.
- Patig, S. (2008). A practical guide to testing the understandability of notations. *Proceedings of the fifth Asia-Pacific conference on Conceptual Modelling (APCCM '08)* (pp. 49-58). Wollongong, {NSW,} Australia: Australian Computer Society, Inc. Retrieved from

<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1379429.1379438>

- Patten, J., & Ishii, H. (2007). Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems CHI 07*, 809. ACM Press. doi:10.1145/1240624.1240746
- Piekarski, W., & Thomas, B. (2002). ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, 45(1), 36-38. ACM. doi:10.1145/502269.502291
- Pittarello, F., & Stecca, R. (2010). Querying and navigating a database of images with the magical objects of the wizard Zurlino. *Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children IDC 10*, 250. ACM Press. doi:10.1145/1810543.1810583
- Polhemus. (2008). PATRIOT Wireless - 6DOF Motion Tracking Technology. Retrieved March 15, 2012, from [http://www.polhemus.com/?page=Motion\\_PATRIOT\\_Wireless](http://www.polhemus.com/?page=Motion_PATRIOT_Wireless)
- Pressman, R. S. (1997). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGrawHill (p. 880). McGraw Hill. Retrieved from <http://www.amazon.com/Software-Engineering-Practitioners-Roger-Pressman/dp/007301933X>
- Purcell, T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies*, 19(4), 389-430. Retrieved from [http://d.wanfangdata.com.cn/NSLQK\\_NSTL\\_QK3157977.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/NSLQK_NSTL_QK3157977.aspx)
- Qiao, Y.-J., Xie, X.-F., & Sun, T. (2008). Design for the Cockpit Intelligent Tutoring System Based on Augmented Reality. *2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design* (pp. 224-227). Ieee. doi:10.1109/ISCID.2008.141
- Rational DOORS. (2012, March 19). IBM Corporation. Retrieved from <http://www-142.ibm.com/software/products/fr/fr/ratidoor/>
- Reinert, M. (2001). Alceste, une méthode statistique et sémiotique d'analyse de discours. Application aux rêveries du promeneur solitaire. *Revue française de psychiatrie et de psychologie médicale*, 5(49), 32-36. Editions MF. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=13472237>
- Renevier, P., & Nigay, L. (2004). Notation de Conception pour les Systèmes Mixtes Collaboratifs et Mobiles (pp. 66-73). Nice, France: ACM. doi:10.1145/1050873.1050891
- Rogers, Y., Scaife, M., Gabrielli, S., Smith, H., & Harris, E. (2002). A Conceptual Framework for Mixed Reality Environments: Designing Novel Learning Activities for Young Children. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(6), 677-686. doi:10.1162/105474602321050776
- Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. (C. E. O'Malley, Ed.) *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 128(3), 69-97. Springer. doi:10.1145/130893.952914
- Rosenbaum, S., Cockton, G., Coyne, K., Muller, M., & Rauch, T. (2002). Focus groups in HCI: wealth of information or waste of resources? (pp. 702-703). Minneapolis, Minnesota, {USA}: ACM. doi:10.1145/506443.506554
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1983). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*. (Wiley., p. 126). New York.
- Saffer, D. (2008). *Designing Gestural Interfaces* (Web Design., p. 247). O'Reilly Media, Inc.
- Salembier, P. (2007). *Analyse, modélisation et instrumentation des activités coopératives situées*. Université de Troyes. Retrieved from <http://www.activites.org/v1n1/salembier.pdf>
- Scapin, D., & Bastien, J. M. C. (2001). Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD\*. *Analyse et conception de {IHM}* (pp. 85-116).
- Schietecatte, B., & Vanderdonck, J. (2008). AudioCubes : a Distributed Cube Tangible Interface based on Interaction Range for Sound Design. *Information Systems Journal*, 3-10. ACM. doi:10.1145/1347390.1347394
- Schön, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action* (1st ed.). Basic Books.

- Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), 131-147. Springer London. doi:10.1007/BF01580516
- Sears, A., & Jacko, J. A. (2007). *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications* (2nd Revise.). {CRC} Press Inc.
- Seitinger, S., Taub, D. M., Taylor, A. S., & Ave, J. J. T. (2010). Light Bodies : Exploring Interactions with Responsive Lights. *TEI '10 Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction* (pp. 113-120). ACM New York, NY, USA. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1709908>
- Serrano, M., Nigay, L., Lawson, J. Y., Ramsay, A., Murray-Smith, R., & Deneff, S. (2008). The open interface framework: a tool for multimodal interaction. *Design* (pp. 3501-3506). Association for Computing Machinery. Retrieved from <http://eprints.gla.ac.uk/34238/>
- Shaer, O., & Jacob, R. J. K. (2009). A specification paradigm for the design and implementation of tangible user interfaces. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 16(4), 1-39.
- Shaer, O., Leland, N., Calvillo-Gamez, E., & Jacob, R. J. K. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 359-369. doi:10.1007/s00779-004-0298-3
- Shneiderman, B. (2000). Creating creativity: user interfaces for supporting innovation. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 7(1), 114-138. doi:10.1145/344949.345077
- Sifteo. (2011). *Sifteo Inc.* Retrieved December 6, 2011, from <https://www.sifteo.com/>
- Simon, H. A. (1969). *Les Sciences de l'Artificiel - 3ème Edition* (p. 215). The MIT Press. Retrieved from <http://www.amazon.com/Sciences-Artificiel-Herbert-Simon/dp/0262691914>
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3-4), 181-201. doi:10.1016/0004-3702(73)90011-8
- Simon, H. A. (1995). Problem forming, problem finding, and problem solving in design. In A. Collen & W. Gasparski (Eds.), *Design and Systems general application of methodology* (Vol. 3, pp. 245-257). Transaction Publishers.
- Smith, S. (2007). Exploring the Specification of Haptic Interaction. *Interactive Systems. Design, Specification, and Verification* (pp. 171-184). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69554-7\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69554-7_14)
- Stenning, K., & Oberlander, J. (1995). A Cognitive Theory of Graphical and Linguistic Reasoning: Logic and Implementation. *Cognitive Science*, 19(1), 97-140. Elsevier. doi:10.1207/s15516709cog1901\_3
- Suwa, M., Gero, J. S., & Purcell, T. (2000). Unexpected discoveries and S-invention of design requirements: important vehicles for a design process. *Design Studies*, 21(6), 539-567. Elsevier. doi:10.1007/s00216-010-3781-x
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. S. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455-483. doi:10.1016/S0142-694X(98)00016-7
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385-403. Elsevier. doi:10.1016/S0142-694X(97)00008-2
- Säde, S. (2001). *Cardboard mock-ups and conversations: Studies on user-centered product design*. University of Art and Design Helsinki.
- The Legend of Zelda: Spirit Tracks. (2009). *Nintendo*. Retrieved December 13, 2011, from <http://zelda.com/spirittracks/fr/#/how-to-play/flute/>
- Trevisan, D., Gemo, M., Vanderdonck, J., & Macq, B. (2004). Focus-based design of mixed reality systems. *Proceedings of the 3rd annual conference on Task models and diagrams* (pp. 59-66). Prague, Czech Republic: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1045446.1045458&coll=ACM&dl=ACM&CFID=73571301&CFTOKEN=90932410>

- Truong, K. N., Hayes, G. R., & Abowd, G. D. (2006). Storyboarding: an empirical determination of best practices and effective guidelines. *Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive systems* (pp. 12-21). ACM. doi:10.1145/1142405.1142410
- Tsetserukou, D., Sato, K., & Tachi, S. (2010). ExoInterfaces: novel exoskeleton haptic interfaces for virtual reality, augmented sport and rehabilitation. *Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference on - AH '10* (pp. 1-6). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1785455.1785456
- Tuio. (2011). Site officiel de TUIO. *TUIO*. Retrieved from [www.tuio.org](http://www.tuio.org)
- Ullmer, B., Ishii, H., & Jacob, R. J. K. (2005). Token+constraint systems for tangible interaction with digital information. *{ACM} Trans. {Comput.-Hum.} Interact.*, 12(1), 81-118. doi:10.1145/1057237.1057242
- Vaajakallio, K., & Mattelmäki, T. (2007). Collaborative design exploration: envisioning future practices with make tools. *Proceedings of the conference on Designing pleasurable products and interfaces* (pp. 223-238). Helsinki, Finland: ACM. doi:10.1145/1314161.1314182
- Viala, J., Dubois, E., & Gray, P. (2004). GUIDE-ME: graphical user interface for the design of mixed interactive environment based on the ASUR notation (pp. 74-77). Nice, France: ACM. doi:10.1145/1050873.1050892
- Visser, W. (2002). Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive [Individual and Collective Design. The Cognitive-Ergonomics Approach]. In Mario Borillo & Jean-Pierre Goulette (Eds.), *In Cognition et création. Explorations cognitives des processus de conception (Cognition and creation. Cognitive explorations of design processes)* (pp. 311-327). Mardaga. Retrieved from <http://hal.archives-ouvertes.fr/inria-00186284/>
- Visser, W. (2006). Designing as construction of representations: a dynamic viewpoint in cognitive design research. *Human Computer Interaction*, 21(1), 103-152. Human-Computer Interaction. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.155.2>
- Wagensberg, J. (2005). The "total" museum, a tool for social change. *História, Ciências, {Saúde--Manguinbos}*, 12(Suppl), 309-321. doi:16680869
- Walker, M., Takayama, L., & Landay, J. A. (2002). High-Fidelity or Low-Fidelity, Paper or Computer Choosing Attributes When Testing Web Prototypes. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings* (Vol. 46, pp. 661-665). Human Factors and Ergonomics Society. doi:10.1.1.67.6221
- Wellner, P. (1993). Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communications of the ACM*, 36(7), 87-96. doi:10.1145/159544.159630
- Wilson, C. E. (2006). Brainstorming pitfalls and best practices. *interactions*, 13(5), 50-63. Retrieved from <http://portal.acm.org.gate6.inist.fr/citation.cfm?id=1151314.1151342&coll=ACM&dl=ACM&CFID=81569890&CFTOKEN=63045452>
- Wolfe, C., Graham, T. C. N., Phillips, W. G., & Roy, B. (2009). Fia: user-centered development of adaptive groupware systems. In T. C. N. Graham, G. Calvary, & P. D. Gray (Eds.), *Computer Engineering* (pp. 275-284). ACM. doi:10.1145/1570433.1570484
- Wood, J., & Silver, D. (1995). *Joint Application Development*. (John Wiley & Sons Inc., Ed.) (2nd ed., p. 416). Broché. Retrieved from <http://www.amazon.fr/Joint-Application-Development-Jane-Wood/dp/0471042994>
- Woods, E., Mason, P., & Billingham, M. (2003). MagicMouse: an inexpensive 6-degree-of-freedom mouse (pp. 285-286). Melbourne, Australia: ACM. Retrieved from <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=604471.604539&coll=ACM&dl=ACM&type=series&idx=SERIES10737&part=series&WantType=Proceedings&title=GRAPHITE>
- Wu, J., & Graham, N. (2004). The Software Design Board: a Tool supporting Workstyle Transitions in Collaborative Software Design. *in Collaborative Software Design, Proceedings of EHCI/DSV-IS'04* (pp. 92-106). Springer. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.156.6610>

- Youn-kyung, L., Sang-Su, L., & Da-jung, K. (2011). Interactivity Attributes for Expression-oriented Interaction Design. *International Journal of Design (IJDesign)*, 5(3), 113-128. Retrieved from <http://www.ijdesign.org/ojs/index.php/IJDesign/article/view/718>
- Youn-kyung, L., Sang-Su, L., Da-jung, K., Lim, Y.-kyung, Lee, S.-S., & Kim, D.-jung. (2011). Interactivity Attributes for Expression-oriented Interaction Design. *International Journal of Design (IJDesign)*, 5(3), 113-128. Retrieved from <http://www.ijdesign.org/ojs/index.php/IJDesign/article/view/718>
- Zachary, W., & Robertson, S. P. (1990). Introduction to cognition, computation, and cooperation. In S. P. Robertson, W. Zachary, & J. B. Black (Eds.), *Cognition, computing, and cooperation*. Norwood, N.J.: Ablex Pub. Corp. Retrieved from [http://books.google.de/books/about/Cognition\\_computing\\_and\\_cooperation.html?id=ZgELpE38bR4C](http://books.google.de/books/about/Cognition_computing_and_cooperation.html?id=ZgELpE38bR4C)
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive science*, 21(2), 179-217. Wiley-Blackwell. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2877699>
- de La Rivière, J.-B., Dittlo, N., Orvain, E., Kervégant, C., & Courtois, M. (2010). Holocubtile: 3D multitouch brings the virtual world into the user's hands. *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '10* (p. 311). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1936652.1936739
- van der Lugt, R. (2002). Functions of Sketching in Design Idea Generation Meetings. *Proceedings of the fourth conference on Creativity & cognition - C&C '02* (pp. 72-79). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/581710.581723

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Démarche d'élaboration et d'évaluation adoptée .....	15
Figure 2 : Plan du Manuscrit .....	16
Figure 3 : Intersections entre les activités de résolution de problème, de conception, créatives & collaboratives .....	22
Figure 4 : Schématisation de l'exploration de l'espace problème.....	23
Figure 5 : Cartographie de la nature des activités de Conception Collaborative .....	32
Figure 6 : L'approche multi-variée de la créativité d'après (Lubart et al., 2003).....	35
Figure 7 : L'approche systémique de la créativité d'après (Csikszentmihalyi, 1996).....	37
Figure 8 : Espaces de solutions routinières, innovantes et créatives d'après (Gero, 1990).....	38
Figure 9 : Opposition de la pensée divergente (a) à la pensée convergente (b).....	40
Figure 10 : Cartographie de la nature de la créativité en conception.....	42
Figure 11 : Croisement de la nature des activités de conception collaboratives et des activités de conception créatives .....	44
Figure 12 : Gouffre de l'exécution et de l'évaluation d'après (Norman & Draper, 1986).....	51
Figure 13 : le Digital Desk d'après (Wellner, 1993) .....	52
Figure 14 : Illustration du système Bottles.....	54
Figure 15 : Illustration du système SandScape .....	55
Figure 16 : Plusieurs illustrations du système MultiToe : la capture de la pression des pieds et une utilisatrice en action .....	55
Figure 17 : Plusieurs illustrations du système Omnitouch : le doigt comme pointeur, une feuille comme surface d'interaction, la main comme surface d'interaction .....	55
Figure 18 : Illustration du système PICO. Dans la première photo l'utilisateur vient de déplacer les palets vers la droite puis les relâche, dans la deuxième photo les palets sont revenus automatiquement à leur place initiale pour conserver une configuration équilatérale. ....	56
Figure 19 : Illustration du système Relief. La première photo illustre le mécanisme de déformation et la deuxième une situation pratique.....	56
Figure 20 : Illustration du système FlexTorque dans une application de bras de fer virtuel.....	57
Figure 21 : Illustration du système Sifteo.....	57
Figure 22 : Illustration du jeu Level Heads. En orientant les cubes l'utilisateur peut déplacer le personnage à l'intérieur de ceux-ci.....	58
Figure 23 : L'HoloCubtile. L'utilisateur peut déplacer et orienter l'objet en 3 dimensions affiché sur le miroir en manipulant les surfaces du cube.....	58
Figure 24 : Illustrations du système Lumino. (a) un objet rempli de faisceaux en fibre de verre, laissant passer la lumière. (b) les faisceaux de fibres de verre empêchent la lumière réfléchi sur les marqueurs de se répandre multi-directionnellement vers la camera (d'après Baudisch et al., 2010).....	58
Figure 25 : Illustrations de la Reactable. La figure a illustre le système dans sa globalité (surface, palets, utilisateur) et la figure b illustre l'association d'un sample (au centre) avec plusieurs effets (autour).....	59
Figure 26 : Photo du dispositif STIMTAC. Le pavé numérique vibre et fournit une sensation de texture lorsque l'utilisateur déplace son doigt et survole avec son pointeur des éléments divers à l'écran. ....	60
Figure 27 : Extrait du jeu « no evil monkey » disponible sur la plateforme Sifteo .....	62
Figure 28 : Différents types de caméras vidéo. Dans l'ordre : infrarouge, de profondeur, stéréoscopique. ....	63
Figure 29 : Microcontrôleurs Phidgets et Arduino .....	63
Figure 30 : Différents dispositifs de visualisation. Dans l'ordre : écran auto-stéréoscopique, pico-projecteur, lunettes semi-transparentes, casque de réalité virtuelle.....	63
Figure 31 : Axes de variabilité spécifiques aux SIM.....	65
Figure 32 : Processus de développement centré utilisateur .....	74
Figure 33 : Enjeux de l'étape de conception d'un SIM .....	79
Figure 34 : Confrontation de deux dessins. Le premier très approximatif illustre l'architecture d'un bâtiment (Bilda et al., 2006), le second très détaillé illustre l'usage d'un prototype appelé ORBIS (Coutrix, 2009) .....	82
Figure 35 : Story-board représentant un guide audio de musée avec des indicateurs de temps d'après (Truong et al., 2006).....	83
Figure 36 : Exemple de maquettes (Solid Diagrams) d'après (Blackwell et al., 2005).....	83
Figure 37 : le modèle MCRit d'après (Ullmer et al., 2005).....	84
Figure 38 : Taxonomie des interfaces tangibles d'après (Fishkin, 2004) .....	85
Figure 39 : Cadre de conception de l'interaction tangible d'après (Hornecker & Buur, 2006).....	85
Figure 40 : Les quatre thèmes du cadre Reality Based Interaction d'après (Jacob et al., 2008) .....	86
Figure 41 : Extrait de la spécification du système the Designers' Outpost d'après (Shaer, Leland, Calvillo-Gamez, & Jacob, 2004).....	86
Figure 42 : Modèle FIIA d'un système de positionnement d'ameublement distribué.....	87
Figure 43 : Modèle ASUR d'un bloc note tangible pour piloter PowerPoint.....	88
Figure 44 : Modèle IRVO du Digital Desk d'après (Chalon & David, 2008).....	88
Figure 45 : Le système SandScape modélisé avec MIM d'après (Coutrix, 2009) .....	89
Figure 46 : Exemple d'une Rich Picture représentant une agence Web d'après (Monk & Howard, 1998) .....	94
Figure 47 : Illustrations de la méthode PICTIVE. A gauche l'organisation du plan de travail collaboratif et à droite des exemples d'icônes	

manipulées par les utilisateurs.....	95
Figure 48 : Les éléments Make Tools d'après (Vaajakallio & Mattelmäki, 2007).....	96
Figure 49 : Illustrations du Technology Game d'après (Brandt & Messeter, 2004).....	97
Figure 50 : Exemples de cartes du Card Brainstorming Game d'après (Hornecker, 2010b).....	98
Figure 51 : A gauche, l'outil ARTECT et une exemple d'assemblage de composants logiciels et à droite une photo d'une réunion de travail exploitant les possibilités de l'outil en question d'après (Koleva et al., 2009).....	99
Figure 52 : Exemple de sortie de l'espace routinier grâce à la variation d'une valeur d'une représentation formelle.....	114
Figure 53 : Schématisation de l'emploi d'une représentation externe formelle en situation de conception collaborative.....	115
Figure 54 : Ancrage dans le processus de conception.....	116
Figure 55 : La méthode MACS décrite au travers de ces 5 étapes constitutives.....	118
Figure 56 : Illustration du support d'édition du modèle pendant un MACS. A gauche, une photo de papiers prédécoupés représentant les concepts du modèle et à droite une vue d'une grande feuille de papier servant de support à la création d'une instance de modèle.....	120
Figure 57 : Exemples de modèles papier produits durant l'étape 3 et devant être traités durant l'étape 4.....	122
Figure 58 : Structure du questionnaire.....	132
Figure 59 : modèle ASUR du cas d'étude 1, le bureau augmenté.....	132
Figure 60 : modèle MIM du cas d'étude 1, le bureau augmenté.....	132
Figure 61 : modèle ASUR du cas d'étude 2, ORBIS, le gestionnaire de photo.....	133
Figure 62 : modèle MIM du cas d'étude 2, ORBIS, le gestionnaire de photo.....	133
Figure 63 : Quantité de concepts repérés dans les textes des scénarios pour chacun des modèles.....	136
Figure 64 : Pourcentage de concepts bien identifiés et non-précis pour chacun des modèles et indépendamment des cas d'étude.....	136
Figure 65 : Pourcentage de bonnes réponses aux questions de compréhensibilité de chacune des dimensions du modèle MIM.....	138
Figure 66 : Pourcentage de bonnes réponses aux questions de compréhensibilité de chacune des dimensions du modèle ASUR.....	138
Figure 67 : Légende du modèle ASUR.....	139
Figure 68 : Structure du questionnaire de générativité du modèle ASUR.....	143
Figure 69 : Nombre d'éléments générés par partie et par cas d'étude.....	147
Figure 70 : Nombre d'éléments générés par partie et par catégorie de concepts.....	147
Figure 71 : Photos du système Tangible Google Earth.....	151
Figure 72 : Illustrations de la Reactable.....	153
Figure 73 : Illustration du focus sur l'étape 3 de la méthode MACS.....	165
Figure 74 : Maquette présentée aux participants lors de l'étape 2 du MACS 2.....	168
Figure 75 : Illustration des modèles respectivement produits à l'issue du MACS 2 avec ASUR (à gauche) & MIM (à droite).....	170
Figure 76 : Extrait du prototype vidéo de l'application CladiBulle présenté aux participants lors de l'étape 2 du MACS 3.....	171
Figure 77 : Illustrations de la séance MACS 4. De gauche à droite : Extrait de la capture vidéo de la séance MACS 3, Capture du logiciel Guide-Me utilisé pour éditer le modèle et la légende du modèle ASUR distribuée aux participants.....	172
Figure 78 : Illustration des modèles produits à l'issue du MACS 3 avec ASUR.....	172
Figure 79 : Exemple d'illustration de ballet utilisée pour introduire le problème de conception lors de l'étape 2 du MACS 4.....	173
Figure 80 : Illustrations de la séance MACS 4. De gauche à droite : Support d'édition avant la séance, un concept du modèle instancié en version papier, les participants travaillant sur une solution.....	174
Figure 81 : Illustration des modèles produits à l'issue du MACS 4 avec ASUR.....	175
Figure 82 : Processus de codage du protocole verbal.....	181
Figure 83 : Illustration de l'outil ACTOGRAM, utilisé pour analyser le protocole vidéo.....	184
Figure 84 : Exemples de codage du protocole comportemental (extraits tirés du MACS 4).....	184
Figure 85 : Processus de codage du protocole comportemental.....	185
Figure 86 : Comptabilisation par type de concept des éléments présents dans les modèles réalisés durant les séances de MACS.....	186
Figure 87 : Comptabilisation par entrée/sortie des éléments présents dans les modèles réalisés durant les séances de MACS.....	187
Figure 88 : Nombre de modèles parmi les séances analysées n'ayant que des entrées, que des sorties ou les deux.....	188
Figure 89 : Pourcentage d'adéquation avec les exigences des problèmes de conception pour chacun des modèles de chacune des séances analysées.....	188
Figure 90 : Distribution des segments par participant pour chacune des séances MACS 3 (à gauche) et la séance MACS 4 (à droite).....	192
Figure 91 : Distribution des codes de modulation pour chacune des séances.....	193
Figure 92 : Distribution des codes d'action pour chacune des séances.....	193
Figure 93 : Distribution des codes d'argument pour chacune des séances.....	193
Figure 94 : Distribution des segments relatifs à l'usage du modèle (argument = ms   me   ma   mc) par participant pour chacune la séance MACS 3 (à gauche) et la séance MACS 4 (à droite).....	195
Figure 95 : Occurrences de succession d'un argument et d'une action de génération (ge) entre deux participants différents pour la séance MACS 3.....	197
Figure 96 : Occurrences de succession d'un argument et d'une action de génération (ge) entre deux participants différents pour la séance MACS 4.....	197

Figure 97 : Pourcentages d'idées encodées/partiellement encodée/non encodées via l'éditeur Guide-Me utilisé dans la séance MACS 3.....	199
Figure 98 : Pourcentages d'idées encodées/partiellement encodée/non encodées via l'éditeur papier utilisé dans la séance MACS 4.....	199
Figure 99 : Différents exemples d'utilisation dérivée du support d'édition du modèle en papier.....	200
Figure 100 : Nombre d'occurrences des événements par participant.....	202
Figure 101 : Durée moyenne, minimum et maximum des événements en seconde.....	203
Figure 102 : Extrait de la vidéo du MACS 4 illustrant le pointage simultané du modèle par quatre participants.....	203
Figure 103 : Extrait de la vidéo du MACS 4 illustrant une édition collaborative simultanée du modèle.....	203
Figure 104 : Outillage & Concrétisations de la méthode MACS.....	215
Figure 105 : Illustration d'un modèle réalisé avec l'éditeur logiciel Guide-Me.....	216
Figure 106 : Illustration d'un modèle réalisé avec le support papier.....	216
Figure 107 : Illustration de l'outil Pictionnaire d'après (Hartmann et al., 2010).....	217
Figure 108 : Exemple d'Interface Currents d'après (Hinrichs et al., 2005).....	218
Figure 109 : Photo de l'Affinity Table d'après (Geyer et al., 2011).....	218
Figure 110 : Comparaison des styles de travail entre les différents supports d'annotation du modèle pour la méthode MACS et l'outil OnTop.....	219
Figure 111 : Architecture Matérielle de l'outil OnTop.....	224
Figure 112 : Comparaison des styles de travail entre les différents supports d'annotation du modèle pour la méthode MACS et l'outil OnTop dans sa version actuelle.....	226
Figure 113 : Processus de co-conception d'expositions muséographiques.....	229
Figure 114 : Un exemple de Cladogramme.....	230
Figure 115 : Différents points de vue de la représentation 3D de MIME.....	231
Figure 116 : Evolution de la représentation 2D, vue « carte » de MIME.....	232
Figure 117 : Description de la technique d'interaction basée lampe torche.....	233
Figure 118 : Description de la technique d'interaction basée Cubtile.....	233
Figure 119 : Modèle ASUR final du prototype MIME. Les tracés en pointillé mettent en évidence les éléments issus de la méthode MACS et les choix technologiques réalisés à postériori. Les éléments non inclus par les tracés en pointillé sont issus des étapes d'analyse.....	235
Figure 120 : La plateforme Foldi : un laboratoire nomade déployé pour les expérimentations avec MIME au Muséum de Toulouse.....	237
Figure 121 : Situation d'évaluation de l'application MIME avec le Cubtile.....	238
Figure 122 : Diverses impressions d'écrans illustrant le fonctionnement de l'application CladiBulle.....	240
Figure 123 : Description de la technique d'interaction via la CladiPump.....	241
Figure 124 : Modèle ASUR final du prototype CladiBulle. Les tracés en pointillé mettent en évidence les éléments issus de la méthode MACS et les choix technologiques réalisés à postériori. Les éléments non inclus par les tracés en pointillé sont issus des étapes d'analyse.....	243
Figure 125 : Diagramme de classe UML commun à MIME et CladiBulle.....	244
Figure 126 : Une exploration de l'espace de conception multi-modèle ? Ce schéma représente une exploration des possibles en s'appuyant sur les variables de plusieurs modèles qui ont traits à des considérations différentes.....	258



## **Titre : Méthode de Conception assistée par les Modèles pour les Systèmes Interactifs Mixtes**

Les systèmes interactifs évoluent peu à peu et tendent vers des interactions plus transparentes où les objets physiques et les entités numériques se rencontrent et s'entremêlent. Ces formes avancées d'interaction sont maintenant connues sous des qualificatifs multiples tels que réalité augmentée, interfaces tangibles, interaction mixte ou encore Systèmes Interactifs Mixtes (SIM). L'émergence de ces paradigmes s'accompagne d'un impact fort sur la conception de ces systèmes interactifs, conduisant notamment les concepteurs à devoir manipuler plus de variables et à devoir explorer un espace de conception plus vaste. Face à cette complexité, de nouveaux formalismes sont apparus pour décrire les fondements de ces systèmes et les représenter.

Malgré ces avancées théoriques, les propositions de conception restent principalement limitées à un même ensemble de technologies et de manipulations. De plus, les méthodologies de conception utilisées pour les IHM traditionnelles ne sont pas confrontées à ce verrou lié à l'exploration des possibles. En conséquence, pour contribuer à l'essor des SIM nous proposons une approche de conception appelée « *Model Assisted Creativity Session* » (MACS), combinant modèle formel de l'interaction mixte et activité de conception collaborative et créative.

L'objectif de cette approche est tout d'abord de permettre une exploration plus systématique de l'espace de conception au travers de la manipulation des concepts exprimés par un formalisme du domaine. En outre, il s'agit de mettre à disposition un langage de référence pour une équipe pluridisciplinaire afin de faciliter la collaboration entre des participants ayant différents champs de compétences. L'intérêt est donc d'offrir une représentation partagée du problème et de permettre aux équipes pluridisciplinaires d'explorer l'espace de conception jusque dans ses limites les plus retranchées, les conduisant ainsi à atteindre des espaces innovants et créatifs.

Sur la base d'une analyse des principes fondamentaux de la conception collaborative et créative et d'une revue des ressources de conception existantes dans le domaine des SIM, nous identifions un ensemble de principes permettant de décrire les contours d'une telle méthode. Nous introduisons ensuite les principes de mise en œuvre de la méthode MACS. Nous étudions ensuite les limites posées par la compréhension par des novices de deux formalismes de l'interaction mixte. Puis nous décrivons un ensemble de cas d'étude et analysons l'impact de l'utilisation du modèle sur le déroulement d'une séance de conception de SIM au travers d'une analyse de protocole verbal et comportemental. Nous montrons notamment que cette méthode permet d'aider les participants à se focaliser sur le problème de conception, à faire référence au modèle pour exprimer leurs idées et que les concepts exprimés par la notation accompagnent le processus de génération d'idées. Nous concluons la présentation de nos travaux par l'illustration de SIM issus de cette méthode ainsi que par la présentation d'un outil interactif visant à accompagner le déroulement de ces séances de conception collaboratives et créatives.

**Mots clés :** Interaction Homme-Machine, Systèmes Interactifs Mixtes, Modèles, Conception, Collaboration, Créativité.

## **Title: Model Assisted Design Methodology for Mixed Interactive Systems**

Interactive systems slowly evolve to become more and more transparent through the merging of physical and digital entities. These advanced forms of interaction are known as augmented reality, tangible interfaces, mixed reality, or Mixed Interactive Systems (MIS). The emergence of these paradigms has a strong impact on the design of interactive systems. Indeed, it leads designers in the handling of more variables and in the exploration a broader design space. To face such a complexity, new formalisms emerged in order to express and describe the fundamentals of these systems.

Despite these theoretical advances, in practice most of the design proposals remain limited to the same set of technologies and interaction techniques. In addition, the design methodologies used in traditional HCI do not face this exploration problem.

Therefore, to contribute to MIS design, we propose an original approach called "*Model Assisted Creativity Session*" (MACS), combining a formal interaction model and a collaborative and creative design activity.

This new methodology first aims at supporting a more systematic exploration of the design space through the manipulation of concepts expressed in formalism. Then, the objective is to ease collaboration by helping a multidisciplinary team in the construction of language of reference.

Overall, the method aims at providing a shared representation between designers and to allow multidisciplinary teams to explore the design space to its most entrenched boundaries thus leading them to reach innovative and creative spaces.

To reach this goal, we first identify a set of fundamental principles that describe the boundaries of such a method by analyzing the several paradigms collaborative and creative design and through a review of existing design resources in the field of MIS. Based on this review, we define the core principles of the MACS method. We then investigate to what extent non-MIS experts understand two formalisms of mixed interaction. After that, we describe a set of case studies and analyze the impact of using formalism during a design session through verbal and behavioral protocol analysis. This study shows that the MACS method help participants in focusing on the design problem, in making references to the concepts expressed by the notation for expressing ideas and guide the idea generation. We conclude the presentation of our work by illustrating several MIS designed with this method and by the introduction of an interactive tool aimed at supporting these collaborative and creative design sessions.

**Keywords:** Human-Computer Interaction, Mixed Interactive Systems, Models, Design, Collaboration, Creativity.