Systèmes Mixtes Collaboratifs sur Supports Mobiles : Conception et Réalisation

Philippe Renevier

▶ **To cite this version:**

Philippe Renevier. Systèmes Mixtes Collaboratifs sur Supports Mobiles : Conception et Réalisation. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2004. Français. NNT : . tel-00008264v1

HAL Id: tel-00008264

https://theses.hal.science/tel-00008264v1

Submitted on 26 Jan 2005 (v1), last revised 27 Jun 2005 (v2)

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

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

THÈSE
présentée par

Philippe Renevier

pour obtenir le titre de
DOCTEUR de L'UNIVERSITE JOSEPH-FOURIER-GRENOBLE I
(arrêtés ministériels du 5 juillet 1984 et du 30 mars 1992)
Spécialité : Informatique

Systèmes Mixtes Collaboratifs sur Supports Mobiles : Conception et Réalisation

date de soutenance : 28 juin 2004

Composition du Jury :

Président :	Mr. Jean Caelen
Directeur de thèse :	Mlle. Laurence Nigay
Rapporteurs :	Mme. Wendy Mackay Mr. Jean Vanderdonckt
Examinateurs :	Mlle. Sabine Coquillart Mlle. Laurence Pasqualetti Mr. Philip Gray

Thèse préparée au sein du laboratoire de Communication Langagière et Interaction Personne-Système
Fédération IMAG
Université Joseph Fourier - Grenoble I

Remerciements

En informatique, et a fortiori en interaction homme-machine, il semble impossible de mener à bien une thèse sans aide, sans soutien. Je remercie donc toutes celles et tous ceux qui m'ont soutenu, supporté (au sens propre comme au figuré), diverti et qui font de mon univers un petit coin où il fait bon vivre.

Avant de me lancer dans une longue série de remerciements digne d'une cérémonie des oscars, je tiens à remercier chaleureusement Laurence Nigay, qui m'a accueilli dans l'équipe pour le projet de " fin d'étude " ENSIMAG (coucou Fred et Yann) et de m'avoir recueilli après mon service national. Merci de m'avoir montrer la voie, d'être si exigeante et de me forcer à être un " garçon cohérent ". Merci de m'avoir fait connaître le monde de la recherche.

Je remercie également les membres de mon jury pour le temps qu'ils m'ont consacré, j'en suis honoré. Merci à mes deux rapporteurs, Wendy Mackay et Jean Vanderdonckt, merci à Jean Caelan, président du jury et directeur de mon laboratoire, le CLIPS, merci à Sabine Coquillart et Philip Gray. J'adresse un merci particulier à Laurence Pasqualetti, sans qui cette thèse n'aurait pu être.

Et puis, je n'aurais certainement pas apprécié autant la recherche ni mes travaux en thèse sans cet environnement de travail si propice. Merci donc à Joëlle pour avoir créer l'équipe IIHM et pour si bien entretenir la flamme dans l'équipe. Merci à tous les collègues : Fred et Yann (ce sont les deux que j'ai déjà cités), Fanf, Dave (pour les soirées chez eux), Manu (l'autre franc-comtois), Chaouki (et ses gâteaux tunisiens), Eric (et les parties de starcraft, et non, nous ne joueons pas dans l'équipe), William (eh oui, cela fait déjà 6 ans que je suis dans l'équipe), Nick et Leon (les deux expatriés), Gaëlle (et son rire si " horriiiiiiiiiiiiible "), Kris (et allez le FCSM), Gaëtan (et son nectar de sauge), Nicolas (et ses bonnes blagues), Jullien (le meilleur négociant), Sylvain (l'autre rire fameux de l'équipe), Sophie (et ses conseils pour l'iut2), Olfa (et les mêmes gâteaux que son frère), Benoît (appelé Big Ben du côté de Détroit), Alexandre (et son journal révolutionnaire), Lionel (l'homme aux lunettes de soleil), Sylvie et Julien (pour les nombreux thés bus chez eux), Julie (et son " manger time "), Bérangère [et Jers] (pour le vélo), aux pissouilles de cette année (Nicolas et Sylvain) et merci à tous les stagiaires qui ont égaillé nos étés. En particulier, merci à mes esclaves, Claudia et Didier, Julien (encore un autre) et Jullien (lui c'est le seul et unique avec 2 " L ").

Pendant ces quatre années, j'ai également découvert le métier d'enseignant, merci donc aux membres de l'équipes qui m'ont aidé, merci aux enseignants de l'UFR SHS de l'U2 (Jean Michel, Daniel, Jérôme, Benoît, Bernard) pour m'avoir si bien guidé pendant le monitorat et merci aux enseignants du département informatique de l'iut2 (Annick, Cécile, Christophe, Hervé et tous les autres) pour mon intégration au sein de l'équipe pédagogique et pour une année riche en enseignement.

Merci à tous mes autres amis grenoblois et des environs pour les bons moments passés avec eux. Je pense en particulier au club " le dragon insomniaque ", avec les amis de la première heure : Yann, Simon, Fred, Nicolas, Matthias, Yves, les Cédrics, Raoul et tous les autres, et les amis de la seconde génération : Nicolas (encore un), Droopy, Pascal, etc. Je pense aussi aux joueurs de cartes qui ont poussé des bouts de cartons avec moi (coucou Denis, Mathias, David, l'autre Droopy, etc.). Je ne peux oublier les membres du CJSD (un Cédric de plus, Pat, Yves et je m'arrête aux membres du bureau, désolé pour les autres :). Je n'oublie pas non plus les collègues footeux avec qui je me suis tant dépensé.

Merci à mes amis bisontins, notamment Sylvain, Fred, Vicent, Gaëtan, Maryline et la toute petite Florine, Christophe d'Andelarrot et tous les autres.

Mes derniers remerciements vont à ma famille qui a toujours été derrière moi.

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES 5

TABLE DES FIGURES 11

CHAPITRE I INTRODUCTION 15

1.Motivations 15

2.Objectifs 16

3.Collaborations 18

4.Structure du mémoire 18

CHAPITRE II INFORMATIQUE MOBILE ET COLLECTICIEL 21

1.L'informatique mobile 22
1.1.Définition 22
Nomadisme 22
Informatique ubiquitaire 22
Systèmes sensibles au contexte 22
Recherche de nouvelles techniques d'interaction 24
Notre approche de la mobilité 24
1.2.Exemples 25
Exemple d'un système sensible à la localisation exploitée ultérieurement 25
Exemple d'un système sensible à la localisation exploitée en temps réel 25
1.3.Outils de conception ergonomique 26
De nouveaux problèmes ? 26
Propriétés ergonomiques de la mobilité 27
1.4.Synthèse 29

2.Les collecticiels 29
2.1.Définition 29
2.2.Exemples 32
2.3.Outils de conception ergonomique 33

Le modèle Denver ... 33
Propriétés ergonomiques des collecticiels ... 35
La conscience de groupe ... *35*
Le WYSIWIS ... *36*
La réciprocité et l'identification ... *36*
2.4.Synthèse ... 36

3.Les collecticiels mobiles ... 37
3.1.Définition ... 37
Découpage spatial ... 37
Découpage temporel ... 38
Découpage spatio-temporel ... 38
3.2.Exemples ... 40
Cas confiné ... 40
Cas asynchrone ... *40*
Cas synchrone ... *40*
Cas temps d'utilisation Composés ... *41*
Cas vagabond ... 42
Cas synchrone, les utilisateurs sont ensembles ... *42*
Cas synchrone, les utilisateurs sont dispersés ... *43*
Cas confiné-vagabond ... 43
Cas asynchrone, asynchrone ... *43*
Cas synchrone, synchrone ... *44*
3.3.Outils de conception ergonomique ... 44
3.4.Synthèse ... 46

4.Conclusion ... 47

CHAPITRE III SYSTÈMES MIXTES, INFORMATIQUE MOBILE ET COLLECTICIELS 49

1.Les systèmes mixtes ... 50
1.1.Définition ... 50
Terminologie ... 51
Caractéristiques d'une augmentation ... 52
1.2.Exemples ... 54
Exemple d'augmentation de l'utilisateur ... 54
Exemple d'augmentation des objets ... 55
Exemple d'augmentation de l'environnement ... 55
Synthèse des exemples ... 55
1.3.Outils de conception ergonomique ... 56
1.4.Synthèse ... 57

2.Les systèmes mixtes mobiles ... 58
2.1.Définition ... 58
2.2.Exemples ... 59
Exemple d'interactions actives ... 59
Exemples d'interactions passives ... 60
Touring Machine ... *60*
Archeoguide ... *60*
Touch-Space ... *61*
2.3.Outils de conception ergonomique ... 61
2.4.Synthèse ... 62

3.Les systèmes mixtes collaboratifs ... 63
3.1.Définition ... 63
3.2.Exemples ... 65
Cas où les utilisateurs sont co-localisés ... 65
Cas où les utilisateurs sont distants ... 67
3.3.Outils de conception ergonomique ... 67
3.4.Synthèse ... 68

4.Conclusion ... 69

CHAPITRE IV LES SYSTÈMES MIXTES COLLABORATIFS ET MOBILES 71

1.Définition ... 72
1.1.Création des liens ... 72
1.2.Accès aux liens ... 73
1.3.Modification-destruction des liens ... 74

2.Traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles ... 74
2.1.localisation des liens ... 75
2.2.Trois types d'interaction ... 76
2.3.Asymétrie des rôles des utilisateurs par rapports aux liens ... 77

3.Exemples ... 78
3.1.Interactions pour des liens centrés autour d'un point fixe ... 78
Cas où la localisation est arbitraire ... 79
Cas où la localisation coïncide avec l'activité ... 80
3.2.Interactions pour des liens spécifiques à des utilisateurs co-localisés ... 80
Cas où la localisation est arbitraire ... 80
Cas où la localisation coïncide avec l'activité ... 81
3.3.Interactions pour des liens répartis dans l'espace d'utilisation ... 82
Cas où la localisation est arbitraire ... 82
Cas où la localisation coïncide avec l'activité ... 84

4.Démarche de conception ergonomique de systèmes mixtes collaboratifs et mobiles ... 86
4.1.Scénarios et processus de conception ... 87
4.2.Etapes de notre démarche de conception ... 88
4.3.Scénarios projetés ... 90
Scénarios projetés abstraits ... 90
Scénarios projetés concrets ... 91
4.4.Représenta-tion des scénarios ... 93
Graphe en ligne ... 93
Graphe des déplacements ... 94
Couplage du graphe des déplacements avec une description narrative ... 95
Représentation dynamique ... 96

5.Outils de conception pour la phase de spécifications externes ... 97
5.1.Trois cibles d'augmentation ... 97
5.2.Principes ergonomiques ... 98
Quatre directives de conception ... 98
Observabilité mixte ... 98
Cohérence de l'augmentation ... 99
Adaptabilité de l'augmentation ... 100
5.3.Notation de conception ... 100
Caractéristiques des objets dans les scénarios projetés ... 101
Caractère original ... 102
Nombre d'utilisateurs en présence ... 103
Utilisation de l'objet ... 103
Relation avec le savoir-faire ... 104
Notation ... 104
Eléments de la notation ... 104
Intérêts de la notation ... 108
Illustrations ... 112
Vers un diagramme ASUR ... 113
Principe de conversion ... 113
Illustrations ... 114

6.Synthèse ... 117

CHAPITRE V CONCEPTION LOGICIELLE 119

1.Architecture logicielle 119
1.1.PAC-Amodeus 120
Modèle Arch 120
Modèle multi-agent PAC 121
Modèle hybride PAC-Amodeus 122
PAC-Amodeus pour les collecticiels 123
1.2.Gestion des flux d'informations pour les SM collaboratifs et mobiles 124
1.3.Synthèse : Modèle d'architecture logicielle pour les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles 127

2.Techniques d'interaction générales 127
2.1.Spécification de trois techniques d'interaction générales 129
Comparaison entre des objets numériques et physiques 129
Réalité "cliquable" 130
Terrain augmenté 130
2.2.Plate-forme matérielle 132
Matériels utilisés 132
Utilisation de la plate-forme matérielle pour la réalisation des trois techniques d'interaction générales 133
2.3.Passerelle entre les mondes physique et numérique 134
Principe de la passerelle 135
Réalisation logicielle de la passerelle 135
Réalisation logicielle des trois techniques d'interaction générales 138
Réalisation de la comparaison 138
Réalisation de la réalité cliquable et du terrain augmenté 139
Programmation en Java 142
Simulation du capteur de localisation par magicien d'Oz 147

3.Conclusion 148

CHAPITRE VI DES RÉSULTATS CONCEPTUELS À LA RÉALISATION 149

1.Le système MAGIC 150
1.1.Archéologie : le domaine d'application 150
1.2.Analyse des Besoins 151
Analyse de la tâche réelle et Analyse de l'activité 152
Déroulement d'un cycle de prospection 152
Graphe en ligne et Graphe de déplacement 153
Description narrative 154
Arbre des tâches 154
1.3.Conception 156
Scénario projeté 157
Caractérisation des objets 157
Plan du site 157
Objets récemment découverts 158
Objets déjà découverts 159
Objets permettant la comparaison 159
Exemples de scénarios projetés représentés par des schémas 160
Spécifications externes 162
1.4.Conception logicielle 163
1.5.Bilan de MAGIC 166

2.Le système TROC 167
2.1.Motivations, objectifs et domaine d'application 167
2.2.Règles du jeu 168
Terrain de jeu 169
Les objets 169
Cubes magiques 169
Listes d'objets 169
Filtres de vision 170
Ramasser et poser une vignette 170
Voir et échanger des vignettes collectées 170

Le pouvoir magique . . . 171
Les actions magiques générales . . . 172
Borne . . . 172
Rechercher sur la carte . . . 172
Le superviseur . . . 172
2.3.Conception . . . 172
Caractérisation des objets . . . 173
Vignettes . . . 173
Cubes . . . 173
Borne . . . 174
Scénarios projetés sous forme de schémas . . . 175
Collecter une vignette . . . 175
Déposer une vignette . . . 175
Consulter le cube d'un autre . . . 175
Echanger deux vignettes . . . 176
Piéger une vignette . . . 176
Subir un piège . . . 177
Interagir avec sa borne . . . 177
Spécifications externes . . . 177
Interface sur la tablette . . . 177
Interface dans le casque . . . 179
2.4.Réalisation logicielle . . . 179

3.Evaluations . . . 182
3.1.Acceptation de la réalité mixte . . . 182
Objectifs de l'expérience . . . 182
Description de l'expérience . . . 182
Résultats de l'expérience . . . 183
3.2.Asymétrie des rôles et conscience de groupe . . . 184
Objectifs de l'expérience . . . 184
Description de l'expérience . . . 185
Résultats de l'expérience . . . 187
Partage d'un espace commun . . . 187
Conscience de groupe localisée . . . 188
Contact visuel . . . 188
Bilan de l'expérience . . . 189

4.Synthèse . . . 190

CHAPITRE VII CONCLUSION 193

1.Résumé des contributions . . . 193
1.1.Définitions . . . 193
1.2.Conception ergonomique . . . 195
1.3.Conception logicielle . . . 195
1.4.Réalisations et évaluations . . . 196

2.Limites . . . 196
2.1.Validation de l'apport des résultats de conception de l'interaction . . . 196
2.2.Limitations technologiques . . . 197
2.3.De la robustesse et du rendu . . . 198

3.Perspectives . . . 198
3.1.Comparaison entre l'activité réalisée avec ou sans un système mixte collaboratif sur supports mobiles . . . 199
3.2.Vers des composants . . . 199

BIBLIOGRAPHIE 201

ANNEXE A LES DOCUMENTS DE LA SECONDE SÉRIE D'EXPÉRIENCES 211

4.Instructions aux participants 211
4.1.Pour les deux participants 211
4.2.Pour le guide: 211
4.3.Pour le chercheur: 212

5.Liste des animaux à ramasser: 213

6.Procédure post-expérimentale 214
6.1.Questionnaire à propos d'experience collaborative de réalité augmentée du guide 214
6.2.Questionnaire à propos d'experience collaborative de réalité augmentée du chercheur 217

Table des figures

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES

CHAPITRE I INTRODUCTION

CHAPITRE II INFORMATIQUE MOBILE ET COLLECTICIEL

. 1 le modèle du trèfle 30
. 2 les situations d'interaction du modèle Denver 34
. 3 les protocoles des interactions humaines du modèle Denver 35

CHAPITRE III SYSTÈMES MIXTES, INFORMATIQUE MOBILE ET COLLECTICIELS

. 1 deux continua des systèmes mixtes 52
. 2 la modélisation du musée augmenté avec ASUR 57
. 3 la description ASUR++ du musée augmenté 62
. 4 les deux types de SM collaboratifs selon que les utilisateurs sont a) ensembles et b) distants 63

CHAPITRE IV LES SYSTÈMES MIXTES COLLABORATIFS ET MOBILES

. 1 la méthode de conception 89
. 2 le graphe en ligne : une prospection archéologique à trois utilisateurs V, C et M 93
. 3 le graphe des déplacements : prospection archéologique à trois utilisateurs V (rose), C (bleu) et M (rouge) 94

. 4 un zoom sur le graphe de déplacements 95
. 5 le graphe de déplacement pour un visiteur du Louvre 96
. 6 la caractérisation des objets 102
. 7 la représentation des utilisateurs 105
. 8 la représentation des objets 105
. 9 la représentation des données spatiales 106
. 10 la représentation des relations particulières 107
. 11 la caractérisation de l'œuvre d'art dans le système NaviCam+ 108
. 12 les schémas pour les scénarios projetés du système NaviCam+ 109
. 13 les schémas pour les scénarios projetés du système NaviCam+ avec un visiteur instrumenté 110
. 14 le schéma pour les scénarios projetés du système NaviCam+ synchrone avec des utilisateurs co-localisés 110
. 15 le schéma pour les scénarios projetés du système NaviCam+ synchrone avec des utilisateurs co-localisés et le visiteur instrumenté 111
. 16 le schéma pour les scénarios projetés du système NaviCam+ synchrone avec des utilisateurs co-localisés et l'expert instrumenté 111
. 17 le schéma pour les scénarios projetés du système NaviCam+ synchrone avec des utilisateurs co-localisés et instrumentés 111
. 18 le schéma pour les scénarios projetés du système NaviCam+ synchrone avec des utilisateurs distants 112
. 19 un scénario pour la réparation de vélo [Kraut 1996] 112
. 20 un scénario abstrait pour le jeu d'échec augmenté [Reitmayr 2001] 113
. 21 le diagramme ASUR augmenté pour le système de réparation de vélo [Kraut 1996] 115
. 22 le diagramme ASUR augmenté pour le jeu d'échec mixte [Reitmayr 2001] 116

CHAPITRE V CONCEPTION LOGICIELLE

. 1 le modèle Arch 121
. 2 un agent PAC, avec son abstraction (A), sa présentation (P) et son Contrôle (C) 122
. 3 le modèle PAC-Amodeus 122
. 4 PAC-Amodeus appliqué aux collecticiels 123
. 5 les trois flux des données contextuelles dans le modèle d'architecture PAC-Amodeus pour un client 125
. 6 le scénario projeté pour la comparaison active 130
. 7 le scénario projeté pour la comparaison passive 130
. 8 le scénario projeté pour la réalité cliquable 131
. 9 le scénario projeté pour le terrain augmenté 131
. 10 la plate-forme matérielle 132
. 11 une utilisatrice équipée avec la plate-forme matérielle 133
. 12 le principe du terrain augmenté adapté à la plate-forme matériel 133
. 13 la duplication des événements souris depuis la passerelle vers le casque 135
. 14 les hiérarchies théoriques d'agents PAC possibles pour la passerelle 136
. 15 l'architecture PAC dans le Contrôleur de Dialogue pour la passerelle entre les mondes physique et numérique 137
. 16 les échanges de messages pour le glisser-déposer d'une image provenant d'une base de données dans la passerelle 138
. 17 les échanges de messages pour la réalité cliquable 140
. 18 les messages créés au sein de l'agent Terrain Augmenté 141
. 19 un extrait du fichier C_ AugmentedStroll.java 143
. 20 un extrait du fichier P_AugmentedStroll.java 144
. 21 un extrait du fichier A_ AugmentedStroll.java 145
. 22 la réalisation du magicien d'Oz 147

. 23 l'interface utilisée pour la communication avec les java RMI 148

CHAPITRE VI DES RÉSULTATS CONCEPTUELS À LA RÉALISATION

. 1 la représentation globale de l'activité de prospection 152
. 2 le graphe en ligne pour une séquence de l'exploration d'un site avec la légende complète 153
. 3 la description narrative illustrée de la découverte d'un indice historique 154
. 4 la notation HTA 154
. 5 le sommet de l'arbre des tâches pour le système MAGIC 155
. 6 la partie de l'arbre des tâches concernant le relevé de terrain 155
. 7 la partie de l'arbre des tâches concernant l'analyse du site (potentiel) de fouille 156
. 8 la partie l'arbre des tâches concernant la coordination entre les utilisateurs 156
. 9 une description narrative du scénario projeté de la séquence K 157
. 10 la caractérisation du plan du site 158
. 11 la caractérisation d'un objet récemment découvert 158
. 12 la caractérisation d'un objet déjà découvert et retiré du site 159
. 13 la caractérisation d'un objet permettant la comparaison 160
. 14 C découvre un indice important, le numérise et appelle V 161
. 15 C ramasse l'indice et observe la représentation numérique localisée de la découverte 161
. 16 V et M ont rejoint C et ils recherchent ensemble des indices autour de l'indice découvert par C 161
. 17 une copie d'écran de l'interface sur la tablette du système MAGIC 162
. 18 un photomontage proche de ce que perçoit l'utilisateur de MAGIC dans le casque semi-transparent 163
. 19 l'architecure logicielle du système MAGIC suivant le modèle PAC-Amodeus adaptées aux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles 164
. 20 le Contrôleur de Dialogue du système MAGIC 165
. 21 la caractérisation des vignettes de TROC 173
. 22 la caractérisation des cubes de TROC 174
. 23 la caractérisation de la borne propre à chaque joueur de TROC 174
. 24 le scénario projeté de la collecte d'un objet 175
. 25 le scénario projeté de la dépose de vignette sur le terrain 176
. 26 le scénario projeté de la consultation d'un cube d'un autre joueur 176
. 27 le scénario projeté de l'échange de deux vignettes collectées 176
. 28 le scénario projeté du piégeage d'une vignette 176
. 29 le scénario projeté du déclenchement d'un piége, l'exemple avec "faire disparaître un objet" 177
. 30 le scénario projeté de l'interaction entre un utilisateur et sa borne 177
. 31 l'interface du système TROC sur la tablette 178
. 32 un photomontage de l'interface dans le casque du système TROC 179
. 33 l'architecure logicielle du système TROC suivant le modèle PAC-Amodeus adaptées aux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles 180
. 34 le Contrôleur de Dialogue du système TROC 181
. 35 le parcours d'un des utilisateurs pendant la seconde expérimentation 186
. 36 une échelle de 10 mm et continue de Likert 187

CHAPITRE VII CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

Chapitre I Introduction

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM). Les thèmes de recherche sont les IHM sur Supports Mobiles, les Collecticiels et la Réalité Mixte. Nous visons à définir, concevoir et comprendre l'usage des systèmes mixtes collaboratifs en situation de mobilité. Nos travaux ont trait à la conception ergonomique et logicielle de tels systèmes.

1. Motivations

L'émergence de nouveaux services liée au développement rapide des technologies mobiles de communication pose le problème de l'anticipation des usages et de l'évaluation de ces services du point de vue de leur acceptabilité par les utilisateurs potentiels. Actuellement la majorité des services sur supports mobiles est essentiellement tournée vers des situations d'interaction entre un agent et des ressources informationnelles accessibles via un terminal mobile. Grâce à la capacité grandissante des moyens de communication, les études de services sur supports mobiles peuvent maintenant se concentrer sur les systèmes coopératifs qui font apparaître de nombreux enjeux sociaux et économiques. La notion de groupe d'utilisateurs est alors la clé de voûte de ces collecticiels et l'émergence de nouveaux systèmes coopératifs sur supports mobiles implique de comprendre les situations d'activités coopératives à distance. En effet, ces situations constituent un débouché potentiellement important pour les technologies mobiles, mais requièrent le lancement d'études spécifiques visant à mettre en évidence les propriétés des situations de

coopération à distance, à identifier les besoins fonctionnels associés et à évaluer les options de conception de l'interface, basées sur ces besoins.

Pour illustrer ces besoins, nous prenons l'exemple des activités d'archéologues, l'archéologie étant l'un de nos deux domaines d'application. Sur un champ de fouille, les activités des archéologues se découpent actuellement en deux parties :

- Les activités sur le site : il s'agit de la fouille proprement dite, de la recherche et de la collecte d'indices. Le site n'est pas toujours libre d'accès et les archéologues optimisent le temps sur site pour collecter un maximum d'indices. Cette recherche se fait en collaboration avec l'équipe sur place.
- Les activités hors site : il s'agit avant tout de l'analyse des découvertes. Ce travail peut nécessiter la consultation d'experts distants. La démarche peut être longue : il faut prendre contact avec l'expert, lui faire parvenir les indices (souvent des moulages) et attendre la réponse. Le travail d'analyse exploite aussi les résultats déjà connus : les archéologues explorent alors des bases de données connexes à leur fouille afin de comparer et de trouver des similitudes ou des différences notables. Tous les travaux de fouille enrichissent les bases de données : il faut donc numériser les informations collectées. Il s'agit d'une étape longue et fastidieuse. Finalement, l'analyse d'une fouille repose souvent sur des plans où sont positionnées les découvertes. Les archéologues doivent donc reconstruire le site de fouille afin de l'analyser dans son ensemble.

Nous soulignons alors l'ambivalence des activités de fouilles archéologiques : d'une part les activités de collecte d'information et d'autre part l'analyse qui oriente la fouille et qui constitue l'apport archéologique de la fouille. De plus, la consultation d'experts distants, la numérisation, la reconstitution du site sont des étapes fastidieuses qui ralentissent la fouille. Dans ce contexte, les besoins sont doubles : faciliter les étapes de travail et les rendre plus rapides. Face à ces besoins, notre hypothèse est la suivante : juxtaposer les deux facettes de l'activité (sur site et hors site) doit permettre de rendre le travail des archéologues plus facile et plus rapide. Nous nous tournons alors vers la fusion du monde physique et du monde numérique, les systèmes mixtes.

2. Objectifs

L'exemple ci-dessus souligne le besoin d'une interaction nouvelle dans le cadre d'activités de groupe, sur site et en situation de mobilité. Nous

avons opté pour une fusion harmonieuse du monde physique et du monde numérique. Cette fusion consiste à unifier le monde numérique avec les activités des utilisateurs qui doivent se réaliser dans leur environnement physique. Dans ce contexte, notre objectif global est donc de comprendre, de cerner et de contribuer à l'espace de conception ergonomique et logicielle des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles.

La mobilité, la collaboration et la fusion du monde physique et du monde numérique constituent les trois facettes de nos travaux et ouvrent des perspectives nouvelles pour l'interaction tout en augmentant la complexité de la conception par l'ajout de paramètres. Face à l'éventail des possibilités et à la complexité de conception, nos objectifs sont :

- Définir les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles : il existe un flou sur la définition des systèmes mixtes et à fortiori sur les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Il est donc important de définir la nature de tels systèmes afin de les appréhender, de les comprendre.
- Concevoir les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles : outre la définition des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, il est nécessaire de caractériser ce qui lie le monde numérique et le monde physique. Les caractéristiques et les propriétés des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles sont les éléments sur lesquelles s'appuie la conception de tels systèmes. Les identifier permet de les contrôler. Il s'agit aussi de mettre en œuvre des outils logiciels génériques pour le développement de systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Nous visons la réalisation de nouvelles techniques d'interaction de réalité mixte.
- Evaluer l'usage des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles : par le biais d'expériences utilisateurs menées sur des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, nous visons à évaluer l'acception et la perception de la réalité mixte dans les interactions intervenant à la fois dans le monde physique et dans le monde numérique.

Ces objectifs s'appuient sur la démarche scientifique suivante :

1. l'identification de caractéristiques motivées par les sciences cognitives et le génie logiciel,
2. l'organisation des caractéristiques en espaces conceptuels permettant de comprendre la nature d'un phénomène, et/ou de raisonner sur des choix de conception,
3. l'intégration logicielle des éléments conceptuels sous forme d'architectures logicielles, d'outils ou de nouvelles techniques d'interaction.

Ce faisant, les concepts, les modèles et les outils produits interviennent sur l'ensemble du processus de développement d'un système interactif : définition des besoins, conception ergonomique, conception logicielle (architecture), réalisation logicielle et évaluation.

3. Collaborations

Les travaux décrits dans ce mémoire sont le fruit de collaborations. Une partie des travaux s'inscrit dans les projets exploratoires France Télécom Houria [Houria 2001][Houria 2002], décrits dans [Nigay 2002a], dirigés par l'équipe UCE (Usage, Créativité et Ergonomie) de France Télécom Recherche et Développement et en particulier Laurence Pasqualetti, ergonome. Sur le projet Houria II, nous avons également collaboré avec l'équipe GRIC (Groupe de Recherche en Ingénierie Cognitive) de l'IRIT (Institut de Recherche en Informatique de Toulouse), en particulier Pascal Salembier, qui est psychologue-ergonome. Nos partenaires sont donc des ergonomes et des psychologues, apportant leurs compétences dans les domaines de l'analyse des besoins et de l'expérimentation avec les utilisateurs. Nous avons également collaboré avec Dr Leon Watts, chercheur en psychologie appliquée à l'Interaction Homme-Machine de l'Université de Bath (Angleterre).

4. Structure du mémoire

La structure en chapitres de ce mémoire reflète notre démarche de recherche :

- Dans un premier temps, nous avons étudié les trois facettes de notre étude : l'informatique mobile et les collecticiels dans le chapitre II puis les systèmes mixtes dans le chapitre III.
- Au chapitre IV, nous sommes alors en mesure de définir les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles et de fournir des éléments de conception ergonomiques de tels systèmes.
- Puis, au chapitre V, nous présentons nos apports en terme de conception logicielle des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Finalement, au chapitre VI, nous appliquons nos résultats liés à la conception ergonomique et logicielle au cas de deux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles que nous avons réalisés. Nous relatons aussi les résultats des expériences utilisateurs que nous avons menées.

Dans le chapitre II, nous étudions deux des trois facettes de notre étude : l'informatique mobile et les collecticiels. Nous étudions également les collecticiels mobiles. En terme de conception, il est alors nécessaire de mettre en avant les influences mutuelles des facettes entre elles car les systèmes que nous étudions sont plus qu'une simple juxtaposition d'un système sur supports mobiles et d'un collecticiel. Dans le chapitre III, nous poursuivons notre démarche en étudiant les systèmes mixtes, les systèmes mixtes mobiles et les systèmes mixtes collaboratifs. Dans les

chapitres II et III, chaque classe identifiée de systèmes par la combinaison des trois traits (mobile, collaboratif et mixte) est analysée et présentée selon la structure suivante : définition, illustration, description des outils pour la conception ergonomique et synthèse enrichie de nos contributions.

Dans le chapitre IV, nous définissons les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Nous étudions ces systèmes à travers les caractéristiques des liens maintenus entre les mondes physique et numérique. Nous présentons ensuite des exemples de systèmes mixtes collaboratifs et mobiles puis nous traitons de leur conception ergonomique. Notre contribution réside dans une démarche basée sur les scénarios, la caractérisation des objets utilisés dans les interactions mixtes et une notation pour schématiser les scénarios projetés qui décrivent l'activité future de l'utilisateur avec le système à développer.

Dans le chapitre V, nous poursuivons l'étude des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles à travers la conception logicielle et en particulier l'architecture logicielle globale. Puis, nous présentons des techniques d'interaction génériques que nous avons conçues et réalisées sur notre plate-forme.

Dans le chapitre VI, nous présentons deux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles que nous avons développés dans le cadre de cette étude. Le premier, MAGIC, est dédié au travail de fouilles archéologiques. Le second, TROC, est un jeu qui nous a permis de réaliser des tests utilisateurs.

Finalement, dans le chapitre VII, nous concluons cette étude par une synthèse de nos contributions tant au niveau de la définition que de la conception et de la réalisation. Nous élargissons ensuite le cadre d'étude par l'esquisse de perspectives conceptuelles et techniques.

Une annexe est incluse à la fin du mémoire. Celle-ci présente les documents fournis aux sujets de la seconde série d'expérimentions de notre jeu TROC.

Chapitre II *Informatique mobile et collecticiel*

Notre étude porte sur la conception ergonomique et logicielle des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Les trois facettes de notre étude sont donc : l'informatique mobile, les collecticiels et les systèmes mixtes. Tout au long de ce mémoire nous soulignons le fait que ces trois facettes ne sont pas indépendantes et ont des influences mutuelles.

Ce chapitre est consacré aux collecticiels sur supports mobiles que nous désignerons par soucis de concision "collecticiels mobiles". Puis, dans le chapitre III, nous présentons les systèmes mixtes et l'influence de la mobilité et de la collaboration sur la conception de tels systèmes mixtes. Enfin dans le chapitre IV, nous présentons une démarche de conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, qui organise les outils de conception des Chapitres II et III au sein d'un canevas intégrateur.

Ce chapitre dédié aux collecticiels mobiles est organisé comme suit : la partie 1 de ce chapitre est consacrée aux systèmes mobiles tandis que la partie 2 aux systèmes collaboratifs. Nous étudions dans la partie 3 la conception des collecticiels mobiles, en soulignant l'influence mutuelle de la mobilité et de la collaboration sur la conception. Les trois parties du chapitre sont structurées selon le schéma suivant : après une définition et des exemples illustratifs, nous exposons les outils de conception existants. Nous concluons chaque partie par une synthèse enrichie de nos contributions.

1. L'informatique mobile

1.1. DÉFINITION

La mobilité caractérise ce qui peut se mouvoir ou être mû, ce qui peut changer de place, de position. Cette notion intuitive de l'activité humaine se traduit cependant par trois aspects différents, et autant d'approches, dans le domaine de l'informatique : le nomadisme, l'ubiquité, les systèmes sensibles au contexte (que nous réduisons dans le cadre de notre étude aux applications sensibles à la localisation). Dans un premier temps, nous présentons ces trois axes de recherche non disjoints. Puis nous étudions les travaux sur les techniques d'interaction pour les utilisateurs mobiles, ces travaux étant orthogonaux aux trois axes de recherche cités ci-dessus. Nous concluons la définition de l'informatique mobile par l'exposé de l'approche que nous avons retenue dans le cadre de notre étude.

Nomadisme

La première façon de considérer l'informatique mobile consiste à fournir un dispositif portable aux utilisateurs. L'utilisation de ces dispositifs reste néanmoins immersive, c'est-à-dire que l'usage de ces dispositifs requière toute l'attention de l'utilisateur et s'applique à tout déplacement, indépendamment de celui-ci. Cette approche est souvent appelée *nomadisme*, bien que ce terme puisse prendre d'autres significations dans d'autres domaines, comme dans les systèmes distribués où le nomadisme désigne la capacité d'un système à fournir à chaque utilisateur son environnement de travail sur n'importe quelle station.

L'un des exemples les plus connus de nomadisme sont les ordinateurs portables, que nous amenons avec nous, afin d'emporter notre environnement informatique de travail. Le grand public connaît mieux les consoles de jeux portables, comme la *Game Boy Advance* [Nintendo].

Informatique ubiquitaire

La deuxième façon de considérer l'informatique mobile est de l'inscrire dans une approche plus globale que constitue l'informatique ubiquitaire. L'informatique ubiquitaire, appelée également informatique pervasive, a pour but de rendre accessible toutes sortes de services, n'importe où, tout en masquant l'ordinateur. Cette volonté d'affranchir l'utilisateur des contraintes actuelles d'utilisation d'un ordinateur (être assis devant un clavier, un écran, etc.) lui rend sa liberté d'actions, notamment sa liberté de mouvement. L'ubiquité permet donc souvent la mobilité.

Systèmes sensibles au contexte

Les systèmes sensibles au contexte sont des systèmes dont l'interaction dépend de l'environnement physique de l'utilisateur. A défaut de consensus sur le terme contexte, nous retenons la définition du contexte physique comme toutes données physiques mesurées [Gray 2001]. Un

exemple de donnée mesurable est la localisation de l'utilisateur, il s'agit alors de systèmes sensibles à la localisation (*location-aware systems*).

Il existe différents niveaux de précision dans la localisation, différents niveaux d'échelle. Un continuum allant des coordonnées précises par rapport à un repère déterminé, à une localisation par zone est présenté par la taxonomie des différents types d'espace dans [Dix 2000]. Cette taxonomie souligne et organise les niveaux de précision dans la localisation d'un utilisateur.

Raisonner en termes de coordonnées cartésiennes n'aboutit pas aux mêmes possibilités que de raisonner en termes de zones d'utilisation. Appliquer cette distinction à l'exemple de l'introduction partie 2 du chapitre I page 16 sur l'archéologue désirant accéder aux découvertes d'un site, nous obtenons les deux possibilités suivantes :

- D'une part, si nous disposons d'une localisation précise, le système informatique peut alors lui signifier les objets qui ont été trouvés à proximité.
- D'autre part, si seule sa présence sur un site est mesurée, le système informatique ne peut fournir à l'archéologue que tous les objets découverts sur le site, sans pouvoir "filtrer" ceux-ci en fonction de sa position. La tâche incombe alors à l'archéologue de retrouver l'information dont elle/il a besoin.

Dans le premier cas, lorsque l'archéologue est localisé sur le site, il n'est possible que de lui présenter les objets à proximité, dans un rayon d'influence qui reste à déterminer (soit à la conception, soit en option par l'utilisateur, soit par une adaptation automatique du logiciel). Ce n'est certainement pas satisfaisant pour l'archéologue. Pour indiquer à l'archéologue les objets à leurs places initiales, il convient de considérer aussi l'orientation de l'archéologue, information complémentaire à la localisation. En fonction des moyens techniques mis en œuvre, cette orientation peut être celle du regard ou celle du dispositif utilisé. Disposant du couple d'information localisation et orientation, le système peut alors filtrer les informations disponibles selon la direction du regard de l'utilisateur.

Transversalement, il existe deux approches aux traitements des informations collectées durant un mouvement : une approche qui consiste à traiter l'information sur place, notamment parce que la tâche à effectuer le requiert et l'autre approche consiste à collecter les informations afin de les considérer ultérieurement, souvent avec des capacités de traitement supérieures à ce que proposent les dispositifs mobiles.

Recherche de nouvelles techniques d'interaction

Orthogonalement aux trois axes de recherche de l'informatique mobile décrits ci-dessus, nous trouvons de nombreux travaux sur l'étude des techniques d'interaction mobile et la recherche de nouvelles formes d'interactions sur supports mobiles.

Un exemple d'étude des techniques d'interaction mobile est l'interaction avec un stylo sur une surface tactile dans [Mizobuchi 2002]. L'étude est centrée sur la taille et le nombre requis de cibles sur une petite surface d'affichage, en comparaison avec un curseur. Les résultats montrent une plus grande rapidité d'interaction avec le stylo, mais si les cibles sont trop petites (c'est à dire d'une taille inférieure à 5 mm), les erreurs sont trop nombreuses.

Un exemple de recherche de nouvelles formes d'interaction est la technique d'interaction présentée dans [Yee 2003]. Cette technique d'interaction est un moyen d'agrandir la surface d'interaction avec un assistant personnel électronique (PDA) : Peephole Displays. Ce système repose sur la localisation du PDA dans l'espace, permettant de considérer le PDA comme une loupe magique [Bier 1993] au-dessus d'un document "invisible". En déplaçant le PDA, l'utilisateur navigue sur le document "invisible", trop grand pour être afficher sur le PDA. Seul une partie du document est affiché sur le PDA selon la position de ce dispositif.

Un cadre de référence pour de tels travaux est l'approche *Baby Face Interface* [Marcus 1998], le nom étant dû aux écrans de petites tailles.

Notre approche de la mobilité

Les frontières entre ces approches ne sont pas strictes. Il existe des applications à la fois nomades et sensibles aux contextes. Il s'agit de systèmes où le but est de fournir des services intrinsèquement propres à l'utilisateur, en dehors de toutes considérations géographiques. L'aspect sensible au contexte n'est utilisé que pour adapter le système informatique aux conditions d'utilisation, comme une baisse de luminosité, une augmentation du volume sonore ambiant, etc. De même, l'ubiquité n'est antagoniste ni avec le nomadisme, ni avec les systèmes sensibles à la localisation. Nous pouvons vouloir offrir la possibilité à toute personne de recevoir des messages où qu'elle soit, et cela s'approchera du nomadisme. A l'inverse, nous pouvons désirer adapter les outils informatiques d'une personne en fonction de son environnement, en téléchargeant les services (programmes et données) dont elle a besoin [Kortuem 2000]. Il en résulte que l'informatique mobile constitue des domaines de recherche de recherche riches et vastes. Nous devons donc situer nos travaux par rapport à ces domaines de recherche.

Nous étudions l'utilisation de la réalité mixte pour des utilisateurs en situation de collaboration et de mobilité. Nous avons donc restreint la mobilité aux cas où elle est induite par l'activité de l'utilisateur :

- l'utilisateur se déplace car elle/il doit se déplacer pour effectuer son activité, comme une collecte d'objet,
- et/ou le déplacement de l'utilisateur est une technique d'interaction avec des données ayant une localisation dans le monde physique, le mouvement des utilisateurs étant interprété comme des entrées pour le système interactif, comme l'illustre l'accès aux informations sur les bâtiments avec la *Touring Machine* [Feiner 1997] que nous présentons au chapitre III partie B.

La localisation de l'utilisateur vis-à-vis de son environnement est alors un point crucial. Notre objectif se situe donc dans l'approche sensible au contexte, en tant que système sensible à la localisation (le terme utilisé en anglais est *location-aware*).

En conséquence, nous retenons de la mobilité l'aspect sensible à la localisation et à l'orientation de l'utilisateur.

1.2. EXEMPLES

Afin d'illustrer l'informatique mobile sensible à la localisation, nous allons décrire deux exemples selon qu'ils permettent le traitement de l'information ultérieurement ou en temps réel (pendant les déplacements de l'utilisateur).

Exemple d'un système sensible à la localisation exploitée ultérieurement

Le système présenté dans [Iacucci 2003] permet l'enregistrement de données multimédias lors d'un parcours. Appliqué à la visite de lieux dans le cadre de travaux pratiques en architecture, le système permet aux étudiants de se concentrer sur l'exploration puis d'exploiter les données recueillies plus tard. En effet, les étudiants effectuent leur visite et prennent des photographies ou des notes. Le système enregistre la position des étudiants au cours de la visite et il associe les lieux aux données multimédias enregistrées. Il n'y a donc peu d'interactions pendant la visite. Le traitement des informations collectées est reporté ultérieurement. Ce traitement se fait alors sans contrainte due aux déplacements, sur une station de travail classique. A cet effet, le système fournit des outils pour la navigation et la manipulation des chemins enregistrés : les étudiants peuvent alors revivre leurs visites et procéder aux analyses architecturales.

Exemple d'un système sensible à la localisation exploitée en temps réel

Les travaux relatés dans [Pascoe 2000] concernent la mobilité sur le site de travail, l'interaction étant influencée par la localisation. Appliquant la notion de "*Minimal Attention User Interfaces*", ce qui signifie "les interfaces requerrant le minimum d'attention de l'utilisateur", un prototype a été testé par des écologistes observant des girafes au Kenya. Le relevé d'information sur l'activité des girafes (comportements sociaux, nourritures en qualité et quantité, etc.) nécessite l'observation d'un être humain et ne peut pas être automatisé. L'écologiste doit surveiller, suivre

et analyser les animaux tout en prenant des notes sur un PDA. Des outils ont été conçus afin d'aider les écologistes dans leurs tâches :

- l'interface sur le PDA est adaptée à une interaction à une seule main,
- et les formulaires sont prédéterminés avec des informations proposées automatiquement.

Chaque champ à remplir pour une situation donnée (prédéterminée par l'analyse de l'activité) se fait sur une page spécifique (de la taille de l'écran). Le système associe automatiquement la prise de note à la position de l'écologiste. Ceci permet la collecte des données avec un minimum d'effort. Par ailleurs, une carte propose une vue des données collectées en fonction de leur position. Il est alors possible à l'écologiste d'analyser le comportement des animaux observés pendant l'observation.

1.3. OUTILS DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

De nouveaux problèmes ?

Force est de constater que la mobilité ne semble pas introduire de nouveaux problèmes, elle ne fait qu'exacerber des difficultés existantes. Par exemple, la déconnexion réseau existait avant les réseaux sans fils, surtout quand le matériel était moins fiable qu'aujourd'hui. De même, la petitesse des écrans mobiles sont des éléments connus dans les systèmes embarqués, les processus de contrôle et de régulation dans l'industrie ou encore plus simplement quand les écrans de nos stations de travail (512x342 pixels en noir et blanc pour le premier macintosh 128K) avaient de moins bonnes résolutions que les ordinateurs de poche actuels (généralement 320x240 en 64000 couleurs) ou des tablettes PC (d'une résolution minimale de 800x600 pixels). De même, la puissance de calcul en terme de processeur et de mémoire des dispositifs actuels dépassent largement les capacités des premières stations personnelles : les ordinateurs de poche sont cadencés à 300 MHz avec 64 Mo de mémoire vive, les premiers ordinateurs familiaux possédaient des processeurs moins rapides et beaucoup moins de mémoire vive. A titre de référence, le macintosh 128K avait un processeur 68000 à 8 MHz et 128 KB de RAM. Visiblement, la mobilité se traduit actuellement par une dégradation de nos moyens informatiques, et les connaissances nécessaires à la conception d'interface sur ces unités mobiles peuvent paraître déjà disponibles. Ce constat explique pourquoi beaucoup de travaux de recherche en informatique mobile appartiennent au domaine de la recherche appliquée.

Cependant, un paramètre nouveau est à considérer lors de la conception. Désormais, les utilisateurs possèdent une référence forte avec les situations fixes. Il est devenu courant d'utiliser un ordinateur. Si nous envisageons l'introduction de l'ordinateur mobile dans une activité

particulière, comme l'archéologie, c'est qu'actuellement, le travailleur mobile collecte les informations puis les numérise de retour dans son bureau. Donc, si l'outil informatique est connu, il est alors important de garder une cohérence d'utilisation entre l'usage de la station fixe et celui du dispositif mobile.

Mais cette cohérence soulève un paradoxe. D'une part, il faut rechercher la cohérence entre les interfaces sur les supports mobiles et les interfaces classiques suivant le paradigme d'interaction WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointing devices*). D'autre part, le paradigme WIMP est à remettre en cause dans le cadre d'une utilsiation en situation de mobilité. Dans [Rhodes 1997], les raisons suivantes sont avancées :

- WIMP implique une taille d'écran conséquente. "*The user has screen real-estate to burn*."
- WIMP implique que l'utilisateur soit capable de manipuler le curseur de façon précise . "*The user has fine motor control*."
- WIMP implique que le centre d'intérêt de l'utilisateur est constitué des informations affichées à l'écran. "*Digital information is the primary task*."

Outre ce souci de cohérence des interfaces, la variabilité du contexte d'utilisation n'a jamais été aussi grande qu'avec le développement de l'informatique mobile. Les systèmes sensibles au contexte sont la réponse à ce problème. Bien que la définition de contexte soit assez discutée, certaines données physiques sont couramment intégrées dans cette définition : la localisation de l'utilisateur, son orientation mais aussi le temps. La relation entre le temps et l'espace est assez singulière dans le cadre de la mobilité. Partant de l'hypothèse que le chemin parcouru, partie intégrante de la tâche à réaliser, caractérise l'interaction, l'association entre le temps et le lieu permette la description de l'usage du système informatique. Le lieu en relation avec la tâche ne prend alors tout son sens qu'en fonction de la période considérée. Il en résulte des intersections des axes de l'espace et du temps, les deux axes n'étant définitivement plus indépendants. Il convient alors d'indexer les données produites et les interactions réalisées lors d'un usage mobile par le temps. C'est ce qui est proposé dans [Pascoe 2000].

Propriétés ergonomiques de la mobilité

Les propriétés ergonomiques résultent d'une volonté de quantifier la qualité des interfaces Homme-Machine. Ces propriétés interviennent en tant que guides lors de la conception ergonomique, mais aussi lors des évaluations expérimentales comme éléments à mesurer.

Dans [Pascoe 2000], l'interaction d'un travailleur avec un outil informatique mobile sur son site de travail est étudiée. Ce type d'interaction est caractérisé par quatre propriétés ergonomiques : des configurations utilisateurs dynamiques (*Dynamic User Configuration*),

une attention limitée (*Limited Attention Capacity*), des interactions rapides (*High-Speed Interaction*) et des dépendances au contexte (*Context Dependancy*). L'attention limitée est la propriété ergonomique propre aux situations de mobilité.

Pour répondre à l'attention limitée, des interfaces spécifiques pour une utilisation à une seule main sont développées, comme il est décrit dans la sous-section "Exemple d'un système sensible à la localisation exploitée en temps réel" page 25. Ce principe de minimiser l'attention sur l'interface graphique est également identifié dans [Ciavarella 2003]. La réponse choisie repose sur le choix d'une autre modalité que celle requise par l'activité. Par exemple, pour des activités d'observation comme la visite d'un musée, le son constitue une autre modalité utilisée par les interactions en sortie. Ceci permet d'assurer la continuité entre la tâche de l'utilisateur qui requiert essentiellement son attention visuelle et les informations fournies par l'ordinateur à travers des sons ou des paroles. Certains sons servent par exemple à rassurer l'utilisateur dans sa progression en témoignant du bon fonctionnement du système. Dans le système développé pour guider les visiteurs d'un musée sur un PDA [Ciavarella 2003], un son est émis lorsque l'utilisateur entre dans une salle pour confirmer que le système à détecter sa présence. Par ailleurs, la localisation et l'orientation (du regard) de l'utilisateur sont des données importantes pour aider les visiteurs à se repérer dans le musée. Chaque visiteur équipé d'un PDA dispose de la carte de la section du musée où elle/il est, la carte étant affichée sur son PDA selon l'orientation qu'elle/il avait lorsqu'elle/il est arrivé dans la section. Il résulte des deux travaux [Pascoe 2000] et [Ciavarella 2003] les critères ergonomiques suivant :

- Minimiser l'attention nécessaire de l'utilisateur pour interagir avec le système afin que ce dernier se focalise sur son activité (dans le monde physique). Ceci est atteint par une adaptation de l'interaction à la tâche à effectuer, en tenant compte du contexte d'interaction au moment de cette tâche. Ceci est illustré par la réalisation des formulaires dans [Pascoe 2000].
- Exploiter la localisation de l'utilisateur sur une carte des lieux de l'activité. La localisation est alors considérée comme un élément du contexte d'utilisation. Exploiter la localisation se traduit par une carte. Elle permet à l'utilisateur de s'orienter, de se localiser, d'élaborer des repères géographiques dans [Ciavarella 2003]. Dans [Pascoe 2000], la carte permet de visualiser les données collectées sur le terrain, mais aussi d'interagir avec. C'est un élément déterminant puisque la donnée collectée perd quasiment tout son sens si l'endroit de la collecte est ignoré. La carte est donc un élément central des systèmes mobiles, permettant à la fois d'aider l'utilisateur dans ses déplacements mais aussi d'offrir un support de travail et d'analyse.

1.4. SYNTHÈSE

Nous retenons de la mobilité l'aspect sensible au context, en le réduisant à la localisation et à l'orientation de l'utilisateur. Lorsque la localisation est une donnée centrale à la tâche à effectuer pour l'utilisateur, les systèmes peuvent alors permettre le traitement des informations sur place, pendant le déplacement ou au contraire proposer d'enregistrer le chemin parcouru pour le rejouer a posteriori. Le traitement de la localisation se fait par zone, dont la précision a une influence sur les interactions possibles. La zone la plus précise est un point. En fait, les coordonnées cartésiennes mesurées sont données avec une certaine erreur, ce qui définit une zone étroite de possibilité de position. A l'inverse, la localisation peut être considérée en terme plus ou moins précis, comme une pièce, un étage, un bâtiment, un quartier, une ville, etc. Nous soulignons ici le problème de la précision de la localisation, problème important dans notre étude.

Avant d'étudier le couplage des collecticiels avec les systèmes sur supports mobiles (sensibles à la localisation et à l'orientation), il convient d'abord d'introduire les collecticiels.

2. Les collecticiels

2.1. DÉFINITION

L'explosion de la téléphonie mobile et l'expansion des réseaux informatiques sont l'expression de l'évolution et de l'importance grandissante des nouvelles technologies communicantes. L'ampleur du World Wide Web illustre parfaitement ce phénomène. Initiés par l'essor des technologies communicantes, de nombreux collecticiels sont conçus dans des domaines variés comme l'enseignement (connu sous le nom anglais de *CSCL, Computer-Supported Cooperative Learning*) ou les jeux (connu sous le nom anglais de *CSCP, Computer-Supported Cooperative Play*). Ainsi, grâce à cette capacité grandissante des moyens de communication, les études peuvent se concentrer sur les systèmes collaboratifs asynchrones et/ou synchrones qui font apparaître de nombreux enjeux sociaux et économiques. La notion de groupe est alors la clé de voûte de ces collecticiels et les philosophes parlent de conscience collective. Afin de caractériser les collecticiels, nous présentons deux taxonomies : le modèle du trèfle et le découpage spatio-temporel.

Selon le modèle du trèfle [Salber 1995], les fonctions d'un collecticiel sont organisées en 3 facettes présentées à la figure II-1:

- les fonctions pour la production d'objets qui résultent de l'activité de groupe (espace ontologique),

- les fonctions de coordination, pour définir les acteurs et leurs rôles et pour articuler les activités,
- et les fonctions de communication pour permettre l'échange d'information entre les acteurs (communication homme-homme médiatisée).

L'espace de production offre une vue statique du collecticiel, l'espace de coordination en définit la dynamique. L'espace de communication couvre l'ensemble des possibilités de communication entre les utilisateurs (communication homme-homme médiatisée).

Tandis que le trèfle des collecticiels définit un espace de classification organisé selon les fonctions offertes par le système, la matrice "espace-temps" contient deux axes caractérisant l'usage du collecticiel : le premier axe "espace" considère la distance spatiale entre les utilisateurs "Lieu identique – Lieux différents" et le deuxième axe "temps" considère la distance temporelle entre les utilisateurs "Temps identique – Temps différents" (ou encore "Synchrone - Asynchrone"). La partie sur fond blanc (cases (1) à (4)) de la table II-1 montre les quatre types de collecticiels résultant de ces deux axes orthogonaux. En mettant en relation cette classification avec le modèle du trèfle, il convient de considérer les deux axes pour chaque type de fonctions. Ainsi, de la production à la mise en commun, les utilisateurs ont pu se déplacer, travailler à leur rythme, etc. Par exemple, chacun de leur côté, les utilisateurs lisent un article et notent leurs remarques sur le document. Ils se rencontrent et mettent alors leurs notes en commun. La production se fait dans des lieux différents et est asynchrone, et la mise en commun est localisée en une pièce et est synchrone.

Cependant, le découpage spatio-temporel n'est pas toujours aussi net. Dans [Dourish 1992], un cas de coordination intermédiaire est souligné. Donner des informations sur les activités présentes d'utilisateurs en ligne et en même temps des informations sur les activités passées des utilisateurs déconnectés conduit à voir sous deux angles différents la coordination. D'une part elle est synchrone entre les utilisateurs en ligne,

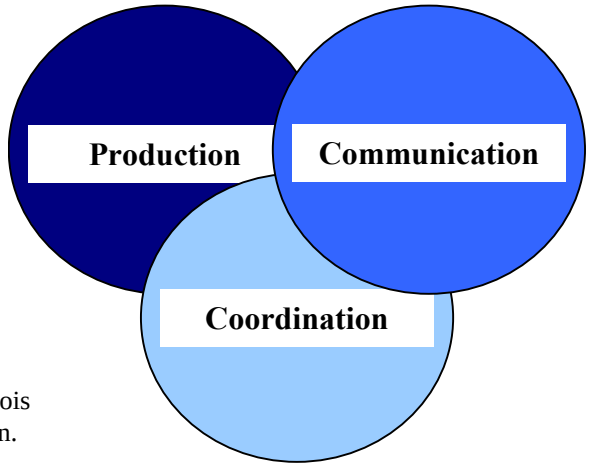


Figure II-1
le modèle du trèfle
Ce modèle organise les fonctionnalités d'un collecticiel selon trois espaces non-disjoints : production, communication et coordination.

d'autre part elle est asynchrone entre les utilisateurs en ligne et ceux qui n'y sont plus. Cette coordination intermédiaire est qualifiée de semi-synchrone (*semi-synchronous*).

De plus, pour tenir compte de l'aspect variable et flexible du découpage spatio-temporel, des valeurs indéterminées ont été introduites sur les deux axes dans [Grudin 1994]. Elles sont représentées par la partie sur fond gris de la table II-1. Il s'agit de lieux différents et imprévisibles et du temps d'utilisation différent et imprévisible. L'aspect imprévisible se résume à une mise en correspondance entre l'interaction et les attentes et suppositions des utilisateurs. Un aspect est imprévisible si les utilisateurs ne peuvent prévoir à priori la valeur de cet aspect. Par exemple, lors d'une collaboration sur l'écriture d'un document sans date butoir, il n'est pas possible de prévoir quand le document va changer d'éditeur. C'est un cas de temps d'utilisation différent et imprévisible. L'aspect prévisible et imprévisible est lié aux contraintes imposées aux utilisateurs. Ceci fait que le temps d'utilisation à travers un courriel est indéterminé, car l'expéditeur ne peut pas savoir quand le destinataire lira le message. A l'inverse, dans un workflow avec des limites de temps imposées, les temps d'utilisation sont prévisibles.

L'ensemble se combine alors en une matrice 3x3, qui inclut la matrice 2x2 initiale. Néanmoins, comme il est souligné dans [Grudin 1994], il convient de ne pas s'enfermer dans une catégorie, car les activités passent souvent d'une catégorie à une autre. Cette souplesse peut se révéler décisive dans l'utilisabilité des collecticiels

		TEMPS		
		Temps identique	**Temps différents**	**Temps différents et imprévisibles**
LIEU	**Lieu identique**	**(1) jeux sur console**	**(2) prise de parole**	**(5) post-it**
	Lieux différents	**(3) vidéo-conférence**	**(4) workflow**	**(6) courriel**
	lieux différents et imprévisibles	**(7) jeux en temps réel sur Internet**	**(8) édition partagée**	**(9) les jeux asynchrones sur Internet**

Table II-1 : la matrice espace-temps

2.2. EXEMPLES

Nous illustrons les collecticiels en décrivant les exemples de la table II-1:

1. Les jeux sur consoles ou les bornes d'arcade multi-joueurs sont des formes de collecticiel synchrone en face-à-face. Chaque utilisateur joue en manipulant son dispositif (par exemple une manette).
2. La prise de parole au cours d'une présentation est un cas où l'enchaînement des actions a été planifié. Il s'agit en l'occurrence de prendre le relais les uns à la suite des autres pour continuer la présentation. Les actions réalisées se déroulent dans un même lieu, mais les interventions sont des monologues (temps différents).
3. Les systèmes de vidéo-conférence permettent la mise en relation de différentes personnes simultanément. Généralement, la connexion se fait par appel, ce qui suppose que les utilisateurs savent où se situent les autres.
4. Les workflows ont pour objectif la coordination des activités et des intervenants au cours d'un processus industriel. Ces systèmes permettent ainsi la planification des interventions (le temps est différent mais prévisible) de chacun sur les documents échangés au cours d'un processus. Dans cette situation, les participants sont répartis géographiquement mais localisables (le bureau sur le lieu de travail).
5. Les post-its (en papier ou électronique) permettent de laisser un message à une personne en un endroit qu'elle fréquente. L'interaction se déroule donc dans un même endroit, mais il n'est pas possible de prévoir le temps de l'interaction.
6. Le courriel est le pendant électronique du courrier traditionnel. Bien que nous puissions le consulter en d'autres endroits, nous réservons souvent la lecture de nos courriels à un lieu spécifique. Or, il est impossible de prédire quand un courriel sera lu. C'est donc bien un exemple d'interaction en lieux différents et en temps différent mais imprévisibles.
7. Les jeux en ligne et en temps réel comme Warcraft [Warcraft] permettent des interactions synchrones mais en des lieux inconnus entre les utilisateurs, ceux-ci se connectant grâce à des serveurs comme [Battle.net].
8. L'édition partagée asynchrone ne nécessite pas de connaître la localisation exacte des différents rédacteurs du document. Par contre, pour pouvoir transmettre le document entre les auteurs, ces derniers doivent planifier leurs échanges (temps différents mais connus).
9. Des jeux de gestions comme [Warmage] consiste en la gestion d'une entité, tel un royaume, un animal, etc., sur Internet. Ces jeux offrent des interactions entre les joueurs à travers des attaques, des alliances et des rencontres, le nombre d'actions étant souvent limité pour une période donnée. Il s'agit alors d'une utilisation dont il n'est pas possible de prédire ni les périodes ni les lieux.

2.3. OUTILS DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

Dans le mémoire de thèse [Laurillau 2002], nous trouvons un panorama des outils de conception des collecticiels. Ces outils couvrent l'ensemble du cycle de vie d'un logiciel. Nous en retiendrons les outils liés à la conception ergonomique : le modèle Denver [Salvador 1996] et un ensemble de propriétés ergonomiques.

Le modèle Denver

Le modèle Denver [Salvador 1996] est le résultat d'un groupe de travail. C'est une méthode d'analyse des besoins pour les applications où la notion de groupe est un facteur dominant. Il se situe à la frontière de l'analyse des besoins et de la conception. Il offre un cadre de réflexion pour le concepteur à travers l'identification de catégories. Ces catégories sont autant de questions auxquelles le concepteur d'un collecticiel se doit de répondre. Les catégories sont décrites par des axes, dont la complétude n'est cependant pas montrée. La conception des collecticiels est décomposée en trois niveaux de conception :

- Les besoins (*requirements*) correspondent aux spécifications d'une application collaborative, d'un point de vue aussi bien logiciel que matériel.
- La conception (*design*) est le niveau qui décrit les fonctionnalités de l'application. C'est le niveau le plus détaillé dans le modèle et décrit ci-dessous.
- La technologie (*Technology*) est le niveau le plus bas. Il s'agit des dispositifs physiques disponibles et utilisés pour l'application.

Le niveau Conception, qui concerne la phase de conception ergonomique, est découpé en 5 points :

- Les personnes (*people*). Les caractéristiques des utilisateurs incluent les attributs comme leur nom, leur adresse, leur(s) numéro(s) de téléphone, etc. Au sein des groupes, les rôles des utilisateurs doivent y être déterminés. Les groupes eux-mêmes sont caractérisés par un degré de stabilité et par un degré d'homogénéité. L'homogénéité se mesure au niveau des buts (communs ou non), des possibles problèmes de compréhension liés à l'utilisation d'un langage technique (comme par exemple une discussion entre un chercheur de microbiologie et une spécialiste de l'analyse numérique) ou des possibles problèmes liés à la langue (incompréhension entre un anglophone et un germanophone). D'autres informations complètent la description d'un groupe, comme la taille d'un groupe, a priori quelconque, ou l'identificateur du groupe, etc.
- Les artefacts (*Artifacts*). Cela se réfère à tous les objets numériques produits ou consommés pendant les interactions. Il y a cinq types d'artefact : le texte, les sons, les images dynamiques, les images statiques et les autres éléments informatiques comme les signets d'un butineur Web.

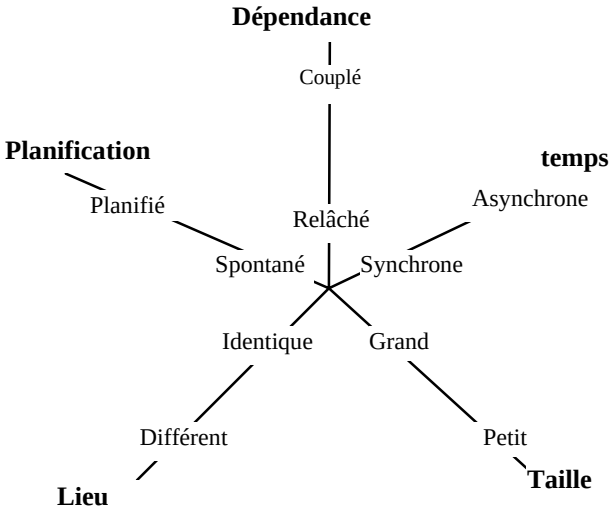


Figure II-2
les situations d'interaction du modèle Denver

- Les tâches et activités (*Tasks and Activities*). Les tâches et activités sont décrites par quatre niveaux : les buts, les scénarios (ou les tâches), les activités, les opérations.
- Les situations d'interaction (*Interactive situations*). Les situations d'interaction sont définies par les relations entre le temps, l'espace et les participants. Les participants peuvent être dans un petit ou dans un grand groupe, être proches ou loin, avoir des interactions spontanées ou au contraire prévues, être dépendants d'autres participants dans la progression de leurs travaux ou ne pas l'être. Enfin ils peuvent être en interaction synchrone ou asynchrone. Les Situations d'Interaction sont représentées par le kivigraphe de la figure II-2.
- Les protocoles des interactions humaines (*Intercative social protocols*). Un protocole social se réfère aux séquences possibles d'échanges de signaux et d'information qui déterminent les discussions. Nous retrouvons ici cinq catégories : la taille du groupe, les formalités de communication, le contrôle des outils du collecticiel, la détection et la prise en compte des idées échangées (*contention detection and resolution*) ainsi que le style de communication. Les Protocoles des Interactions Humaines sont représentés par le kivigraphe de la figure II-3.

Ces axes s'utilisent de deux façons. La première est de considérer les valeurs représentées sur un axe comme discrètes, il n'y a donc qu'un point utilisé sur chaque axe. Nous obtenons alors des polygones caractérisant visuellement la catégorie décrite. L'autre façon consiste à considérer un axe comme un continuum, et il existe alors des valeurs intermédiaires. Dans ce cas, il est possible de prendre un intervalle de valeur sur un axe. Ainsi, nous obtenons des surfaces qui caractérisent visuellement la catégorie. Un exemple d'application du modèle Denver à la conception d'un système de navigation collaborative sur le Web est disponible dans [Laurillau 1999].

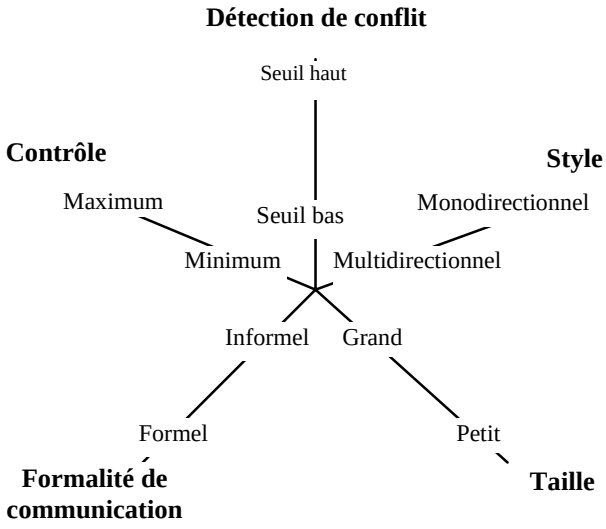


Figure II-3
les protocoles des interactions humaines du modèle Denver

Propriétés ergonomiques des collecticiels

Nous ne présentons ici que les propriétés ergonomiques spécifiques aux collecticitels que nous exploitons dans le cadre des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. La liste complète de ces propriétés est disponible dans [Laurillau 2002], [Salber 1995] et [UsabilityFirst].

La conscience de groupe. Lorsque des personnes travaillent ensemble, elles ont besoin de savoir quelle est l'activité des autres afin d'être le plus efficace possible. Ceci se traduit par un espace cognitif commun, créé par le partage d'information et d'intention. Dans les sports collectifs, le terme "esprit d'équipe" est employé pour désigner cette aura. C'est à la fois le dévouement d'un membre envers le collectif et aussi la réciproque : le soutien de l'équipe envers chacun. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque cette adéquation est atteinte. De la même manière, pour la réalisation d'une tâche via un collecticiel, l'efficacité est accrue si des informations sont transmises entre les différents utilisateurs sur cette conscience de groupe. Cet apport de données n'est pas essentiel à la réalisation de la tâche en cours, mais il y contribue dans le sens où il s'agit d'informations relatives à l'état d'avancement de cette tâche. Nous illustrons cette notion avec *CoVitesse* [Laurillau 1999]. Il s'agit d'un système de navigation collaborative synchrone sur le World Wild Web à travers l'exploitation d'un espace d'information partagé. Cet espace correspond aux résultats d'une requête soumise à un moteur de recherche. Sa représentation graphique sur laquelle les avatars de chaque utilisateur se déplacent permet de cerner les liens visités par les utilisateurs. De plus, il est possible de consulter l'historique d'un groupe ou d'une personne, de prendre connaissance d'informations collectées dans une structure à part, un caddie. Savoir où se trouve chaque utilisateur, connaître son parcours définit la conscience de groupe pour le système *CoVitesse*. Dans ce collecticiel, elle aide aux partages des tâches et des résultats, ce qui renforce l'efficacité de la recherche collective.

Le WYSIWIS. C'est un acronyme pour *What You See Is What I See*. Il s'agit donc du couplage de l'interaction entre les différents utilisateurs. "Ce que tu vois est ce que je vois" (traduction littérale de WYSIWIS) transcrit le principe de couplage entre les états du collecticiel pour chaque utilisateur. Cette relation entre les différentes interfaces peut être à différents niveaux selon le couplage des interactions entre les utilisateurs. Pour illustrer ce concept, nous reprenons l'exemple de *CoVitesse*. Dans la première version de ce collecticiel, il existe un mode de navigation, la visite guidée, où tous les membres du groupe ainsi formé suivent un guide unique. L'interaction est alors assez fortement couplée, puisque chaque déplacement du guide dans l'espace d'information (c'est-à-dire le point de vue sur cet espace) est répercuté sur la vue de chaque membre du groupe. A l'inverse, dans les autres formes de navigation, chaque utilisateur est libre de ses déplacements. L'interaction est alors assez souple. Les deux exemples de navigation illustrent différents niveaux de couplage dans l'interaction. Plus le couplage entre les utilisateurs est fort, plus la propriété WYSIWIS doit être vérifiée.

La réciprocité et l'identification. Il s'agit de deux propriétés qui expriment des cas particuliers de l'observabilité. Cette dernière, liée à la robustesse des interfaces, s'exprime comme la capacité du système à rendre perceptible l'état pertinent du système pour la tâche en cours. La réciprocité est un cas particulier de l'observabilité : elle traduit les capacités d'observation mutuelle entre les utilisateurs. Si un utilisateur obtient des informations sur un autre utilisateur, ce dernier doit pouvoir en obtenir sur le premier. La propriété d'identification traduit la capacité offerte aux utilisateurs de déterminer l'auteur d'une action.

2.4. SYNTHÈSE

Pour caractériser un collecticiel nous retenons deux classifications l'une fonctionnelle, le trèfle des collecticiels, l'autre centrée sur l'usage, la matrice espace-temps. Des outils de conception ergonomique, nous notons le modèle Denver et les propriétés ergonomiques propres au collecticiel. Nous verrons dans la suite de ce mémoire que ces outils de conception vont être modifiés par l'impact des deux autres facettes de notre étude : la mobilité et les systèmes mixtes.

Après avoir introduit les systèmes sur supports mobiles dans la partie 1 et les collecticiels dans la partie 2, nous étudions maintenant les collecticiels mobiles.

3. Les collecticiels mobiles

3.1. DÉFINITION

Les activités de groupe en situation mobile font partie de notre vie quotidienne. Dans [Luff 1998], il est souligné que le potentiel d'un dispositif mobile est souvent envisagé en terme de capacité à recevoir ou à transmettre des données lors de déplacements. Pour accompagner les utilisateurs dans leurs activités mobiles, les systèmes collaboratifs mobiles devront allier les caractéristiques des systèmes mobiles aux fonctionnalités des collecticiels. Or, nous avons souligné à la section 1.3 ("Outils de conception ergonomique") page 26 que la relation espace-temps est devenue ambiguë avec la mobilité. Le découpage spatio-temporel de [Grudin 1994] est donc remis en cause car :

- la notion de même lieu – lieux différents peut varier au cours de l'utilisation du collecticiel,
- et l'indéterminisme d'un temps d'utilisation asynchrone ne suffit pas à rendre compte de toutes les possibilités de temps d'utilisation comme le semi-synchronisme présenté dans [Dourish 1992], une composition entre le synchronisme et l'asynchronisme.

Intégrant toutes ces modifications, le découpage que nous proposons dans [Renevier 2000] organise les collecticiels mobiles comme suit :

- L'aspect spatial est examiné selon deux axes : confiné-vagabond et ensemble-dispersés.
- L'aspect temporel devient continu, allant des valeurs extrêmes synchrone et asynchrone.

Découpage spatial

La mobilité des utilisateurs est envisagée dans les collecticiels non pas selon les distances mais selon les lieux des interactions. Ainsi, une utilisation confinée d'un collecticiel est une utilisation qui ne se déroule que dans un lieu particulier. Cet endroit peut être défini par la tâche à effectuer mais aussi de manière artificielle par les limitations technologiques :

- Lors de la conception, si l'analyse de l'activité révèle que les tâches à réaliser ne sont effectuées que dans une zone géographiquement délimitée, ceci constitue une caractéristique importante du système.
- De même, des choix de conception, comme celui d'une infrastructure, qui peuvent restreindre la zone d'utilisation, ont un impact important sur l'usage du collecticiel.

Une zone est dite confinée si elle est délimitée et bien cernée : cela peut être un bureau, un bâtiment, un ensemble de bâtiments, un site. Une zone confinée d'utilisation pour un collecticiel peut être composée de plusieurs zones confinées, qui ne sont pas forcément continues géographiquement. Deux sites distants de plusieurs kilomètres peuvent former une zone confinée à un collecticiel si son utilisation se fait toujours en ces lieux, et

si cette utilisation ne peut se faire ailleurs. L'environnement permettant le *pick-and-drop* [Rekimoto 1997] présenté dans la section 3.2 ("Exemples") page 40 est un exemple de collecticiels mobiles confinés.

A l'opposé d'une utilisation confinée, le système est dit "vagabond" si les interactions entre les utilisateurs peuvent avoir lieu n'importe où.

Orthogonalement à la zone d'utilisation, il convient de déterminer si les utilisateurs sont ensemble, c'est-à-dire co-localisés, ou bien dispersés, c'est-à-dire distants. Au niveau des interactions, l'influence est évidente. Si les utilisateurs ont besoin de communiquer alors qu'ils sont dispersés, le collecticiel devra alors disposer d'outils de communication homme-homme médiatisée. La notion ensemble-dispersés convient lors d'une utilisation synchrone. Lors d'une utilisation asynchrone, les interactions ne sont pas effectuées en même temps et la notion de personnes co-localisées ne s'applique pas. Cependant, le fait d'interagir aux mêmes endroits reste une caractéristique principale d'un collecticiel mobile. La dualité ensemble-dispersés est alors mieux traduite par les expressions lieu identique-lieux différents.

Découpage temporel

En ce qui concerne le temps d'utilisation, nous avons introduit dans [Renevier 2000] l'asynchrone-synchrone, une valeur intermédiaire entre le synchronisme et l'asynchronisme. L'asynchrone-synchrone est une suite de valeurs des temps d'utilisation pour un utilisateur avec les autres, ces valeurs étant soit synchrone soit asynchrone. Ceci couvre l'ensemble des temps d'utilisation en supposant le passage, pas forcément prévisible au sens de [Grudin 1994], entre les valeurs synchrone et asynchrone. Nonobstant, le cas de semi-synchronisme décrit dans [Dourish 1992] n'est pas modélisé. Aussi, nous appelons les cas ni asynchrone ni synchrone des temps d'utilisation Composés (TUC), en référence à :

- la composition des temps d'utilisation, un temps d'utilisation n'étant pas décrit comme une seule valeur synchrone ou asynchrone mais comme un vecteur de valeurs à l'image du semi-synchronisme,
- et à la séquence des différentes valeurs des temps d'utilisation prises pendant l'utilisation du collecticiel pour un utilisateur, c'est-à-dire la suite des temps d'utilisation pour cet utilisateur, à l'image de la valeur asynchrone-synchrone.

Découpage spatio-temporel

Le découpage spatio-temporel consiste à associer un lieu (confiné ou vagabond) à un temps d'utilisation (asynchrone, synchrone ou TUC). Nous obtenons alors 6 couples (lieu d'utilisation, temps d'utilisation), les six premières lignes de la table II-2.

Compte tenu des rôles différents que peuvent jouer les utilisateurs dans un collecticiel, il n'est pas impossible qu'un groupe d'utilisateurs reste confiné à une zone d'utilisation particulière tandis que d'autres personnes

sont vagabondes. C'est le cas de toutes activités avec un centre de commandement, comme pour la police, les pompiers ou encore l'armée. Dans ce cas, il faut combiner deux couples d'espace-temps. Un couple d'espace-temps est composé d'un lieu d'utilisation (confiné ou vagabond) et d'un temps d'utilisation (synchrone, asynchrone ou TUC). Nous obtenons les quize classes de collecticiels mobiles de la table II-2, après suppression des combinaisons de couple équivalente [Renevier 2000]. De plus, pour chaque classe, il convient de considérer le cas ensemble et le cas dispersés (ou lieu identique – lieux différents).

confiné	**asynchrone**	L'utilisation est confinée et est différée entre les différents utilisateurs.
	synchrone	L'utilisation est confinée à un site privilégié et est synchrone.
	TUC	L'utilisation est confinée mais les utilisateurs travaillent parfois simultanément, parfois à des instants différents.
vagabond	**asynchrone**	L'utilisation peut avoir lieu n'importe où et de manière asynchrone.
	synchrone	L'utilisation n'a pas de lieu habituel, mais est toujours synchrone.
	TUC	L'utilisation a lieu n'importe où. De plus il n'y pas de règle générale sur le synchronisme du travail des utilisateurs.
confiné-vagabond	**asynchrone, asynchrone**	En combinant les possibilités, l'utilisation est alors modélisée par un vecteur de couples, chaque couple associant un lieu d'interaction avec un temps d'interaction. Les vecteurs exposés dans ce tableau sont (confiné, 1er temps d'interaction), (vagabond, 2ième temps d'interaction). Le cas ((confiné, TUC), (vagabond, TUC)) est le plus général : il existe un site privilégié, mais les utilisateurs ne se bornent pas à ce lieu d'interaction. De plus il n'y a pas de règle sur le synchronisme du travail des utilisateurs.
	asynchrone, synchrone	
	asynchrone TUC	
	synchrone, asynchrone	
	synchrone, synchrone	
	synchrone, TUC	
	TUC, asynchrone	
	TUC, synchrone	
	TUC, TUC	

Table II-2 : les quinze classes de collecticiels sur supports mobiles

Ainsi les collecticiels sont caractérisés par le lieu d'utilisation (confiné ou vagabond), par la distance entre les utilisateurs (lieu identique ou lieux différents), par le temps de l'interaction (synchrone, asynchrone, temps d'utilisation composés) et par la dynamique de ces caractéristiques pendant l'interaction, comme la dispersion d'un groupe ou le regroupement de plusieurs utilisateurs.

3.2. EXEMPLES

Un état de l'art des collecticiels mobiles est dressé dans [Renevier 2000]. Il organise les différents collecticiels mobiles selon les classes de la table II-2. Afin d'illustrer les collecticiels mobiles, nous parcourons cet état de l'art en l'enrichissant par des systèmes plus récents mais aussi en restreignant la mobilité à notre cadre d'étude : la localisation des utilisateurs doit être exploitée. Nous organisons donc les exemples selon les classes exposées dans la table II-2. Or l'état de l'art dans [Renevier 2000] montre que les différents temps d'utilisation ne sont pas exploités pour les collecticiels vagabonds, c'est-à-dire qu'il existe des classes non explorées. Ceci s'explique par les difficultés à mettre en œuvre les transitions entre les différents temps d'utilisation et aussi par les habitudes de travail des utilisateurs. Par ailleurs, notre restriction sur la mobilité entraîne l'exclusion de certains systèmes de notre cadre d'étude. Ainsi, toutes les classes de la table II-2 ne sont pas illustrées.

Cas confiné

Cas asynchrone. Le système *Word-of-mouth* [Huang 2002] et le planificateur d'événements sur PDA [Fithian 2003] proposent la propagation d'événements, l'échange d'avis et des renseignements sur les carnets d'adresse des utilisateurs. *Word-of-mouth* est une version électronique du bouche-à-oreille. Ce système avertit l'utilisateur de chaque évènement dont elle/il ignore l'existence à travers des bornes de diffusion ou lors de rencontre avec d'autres utilisateurs, sans aucune intervention de leur part. Elle/il prend connaissance des nouvelles informations uniquement lorsqu' elle/il consulte le système. L'interaction est donc asynchrone. Les avis et les intentions des personnes sont collectés et associés aux domaines d'intérêt afin d'aider une personne à déterminer si elle participe ou non à l'événement. Le planificateur d'événements sur PDA propose des fonctions équivalentes, mais possède un élément supplémentaire : une carte comme média pour retranscrire la position des personnes et des lieux intéressants. Cette carte est appréciée des utilisateurs. Ces deux systèmes sont donc des collecticiels confinés avec une zone d'influence limitée, ce qui se traduit par la nécessité pour les utilisateurs d'être proches pour interagir. Il s'agit d'un problème de granularité dans l'approche ensemble-dispersés. Ici, ensemble signifie dans la zone d'affluence de chaque utilisateur, dispersé, en dehors. De même, le système *MovieLens* [Miller 2003] propose de partager les avis des clients d'un vidéoclub.

Les trois systèmes *Word-of-mouth*, le planificateur d'événements *MovieLens* sont des collecticiels confinés et asynchrones.

Cas synchrone. *Mercantile* est un jeu où les utilisateurs gèrent des empires commerciaux qui nécessitent des échanges pour leur développement. La gestion du jeu se fait pour chaque joueur par une plate-forme personnelle, en quelque sorte un PDA sans unité d'affichage et avec des capacités de communication sans fils à courtes distances. Les interactions

entre les joueurs, c'est-à-dire les échanges, se font lors de face à face, sur des unités d'affichage disponibles sur le lieu de rencontre. La détection de ces surfaces d'affichage est automatique et ubiquitaire. Une fois connectés, les utilisateurs disposent alors d'une vue sur les empires des autres joueurs.

Cas temps d'utilisation Composés. Nous trouvons deux systèmes confinés avec des temps d'utilisation composés : le *Pick-and-drop* [Rekimoto 1997] et *Guide* [Cheverst 1999].

Le principe du *Pick-and-drop* est de permettre le drag-and-drop entre différentes unités d'affichage et entre différents ordinateurs. L'interacteur est un stylo, équipé d'un identificateur unique. Cet identificateur est lisible par l'ordinateur quand le stylo est suffisamment proche de l'écran. Chaque ordinateur est relié au réseau soit de manière classique, soit par des connecteurs sans fil, les bâtiments étant équipés de relais. Connecté au réseau, un serveur gère les stylos : à chaque identificateur de stylo est associé un pointeur sur un objet. Ce pointeur indique ce que transporte (ou "drag") le stylo. Pour prendre un objet avec un stylo, l'interaction est identique à un drag-and-drop classique : il faut cliquer sur l'icône, puis déplacer le stylo. Quand le stylo est éloigné de l'unité d'affichage, l'icône qui s'y rattachait disparaît. Lorsque le stylo associé à l'objet approche d'une unité d'affichage, il est identifié et le drag-and-drop classique peut s'effectuer : l'image de l'icône transportée apparaît alors et le système masque un transfert FTP via le réseau. Les utilisateurs peuvent ainsi s'échanger des fichiers, des dessins et autres informations de PDA à PDA, de PDA à "tableau magique". Ces interactions peuvent être synchrones, les utilisateurs sont alors en vis-à-vis. Elles peuvent être également asynchrones, un utilisateur pouvant par exemple déposer des fichiers sur le tableau d'un autre à la manière d'un mémo. Le *Pick-and-drop* est donc un cas de TUC et ce système permet des interactions confinées (les utilisateurs doivent être dans un bâtiment équipé).

Le système *Guide* [Cheverst 1999] permet aux utilisateurs équipés de l'unité portable *Guide* d'obtenir des informations sur les sites visités. L'unité est un PC-tablette associé à une carte WaveLan pour les connexions réseaux. Les sites intéressants sont quadrillés par des relais WaveLan. Quand les utilisateurs sont connectés au réseau, ils ont accès à plusieurs fonctionnalités. La première concerne des informations générales que l'utilisateur saisit lui-même, sur son identité et ses préférences. Il y a également des informations sur le système *Guide* et sur la ville en général. Le touriste peut aussi suivre un tour de visite, déterminé par les informations personnelles qu'elle/il a saisies. Elle/il a également accès à des services interactifs (réservation de chambre d'hôtel, programme des cinémas, etc.). Le visiteur peut également naviguer sur le Web, pour compléter les informations fournies par *Guide*. Les utilisateurs

sont localisables par le système, qui leur donne des informations contextuelles sur l'endroit où ils se trouvent. Les utilisateurs peuvent s'envoyer des messages, s'ils sont dans une zone couverte par le système *Guide* et s'ils sont équipés pour communiquer. Ceci permet à des groupes dispersés de se retrouver ou encore de demander des informations à l'office du tourisme local. Quand l'utilisateur est dans un lieu non couvert par le dispositif WaveLan, alors elle/il est conscient de ceci par deux moyens : une échelle de connexion qui permet de mesurer la qualité de la connexion réseau est affichée et le principe d'honnêteté des interfaces est vérifié, les fonctions non disponibles par absence de réseau étant grisées (retour d'information pro-actif). Ce système illustre un domaine d'application pour les collecticiels mobiles, la visite touristique. Confiné à la ville de Lancaster, ce collecticiel propose de nombreuses fonctions de coordination, de communication et de production à des temps d'utilisation variables. Son évolution est présentée dans le chapitre IV.

Cas vagabond

Cas synchrone, les utilisateurs sont ensembles. Il existe des systèmes où les échanges se font à travers les capacités de communication sans fils des dispositifs utilisés (infrarouge, bluetooth, etc.). Ces échanges sont alors réalisés dans le cadre précis de l'utilisation du collecticiel. *Geney* [Danesh 2001] illustre ce type de système. Il propose à des enfants d'apprendre les rudiments de la génétique à travers un élevage de poissons sur un PDA. Les enfants doivent échanger des poissons (via l'infrarouge) en vue de la reproduction. L'un des buts est d'obtenir des nouveaux poissons, avec certaines caractéristiques, et ainsi d'appréhender le caractère héréditaire de certains traits. La mobilité est ici synonyme de souplesse d'interaction. Dans une classe, les enfants peuvent se rencontrer, en emportant avec eux leur élevage, c'est-à-dire leur PDA. Cette mobilité est aussi une conséquence sociale du processus d'échanges : les enfants vont à la rencontre des uns des autres. Le système *Geney* est donc un collecticiel vagabond et synchrone où les utilisateurs sont co-localisés.

Les dispositifs vagabonds favorisant la coordination entre les utilisateurs utilisent également des capacités de communication sans fils. Pour pouvoir se reconnaître, se repérer n'importe où, le Viktoria Research Institue de Gothenburg (Suède) a mis au point le *Hummingbird* [Holmquist 1998]. Pour se rencontrer selon des critères que l'on définit, l'Université de l'Oregon a créé le système *Proem* [Kortuem 1999]. Ces deux systèmes reposent sur des dispositifs fait-maisons. Ils ne permettent pas de communiquer, mais d'initier la communication. Les deux systèmes sont de petits objets informatiques équipés d'un émetteur-récepteur, capables de capter les autres objets d'un même groupe pour l'*Hummingbird*, de gens ayant les mêmes centres d'intérêts pour *Proem*. L'*Hummingbird* est plus orienté vers un groupe déjà formé, chaque

membre en possédant un exemplaire. Ainsi, le groupe peut plus facilement se reconstituer dans les foules comme lors d'une conférence. Par exemple, un utilisateur peut savoir qu'il y a, dans la salle, des membres de son équipe de recherche. *Proem* gère des caractéristiques, des centres d'intérêts, des préférences de publications, de programmation de comportements (par exemple alerter en cas de rencontre avec telle personne) et une liste des utilisateurs dans les environs avec les profiles qu'ils ont publiés. A l'instar de *Proem*, Hocman [Esbjörnsson 2003] est un système pour les rencontres éphémères de motocyclistes en Suède. Ce dispositif avertit tout d'abord de l'approche d'un autre utilisateur puis transmet les données que chacun veut bien partager, comme une image, une page Web, etc. Ces trois systèmes sont donc des collecticiels vagabonds et synchrones où les utilisateurs sont co-localisés.

Cas synchrone, les utilisateurs sont dispersés. Le système *Kan-G* [Liechti 1999] permet la mise en relation entre différentes personnes. *Kan-G* vient du mot japonais "kanji", signifiant émotion. Dans ce système, un utilisateur dispose d'une caméra numérique. Elle/il filme et envoie des images sur un serveur Web. Les échanges se font selon le format XML. Elle/il dispose de plusieurs canaux, semblables aux "channels" de IRC. D'autres personnes, naviguant sur le Web, peuvent se connecter aux différents canaux. Le photographe est alors averti. Par ailleurs, différentes émotions sont proposées aux "spectateurs", comme rire, pleurer, etc. Il s'agit là d'actions de base, accessibles par des boutons. Ces actions sont envoyées aux autres personnes connectées et au photographe. Même si un seul des utilisateurs est réellement mobile, ceci constitue un collecticiel vagabond synchrone et dispersé.

Cas confiné-vagabond

Cas asynchrone, asynchrone. Proche d'un de nos domaines d'application, le projet *RAMSES* [Ancona 1999] (*Remote Archeological Mobile Support Enhanced System*) est une application qui se découpe en deux parties. D'une part, il y a un système sans fil sur un site archéologique, d'autre part il y a un système de consultation de documents sur Internet. Des unités mobiles, des Palmtops, sont connectées au réseau sans fils. Il y a également des stations fixes, exécutant le système Lotus Notes. Les postes fixes sont reliés à Internet (téléphone ou satellite). Les archéologues peuvent prendre des notes sur leurs travaux, en localisant manuellement l'objet de leur recherche à l'aide d'un éditeur basé sur une carte. Cette carte suit le quadrillage du site : un site est découpé en tests, les tests en secteurs et les secteurs en unités stratigraphiques. Pour obtenir une précision intéressante, les archéologues utilisent les autres objets comme points de repère. L'archéologue peut dessiner ou ajouter des photos. Ils commentent leurs découvertes, mais certains champs comme la datation précise peuvent être complétés plus tard. Il existe des serveurs de données (géographiquement en Italie) qui coordonnent les notes et

gèrent les archives. Les unités mobiles peuvent ainsi accéder aux notes via l'interface de Lotus Notes. Par ailleurs, des personnes peuvent aussi consulter ces archives via le Web, les objets de lotus notes étant automatiquement traduit en HTML. Les documents produits sont au format requis par le ministère italien de la culture. *RAMSES* est donc un collecticiel à la fois confiné et asynchrone sur le champ de fouille et à la fois vagabond et asynchrone pour le partage des données.

Cas synchrone, synchrone. Pour favoriser la conscience de groupe, le système *ActiveMap* [McCarthy 1999] est dédié à la localisation des participants : des images des utilisateurs sont superposées à un plan d'un site. Celui-ci est limité à un bâtiment, mais il est possible de se connecter de l'extérieur pour avoir conscience de l'activité qui règne au sein du bâtiment. Le système suit les déplacements des personnes grâce à des badges (ArialView Awareness System) dont les signaux infrarouges émis toutes les deux secondes sont captés par des récepteurs qui quadrillent le bâtiment. La carte est donc mise à jour toutes les deux secondes. Cependant il se peut que certains signaux ne soient pas toujours bien captés. Dans de tels cas, le système rend conscient les utilisateurs que soit la personne a enlevé son badge, soit elle est partie, soit elle est dans une zone non-couverte par les récepteurs. Son image se ternit petit à petit pour disparaître au bout d'un laps de temps choisi par l'utilisateur et selon une fonction mathématique de type exponentiel. Les interactions à travers *ActiveMap* sont les outils de localisation sur la carte (zoom, recherche, etc.) et la possibilité d'envoyer des messages audio : l'utilisateur saisit un texte qui est lu à la personne cible grâce à un synthétiseur de voix. En effet les badges peuvent recevoir des signaux audio par des ondes radio. Le système est utile pour contacter une personne : il est possible de savoir si elle est présente et dans quel bureau. Il s'agit donc d'un système favorisant la coordination. C'est un collecticiel à la fois confiné (pour la localisation) et vagabond (la consultation via une interface Web) pour une interaction synchrone. Les utilisateurs sont essentiellement dispersés.

3.3. OUTILS DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

Des principes ergonomiques (règles et propriétés) sont mis en avant dans les travaux [Fithian 2003], [Miller 2003], [Kristoffersen 1999] et [Pinelle 2003]. Nous constatons que ces principes sont parfois généraux et d'autres précis :

- Il convient de concevoir un collecticiel mobile pour un type d'utilisateur déterminé dans un cadre d'utilisation spécifique, et non pas comme la réduction d'autres applications [Fithian 2003].
- Les collecticiels mobiles doivent permettre l'interruption et la reprise des tâches ultérieurement [Fithian 2003]. Ceci implique que les propriétés ergonomiques d'observabilité et de prédictibilité sont vérifiées.

- Les propriétés des systèmes mobiles exposées dans la section 1.3 (“Outils de conception ergonomique”) page 26 sont encore vérifiées : les interfaces doivent requérir un minimum d’attention des utilisateurs [Kristoffersen 1999] [Miller 2003]. De même, la localisation se doit d’être représentée symboliquement, avec le nom d’un lieu par exemple, et géographiquement, c’est-à-dire des coordonnées [Fithian 2003].
- Les collecticiels mobiles doivent intégrer des fonctionnalités variées afin de satisfaire aux besoins des utilisateurs [Fithian 2003] [Miller 2003]. En effet, les plates-formes ne disposent pas nécessairement d’outils aussi sophistiqués que ceux disponibles sur les stations fixes et il n’est pas toujours possible d’accéder à de tels outils en situation de mobilité (absence de dispositif de lecture, petite bande-passante pour télécharger, etc.). Il convient néanmoins d’éviter qu’une activité d’un utilisateur ne soit bloquée à cause de l’absence d’une fonctionnalité. De même, la réplication de données accompagnée par la notion d’appartenance de ces données permet d’assurer l’autonomie de chaque utilisateur, notamment dans les interactions faiblement couplées [Pinelle 2003].
- La vie privée des utilisateurs n’est pas un état binaire caché/visible, mais peut prendre des valeurs sur un continuum caché-visible. Un collecticiel mobile devrait refléter ce principe [Fithian 2003]. Bien qu’étant un problème déjà identifié, l’aspect privé-public est également développé dans les collecticiels mobile du type de *word-of-mouth* [Huang 2002], [Fithian 2003] et [Miller 2003]. En effet, le besoin de contrôler les informations personnelles publiées est exacerbé par la mobilité entraînant des situations changeantes, passant d’un environnement familier où le partage est recherché à des environnements moins connus où les utilisateurs sont moins enclins au partage.
- Un collecticiel mobile doit rendre compte de l’état de connexion de l’utilisateur avec le système [Pinelle 2003]. Ce principe est illustré dans le système *Guide* [Cheverst 1999].

Outre les principes ergonomiques issus d’expériences, nous relevons dans la littérature la méthode de conception basée sur les scénarios et sur le prototypage utilisée dans [Danesh 2001] pour la conception du système pédagogique d’élevage de poissons pour une classe d’enfants. Ces travaux montrent que l’application de méthode classique basée sur les scénarios et le prototypage est applicable à la conception de collecticiels mobiles. Les phases de conception du système *Geney* sont les suivantes :

- L’analyse des besoins repose sur les scénarios d’utilisation et conduit à la création de maquettes.
- Les besoins sont validés auprès des utilisateurs ciblés, par des interviews, en simulant l’interaction avec les maquettes et en évaluant

leur capacité à utiliser les dispositifs envisagés (il s'agit d'une phase d'apprentissage).
- Un prototype est développé.
- Le prototype est testé par les utilisateurs finaux.
- Finalement, l'analyse des résultats des tests conduits à une spécification définitive du collecticiel sur supports mobiles.

3.4. SYNTHÈSE

Dans cette partie, nous avons étudié les collecticiels sur supports mobiles. L'influence de la mobilité se traduit par une modification de l'espace temps : les lieux d'utilisation (confiné ou vagabond), la distance relative des utilisateurs (ensemble/lieu identique contre dispersé/lieu différent) et les temps d'utilisation (synchrone, asynchrone et les temps d'utilisation composés). Un principe ergonomique essentiel pour les collecticiels sur supports mobiles est le minimum d'attention de la part de l'utilisateur [Pascoe 2000], [Kristoffersen 1999] et [Miller 2003]. Les interactions dans les situations de mobilité se doivent de demander un minimum d'attention et d'effort de la part des utilisateurs afin de leur permettre de se concentrer sur leur activité dans le monde physique, activité à l'origine du système. En plus des propriétés présentées dans la section précédente, le problème lié à la conscience de groupe dans les collecticiels mobiles est souvent identifié comme dans [Pinelle 2003] ou [McCarthy 1999]. En réponse à ce problème, nous proposons une nouvelle propriété ergonomique : la conscience de groupe localisée.

La conscience de groupe localisée concerne la capacité d'un collecticiel mobile à rendre compte de l'activité des utilisateurs en relation avec leurs positions. Notre cadre d'étude force les activités de groupe à avoir des liens étroits avec la localisation géographique. Une solution pour représenter la conscience de groupe localisée est l'affichage de la position des utilisateurs sur la carte des lieux d'interaction, à la manière d'*ActiveMap* [McCarthy 1999]. La représentation de la zone géographique d'utilisation est alors au cœur du système, et notamment le support idéal pour différentes fonctionnalités, comme l'édition d'objet dans le cadre de RAMSES [Ancona 1999]. Mais c'est avant tout pour la coordination, et en particulier la conscience de groupe, que nous estimons que la carte est prépondérante. En dressant un parallèle avec CoVitesse [Laurillau 1999] et avec les environnements collaboratifs virtuels, nous notons que la représentation graphique de l'espace d'information est le pendant numérique d'une carte géographique d'une activité de terrain dans le monde physique. En effet, les utilisateurs de CoVitesse se déplacent d'information en information, à la manière d'un travailleur mobile qui passe d'un point de travail à un autre. Or l'observation des activités de chacun se fait notamment grâce aux repères spatiaux. Pour CoVitesse, un utilisateur stationnaire signifie soit qu'elle/il est "absent", soit que l'information visitée est intéressante. Sur un site de travail, une

personne stationnaire signifie une activité qui requiert toute l'attention de la personne. Il est alors clair que de représenter l'ensemble des utilisateurs sur une carte, de rendre perceptible la position de chacun fournit des indications sur l'activité du groupe.

4. Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre aux collecticiels mobiles. Dans un premier temps, nous avons étudié l'informatique mobile. Nous avons restreint ce domaine au cas où la localisation de l'utilisateur est exploitée par le système. Dans un deuxième temps, nous avons présenté les collecticiels que nous caractérisons à travers une taxonomie fonctionnelle, le modèle du trèfle [Salber 1995], et une taxonomie des conditions d'utilisation, un découpage spatio-temporelle [Grudin 1994]. Dans la troisième partie de ce chapitre, nous avons étudié les collecticiels sur supports mobiles. La matrice espace-temps est profondément modifiée :

- Le lieu d'utilisation se caractérise selon deux axes : confiné ou vagabond et ensemble (même lieu) ou dispersés (lieux différents).
- Les temps d'utilisation sont plus complexes et peuvent prendre trois valeurs différentes : asynchrones, asynchrones et composés.

Un principe ergonomique essentiel pour les collecticiels sur supports mobiles est le minimum d'attention de la part de l'utilisateur. Par ailleurs, nous proposons un nouveau principe pour rendre compte du degré de connaissance de l'activité des autres utilisateurs : la conscience de groupe localisée.

Nos travaux sont dédiés à des activités en groupe d'utilisateurs mobiles. La mobilité est liée à l'activité des utilisateurs ancrées dans le monde physique. Après avoir étudié les collecticiels et l'informatique mobile, nous nous tournons maintenant vers les systèmes mixtes qui visent la fusion harmonieuse du monde physique et du monde numérique. Les systèmes mixtes constituent le sujet d'étude du chapitre suivant.

Chapitre III *Systèmes mixtes, informatique mobile et collecticiels*

Nous constatons un clivage entre le monde numérique (données informatiques et traitements) et le monde physique entourant les utilisateurs. Pour améliorer leurs activités, les systèmes mixtes réalisent l'association entre leurs environnements et les données (et les capacités de traitement) nécessaires à ces activités. L'objectif est alors d'affranchir les utilisateurs des barrières séparant les deux mondes. Combiner, fusionner les mondes physique et numérique est particulièrement important lors d'activités mobiles et collaboratives. Comme nous l'avons souligné au chapitre précédent, l'attention de l'utilisateur est accaparée par la tâche qu'elle/il effectue et non par le système informatique. Par l'introduction des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, nous visons deux objectifs : aider la numérisation des éléments présents dans l'environnement des utilisateurs (passage du monde physique vers le monde numérique) et faciliter l'exploitation des capacités informatiques (passage du monde numérique vers le monde physique).

Dans ce chapitre, nous définissons les Systèmes Mixtes (SM) dans la partie 1. L'aspect mobile des SM est inhérent à leurs objectifs. Aussi, nous étudions les SM mobiles dans la partie 2. La dimension collaborative des systèmes est une évolution inévitable de ces systèmes, les activités des utilisateurs étant essentiellement réalisées en groupe. Ainsi, pour complètement cerner le cadre de notre étude, nous focalisons sur les SM collaboratifs dans la partie 3. Ces trois parties sont structurées de la même manière : après une définition et des exemples illustratifs, nous exposons les outils de conception existants. Nous concluons chaque partie par une synthèse enrichie de nos contributions.

1. Les systèmes mixtes

1.1. DÉFINITION

Le *Digital Desk* [Wellner 1991] constitue le premier exemple de système mixte (SM). Bien que partiellement développé, le *Digital Desk* est un bureau classique augmenté de nouvelles capacités grâce à un ordinateur. L'utilisateur dessine avec ses crayons habituels mais peut aussi effectuer des opérations nouvelles comme le copier/coller ou le redimensionnement de dessins. Nous observons dans l'usage de ce système la volonté de laisser l'utilisateur dans le monde physique et d'offrir de nouvelles actions possibles grâce à l'ordinateur. Les SM visent donc à fusionner les capacités de traitements informatiques et l'environnement physique.

Une première approche pour cerner les SM consiste à les comparer avec ceux de réalité virtuelle (RV). En RV, l'utilisateur est dans un monde entièrement reconstitué par des données informatiques : l'utilisateur est coupé du monde physique. La RV vise donc à immerger l'utilisateur dans un monde artificiel, à l'opposé des SM dont l'essence même est de maintenir l'utilisateur au contact de son environnement physique.

Au sein de la communauté Interaction Homme-Machine (IHM), les SM font l'objet de nombreuses études dans des domaines d'application variés. Chacun de ces domaines adapte les SM à ses besoins et développe des principes de conception ad hoc. Les SM constituent donc un domaine évolutif tiraillé entre la pratique créative dirigée par le domaine d'application d'une part, et l'approche conceptuelle et mesurée de la théorie d'autre part. Pratique et théorie sont les deux approches complémentaires qui servent de piliers aux démarches scientifiques ouvrant des voies nouvelles dont il est difficile de cerner les limites. Prenons pour preuve le flou d'une terminologie mal assise : réalité mixte ou augmentée, environnement et objet augmentés, vidéo-augmentée, bit/atome, etc. Néanmoins la caractéristique commune à tous les SM est de viser l'intégration, la fusion des mondes physique et numérique. L'intégration repose sur la notion récurrente d'augmentation.

Une augmentation est l'expression d'un lien entre le monde physique et le monde numérique. Ces liens réalisent la fusion harmonieuse des deux mondes. Nous définissons une augmentation (ou un lien) comme :

- l'ajout d'une entité d'un des deux mondes dans l'autre monde ou
- la manipulation d'une entité d'un des deux mondes par des outils de l'autre monde.

Par définition, un système qui met en œuvre une ou plusieurs augmentations est un système mixte. Dans la suite de ce mémoire, nous utiliserons indifféremment les termes "augmentation" et "lien" (sous-entendu lien entre les mondes physique et numérique).

Terminologie

Comme expliqué précédemment, il n'existe pas de définition consensuelle pour caractériser les SM. En effet de nombreux termes sont utilisés :

- Bit / atome. Ces termes ont été introduits dans [Negroponte 1995] et [Ishii 1997] pour décrire les deux mondes, numérique et physique. Un nouveau type d'interfaces nommées "*tangible user interface*" intègre ces techniques d'interaction qui unifient les mondes physique et numérique en matérialisant les bits (*tangible bits*). Pour cela ces techniques reposent sur le couplage d'un objet préhensible (*atoms*) avec un objet informatique (*bits*). Par exemple, à un cube est associée une séquence vidéo.
- Environnement augmenté. Adoptant un point de vue ubiquitaire, cette approche consiste là encore à fusionner les mondes physique et informatique, l'environnement étant alors augmenté dans son intégralité. Il s'agit par exemple d'un tableau magique [Bérard 1999] (un tableau blanc augmenté par des capacités d'édition et de sauvegarde) ou encore de système de contrôle dans les bâtiments [Elrod 1993]. Cette approche a notamment été décrite dans [Mackay 1996].
- Interaction augmentée. Dans [Rekimoto 1995], l'interaction augmentée a pour objectif de réduire les manipulations informatiques directes en utilisant des informations extraites de l'environnement comme données d'entrée pour l'ordinateur. L'attention de l'utilisateur étant reportée sur le monde physique, l'ordinateur devient alors un agent de soutien et d'enrichissement des relations entre l'homme et son environnement réel.
- Réalité augmentée. Ce terme est notamment utilisé dans [Feiner 1993]. L'approche adoptée consiste à augmenter le monde physique grâce à un ordinateur. Précurseur de la réalité augmentée sur supports mobiles, les travaux de [Feiner 1997] incluent plusieurs systèmes mobiles comme la visite d'un campus : l'utilisateur se promenant dans un campus peut observer les bâtiments ainsi que des informations textuelles affichées dans un casque semi-transparent. Dans [Feiner 1993], la réalité augmentée se rapproche de l'informatique ubiquitaire par l'usage d'un grand nombre d'ordinateurs et d'unités d'affichage intégrés à l'environnement.
- Vidéo augmentée. Proche de la réalité virtuelle, la vidéo augmentée consiste en une fusion d'une représentation de la réalité, une vidéo, avec des informations informatiques. Un exemple est donné dans le milieu médical [Bajura 1992], où une caméra est montée sur un casque de réalité virtuelle. Une échographie est réalisée sur les patients, ces informations étant non perceptibles par l'utilisateur. L'utilisateur perçoit dans le casque ce que filme la caméra (la réalité) augmenté par

l'échographie. Il s'agit également de l'approche exposée dans [Milgram 1994].

- Réalité augmentée et virtualité augmentée. Ces Termes introduits dans [Dubois 1999] définissent deux continua illustrés par la figure III-1. Il s'agit de classer les systèmes selon l'objet de la tâche. Si cet objet appartient au monde physique, alors il s'agit d'un système de réalité augmentée. A l'inverse, si l'objet de la tâche est numérique, alors il s'agit de virtualité augmentée.

Notre approche consiste à rassembler tous ces types de systèmes sous l'appellation système mixte (SM), de part leur objectif commun : combiner les mondes physique et numérique. Cet objectif commun se retrouve à travers le terme "augmenté" couramment utilisé.

Caractéristiques d'une augmentation

Il existe alors plusieurs approches des systèmes mixtes que nous distinguons en étudiant les caractéristiques de l'augmentation. La première consiste à déterminer quelle est la cible de l'augmentation [Mackay 1998]. L'augmentation d'un système mixte peut avoir pour cible trois éléments :

- les utilisateurs (qui doivent alors porter des dispositifs),
- les objets de la tâche (qui sont instrumentés) ou
- l'environnement des utilisateurs et des objets.

Cette caractérisation de l'augmentation est définie pour les systèmes de Réalité Augmentée. Néanmoins notre expérience montre que cette caractérisation se généralise aux systèmes mixtes.

De plus, dans [Dubois 2001], deux types d'augmentation sont identifiés :

- L'exécution augmentée. Par exemple, dans le cas d'une activité à réaliser dans le monde physique, un système mixte augmentant l'exécution consiste à permettre à l'utilisateur d'effectuer des tâches dans le monde physique d'une façon nouvelle ou d'exécuter des tâches qu'elle/il n'aurait pu faire autrement. C'est le cas du *Digital Desk* [Wellner 1991] avec lequel l'utilisateur peut faire des actions copier/ coller de dessins effectués avec un crayon classique.
- L'évaluation ou la perception augmentée. Par exemple, dans le cas d'une tâche à accomplir dans le monde physique, des informations

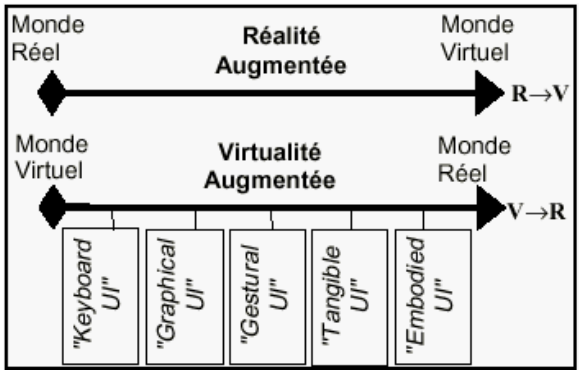


Figure III-1
deux continua des systèmes mixtes

numériques pertinentes pour la tâche en cours sont ajoutées à l'environnement de l'utilisateur. Il s'agit sans nul doute du type d'augmentation le plus communément mis en œuvre dans les systèmes actuels. C'est notamment le cas du musée augmenté [Rekimoto 1995], système présenté dans la section 1.2 ("Exemples") page 54.

Enfin, nous identifions deux axes complémentaires pour caractériser les augmentations : la temporalité et le mode d'interaction.

- La temporalité définit la durée de vie des augmentations. Sont-elles éphémères ou persistantes d'une session à une autre ?
- Le mode d'interaction définit la façon dont l'utilisateur interagit avec une entité augmentée. Ce mode d'interaction peut être passif et l'augmentation est déterminée automatiquement sans intervention de l'utilisateur. A l'inverse, le monde d'interaction peut être actif et l'augmentation est spécifiée explicitement (intégralement ou partiellement) par l'utilisateur. Pour illustrer le mode d'interaction, nous considérons une tâche de comparaison entre un objet de l'environnement physique de l'utilisateur et un ou plusieurs objets numériques extraits d'une base de données. Cette comparaison peut se faire automatiquement, le système détermine alors quel(s) objet(s) numérique(s) est(sont) à amener dans l'environnement physique de l'utilisateur. Il s'agit alors d'un mode d'interaction passif. A l'opposé, l'utilisateur peut avoir à déterminer les objets numériques utilisés pour la comparaison, par une navigation dans la base de données et puis par la création de l'augmentation qu'elle/il veut percevoir. Il s'agit alors d'un mode d'interaction actif.

  Nous venons d'illustrer le mode d'interaction avec la création de lien. Ce mode s'applique également à la modification des liens. Par exemple, dans l'exemple précédent, le système peut choisir le rendu des objets numériques (2D, 3D, transparence, taille, position, couleurs, etc.) pour l'utilisateur selon ses préférences ou son environnement. A contrario, l'utilisateur pourrait déterminer ce rendu de manière explicite.

  Ces modes d'interaction peuvent être perçus comme un continuum allant de la passivité de l'utilisateur à son intervention explicite et intégrale. Cependant, il est difficile de mesurer le degré d'intervention de l'utilisateur, aussi nous ne caractérisons ces modes d'interaction que par deux valeurs : passif ou actif.

Nous résumons l'ensemble des caractéristiques des augmentations par la table III-1.

Cible de l'augmentation	**Utilisateur**	**Objets**	**Environnement**
Type de l'augmentation	**Evaluation**	**Exécution**	
Temporalité de l'augmentation	**Persistant**	**Ephémère**	
Mode d'interaction lors de la création de l'augmentation	**Actif**	**Passif**	
Mode d'interaction lors de la modification de l'augmentation	**Actif**	**Passif**	

Table III-1 : la table des caractéristiques des augmentations

1.2. EXEMPLES

Nous illustrons les systèmes mixtes en suivant la classification de [Mackay 1998]. A la suite des exemples, à la table III-2, nous plaçons les systèmes cités dans la table des caractéristiques des augmentations (table III-1)

Exemple d'augmentation de l'utilisateur

Appliqué à la visite de musée, le système *NaviCam* [Rekimoto 1995] permet d'afficher des informations dans un casque semi-transparent, porté par un visiteur dans le musée. Le système est basé sur la lecture d'un code barre (par une caméra) disposé dans un coin du tableau, qui déclenche l'affichage d'informations dans le casque. Ces informations sont relatives au tableau que l'utilisateur est en train de contempler et elles concernent l'auteur de l'œuvre ou encore des caractéristiques techniques du tableau. Les données proposées sont configurables par l'utilisateur, c'est-à-dire qu'elle/il peut choisir le(s) type(s) des données à afficher en fonction de ses connaissances et de ses intérêts.

La perception de l'utilisateur est bien augmentée, le moyen utilisé étant d'équiper l'utilisateur. Le système illustre donc un cas d'évaluation augmentée [Dubois 2001]. De plus l'utilisateur n'effectue pas d'action particulière pour obtenir les informations sur les tableaux, le système affichant automatiquement les informations dans le casque selon la position de l'utilisateur : le mode d'interaction est passif. Enfin l'augmentation est persistante.

Exemple d'augmentation des objets

Les *Phicons* [Ishii 1997] (de l'anglais *physical icons*, icônes tangibles) illustrent à la fois l'exécution augmentée et l'augmentation des objets. Deux systèmes les implémentent : les *mediablocks* [Ishii 1997] avec la technologie infrarouge et les *Phicons* de [Want 1999], réalisés avec la technologie RFID [RFID]. Ces systèmes sont des exemples de virtualité augmentée (voir la figure III-1 page 52), puisqu'ils permettent la manipulation d'entités numériques à travers des objets physiques. Les *Phicons* sont des cubes en bois dans [Ishii 1997] et des objets fonctionnels dans [Want 1999]. Les applications sont diverses :

- Le transport de fichier : il suffit alors d'amener le *Phicon* sur une imprimante pour imprimer le fichier [Ishii 1997].
- Le montage vidéo : l'utilisateur associe des bouts d'un film à des *Phicons* différents (qu'elle/il peut annoter physiquement) et elle/il réalise le montage du film en ordonnant les cubes [Ishii 1997].
- L'augmentation d'une carte de visite (par exemple en l'équipant d'un tag RFID) : si l'utilisateur approche la carte de visite de son dispositif numérique personnel, alors la carte communique des informations comme l'adresse du propriétaire de la carte, sa page Web, etc. [Want 1999].
- L'extension des fonctionnalités de document : par exemple, instrumenter un dictionnaire de langue étrangère d'un tag RFID peut permettre de lancer une procédure de traduction automatique à l'approche du dictionnaire près d'un document [Want 1999].
- etc.

L'interaction augmentée suit un mode d'interaction actif : l'utilisateur détermine l'augmentation en définissant l'association entre l'objet ciblé et l'action associée. Selon l'utilisation, l'augmentation est éphémère (transport d'un fichier) ou persistante (augmentation d'une carte de visite).

Exemple d'augmentation de l'environnement

Le *Digital Desk* [Wellner 1991], introduit au début de la section 1.1 ("Définition") page 50, constitue un exemple d'environnement augmenté. En effet, les fonctions proposées comme le copier-coller sont réalisées par des caméras et un vidéo-projecteur. Ainsi l'utilisateur n'est pas équipé de quelque dispositif particulier que se soit. De même, elle/il manipule des feuilles de papier et des crayons standards. Le *Digital Desk* est un cas d'exécution augmentée, l'utilisateur réalisant des actions qui sont autrement impossibles. L'interaction se fait selon un mode d'interaction actif (l'utilisateur détermine l'augmentation en désignant les éléments qui vont être modifiés et le type des modifications) et l'augmentation est éphémère.

Synthèse des exemples

A la table III-2, nous reprenons les exemples de systèmes mixtes (SM) des sous sections précédentes. Les augmentations des *Phicons* peuvent

avoir différentes temporalités, selon l'utilisation du *Phicon* : l'association entre un fichier et un cube pour son transport est éphémère, mais l'augmentation de la carte de visite est persistante. Les exemples n'illustrent pas le mode d'interaction lors de la modification de l'augmentation. C'est en effet une caractéristique rare, difficile à accepter par l'utilisateur et difficile à déterminer pour le système. Cependant, le cas de transport d'un fichier dans un *Phicon* en vue de l'imprimer simultané à la destruction de ce fichier illustre cette caractéristique : le système doit modifier l'association et en avertir l'utilisateur.

Cible de l'augmentation	**Utilisateur**	**Objets**	**Environnement**
	Navicam	*Phicons*	*Digital Desk*
Type de l'augmentation	**Evaluation**	**Exécution**	
	Navicam	*Phicons, Digital Desk*	
Temporalité de l'augmentation	**Persistant**	**Ephémère**	
	Navicam, Phicons	*Phicons, Digital Desk*	
Mode d'interaction lors de la création de l'augmentation	**Actif**	**Passif**	
	Phicons, Digital Desk	*Navicam*	
Mode d'interaction lors de la modification de l'augmentation	**Actif**	**Passif**	
	NaviCam (configuration par l'utilisateur), Phicons, Digital Desk		

Table III-2 : le positionnement des systèmes illustrant les systèmes mixtes dans la table des caractéristiques des augmentations

1.3. OUTILS DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

En réponse au manque d'outil de classification et de conception des systèmes mixtes, la notation ASUR [Dubois 2001] permet de modéliser les interactions au sein d'un système mixte (SM). Cette notation permet donc de classer les SM et sert également de support à la conception de ces systèmes. Le premier principe d'ASUR (*Adaptater System User Real Object*) consiste à représenter un système comme un ensemble de composants :

- Composant Robject : un objet du monde physique, véritable objet de la tâche.
- Composant Rtool : un objet du monde physique, utilisé comme outil au cours de la réalisation de la tâche.
- Composant U : l'utilisateur du système.
- Composant S : le système informatique (ordinateur).
- Composant A : un adaptateur, constituant un pont entre le monde physique (Robject, Rtool, U) et le monde informatique (S), pour permettre le transfert d'information d'un monde à l'autre. Cette notion

d'adaptateur est précisée par son type : adaptateur de sortie (Aout) pour véhiculer des informations du monde informatique vers le monde physique (écran, PDA, etc.), adaptateur d'entrée (Ain) pour véhiculer des informations du monde physique vers le monde informatique (clavier, localisateur, microphone, etc.).

Le second principe repose sur l'échange de données entre ces composants. Cet échange unidirectionnel est représenté par une flèche orientée du composant ASUR émetteur vers le composant ASUR récepteur. Ainsi la relation Aout→U représente le fait que l'utilisateur perçoit des informations grâce à un adaptateur de sortie (un écran par exemple). De même la relation Rtool→Ain représente par exemple qu'un outil (Rtool) est localisé dans l'espace grâce à un localisateur (Ain).

Nous illustrons avec la figure III-2 la notation ASUR du musée augmenté [Rekimoto 1995] présenté à la section 1.2 ("Exemples") page 54.

1.4. SYNTHÈSE

Les systèmes mixtes (SM) se définissent à travers les augmentations proposées aux utilisateurs. Les augmentations constituent des liens, des ponts entre les mondes physique et numérique. Il convient d'étudier leurs dynamiques [Mackay 1998] [Want 1999]. Cette notion de lien permet à l'utilisateur d'interagir avec un environnement d'interaction en regroupant les deux mondes. Nous caractérisons les augmentations selon cinq caractéristiques:

- Les liens sont mis en œuvre en équipant l'utilisateur, les objets ou l'environnement.
- Les liens concernent la perception ou l'exécution.
- L'existence des liens est éphémère ou persistante.
- L'interaction pour la création avec les liens se fait selon un mode d'interaction passif (le système détermine les liens) ou actif (une partie des liens est spécifiée par l'utilisateur).
- L'interaction pour la modification avec les liens se fait selon un mode d'interaction passif ou actif.

Nous constatons que plusieurs systèmes mixtes, comme la *NaviCam* [Rekimoto 1995] lors de la visite d'un musée, permettent une utilisation

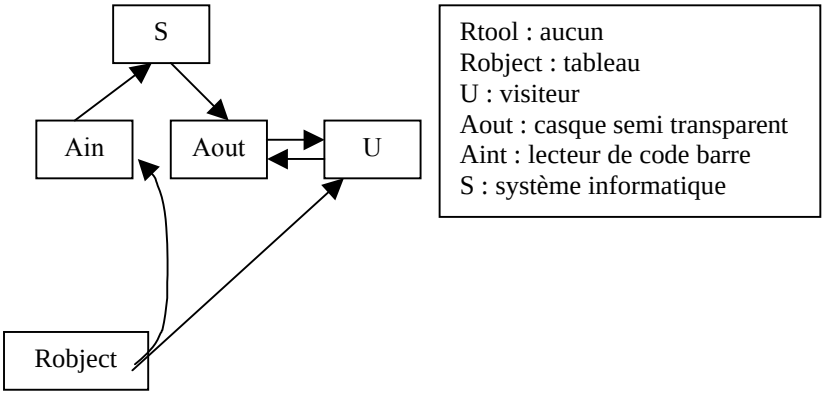


Figure III-2
la modélisation du musée augmenté avec ASUR

mobile. Il en est de même avec les *Phicons* [Ishii 1997]. Le caractère mobile des SM est traité dans la partie suivante.

2. Les systèmes mixtes mobiles

2.1. DÉFINITION

Dans un chapitre du livre "*Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*" [Azuma 1999], la mobilité inhérente de la réalité augmentée, et donc des systèmes mixtes (SM) est mise en avant. Concevoir des SM fonctionnant en extérieur est une étape naturelle du développement des SM pour atteindre l'objectif final fixé : un fonctionnement de partout, quel que soit l'environnement. Ainsi les SM se sont orientés très tôt vers la mobilité et de nombreux systèmes sont déjà mobiles ou le sont dans l'esprit. S'appuyant sur les dispositifs d'affichage portés sur la tête (*Head-Mounted Display*) comme le musée augmenté [Rekimoto 1995], sur la technologie sans fil et une conception sur mesure, comme c'est le cas pour le *Netman* [Bauer 1998] où un PC a été intégré à une veste, les SM constituent un axe de recherche très actif au sein de l'informatique mobile.

Il est néanmoins important de noter que tous les SM ne sont pas mobiles. Aussi la mobilité est un trait de classification des SM :

- Les systèmes non mobiles : Ce sont les SM où l'objet de la tâche est statique, de taille relativement petite (par rapport à l'utilisateur) et localisé en un seul lieu. Par exemple les systèmes de GMCAO (Gestes Médicaux et Chirurgicaux Assistés par Ordinateur) comme CASPER [Dubois 2001] sont conçus pour fonctionner dans le bloc opératoire.
- Les systèmes mobiles : souvent les objets de la tâche ne sont pas co-localisés ni avec les autres objets ni avec l'utilisateur. Elle/il doit alors se déplacer pour atteindre ces objectifs. C'est par exemple le cas du campus augmenté [Bauer 1998] ou du musée augmenté [Rekimoto 1995].

Ainsi, en intégrant notre approche de la mobilité exposée à la partie 1 du chapitre II, qui a restreint notre espace d'étude aux systèmes qui exploitent la localisation de l'utilisateur dans l'interaction, nous obtenons la définition suivante des systèmes mixtes mobiles [Renevier 2001] :

Un système mixte mobile est un système dont les augmentations dépendent de la localisation de l'utilisateur.

Dans le cadre d'un SM mobile, les augmentations ne sont pas toutes disponibles immédiatement, les utilisateurs doivent se déplacer pour en atteindre certaines. Il y a alors deux politiques pour cette découverte : la

modalité passive (ou *Push* en anglais) ou la modalité active (ou *Pull* en anglais). Nous adoptons la même approche que celle exposée dans [Bornträger 2003]. Une interaction active est une interaction qui se déroule à l'initiative de l'utilisateur, en réponse à une action explicite de celui-ci. A l'inverse, nous qualifions une interaction de passive si celle-ci n'est pas la résultante d'une action volontaire de l'utilisateur. Par exemple, dans le cadre du musée augmenté [Rekimoto 1995], l'utilisateur interagit avec les tableaux, cependant, elle/il ne fait rien de spécial pour cela. Qu'elle/il soit équipé ou non du système *NaviCam*, sa démarche aurait été approximativement la même. Ainsi, certaines interactions peuvent être déclenchées sans intervention explicite de l'utilisateur. Cependant, il est possible pour un utilisateur connaissant bien le système de détourner ce principe à son profit : l'utilisateur fera alors certaines actions dans l'optique de déclencher un comportement du système.

Cette caractéristique des augmentations est à joindre à celles exposées à la sous-section "Caractéristiques d'une augmentation" page 52, en particulier au mode d'interaction lors de la création et lors de la modification des liens. Ainsi l'aspect actif/passif s'applique à la création d'une augmentation, à la modification d'une augmentation et à l'accès à une augmentation. Il s'agit là de la dynamique des liens définie dans [Mackay 2000].

Il existe une voie intermédiaire entre la modalité passive et la modalité active pour accéder aux liens. Il s'agit du filtrage. Par exemple, dans le système du musée augmenté [Rekimoto 1995], l'utilisateur a la possibilité de spécifier les informations qu'elle/il désire obtenir sur les tableaux. Elle/Il a donc ainsi un certain contrôle sur les liens qu'elle/il sollicite.

2.2. EXEMPLES

Nous présentons des exemples de SM mobiles selon le mode d'interaction pour l'accès aux augmentations.

Exemple d'interactions actives

Un système comme *GestureCam* [Kuzuoka 1994] qui permet une vidéo conférence entre deux points, d'un coté l'expert, de l'autre les personnes renseignées, est une illustration d'interactions actives. L'expert est représenté par un dispositif, une sorte de bras articulé équipé d'une caméra et d'un pointeur (laser), qui est "répliqué" sur les deux sites. En manipulant le bras dont elle/il dispose, l'expert bouge celui sur le site à distance, contrôlant alors sa vision du site, tout en assurant une présence à distance grâce au pointeur. Ce genre de système supporte assez mal la mobilité pour l'expert, mais il laisse les personnes renseignées libres de tout mouvement. L'objet qui est expliqué par l'expert est un objet augmenté pour les personnes renseignées. Celles-ci peuvent se déplacer autours de l'objet et l'expert adapte son discours et ses indications (position du pointeur) en fonction de la position des personnes

renseignées et de leurs requêtes. L'augmentation sur les zones expliquées est créée par l'expert en fonction des échanges entre les utilisateurs et des questions des personnes renseignées. L'aspect collaboratif de ce système est repris par la suite.

Exemples d'interactions passives

Nous présentons trois exemples de SM qui permettent l'accès aux liens par des interactions passives. Dans un premier temps, nous présentons la *Touring Machine* [Feiner 1997] qui introduit les casques de vision. Dans un deuxième temps, nous décrivons le système *Archeoguide* [Vlahakis 2001] qui utilise la *video see trough*. Finalement, nous présentons le jeu *Touch-Space* [Cheok 2002], un système de Virtualité Augmentée.

Touring Machine. La *Touring Machine* présentée dans [Feiner 1997] est un système renseignant l'utilisateur sur les lieux qu'elle/il visite. La plate-forme est composée d'un ordinateur porté dans le dos, d'une tablette, d'un casque semi-transparent (HMD pour *Head-Mounted Display*), de capteurs d'orientation (boussole électronique), de position (GPS) et d'un touchpad pour interagir dans le HMD ainsi qu'un réseau sans fil pour connecter le dispositif à une base de données distante.

Le HMD est un casque de vision, comportant deux écrans LCD, un pour chaque œil. Des miroirs partiellement argentés permettent la superposition du monde physique (vision directe) avec les images affichées dans les écrans LCD. La fusion des deux signaux lumineux permet alors de sur-imprimer des images générées par ordinateur sur la vue de l'utilisateur. Les HMD sont fréquemment utilisés dans les SM mobiles.

En connaissant la position et l'orientation de l'utilisateur, la *Touring Machine* est capable de fournir des informations sur ce que regarde l'utilisateur. En particulier, les bâtiments (objets fixes, qu'il n'est pas nécessaire de détecter car leurs localisations sont déjà connues) sont alors enrichis par des informations contextuelles, comme leurs fonctions, leurs histoires, grâce au HMD. Sur la tablette, des informations complémentaires sont disponibles, à travers une navigation Web dans une base de données.

Ce type de SM mobiles illustre une partie des systèmes que nous souhaitons étudier. En effet, la localisation (et donc le déplacement) de l'utilisateur lui permet d'obtenir des informations (il s'agit en effet de perception augmentée) sur les lieux visités. Son déplacement est une forme d'interaction avec son environnement.

Archeoguide. En revanche, si la superposition est due à une association d'un environnement physique avec une modélisation numérique de cet environnement, alors l'augmentation concerne soit des objets cachés (comme des tuyaux enfouis dans le sol ou dans des murs) soit des objets enlevés du site. Dans ce cas, la mobilité est à la fois un moyen d'interaction mais aussi faisant partie de la tâche à réaliser. Le fait de

restituer des objets qui ne sont plus accessibles est illustré par les systèmes archéologiques ou touristiques. *Archeoguide* [Vlahakis 2001] est un tel système, appliqué à la visite du site olympique antique à Athènes. L'augmentation concerne la restitution de scène originale, comme un temple en ruine reconstitué. Dans un tel cas, le HMD qui équipe l'utilisateur n'est pas semi-transparent, et le système affiche à l'intérieur les images d'une ou plusieurs caméras filmant ce que verrait l'utilisateur, les images captées étant modifiées en temps réel. C'est le principe de *video see-through*.

Touch-Space. Le jeu *Touch-Space* [Cheok 2002] est un exemple de système de Virtualité Augmentée et donc de SM. L'interaction est basée sur l'instrumentation d'une surface sur laquelle les utilisateurs se déplacent. Les liens sont réalisés par des marqueurs reconnus via une caméra par les outils de l'*ARToolkit* [Kato 1999]. Un monde numérique est représenté par cette surface. Les utilisateurs peuvent se déplacer de lieu en lieu en passant d'une case à une autre. Il existe différents niveaux d'immersion dans le jeu : l'un semblable au système *Archeoguide* [Vlahakis 2001] qui permet d'explorer les différentes cases, un niveau intermédiaire où l'utilisateur possède une vue aérienne du monde numérique (l'utilisateur "pilote" alors un avion) et le dernier niveau est complètement immersif. A chaque niveau, la collaboration est plus ou moins instrumentée. Au premier niveau, elle n'y en est pas, le simple contact avec les autres utilisateurs (qui jouent au même endroit) suffit aux collaborations. Au niveau intermédiaire, l'utilisateur peut voir ou entendre l'avion des autres, ce qui assure une présence dans le monde numérique. Finalement, au niveau le plus immersif, chacun est représenté par un avatar (le joueur s'est alors posé dans le monde numérique). Les transitions sont progressives, et les utilisateurs peuvent avoir un indice de la présence d'autres personnes à travers des sons (par exemple d'entendre le bruit d'un avion d'un autre joueur co-localisé à la fois dans le monde physique et dans le monde numérique).

2.3. OUTILS DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

Pour intégrer la mobilité inhérente aux SM, ASUR++ [Dubois 2002] reprend la notation ASUR [Dubois 2001], présentée à la section 2.3 ("Outils de conception ergonomique") page 61, et ajoute la dimension mobile. Ceci se traduit par l'introduction des deux notions suivantes :

- Le déclenchement d'action par une activité physique, noté =>. Cette double flèche marque le fait que lorsqu'un composant ASUR s'approche (contrainte spatiale de proximité) d'un autre composant, des données seront transférées à travers une autre relation notée (->). La contrainte spatiale (=>) et l'échange de données (->) constituent les propriétés de cette relation.
- La proximité physique persistante, notée =. Si deux composants ASUR sont liés par cette relation, alors ils sont physiquement indissociables.

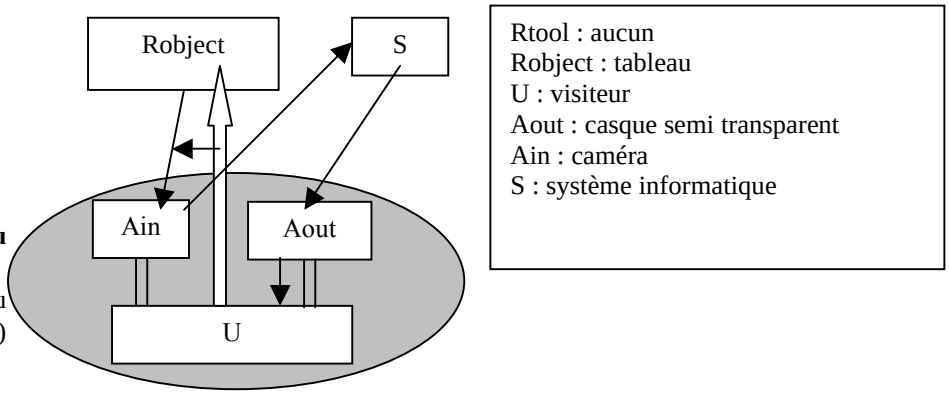


Figure III-3
la description ASUR++ du musée augmenté
C'est en arrivant à proximité du tableau que l'utilisateur (U) déclencheur de l'augmentation.

Par exemple, dans le cas d'un localisateur fixé sur l'utilisateur, nous obtenons une relation U=Ain. Cette jointure peut être également mise en évidence graphiquement par un contour dessiné autour des composants concernés.

Nous illustrons ASUR++ avec l'exemple du système *NaviCam* [Rekimoto 1995] à la figure III-3. Dans cet exemple, la mobilité de l'utilisateur est indiquée par la flèche (=>) verticale et centrale : l'événement déclencheur est le déplacement de l'utilisateur. Lorsque l'utilisateur approche suffisamment près du tableau, la caméra (Ain) repère le code-barre associé au tableau et transmet l'information au système. Le système détermine alors les informations à afficher dans le casque (Aout).

2.4. SYNTHÈSE

Nous avons défini les SM mobiles comme des systèmes où les augmentations dépendent de la localisation de l'utilisateurs.

L'accès aux augmentations par l'utilisateur suit alors une interaction active (avec une intervention de l'utilisateur) ou une interaction passive (sans intervention de l'utilisateur)

Une des propriétés ergonomiques des SM est la continuité dans l'interaction, soit cognitive, soit perceptive, soit les deux chapitre , pour offrir un environnement augmenté (fusion des deux mondes) cohérent et homogène pour l'utilisateur. Cette caractéristique est particulièrement déterminante dans les systèmes mobiles, en particulier pour répondre à la problématique du minimum d'attention requis exposé au chapitre II [Pascoe 2000], [Kristoffersen 1999] [Miller 2003].

Nous constatons au travers de nos illustrations que la notion de collaboration est "naturellement" présente avec les systèmes mixtes mobiles. L'aspect collaboratif des SM fait l'objet de la partie suivante.

3. Les systèmes mixtes collaboratifs

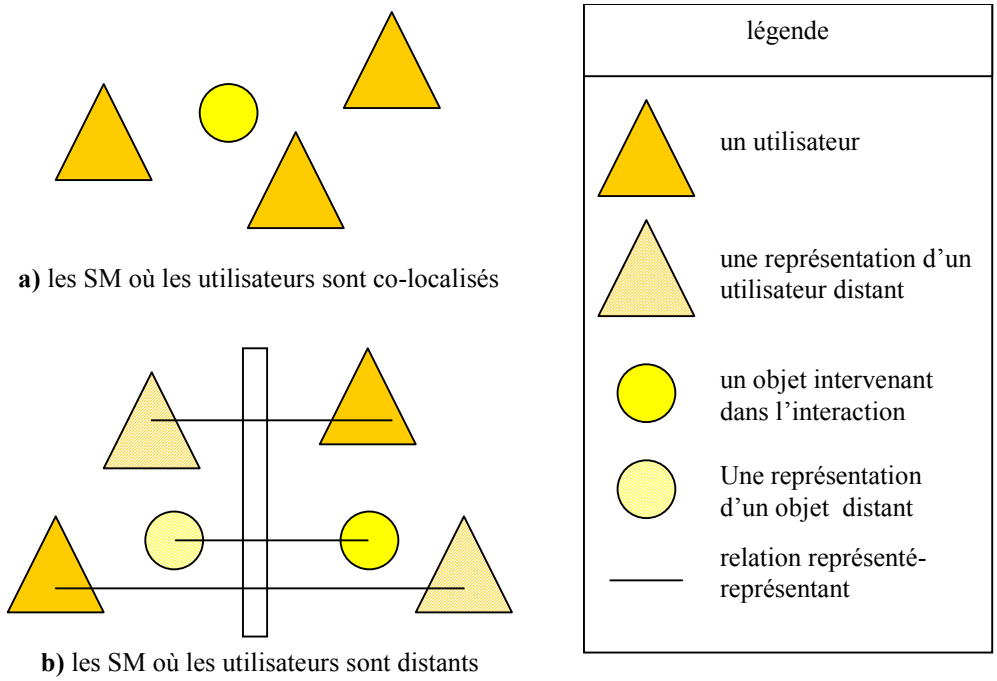
3.1. DÉFINITION

Les systèmes mixtes (SM) constituent un paradigme d'interaction visant la fusion harmonieuse des données numériques avec le monde physique et tangible. Considérant l'aspect social des activités humaines mettant en jeu de nombreux échanges, nous considérons les SM comme une approche pour fusionner les interactions informatisées avec les interactions non-informatisées entre les utilisateurs. Comme il est souligné dans [Billinghurst 1999], dans un collecticiel, les utilisateurs ont besoin de communiquer, d'échanger, ces activités étant étroitement liées aux tâches en cours de réalisation. Aussi, il est proposé de ne pas uniquement refaire ce qu'il est possible de faire sans l'ordinateur, mais d'aller au-delà, de proposer des fonctionnalités nouvelles. De cette liaison entre les besoins de collaboration entre les utilisateurs et la tâche, nous définissons les SM collaboratifs [Renevier 2001] :

Un système mixte collaboratif est un système dont les augmentations pour un utilisateur dépendent des actions et des connaissances des utilisateurs.

En nous basant sur notre définition des collecticiels présentée au partie 2 du chapitre II page 29, et en particulier le découpage spatial, nous identifions deux types de SM collaboratifs, illustrés par la figure III-4 :

- Les systèmes mixtes où les utilisateurs interagissent dans un même lieu. Il s'agit alors d'un environnement collaboratif augmenté (*Collaborative Augmented Environment*) ou d'une surface particulière comme une table.



a) les SM où les utilisateurs sont co-localisés

b) les SM où les utilisateurs sont distants

Figure III-4
les deux types de SM collaboratifs selon que les utilisateurs sont a) ensembles et b) distants

- Les systèmes mixtes où les utilisateurs ne sont pas dans les mêmes endroits. Il s'agit alors d'apporter dans l'environnement physique d'un utilisateur les éléments distants. D'une présence minime, comme dans un médiaspace [Coutaz 1999] (un système de virtualité augmentée offrant aux utilisateurs des images vidéos de tous les utilisateurs), à un système sophistiqué comme *GestureCam* [Kuzuoka 1994], présenté à la sous-section "Exemple d'interactions actives" page 59, les éléments représentant les utilisateurs distants ou les objets distants intervenant dans l'interaction sont le support de l'interaction.

Excepté la dimension ensemble-dispersés des collecticiels caractérisant les augmentations, les autres caractéristiques des collecticiels et des systèmes mixtes ne sont pas remises en cause.

De plus, les espaces partagés (*shared space)*, une sorte de SM collaboratifs, sont caractérisés par trois continua présentés dans [Benford 1998] :

- La projection des utilisateurs dans un monde distant (*Transportation*). Cette première caractéristique représente l'impression qu'auront les utilisateurs d'être projetés dans un autre environnement que le leur pour rencontrer des utilisateurs et des informations ou au contraire de rester dans leur propre environnement. Pour un utilisateur, à un extrême du continuum, l'utilisateur est délocalisé dans un autre environnement, tandis qu'à l'autre extrême, ce sont les informations et les autres utilisateurs qui sont amenés dans l'environnement de l'utilisateur (par exemple une conversation en vis à vis). La nature de la technologie a une grosse influence sur le positionnement des systèmes le long de cet axe.
- L'artificialité de l'espace dans lequel les utilisateurs sont projetés (*Artificiality*). Cette deuxième caractéristique permet de distinguer les espaces principalement numériques des espaces essentiellement physiques. Par exemple les systèmes de vidéo-conférence (et tous les environnements collaboratifs augmentés – *Collaborative Augmented Environments*) sont situés du coté physique, mais par contre les *Collaborative Virtual Environments* sont à l'autre extrémité.
- La spatialité (*Spatiality*). Cette dernière caractéristique représente la capacité du système mixte collaboratif à rendre perceptible les propriétés spatiales physiques par les utilisateurs. Une caractéristique de spatialité faible se traduit pour les utilisateurs par l'unique capacité à savoir qui est présent. Plus cette caractéristique de spatialité est développée, mieux les utilisateurs situent les autres utilisateurs les uns par rapport aux autres. A l'extrémité supérieure de ce continuum, chaque utilisateur est apte à dire qui est présent, où se situent tous les utilisateurs et vers où ils regardent : la référence spatiale sera commune à tous et complète. La spatialité est un élément de la conscience de groupe.

La projection et l'artificialité pour les utilisateurs caractérisent la façon dont les éléments distants pour un utilisateur sont rapportés dans son environnement physique. En d'autres termes, il s'agit de la mannière dont les utilisateurs (triangle plein à la figure III-4 page 63) perçoivent les éléments rapportés à leurs environnements (les éléments hachurés sur la figure). Ainsi, nous réutilisons les définitions de [Benford 1998] pour les appliquer à tous SM collaboratifs. Par ailleurs, si la projection et l'artificialité d'un système sont trop élevées alors le système appartient à la réalité virtuelle (comme les *Collaborative Virtual Environments)* et un tel système n'appartient pas au cadre de cette étude.

3.2. EXEMPLES

Nous présentons plusieurs exemples de Systèmes Mixtes (SM) collaboratifs selon deux catégories : le cas où les utilisateurs sont co-localisés, et le cas où les utilisateurs sont distants.

Cas où les utilisateurs sont co-localisés

Nous traitons d'abord les cas des environnements instrumentés ou augmentés au sens de [Mackay 1998]. Dans l'environnement *i-land* [Streitz 1999], l'hypothèse de départ est que l'environnement doit devenir un espace d'interaction. Il s'agit d'une approche ubiquitaire de l'informatique mobile. Ces travaux proposent une salle coopérative, où les différents dispositifs s'intègrent à la pièce elle-même. Il y a trois éléments : le *DynaWall*, un ensemble de trois tableaux blancs accolés et interactifs, les *CommChairs*, des fauteuils équipés en outils de communication et l'*InteracTable*, une table interactive. Ces trois "dispositifs" correspondent à deux scénarios particuliers. Le *DynaWall* correspond au partage d'une grande surface d'interaction entre différents utilisateurs, comme lors d'une explication avec des fonctions de recherche d'information et de sauvegarde. Les *CommChairs* et l'*InteracTable* répondent aux besoins de modularité dans les salles de travail afin de faciliter la division en sous-groupes. La conception intégrée des dispositifs d'interaction ne peut cependant pas s'appliquer à tous les cas. Lorsque l'interaction est confinée dans des espaces modelables la solution est envisageable pour un usage à long terme. Cependant, si l'application concerne un site naturel, un chantier en évolution (construction, destruction, recherche archéologique), alors l'instrumentation de l'environnement ne doit pas être trop lourde ni trop coûteuse à mettre en place, car l'environnement est par définition éphémère.

Toujours dans le cadre d'un environnement augmenté, les surfaces augmentées (*Augmented Surfaces*) [Rekimoto 1999] proposent d'étendre la métaphore du bureau de nos systèmes d'exploitation à tout l'environnement de l'utilisateur, dans le prolongement du *Pick-and-drop* [Rekimoto 1997] présenté à la partie 3 du chapitre III page 63. La mise en œuvre de ce SM collaboratif repose sur un ensemble de caméras et de vidéo-projecteurs qui équipent les lieux de l'interaction. L'utilisateur peut

alors utiliser le curseur de sa souris autour de lui, elle/il peut facilement poser des documents pour les partager avec une autre personne. Il est également possible d'attacher une ressource numérique avec un objet, alors instrumenté à travers un symbole distinctif reconnu par une caméra. Chaque objet ainsi augmenté possède une aura, visuellement représentée par la projection d'un cercle par un vidéo-projecteur. En déposant un document dans cette aura, l'utilisateur peut lier le document et l'objet. Le système permet une collaboration entre plusieurs utilisateurs qui sont alors affranchis des problèmes de communication entre deux ordinateurs, et il est également possible de déposer un fichier pour une personne, qui le trouvera ultérieurement. Comme pour *i-land*, l'équipement de l'environnement étant assez complexe et coûteux.

Outre les environnements augmentés, certains SM collaboratifs n'augmentent qu'une surface autour de laquelle les utilisateurs sont regroupés. C'est le cas d'une table magique [Bérard 2003] ou des tableaux magiques [Bérard 1999], qui sont des supports de réunion dont la souplesse des augmentations permettent des échanges dynamiques. Le domaine du jeu aborde aussi les SM collaboratifs par cet aspect. AR²Hockey [Ohshima 1998] permet de jouer à un jeu de palet avec des éléments numériques, l'interaction étant limitée à la table de jeu. Un autre exemple est l'informatisation du jeu de Whist [Römer 2002], un ancêtre du Bridge. Les cartes sont reconnues par un ordinateur par des tags RFID. Un écran de cet ordinateur est partagé par les joueurs et affiche des informations sur le jeu. Chaque joueur possède aussi un PDA avec des informations qui lui sont propres. Les règles du jeu ont été programmées, et l'outil informatique peut alors aider le joueur dans ses décisions. Les cas des interactions limitées à une seule surface rejoignent l'approche des environnements augmentés, en restreignant le coût, mais aussi en limitant l'extension des systèmes. De plus, la mobilité est implicite dans un environnement augmenté : le système n'a pas à maintenir la position des objets et des utilisateurs car les interactions se font par contact entre les objets. Ceci apporte de la souplesse à l'utilisabilité.

L'augmentation de certains objets de l'environnement peut réduire le coût d'instrumentation. C'est l'approche des deux réalisations des *Phicons* [Ishii 1997] et [Want 1999], que nous avons présentées à la sous-section "Exemple d'augmentation des objets" page 55. En effet, seuls les éléments clefs de l'environnement des utilisateurs sont équipés par des tags infrarouges ou RFID. L'échange des données se fait alors sans intervention explicite de l'ordinateur, car il suffit alors de donner un objet physique, le téléchargement étant automatique. Cependant, seuls les objets augmentés permettent l'interaction.

Cas où les utilisateurs sont distants

Nous présentons les systèmes de téléprésence selon l'axe de projection des utilisateurs dans un espace distant (*transportation*), tiré de [Benford 1998] :

- Les médiaspaces, cités dans la partie Définition, ne donnent pas l'impression d'être transporté ailleurs. Ils offrent des fenêtres sur d'autres lieux, créant ainsi le sentiment de partager un espace commun, aidant à maintenir une conscience de groupe étroite entre les utilisateurs.
- Dans [Kraut 1996], un système mixte collaboratif est présenté. Il s'agit d'un système de réparation d'un vélo, un travailleur, équipé d'un casque semi-transparent et d'une caméra qui filme là où elle/il regarde, se trouve devant le vélo. Il peut communiquer avec un expert qui le guide dans sa tâche à distance. L'expert observe à travers les images filmées ce que perçoit le technicien, et il peut ainsi le guider dans sa tâche. La manière dont est réalisée cette aide à distance change l'implication des utilisateurs. Par exemple, avec la vidéo, l'expert garde l'initiative du dialogue et c'est lui qui parle le plus. Sans vidéo, le technicien compense ce manque d'information par une description orale. En adoptant le point de vue du technicien, l'objectif du système est de projeter l'expert à distance dans l'environnement du technicien, afin de partager un même espace d'interaction.
- Le système *GestureCam* [Kuzuoka 1994] présenté à la sous-section "Exemple d'interactions actives" page 59 présente des similitudes avec le système précédent, sauf que l'expert possède alors une vision différente de celui des techniciens. Les mouvements du bras articulé sur le site distant renforcent l'impression de présence auprès des techniciens, ce qui favorise la collaboration. En effet, le comportement du bras est directement lié aux activités de l'expert, aussi, il renseigne sur le suivi des actions des techniciens par l'expert. Nous soulignons ici la différence des rôles et des interfaces pour l'expert d'une part et les techniciens d'autre part.

3.3. OUTILS DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

Outre la définition des systèmes mixtes (SM) collaboratifs présentée à la section Définition et les trois caractéristiques de [Benford 1998], nous trouvons cinq propriétés dans [Koleva 1999] :

- La capacité des liens entre deux mondes à fournir de l'information (*Permeability*) : un lien, une augmentation, est un vecteur d'échanges d'information entre les utilisateurs. Ces échanges peuvent être visuels, auditifs ou solides. En ce qui concerne les canaux de la vue et de l'ouïe, l'information peut subir quatre effets : une atténuation, une amplification, une transformation lexicale (il s'agit de la modification du signal, pas de la forme, par exemple modifier une voix pour assurer l'anonymat) et une transformation sémantique (les informations transmises sont interprétées et représentées différemment, souvent

synthétiquement). La solidité de l'échange traduit la capacité du lien à être perçu physiquement par les utilisateurs, comme les *Phicons* [Ishii 1997] ou la représentation à travers le bras articulé dans *GestureCam* [Kuzuoka 1994].

- Les propriétés spatiales des liens entre deux mondes (*Situation*) : les propriétés spatiales (localisation, orientation, etc.) d'un lien avec les mondes qu'il relie déterminent la compréhension de l'organisation spatiale des deux mondes par les utilisateurs.
- La dynamique des liens (*Dynamics*) : les liens ont une durée de vie et un degré de configuration, c'est à dire le changement de leurs propriétés au cours du temps. Ceci rejoint le problème identifié dans [Mackay 2000], notamment sur l'appartenance de ces liens et leurs évolutions.
- La représentation des liens (*Representation*) : pour que les liens soient efficaces, l'utilisateur doit pouvoir les percevoir, physiquement, visuellement ou oralement. Par exemple, *GestureCam* [Kuzuoka 1994] base l'interaction sur le retour d'information du lien, le bras articulé. Ce bras assure la présence de l'expert auprès des techniciens, qui ont alors un retour d'information sur l'activité de l'expert sur les trois niveaux : physique, à travers le bras, visuel, en suivant l'évolution du bras et orale à travers la voix de l'expert mais aussi le bruit du bras.
- La symétrie des liens (*Symmetry*) : les liens sont considérés comme devant être symétrique des deux côtés des mondes liés, une asymétrie résultant de la technologie employée.

Notre propre expérience et des exemples comme *GestureCam* [Kuzuoka 1994] montrent que le dernier point, la symétrie des liens, n'est pas une véritable caractéristique. Dans *GestureCam*, les rôles sont définis par l'activité des utilisateurs et les interfaces ne sont pas les mêmes. Ce qui lie les techniciens, l'objet et l'expert n'est pas symétrique : l'expert crée le lien et les techniciens perçoivent ce lien. L'asymétrie est donc un point particulier sur lequel nous reviendrons dans le chapitre suivant dédié aux SM collaboratifs et mobiles.

3.4. SYNTHÈSE

Nous avons défini les systèmes mixtes collaboratifs comme des systèmes dont les augmentations dépendent des actions des utilisateurs. Nous avons regroupé les SM collaboratifs en deux classes : le cas où les utilisateurs sont dans un même lieu et le cas où les utilisateurs collaborent à distance.

Les systèmes mixtes collaboratifs posent le problème de l'appartenance des liens et de leurs dynamiques (création, modification et accès) [Koleva 1999] [Mackay 2000]. Cet aspect est renforcé par la mobilité, qui accentue les aspects dynamiques, mais aussi le besoin de connaître le propriétaire d'une activité, visible à travers une augmentation, un lien.

4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les Systèmes Mixtes (SM). Ces derniers se caractérisent par les augmentations ou liens établis entre le monde physique et le monde numérique. Nous retenons de ce chapitre les caractéristiques des liens et les définitions des SM mobiles et des SM collaboratifs :

- Les liens concernent la perception ou l'exécution.
- Les liens sont mis en œuvre en équipant l'utilisateur, les objets ou l'environnement.
- L'existence des liens est éphémère ou persistante.
- La création des liens se fait selon un mode d'interaction, passif (le système détermine les liens) ou actif (une partie des liens est spécifiée par l'utilisateur).
- Les modifications des liens se font selon un mode d'interaction passif ou actif.
- Les accès aux liens se font selon un mode d'interaction passif ou actif.

Nous avons défini les SM mobiles comme :

Un système mixte mobile est un système dont les augmentations dépendent de la localisation de l'utilisateur.

De même, nous avons défini les SM collaboratifs comme :

Un système mixte collaboratif est un système dont les augmentations pour un utilisateur dépendent des actions et des connaissances des utilisateurs.

Dans les chapitres II et III, nous avons étudié les trois facettes de notre étude : l'informatique mobile, les collecticiels et les systèmes mixtes. Le cadre d'étude étant figé, nous traitons de la conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles dans le chapitre suivant. Ce chapitre IV reprend bien évidemment les résultats déjà énoncés dans les chapitres II et III et présente un canevas intégrateur pour la conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles.

Chapitre IV *Les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles*

Dans les deux chapitres précédents, nous avons introduit et défini les trois facettes de notre étude : l'informatique mobile, les collecticiels et les systèmes mixtes. Nous avons restreint la mobilité aux systèmes sensibles à la localisation et à l'orientation de l'utilisateur. Les collecticiels se définissent à travers leurs fonctionnalités : production, communication et coordination, ainsi qu'à travers leur position dans la matrice espace-temps. Enfin, les systèmes mixtes (SM) sont caractérisés par les augmentations qu'ils fournissent, des liens entre les mondes physique et numérique. Nous avons aussi montré que l'association de deux facettes ne se résume pas à une simple juxtaposition. Ainsi la matrice espace-temps des collecticiels a été adaptée pour caractériser les collecticiels mobiles. De même, les SM mobiles se définissent par leurs augmentations dépendant de la localisation de l'utilisateur et les SM collaboratifs par leurs augmentations dépendant des actions des utilisateurs.

Dans ce chapitre, en nous appuyant sur les résultats des deux chapitres précédents, nous caractérisons les SM collaboratifs et mobiles puis nous étudions leur conception. Le chapitre s'organise comme suit : nous définissons d'abord un système mixte collaboratif et mobile, ensuite nous identifions les traits caractéristiques de tels systèmes. Après avoir illustré les SM collaboratifs et mobiles, nous décrivons notre démarche de conception de ces systèmes basée sur les scénarios. Finalement, avant de résumé les contributions de ce chapitre, nous présentons des outils pour la phase de spécifications externes.

1. Définition

En nous appuyant sur les définitions des systèmes mixtes (SM) mobiles et des SM collaboratifs du chapitre précédent, les SM collaboratifs et mobiles sont définis par :

Un système mixte collaboratif et mobile est un système dont les augmentations pour un utilisateur dépendent à la fois de sa localisation, de son orientation et des activités des utilisateurs.

Les SM collaboratifs et mobiles se caractérisent aussi selon le découpage spatio-temporel des collecticiels mobiles : les lieux d'utilisation (confiné ou vagabond), la distance relative des utilisateurs (ensemble/lieu identique ou dispersés/lieux différents) et les temps d'utilisation (synchrone, asynchrone et les temps d'utilisation mixtes).

Il en résulte que les interactions offertes par un SM collaboratif et mobile sont localisées (c'est-à-dire que la position géographique des utilisateurs influe sur ces interactions). De même, ces interactions impliquent des objets numériques et physiques, créés ou contrôlés par les utilisateurs. Ceci dessine les contours de notre étude. Pour offrir de telles interactions, des liens entre les mondes physique et numérique sont créés et manipulés. Nous définissons un lien (ou une augmentation) comme :

- l'ajout d'une entité d'un des deux mondes dans l'autre monde ou
- la manipulation d'une entité d'un des deux mondes par des outils de l'autre monde.

Dans un système mixte (SM) mobile comme la *Touring Machine* de [Feiner 1997], présentée à la section 2.2 "Exemples" du chapitre III page 59, les liens entre les deux mondes sont pré-calculés et enregistrés dans une base de données pour être exploités lorsque l'utilisateur se trouve dans la situation adéquate. Un utilisateur de la *Touring Machine* n'accède aux informations sur un bâtiment que s'elle/il regarde ce bâtiment. Dans les SM collaboratifs et mobiles, l'augmentation repose sur les actions des utilisateurs. Ainsi, contrairement à la *Touring Machine*, les liens, en tant que résultat de l'activité des utilisateurs, sont dynamiques. La dynamique des liens est soulignée dans [Mackay 2000] et elle est étudiée selon l'appartenance des liens. Nous constatons que la création, l'accès, la modification et la destruction des liens sont les fonctions clefs d'un SM collaboratifs et mobiles. Nous développons cette approche en détaillant les trois fonctions clefs : la création, l'accès et la modification/destruction des liens.

1.1. CRÉATION DES LIENS

La création des liens entre les deux mondes, que nous avons présentée à la partie 1 "Les systèmes mixtes" du chapitre III page 50, se caractérise selon deux axes : la dynamique et la temporalité.

La dynamique de la création des liens concerne le mode d'interaction de cette création. Par exemple, en utilisant les *Augmented Surfaces* de [Rekimoto 1999], présentées à la section 3.2 "Exemples" du chapitre III page 65, l'utilisateur a la possibilité d'attacher une ressource numérique à un objet marqué par un symbole distinctif, à la manière d'un *Phicon*. L'utilisateur spécifie donc explicitement le lien entre l'information numérique et l'objet physique. Nous distinguons deux modes d'interaction :

- Passif : le lien est automatiquement déterminé par le système (position, nature, rendu, etc.). Il s'agit par exemple de capture automatique de l'environnement physique afin de créer un lien. Nous illustrons ce cas avec notre système MAGIC [Renevier 2001], au chapitre VI.
- Actif : l'utilisateur spécifie une partie ou la totalité des données qui définissent le lien, comme c'est le cas avec l'association entre les objets et les informations avec les *Augmented Surfaces* de [Rekimoto 1999].

La temporalité des liens concerne leur durée de vie. Les liens sont-ils éphémères ou sont-ils persistants ? Par exemple, durant une explication dans le système mixte collaboratif [Kraut 1996] présenté à la sous-section "Cas où les utilisateurs sont distants" du chapitre III page 67, les liens créés sont les indications fournies par l'expert au réparateur de la bicyclette. Ces liens sont éphémères, ils sont perdus d'une session à une autre. A l'inverse, les indications fournies à l'utilisateur de la *Touring Machine* de [Feiner 1997] sont persistantes.

1.2. ACCÈS AUX LIENS

Dans les systèmes mixtes (SM) non mobiles, les liens entre les deux mondes sont "directement" disponibles. Au contraire, au sein d'un SM mobile, les liens ne sont pas tous disponibles immédiatement, les utilisateurs doivent se déplacer pour les atteindre. Il y a alors deux politiques pour cette découverte : la mode passif (ou *Push* en anglais) ou le mode actif (ou *Pull* en anglais). Nous avons défini ces deux approches dans la partie 2 "Les systèmes mixtes mobiles" du chapitre III page 58. Par ailleurs, le filtrage constitue une solution intermédiaire entre les deux modes actif et passif. Les approches *Push and Pull* définissent la dynamique de l'accès aux liens.

Cette dynamique dans l'accès aux informations est également possible avec un système non mixte. Cependant, les cas actuels de passivité sont plutôt des désagréments que des bénéfices, comme les fenêtres en cascade sur Internet. Ainsi, les systèmes mixtes collaboratifs mobiles exploitent mieux le principe de *Pull and Push* que les systèmes classiques. En effet, dans le cadre d'un système mixte, c'est à travers une augmentation que l'interaction se fait. Si l'entité augmentée est le centre de l'attention, et si

l'augmentation est bien conçue, alors les chances que l'utilisateur perçoive cette information sont assez grandes.

Finalement, l'accès aux liens se traduit également par une politique de droit d'accès en lecture, comme toutes données partagées (ou non) dans un collecticiel.

1.3. MODIFICATION-DESTRUCTION DES LIENS

La modification et la destruction des liens soulèvent les problèmes de droits en écriture des ressources, problèmes connus pour les collecticiels classiques. Il s'agit alors de déterminer la ou les politiques de partage des ressources numériques entre les utilisateurs pendant leurs actions à travers les liens. Les droits de modification des liens, conjointement aux droits d'accès aux liens et de création, définissent les rôles des utilisateurs au niveau de l'interaction.

De même, nous considérons le mode d'interaction pour la modification/ destruction des liens selon l'axe actif-passif. Une modification passive d'un lien est une modification sans intervention explicite des utilisateurs, comme un système de mémo semblable à *GeoNotes* [Persson 2002] avec, pour chaque mémo, le maintien automatique d'une liste des utilisateurs ayant consulté le mémo. A l'inverse, la suppression de l'association d'un objet et d'un cube lors d'utilisation de *Phicons* [Ishii 1997] est un cas de destruction d'un lien selon une interaction active. Ceci concerne également les fonctions d'adaptation automatique à partir d'informations contextuelles. Par exemple, bien qu'il ne s'agisse pas d'un système mixte, le système décrit dans [Schmidt 1999] qui adapte l'affichage (taille de la police, luminosité) d'un texte sur un PDA en fonction des déplacements illustre ce principe.

En résumé, nous considérons trois fonctions de manipulation des liens : la création, l'accès et la modification/destruction. En particuler, chacune de ces fonctions suit un mode d'interaction actif ou passif. Cette dynamique participe à la définition des liens, eux-même définissant les systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mobiles. Outre cette dynamique des liens, nous définissons trois traits caractéristiques des SM collaboratifs et mobiles que nous présentons dans la partie suivante.

2. Traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles

Nous présentons trois caractéristiques des systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mobiles : la localisation des liens par rapport aux utilisateurs, les

trois types d'interaction et l'asymétrie des rôles tenus par les utilisateurs dans la réalisation des tâches. Ces caractéristiques sont liées aux influences mutuelles des trois facettes de notre étude : l'informatique mobile, les collecticiels et les systèmes mixtes.

2.1. LOCALISATION DES LIENS

Au sein d'un système mixte mobile, l'un des premiers traits caractéristiques est la position des liens dans l'espace et par rapport aux utilisateurs. En d'autres termes, les augmentations introduites dans la collaboration mobile sont définies à travers leurs localisations et leurs distances par rapport aux utilisateurs. Nous identifions trois possibilités :

- Les liens sont co-localisés, les utilisateurs se déplaçant alors autour. Il s'agit par exemple d'une surface (ou d'un volume) augmentée, comme la *Virtual Showcase* [Bimber 2002]. C'est un dispositif composé d'un miroir semi-argenté conique posé sur une table rétro-projetée. Le miroir partiellement argenté permet de superposer une image vidéo projetée par la table sur un objet physique posé dans le cône, selon le même principe que celui utilisé dans les casques semi-transparents décrits à la sous-section "Exemples d'interactions passives" du chapitre III page 60. Ainsi, en tournant autour de l'objet placé dans la *Virtual Showcase*, l'utilisateur observe un objet augmenté. L'utilisateur porte des lunettes localisées par le système afin que celui-ci puisse calculer et afficher l'image adéquate. La *Virtual Showcase* peut être utilisée par trois utilisateurs au maximum et permet ainsi une collaboration pour la description de l'objet augmenté. La mobilité est alors une technique d'interaction comme nous l'avons envisagé dans la partie 2 "Les systèmes mixtes mobiles" du chapitre III page 58 sur les SM mobiles. Autoriser une utilisation à plusieurs simultanément et la liberté de déplacement laissée aux utilisateurs confère une grande souplesse d'utilisation.
- Les utilisateurs sont co-localisés, les liens sont liés à cette position et ils n'existent qu'en la présence des utilisateurs. Dans un tel cas, les liens fournissent un support aux interactions entre les utilisateurs regroupés. Par exemple, un des deux systèmes présentés dans [Billinghurst 1999] est un butineur Web en trois dimensions, permettant à des utilisateurs co-localisés de naviguer sur Internet en coopérant. Grâce aux informations fournies par différents capteurs (polhemus et microphone), le système permet d'afficher des pages Web dans l'espace à travers un HMD (*Head Mounted Display*). Les utilisateurs peuvent alors se montrer les pages, celles-ci étant arbitrairement posées à un endroit. La localisation des liens est donc artificielle, mais les utilisateurs élabore ensemble une sémantique à l'espace 3D construit, où sont posées les pages ainsi visitées. Sans la présence des utilisateurs, les liens n'ont aucune signification.

- Les liens sont répartis dans tout l'espace d'utilisation. Les utilisateurs se déplacent alors de liens en liens. Par exemple, dans le jeu *ARQuake* [Thomas 2000], une adaptation du jeu d'aventure en vue subjective présentée ci-dessous à la section 3.3 "Interactions pour des liens répartis dans l'espace d'utilisation" page 82, les liens (la représentation des objets numériques) sont répartis sur le terrain de jeu et les joueurs parcourent ce terrain afin de réussir une mission. De même, avec les *Phicons* [Ishii 1997] [Want 1999], présentés dans le chapitre précédent, les utilisateurs peuvent aller d'un périphérique augmenté comme une imprimante à un autre périphérique tel un dispositif d'affichage afin de manipuler un fichier qu'ils portent dans un *Phicon*.

Dans la dernière illustration, les *Phicons*, les utilisateurs peuvent s'échanger des liens en se donnant des objets physiques augmentés ou encore en laissant un objet intentionnellement à un endroit donné, à la manière d'un post-it. Nous soulignons ici la souplesse des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles à travers une décomposition de l'interaction en de multiples combinaisons des trois types de localisation des liens par rapport aux utilisateurs.

2.2. TROIS TYPES D'INTERACTION

L'interaction avec les systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mobiles met en œuvre trois sortes d'entités : les utilisateurs, les objets intervenant dans l'interaction et les liens entre les mondes physique et numérique. Les utilisateurs sont centraux à notre approche, et constituent l'élément fondamental de la recherche en Interaction Homme-Machine. Les objets (physiques ou numériques) font partie de l'activité. Les liens ont ici un rôle particulier : il s'agit des augmentations que proposent les SM collaboratifs et mobiles. Ils relient les utilisateurs, les objets et l'espace environnant. Toujours en adoptant le point de vue d'un utilisateur, nous identifions trois types d'interaction possibles :

- Des utilisateurs qui interagissent avec des objets à travers des liens. Il est question ici d'initiative dans l'interaction. Ceci inclut les modes actifs d'interaction avec les liens décrits dans la partie 1 "Définition" page 72 pour la création, pour l'accès et pour la modification/ destruction des liens. Par exemple, pour comparer un objet physique avec un objet numérique, des utilisateurs créent et manipulent des liens afin de réaliser la comparaison. L'interaction est alors à l'initiative des utilisateurs. Nous illustrons ce cas avec notre système MAGIC [Renevier 2001], au chapitre VI.
- Des objets qui interagissent avec les utilisateurs à travers des liens. Il s'agit du cas contraire du point précédent. Les modes passifs d'interaction avec les liens décrits à la partie 1 "Définition" page 72 sont inclus dans ce type d'interaction. Par exemple, l'utilisateur de la *Touring Machine* [Feiner 1997] perçoit des informations contextuelles concernant les bâtiments l'environnant. Ces derniers, à travers le

système informatique, fournissent des renseignements sur leurs fonctions à l'utilisateur.

- Des échanges entre les utilisateurs. Il s'agit alors de communication homme-homme médiatisée. Les liens ne concernent pas un objet ou l'environnement, mais leur fonction est d'établir une communication entre plusieurs utilisateurs. C'est le cas de *GeoNotes* [Persson 2002]. Ce système permet une communication asynchrone entre les utilisateurs à travers des mémos numériques. Ces mémos constituent des liens de communication entre les utilisateurs.

2.3. ASYMÉTRIE DES RÔLES DES UTILISATEURS PAR RAPPORTS AUX LIENS

Nous décrivons ici les rôles des utilisateurs au niveau de leurs activités. Lorsque nous avons exposé au chapitre précédent les caractéristiques des systèmes mixtes (SM) collaboratifs cités de [Koleva 1999], nous avons souligné l'asymétrie des rôles des utilisateurs, comme dans le système *GesturCam* [Kuzuoka 1994]. Ainsi la propriété de réciprocité n'est pas souvent respectée ni souhaitable dans les SM collaboratifs et mobiles. Lors de notre étude de ces systèmes, nous avons souligné le potentiel qui réside dans la différence de rôles entre les utilisateurs, de la même manière que certaines activités humaines mettent en jeu des relations hiérarchiques bien définies. En fait, cette altération était déjà connue des collecticiels, mais la systématisation du non-respect de la propriété de réciprocité la rend quasiment caduc pour les SM collaboratifs et mobiles. En effet, outre les cas évidents d'accès aux informations à cause d'une position hiérarchique supérieure, il est concevable qu'un utilisateur ne puisse pas accéder aux travaux d'un autre, simplement parce que ce dernier ne peut se déplacer jusqu'au lieu de "travail" de l'autre. Ceci est lié aux tâches attribuées aux utilisateurs, à leurs fonctions.

Outre l'exemple de *GestureCam*, les systèmes collaboratifs de réparation de vélo de [Kraut 1996] et de maintenance du réseau d'un campus, *Netman*, [Bauer 1998] sont également des illustrations de rôles différents. En effet, ces deux systèmes reposent également sur la consultation d'un expert à distance. Par ailleurs, dans les jeux que nous présenterons ci-dessous, de par l'activité ludique, les utilisateurs se voient confier des rôles différents.

Ces asymétries des rôles, c'est-à-dire les fonctions des utilisateurs dans l'activité, se traduisent souvent par des interfaces différentes. Par exemple, dans le système collaboratif de [Kraut 1996], les interfaces et les dispositifs utilisées sont complètement différents. En effet, seul le réparateur est effectivement mobile et utilise des dispositifs portables.

Les asymétries des rôles au niveau de l'activité influencent également l'interaction avec les liens entre les mondes physique et numérique que nous avons présenté ci-dessus à la partie 1 "Définition" page 72. En effet, les fonctions de création, d'accès et de modification/destruction des liens

peuvent être attribuées de manière différente pour chaque utilisateur. Il apparaît alors des rôles particuliers au niveau de l'interaction.

3. Exemples

Nous illustrons les systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mobiles par des exemples classés selon la distance relative des augmentations avec les utilisateurs : d'abord les interactions pour des liens centrés autour d'un point fixe, puis les interactions pour des liens co-localisés aux utilisateurs et finalement des interactions pour des liens répartis dans l'espace d'utilisation. Pour chaque catégorie, nous proposons deux cas : le cas où la localisation est arbitraire et le cas où la localisation coïncide avec l'activité. Le cas où la localisation est arbitraire signifie que l'objectif de la tâche est dans le monde numérique, et que les ponts jetés entre l'environnement des utilisateurs et les données ne sont que des médias pour effectuer la collaboration. Nous notons que la plupart des exemples sont empruntés au domaine des jeux. Comme le souligne l'état de l'art sur les méthodes de recherche en mobilité [Kjeldskov 2003], nous expliquons cette multiplication des SM collaboratifs et mobiles et ludiques par le contrôle de la mise en place des parties et par une plus grande facilité d'accès aux utilisateurs pour des tests par rapport à un domaine d'application professionnel.

Certains systèmes exploitent les capacités de l'*ARToolkit* [Kato 1999]. Il s'agit d'une boîte à outil pour la réalisation de systèmes mixtes utilisant la *video see-through*. Comme nous l'avons décrit à la sous-section "Exemples d'interactions passives" du chapitre III page 60, la *video see-through* consiste à modifier ce que voit l'utilisateur. Il ne voit pas directement ce qui est devant lui, il voit les images d'une caméra qui filme ce qu'il devrait voir, les images de la caméra étant modifiées en temps réel. L'*ARToolkit* permet de reconnaître des marqueurs par analyse d'images. Ces marqueurs sont localisés par rapport à la caméra et il est alors possible d'afficher précisément des objets graphiques 3D sur l'image.

3.1. INTERACTIONS POUR DES LIENS CENTRÉS AUTOUR D'UN POINT FIXE

La notion de localisation arbitraire est discutable lorsque l'interaction est limitée autour d'un point. En effet, la position de tel ou tel élément peut être contesté dans le sens où il pourrait certainement être ailleurs. De même, si le système mixte (SM) collaboratif et mobile demande une certaine instrumentation, alors il est possible de voir dans ce système une coïncidence entre l'activité et le lieu instrumenté. Nos critères pour

classer un système dans la catégorie localisation arbitraire ou coïncidante avec l'activité sont la flexibilité et la-non prise en compte des limitations technologiques. La flexibilité se traduit par une souplesse dans l'installation du système. La non-prise en compte des limitations technologiques rejette l'argument de l'équipement pour justifier une localisation particulière. Le poids des conventions sociales et culturelles pèse aussi pour classer les systèmes. Quand il s'agit d'augmenter ou de modifier une activité existante et si la localisation coïncide avec les lieux où cette activité est pratiquée, alors c'est un cas où la localisation coïncide avec l'activité.

Cas où la localisation est arbitraire

Les trois exemples de systèmes qui illustrent des interactions pour des liens centrés autour d'un point fixe, la localisation étant arbitraire, sont trois jeux : *Touch-Space* [Cheok 2002], le projet E^3 [Mandryk 2001] et un jeu de Tétris [Wichert 2002].

Nous avons déjà présenté à la sous-section "Exemples d'interactions passives" du chapitre III page 60 le système *Touch-Space* de [Cheok 2002]. Il s'agit d'un jeu dans le monde numérique, qui se passe sur une surface équipée de capteurs. Il existe trois niveaux d'immersion dans le jeu : un niveau très proche du monde physique, qui consiste à explorer le terrain de jeu, un niveau un peu plus immersif où il faut explorer des zones particulières et un niveau entièrement immersif. Les deux premiers niveaux d'immersion appartiennent aux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles : les utilisateurs explorent une surface équipée de marqueurs. La reconnaissance des marqueurs avec l'*ARToolkit* [Kato 1999] définit les liens dont le rendu dépend de la position des utilisateurs (cette position est calculée à partir de la position des marqueurs dans l'image vidéo).

Dans le projet E^3 (*Extreme Electronic Entertainment*) [Mandryk 2001], l'objectif est d'offrir à des enfants un jeu le plus souple possible, sans contrainte, afin de bénéficier de tout l'apport éducatif des jeux. L'approche retenue est proche de la table magique [Bérard 2003]. Un plateau de jeu est projeté sur une table, et les enfants peuvent déplacer des pions équipés chacun d'un capteur infrarouge et de boutons. Cette instrumentation permet une interaction augmentée avec le jeu. Celui-ci consiste à retrouver ses co-équipiers en collectant des informations sur le plateau de jeu et en discutant avec les autres joueurs. La mobilité réside dans les déplacements des joueurs pour atteindre les liens (et actionner les boutons).

Enfin, un jeu de Tétris collaboratif en trois dimensions est décrit dans [Wichert 2002]. La reconnaissance des objets utilise l'*ARToolkit* [Kato 1999]. Le support du jeu, un plateau marqué de signes reconnus par la caméra est déplaçable pendant l'interaction. De même, les utilisateurs peuvent se déplacer autour du plateau de jeu pour obtenir un nouveau

point de vue. Un stylo permet de déplacer les pièces du jeu. L'affichage se fait à travers un HMD et il s'agit de *video see-through*. Un pont avec des utilisateurs à distance est réalisé à travers une passerelle Web. La difficulté majeure du système est de rendre compte de la coopération, notamment lorsque plusieurs joueurs manipulent la même pièce simultanément, surtout quand certains joueurs sont distants.

Cas où la localisation coïncide avec l'activité

Outre l'exemple de la *Virtual Showcase* [Bimber 2002] exposé à la section 2.1 "localisation des liens" page 75, *PingPongPlus* de [Ishii 1999] est un système qui augmente et qui modifie le sport de ping-pong. Les auteurs parlent d'interface athlétique tangible (*athletic-tangible interface*). Une table de ping-pong est instrumentée. La première application est une aide à la perception. En effet, la trajectoire de la balle et ses impacts avec la table ont été augmentés par la projection d'informations sur la table, en vue d'un apprentissage du jeu. Puis, le jeu a été décliné en de multiples variantes, explorant ainsi la compétition et la collaboration. Un système de peinture a été conçu, l'objectif des joueurs étant d'obtenir le dessin le plus joli possible, chaque impact de balle dessinant un nouveau cercle de couleur. Un autre exemple de collaboration est la gestion d'un banc de poissons. Ce dernier régit aux impacts de balle (qui laissent des vagues sur la surface de la table) et ses mouvements dépendent de l'endroit où tombe la balle. Par ailleurs, le jeu de ping-pong est partiellement conservé, car la fréquence des impacts (et donc la rapidité des échanges) influe sur le déplacement des poissons.

3.2. INTERACTIONS POUR DES LIENS SPÉCIFIQUES À DES UTILISATEURS CO-LOCALISÉS

Cas où la localisation est arbitraire

Nous avons déjà décrit un système mixte (SM) collaboratif et mobile dont les liens sont co-localisés aux utilisateurs, la position de ces derniers étant arbitraire : il s'agit de la navigation Web tirée de [Billinghurst 1999]. En effet, la tâche est de naviguer ensemble sur l'Internet. Le fait de poser une page Web à proximité et de pouvoir la lier à d'autre page aide la collaboration. Intrinsequement, la localisation d'un de ces liens est arbitraire mais elle ne l'est pas pour les utilisateurs. Un autre exemple de cette classe est le jeu de Mah-jong [Szalavári 1998].

La réalisation du jeu de Mah-jong de [Szalavári 1998] en un SM collaboratif et mobile repose sur une palette d'outils. Cette palette est un support physique (de la taille d'une ardoise) reconnu par le système. Celui-ci est alors capable d'afficher par-dessus, à travers un casque semi-transparent. Un stylo, également reconnu et localisé par le système (grâce

à une analyse de la vidéo), permet d'interagir avec la palette d'outils. L'application proposée est un jeu de Mah-jong, où les utilisateurs disposent des pièces sur leur palette et peuvent les poser sur la surface de jeu, située au milieu d'eux, grâce au stylo. Un serveur est responsable de gérer la localisation de chaque joueur, de leur palette et de leur stylo, permettant ainsi d'assurer la cohérence de l'augmentation. En effet, les utilisateurs conservent leur liberté de mouvement et peuvent ainsi obtenir d'autres points de vue sur le jeu. Très similaire, un jeu d'échec et un système de dessin collaboratif sont proposés dans [Reitmayr 2001]. La possibilité d'observer les joueurs ou les dessinateurs est offerte à des témoins. Cependant, ceux-ci sont cantonnés au rôle d'observateur, et n'interagissent pas directement avec les liens. Là aussi la mobilité des utilisateurs leur permet d'avoir des points de vue différents sur l'échiquier.

Cas où la localisation coïncide avec l'activité

Nous illustrons les interactions augmentées pour des liens spécifiques à des utilisateurs co-localisés, la localisation des utilisateurs coïncidant avec l'activité, par deux systèmes : *Pet Pals* [Pering 2002] et le système *Guide* [Bornträger 2003].

Le système *Pet Pals* [Pering 2002] est un exemple d'augmentations directement réalisées sur les objets manipulés. Il s'agit de petits animaux qui peuvent être connectés entre eux pour former des chaînes. Chaque objet a une prise mâle et une prise femelle. Destiné à des enfants pour faciliter les interactions sociales, l'objectif du jeu est rendre les animaux heureux. Le contrôle a été réalisé par la technique du Magicien d'Oz, l'interaction se faisant avec une boîte de contrôle. Les animaux connaissent trois états : la tristesse (s'ils sont seuls), le bonheur (s'ils ont d'autres animaux connectés à eux) et la folie (s'il y a trop d'animaux connectés à eux). Le facteur temps intervient à travers des événements (tel animal devient triste ou fou), afin de forcer les interactions entre les enfants. Pour atteindre le bonheur des animaux, il faut donc échanger des animaux, mais ne pas trop en conserver. Il y a donc des créations de liens (de nouvelles associations d'animaux), des modifications et des destructions de liens. En effet, quand un animal est retiré d'une chaîne, outre la destruction du lien unissant l'animal retiré avec le reste de la chaîne, les liens entre les autres animaux sont modifiés. Cette dynamique des liens est réalisée à travers les échanges entre les utilisateurs. Les liens étant emportés par les enfants, le lieu des interactions coïncident avec l'activité. En effet celle-ci se décompose en jeux avec ces animaux et en échanges avec les autres enfants.

Une évolution du système *Guide* [Cheverst 1999], présenté à la section 3.2 "Exemples" du chapitre II page 40, est décrite dans [Bornträger 2003]. Il s'agit toujours d'une aide aux touristes dans la ville de Lancaster. Les utilisateurs cibles sont donc des touristes. Un seul d'entre eux est équipé

d'un assistant personnel électronique (PDA) sur lequel des informations contextuelles à la visite, c'est-à-dire à la position du groupe. Cette interaction suit l'approche *Push*. Une partie de l'interface est sonore, comme les descriptions des lieux visités. Ces descriptions sont entendues de tous. L'utilisateur "principal" (celui qui tient de le PDA) peut aussi naviguer pour obtenir des informations complémentaires qu'il peut ensuite partager avec le reste du groupe, en passant le PDA ou en montrant l'écran à tous. Nous observons alors un rôle particulier au sein du groupe. Il a été observé que cette personne est souvent celle qui mène le groupe, notamment en décidant où aller.

3.3. INTERACTIONS POUR DES LIENS RÉPARTIS DANS L'ESPACE D'UTILISATION

Cas où la localisation est arbitraire

Dans de tel système, un environnement numérique est calqué sur l'environnement physique des utilisateurs. Cette juxtaposition des deux mondes permet une interaction dans l'environnement numérique par des déplacements dans l'environnement physique. Comme nous envisageons dans cette sous-section le cas où la localisation est arbitraire, la correspondance entre les mondes physique et numérique est artificielle et permet d'adapter le système n'importe où. L'utilisation de ces systèmes reste confinée aux zones "numérisées". Par ailleurs, ces systèmes permettent la collaboration entre des utilisateurs physiquement présents sur le terrain avec des utilisateurs connectés à distance. Les cinq exemples de cette catégorie sont empruntés aux jeux : *ARQuake* [Thomas 2000], *Human Pacman* [Cheok 2003], *MIND-WARPING* [Starner 2000], le jeu *Can You See Me Now ?* [Can you see me now ?] et le jeu *Pirates!* [Falk 2001].

Une version "grandeur nature" du jeu Quake [idSoftware] est décrite dans [Thomas 2000]. Ce système, *ARQuake*, reprend les bases du jeu Quake. Les joueurs doivent réussir des missions, qui consistent à atteindre des lieux précis. Pour y parvenir, les joueurs doivent éliminer des ennemis (souvent des monstres). Le jeu sur station fixe est un jeu en vue subjective : l'utilisateur possède une vue à la première personne du monde numérique dans lequel il évolue. Il incarne alors un soldat armé. Dans le système *ARQuake*, les joueurs sont équipés par un ordinateur porté dans le dos. Les dispositifs de sorties sont des écouteurs et un casque semi-transparent (HMD). Une caméra est utilisée pour capturer les images de ce que voient les utilisateurs. Ces images sont modifiées (augmentées) pour être affichées dans le HMD, c'est un système qui utilise donc la *video see-through*. La localisation se fait par DGPS ou avec

l'*ARToolkit* [Kato 1999]. L'orientation de l'utilisateur (où elle/il regarde) est capturée par une boussole électronique. Les joueurs disposent d'une arme haptique qui permet de simuler leurs armes dans le monde numérique. Il est possible aussi de jouer avec des personnes à partir d'une station fixe, selon les mêmes interactions qu'avec le jeu classique : les utilisateurs fixes (mais mobiles dans le monde numérique) sont alors représentés par des avatars (à l'apparence humaine d'un soldat). Les joueurs évoluent sur une carte qui est la traduction de l'environnement physique en un environnement numérique propice au jeu. Les liens ne sont pas créés par les utilisateurs, mais détruits, ce qui autorise une certaine dynamique des liens. La coopération ne s'effectue pas à travers des échanges de liens, mais par l'absence de liens initialement disponibles.

Un autre jeu a été adapté dans [Cheok 2003], il s'agit du jeu de Pacman. Le système *Human Pacman* propose aux joueurs d'incarner des pacmans ou des fantômes gloutons. L'objectif des pacmans est de collecter (manger) des gâteaux et des ingrédients pour faire des supers gâteaux. Ces derniers donnent de nouvelles capacités aux pacmans, notamment celle de "croquer" les fantômes. Ces derniers n'ont qu'un objectif : "manger" les pacmans. Le terrain de jeu consiste aussi en une adaptation du monde numérique aux éléments physiques. Les dispositifs d'interaction sont intégrés à une veste et sur une casquette : un ordinateur, un GPS, un capteur d'orientation, un casque semi-transparent, une caméra, un réseau sans fils et la technologie bluetooth. Cette technologie est notamment utilisée pour découvrir les ingrédients des supers gâteaux. Les liens (les gâteaux) sont avalés par les pacmans lorsqu'ils passent dessus : la dynamique de ces liens est semblable à celle dans ARQuake. Par ailleurs, les pacmans peuvent s'échanger des ingrédients mais pas de supers gâteaux. Des rôles différents sont donc proposés entre les utilisateurs et les fantômes n'interagissent pas avec les gâteaux. Manger un adversaire se fait par contact, une main posée sur l'épaule (un capteur est prévu spécialement pour cela). Par ailleurs, chaque joueur peut disposer d'une aide, un joueur à distance (sur une station fixe), qui évolue uniquement dans le monde numérique, et qui lui augmente ses capacités sensorielles dans le monde numérique.

Un autre jeu illustre la différence des rôles. Le système *MIND-WARPING* [Starner 2000] confronte deux joueurs. Le premier, mobile, est combattant. Il peut attaquer des entités numériques dans trois secteurs : le bas, le milieu et le haut. Les attaques sont lancées par une interaction multimodale : un son (un cri) lance l'attaque et un geste (parmi trois, un pour chaque secteur d'attaque) spécifie la hauteur de l'attaque. Un utilisateur, statique devant une surface particulière d'interaction, utilise des objets pour lancer des attaques sur le combattant, à travers des monstres numériques : des fourmis (au niveau du sol), des araignées (au

plafond) et des mouches (au milieu). Le magicien crée des liens, tandis que le combattant les détruit pour avancer.

Le jeu *Can You See Me Now ?* [Can you see me now ?] est une expérience qui a réuni deux cent quatorze joueurs sur l'internet. C'est un jeu de course poursuite dans la ville de Sheffield (Angleterre). Les poursuivants (ou chasseurs) sont des personnes arpentant les rues de Sheffield dans le but de capturer des personnes numériquement présentes. Ces utilisateurs sont connectés au jeu par une interface Web, et ils se déplacent numériquement dans la ville en naviguant sur une carte de la ville. Ils communiquent entre eux par des messages écrits dans un salon de discussion. Ils entendent cependant les communications orales des chasseurs, qui se parlent par talkie-walkie. Les liens sont donc les représentations numériques des utilisateurs sur l'internet. La dynamique de ces liens correspond à leurs déplacements. Le rôle différent des chasseurs leur confère la capacité de détruire ces liens en les capturant. Les chasseurs, seuls utilisateurs mobiles, localisent leurs proies sur un assistant personnel électronique (PDA), dans une zone de perception définie dans le système. Le bon fonctionnement du système est surveillé dans une salle spécifique, où plusieurs moniteurs contrôlent l'interface Web et l'équipement des chasseurs.

Dans le système *Pirates!* [Falk 2001], une carte marine est juxtaposée à l'environnement des utilisateurs. Par exemple, tel bureau correspond à telle île. Les objectifs des participants sont multiples : réussir des missions, collecter des trésors, commercer des produits découverts sur les îles ou affronter en pleine mer les autres joueurs. Numériquement, les utilisateurs contrôlent un navire. Physiquement, le dispositif utilisé est un assistant personnel électronique (PDA), localisé par triangularisation de la carte réseau sans fil et équipé de capteurs de proximité (des autres joueurs et d'objets équipés). Les déplacements des utilisateurs correspondent aux déplacements des bateaux. Les interactions entre les joueurs se déroulent lors de rencontres. Les liens sont alors établis afin de permettre aux utilisateurs de se battre (numériquement) ou de commercer.

Cas où la localisation coïncide avec l'activité

Nous illustrons les interactions avec des liens répartis dans l'espace d'utilisation, la localisation des utilisateurs et des liens correspondant avec l'activité, par deux exemples : *GeoNotes* [Persson 2002] et la conception d'un système médical [McGarry 2000].

GeoNotes [Persson 2002] est un système de messages numériques posés dans l'environnement physiques des utilisateurs. Ils peuvent laisser des messages à différents endroits pour les autres utilisateurs. Les messages sont vus de tous et chacun peut poser un message. Ils sont rédigés et lus sur un assistant personnel électronique (PDA) localisé et connecté par un réseau sans fil. Afin d'aider aux interactions sociales, des informations

comme qui a écrit le message, dans quel contexte (but), etc., sont disponibles pour chaque message. Les *GeoNotes* sont placées aux endroits stratégiques pour la communication, comme devant un bureau, à la cafétéria, etc. Il s'agit donc d'un collecticiel de communication asynchrone. La dynamique des liens réside dans la création de messages, dans la modification en ajoutant un commentaire ou en effaçant un de ses propres commentaires et dans la destruction de ses propres messages. La découverte des messages peut se faire selon l'approche *Push*, par collecte automatique des messages en suivant d'éventuels filtres établis par l'utilisateur. L'accès aux messages peut aussi se faire selon l'approche *Pull* par des recherches selon l'auteur, les amis (une liste d'amis maintenue par l'utilisateur), le sujet, etc.

Les travaux proposés dans [McGarry 2000] concernent la conception d'un système d'aide aux soins à domicile, un moniteur de signes vitaux. Ce VSM (*Vital Signs Monitor*) permet de transmettre des données vitales de personnes en temps réel à une équipe médicale distante ou tout autre organisme de contrôle (contrôle automatique par ordinateur, capture de données biologiques pour des sportifs de haut niveau, etc.). le VSM renseigne à la fois le porteur du dispositif et les équipes médicales mobiles. Ainsi, nous nous trouvons dans le cadre d'une augmentation de la perception (celle du porteur du dispositif) et de la communication. L'utilisateur surveillé est ainsi augmenté. Le système transmet les informations via un réseau sans fils et nécessite donc une base en relais, un ordinateur connecté au réseau d'un hôpital. Pour être efficace, le porteur du VSM doit être confiné dans certaine zone (notamment son domicile) afin de bénéficier pleinement du VSM. La localisation de la personne porteuse du VSM se fait donc par zone (par exemple un appartement). De l'autre côté du réseau, l'équipe médicale apporte son assistance aux patients en cas de besoins. Elle occupe donc un rôle différent et particulier. Cependant, les personnes ainsi équipées sont plus que des personnes surveillées : elles peuvent actionner un bouton d'urgence sur le VSM en cas de problèmes sérieux. Une attention particulière est portée sur la conception de ce produit. Les fonctionnalités proposées étant innovantes, il fallait définir des conventions culturelles nouvelles. Pour obtenir une adéquation entre ce que fait le VSM et ce que pense le patient que le VSM fait (c'est-à-dire l'*affordance* en anglais), il faut s'appuyer sur des conventions culturelles admises et connues. Or les fonctions désormais réalisables grâce à différentes augmentations sont difficilement comparables à des activités plus anciennes. Quand des conventions culturelles n'existent pas pour concevoir des fonctions particulières des systèmes mixtes et ne permettent pas de s'appuyer sur une métaphore d'interaction, il faut alors introduire de nouveaux concepts qui seront assimilés au fur et à mesure. En particulier, le problème du retour d'information se pose, car ces retours ne sont pas dus aux systèmes

eux-mêmes (comme les bruits d'un moteur, d'un dérailleur pour le changement de vitesse sur une bicyclette), mais à des éléments pensés et ajoutés à cet effet (comme des sons d'une alarme ou la vibration du dispositif pour attirer l'attention de son porteur).

4. Démarche de conception ergonomique de systèmes mixtes collaboratifs et mobiles

Dans les parties précédentes, nous avons défini les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles (partie 1 "Définition" page 72), nous les avons caractérisés selon trois propriétés (partie 2 "Traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles" page 74) et nous les avons illustrés à travers de nombreux exemples (partie 3 "Exemples" page 78). Ayant cerné les paramètres d'un système mixte collaboratif et mobile, cette partie est dédiée à la conception de tels systèmes.

Concevoir un système mixte collaboratif et mobile, c'est aussi, mais pas seulement, concevoir un système mixte, un système collecticiel et un système sur supports mobiles. Aussi les outils de conception propres aux systèmes mixtes, aux systèmes collaboratifs et aux systèmes sur supports mobiles exposés dans les deux chapitres précédents conservent leurs utilités. Néanmoins et nous l'avons souligné, certains outils de conception sont modifiés et subissent l'influence d'une des trois facettes de notre étude : l'informatique mobile, les collecticiels et les systèmes mixtes . Par exemple, nous avons vu au chapitre II l'impact de la mobilité sur la taxonomie espace-temps des collecticiels.

Tandis que dans les chapitres précédents au fur et à mesure de l'étude des trois facettes de nos travaux, nous avons proposé des outils utiles à la conception comme des espaces taxinomiques, nous focalisons dans cette partie sur une démarche globale de conception. Cette démarche basée sur des scénarios constitue un canevas intégrateur des outils de conception exposés précédemment. Par exemple notre taxonomie espace-temps étendue au cas de la mobilité est utile lors de la phase d'identification des besoins de notre démarche de conception.

Notre démarche de conception est le résultat d'un travail pluridisciplinaire des partenaires du projet Houria [Houria 2001] aux compétences complémentaires : ergonomie, psychologie cognitive et ingénierie de l'interaction.

Cette partie est organisée comme suit : tout d'abord nous définissons la notion de scénario et l'intégration des scénarios dans les processus de

conception. Ensuite, nous décrivons notre démarche de conception basée sur des scénarios. Puis nous détaillons le rôle primordial que jouent les scénarios projetés abstraits et concrets, l'originalité de notre démarche de conception. Finalement, nous présentons des représentations des scénarios décrivant l'utilisation d'un système mixte collaboratif et mobile.

4.1. SCÉNARIOS ET PROCESSUS DE CONCEPTION

D'un point de vue le plus général, les scénarios sont utilisés en conception pour rendre compte de l'utilisation de ressources dans le contexte de l'activité actuelle ou future des utilisateurs identifiés ou potentiels. Nous affinons les fonctions remplies par un scénario selon le domaine :

- En interaction homme-machine les scénarios ont été proposés comme des descriptions détaillées du contexte d'utilisation à partir desquelles des décisions de conception peuvent être prises [Carroll 1995].
- En ingénierie logicielle, le concept de scénario est proche de "cas d'utilisation" (*use case*). Il renvoie alors à une description narrative d'usage [Jacobson 1995].
- Dans la communauté des systèmes d'information, les scénarios ont été enrichis pour rendre compte de la configuration sociale et environnementale d'un système. Les scénarios permettent aussi d'évaluer l'impact de l'introduction de la technologie et la concordance entre les exigences utilisateur et le support de tâche fourni par le système [Kyng 1995]. Les outils de conception d'une IHM (descriptions générales, descriptions de situation de travail, scénarios d'utilisation, maquettes et prototypes, scénarios d'exploration / besoins et scénarios d'explication) peuvent être perçus comme une forme particulière de scénario.
- Dans le domaine de l'ingénierie des besoins enfin, l'approche dirigée par scénarios constitue une alternative aux approches dirigées par les objectifs, aux approches dirigées par les agents, aux approches globales et aux approches par modélisation de domaine [Roland 2000].

Outre la variété des fonctions que peut remplir un scénario, ce dernier adopte des formes différentes, du texte narratif au simulateur logiciel. La forme du scénario est dépendante de l'étape de conception concernée.

Nous concluons cette section dédiée à la conception basée sur des scénarios en listant les apports des scénarios au sein d'une démarche de conception :

- Les scénarios sont simples et, de ce fait, cela les rend accessibles aux différents acteurs qui participent à la conception et au développement du système interactif [Carroll 1995]. Ils facilitent en particulier la coopération avec les utilisateurs finaux qui sont considérés comme une des ressources clés pour la définition fonctionnelle du système [Kyng 1997].

- Les scénarios fournissent un langage commun pour tous les participants au processus de conception.
- Un processus de conception basé sur l'utilisation de scénarios peut augmenter la participation des acteurs concernés, augmenter la créativité, étendre l'éventail des alternatives et aider à mieux envisager la portée des conséquences humaines et organisationnelles induites par les choix de conception [Ackoff 1979].
- Les scénarios décrivant l'utilisation du logiciel aident à concrétiser le produit d'un projet de conception tout en restant flexible. Ils sont concrets dans le sens où ils présentent simultanément une traduction de la situation de conception et une solution spécifique. Dans le même temps le scénario est flexible, délibérément inachevé et facilement révisé ou élaboré : en quelques minutes, une partie du scénario peut être réécrite pour modifier le produit du projet [Carroll 2000a].
- Un scénario fournit une représentation concrète d'une solution de conception, et ce à différents niveaux de détail. Les scénarios initiaux sont en général très succincts. Ils proposent une description générale du système interactif en spécifiant les tâches que l'utilisateur peut effectuer, mais sans descendre à des niveaux de détails plus élémentaires comme la réalisation concrète des tâches par l'utilisateur et le système [Carroll 2000b].

Ainsi, les scénarios constituent des supports de communication permettant le partage des informations entre les participants. Ils participent à rendre les activités de conception plus accessibles aux différents acteurs du processus de conception. Comme le montre la figure IV-1, nous exploitons les scénarios dans notre démarche de conception de systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, décrite au paragraphe suivant.

4.2. ETAPES DE NOTRE DÉMARCHE DE CONCEPTION

Notre démarche de conception basée sur les scénarios, introduite dans [Nigay 2002a], est présentée à la figure IV-1. A partir d'une phase d'analyse empirique basée sur une analyse de la tâche réelle (explicitation hors site par les futurs utilisateurs des étapes de leurs activités qui leur semblent pertinentes) et sur une analyse de l'activité (observation instrumentée de l'activité des futurs utilisateurs commentée par eux-même sur site), des scénarios sont définis. Ils constituent le matériel de base pour l'identification des besoins, l'étape de conception suivante dans notre démarche. Des spécifications externes sont ensuite élaborées. Cette phase de conception de l'interaction est itérative et s'appuie sur l'élaboration de scénarios projetés. Un scénario projeté décrit l'activité future avec le système à développer. Il s'obtient par projection des scénarios d'activité en tenant compte des spécifications externes. Le résultat de cette opération de projection des scénarios est utilisé pour ajuster les spécifications externes (première boucle d'itération, centrale à la figure IV-1). Les scénarios projetés finaux intègrent les spécifications externes finales.

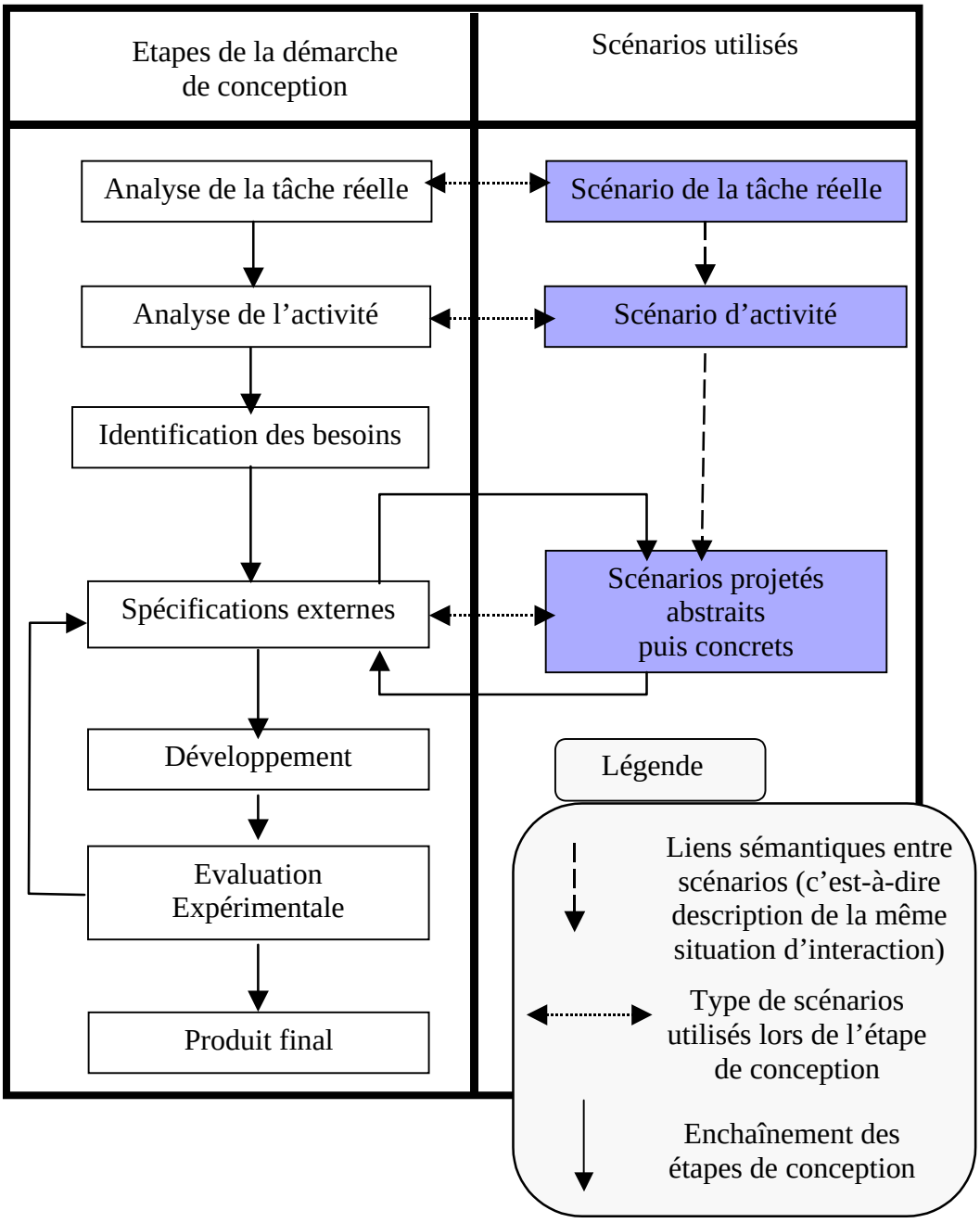


Figure IV-1 la méthode de conception

La relation double reliant ces deux étapes souligne leurs développements entrelacés et itératifs.

Après une phase de développement, on procède à une mise en situation des futurs utilisateurs et des outils afin d'effectuer des évaluations expérimentales portant à la fois sur les fonctionnalités (utilité) et sur l'interface (utilisabilité). Les résultats peuvent impliquer d'éventuelles modifications des spécifications initiales (deuxième boucle d'itération, sur la gauche de la figure IV-1).

Au sein de notre démarche de conception, les scénarios projetés constituent un outil central de conception de l'interaction. En décrivant l'activité future de l'utilisateur avec le système interactif à développer, les

scénarios projetés servent de support pour une évaluation prédictive du système interactif et plus particulièrement des spécifications externes du futur système interactif. Les scénarios projetés permettent donc une conception de l'interaction itérative centrée sur les utilisateurs. Ces scénarios projetés sont obtenus à partir des scénarios de l'activité, par description des mêmes activités des utilisateurs mais en considérant l'utilisation du futur système interactif dont l'interaction est spécifiée dans le document de spécifications externes. Selon le degré de précision des spécifications externes du futur système interactif, nous distinguons deux niveaux d'abstraction pour les scénarios projetés.

4.3. SCÉNARIOS PROJETÉS

Les scénarios projetés reflètent une anticipation de ce que sera l'interaction une fois le système mixte collaboratif et mobile achevé. La création de ces scénarios se fait à travers une itération complexe, où les requis du système sont abordés par la créativité des concepteurs, en inventant de nouvelles techniques d'interaction ou de nouvelles métaphores d'interaction.

Nous distinguons deux niveaux d'abstraction pour les scénarios projetés : les scénarios projetés abstraits, et ceux concrets, résultat d'itérations sur les scénarios abstraits. Nous présentons successivement ces deux niveaux d'abstraction des scénarios projetés dans les deux sous-sections suivantes.

Pour illustrer nos propos, nous utilisons le système *NaviCam* [Rekimoto 1995]. De part sa simplicité, ce système convient à l'illustration de nos propos. Cependant, il ne possède pas de dimension collaborative. Nous étendons donc ce système en supposant que les informations recueillies par le visiteur sont des informations disposées par une de ses connaissances à son attention. Le système est alors collaboratif (asynchrone) avec des échanges à sens unique. Considérant les différents rôles tenus par les utilisateurs, il est concevable d'avoir une interface pour celle/celui qui laisse les informations et une autre pour celle/celui qui les perçoit. Cette dernière correspond au système *NaviCam*. Nous notons *NaviCam+* cette extention de *NaviCam*.

Scénarios projetés abstraits

Les scénarios projetés abstraits, parallèlement à une première version des spécifications externes, décrivent les fonctions de l'interface du système interactif sans les détails des modalités d'interaction employées. Les scénarios abstraits sont donc indépendants des modalités d'interaction (dispositifs et langages d'interaction) qui seront choisies ultérieurement. Seuls les objets, aussi bien physiques que numériques, indispensables à l'activité sont présents dans un scénario projeté.

En considérant le système *NaviCam+*, un exemple narratif de scénario projeté abstrait est le suivant : "Un visiteur d'un musée se promène seul dans la section peinture. Il souhaiterait des informations détaillées sur

chaque tableau. Heureusement, un de ses amis, qui ne pouvait l'accompagner, lui a laissé des informations explicatives. Le visiteur utilise donc le système. Quand il se présente devant une œuvre, les informations de son ami sont alors disponibles à propos du peintre et du tableau." Le scénario projeté fixe donc l'ensemble des objets physiques et numériques avec lesquels les utilisateurs interagissent. Dans l'exemple ci-dessus, les pièces du musée, les tableaux et les explications.

Les scénarios projetés abstraits sont les éléments initiaux d'une itération complexe qui va introduire progressivement les éléments de l'interaction concrète, et deviendront par la même des scénarios projetés concrets. Ces itérations sur les scénarios abstraits sont réalisées conjointement aux spécifications externes.

Scénarios projetés concrets

Un scénario projeté concret est donc l'expression de l'interaction telle qu'elle va se dérouler. Il s'agit de la réalisation des scénarios abstraits, en choisissant les modalités d'interaction. Ces choix vont donc déterminer la position du système dans le découpage spatio-temporel des collecticiels sur supports mobiles, présenté partie 3 "Les collecticiels mobiles" du chapitre II page 37, ainsi que les caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles vues à la partie 1 "Définition" page 72 et à la partie 2 "Traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles" page 74 :

- D'une part, les caractéristiques des liens entre les mondes physique et numérique sont ici choisies : la dynamique (actif-passif pour la création, pour l'accès et pour la modification/destruction) et la temporalité (persistant ou éphémère).
- D'autre part, les propriétés des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles sont fixées. Il s'agit alors de la localisation des liens vis-à-vis des utilisateurs, le type d'interaction (homme->objet, objet->homme et homme-homme), le degré d'asymétrie des rôles et le choix d'un temps d'utilisation.

Nous rencontrons ici différents niveaux de granularité dans la description de ces activités. En effet, la transformation d'un scénario projeté abstrait en un scénario projeté concret se réalise par l'ajout d'éléments informatiques pour préciser au fur et à mesure l'interaction. Ces itérations mettent en œuvre à la fois la créativité des concepteurs, mais aussi leurs compétences techniques. La créativité fait ici référence au choix d'interaction. Les compétences techniques permettent la réalisation des techniques d'interaction retenues et surtout leur faisabilité à priori. En reprenant le cas du musée augmenté, les concepteurs ont fait le choix d'une reconnaissance visuelle de code-barre dans le but d'évaluer un système existant, *NaviCam*. Dans le paragraphe suivant, nous allons raisonner sur les motivations possibles de ce choix.

Le choix du code-barre peut s'expliquer par la volonté de laisser visible et donc atteignable l'information, et de la lier à chaque tableau. Ce choix d'interagir avec un code-barre ne spécifie pas l'interaction en elle-même, juste la technique choisie. Le scénario deviendrait ainsi : "Un visiteur d'un musée se promène seul dans la section peinture. Il est seul et souhaiterait des informations détaillées sur chaque tableau. Heureusement, un de ses amis, qui ne pouvait l'accompagner, a laissé des informations explicatives. Il utilise donc le système *NaviCam*. Quand il se présente devant une œuvre, **la lecture d'un code-barre lui permet d'obtenir des renseignements laissés par son ami à propos de cette œuvre.** Les informations sont alors disponibles à propos du peintre et du tableau." Cette lecture n'est cependant pas spécifiée, elle peut être concrétisée de différentes manières : lecture avec un crayon optique, reconnaissance du code-barre par une caméra, insertion du code-barre dans un lecteur spécifique, etc. Le choix de l'interaction concrète dépend alors de la métaphore d'interaction et des propriétés ergonomiques mises en avant par les concepteurs. Et la fin du scénario pourrait-être :

- dans le cas d'un crayon optique : "[…]. Quand il se présente devant une œuvre, **la lecture d'un code-barre permet d'acquérir des renseignements laissés par son ami à propos de cette œuvre. A l'aide de son crayon optique, le visiteur accède à ces données, en passant le crayon sur le code-barre. Une fois le "bip" de confirmation de lecture obtenue,** les informations sont alors disponibles à propos du peintre et du tableau."
- dans le cas d'une reconnaissance par caméra : "[…]. Quand il se présente devant une œuvre, **la reconnaissance d'un code-barre permet d'acquérir des renseignements laissés par son ami à propos de cette œuvre. Simplement en mettant le code-barre dans le champ de la caméra, le visiteur accède à ces données.** Les informations sont alors disponibles à propos du peintre et du tableau.".
- etc.

Au lieu d'un code-barre, le choix de l'interaction aurait pu porter sur une reconnaissance visuelle, par exemple dans l'optique d'une interaction transparente ou sans instruments ou sans encombrement des mains. Une fois encore, cet aspect technique n'est pas suffisant pour décrire l'interaction. En effet, il est possible d'imaginer que le système reconnaisse directement l'œuvre d'art, ou bien qu'il reconnaisse un code-barre (ou une marque particulière). Les concepteurs peuvent également décider de laisser la reconnaissance active en permanence, ce qui sous-entend une passivité du visiteur, en référence aux propriétés exprimées lors de la partie 1 "Définition" page 72. Dans un tel cas, aucun autre scénario d'utilisation n'est nécessaire.

En résumé, nous remarquons que pour un choix donné, il existe plusieurs développements possibles. Ces options sont levées par les concepteurs à

travers leurs expériences et leur créativité. Nous n'avons pas identifié de règles générales pour aider aux choix. En cela, nous comprenons que les différentes approches présentes dans la littérature s'appuient fortement sur des domaines d'applications précis.

Nous venons d'exposer les étapes de notre démarche de conception et de souligner le rôle central des scénarios projetés (abstraits et concrets). Nous détaillons maintenant les formats de représentation des scénarios tout au long de notre démarche.

4.4. REPRÉSENTATION DES SCÉNARIOS

Le format d'un scénario est généralement narratif. Cependant, la complexité des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles rendent ce format fastidieux. Il est en effet complexe et long de décrire toute une séquence d'utilisation, au cours de laquelle les utilisateurs sont mobiles, tandis que les images et les animations s'avèrent plus riches et plus explicites. Avec les partenaires du projet Houria [Houria 2001], nous avons alors exploité trois formats de scénario : le graphe en ligne, le graphe de déplacements et la présentation dynamique. Ces formats peuvent être combinés avec la description narrative afin d'obtenir un niveau de détail plus précis.

Graphe en ligne

Le graphe en ligne consiste à représenter les activités de chaque utilisateur le long d'une ligne de temps. La figure IV-2, extraite d'un scénario d'activité, illustre cette représentation dans le cadre de recherche d'indices lors d'une prospection archéologique. La prospection consiste à déterminer si un site est un champ de fouille potentiel. Chaque carré de couleur numéroté correspond à une sous-tâche particulière, par exemple les communications (gestuelles ou verbales) pour les carrés "31" ou encore les déplacements pour les carrés "22".

Le graphe permet de montrer le fractionnement des activités en sous-tâches, les répétitions, les redondances et les séquences. Il permet également de mettre en évidence la prépondérance de certaines tâches par rapport aux autres. Les communications et collaborations entre les

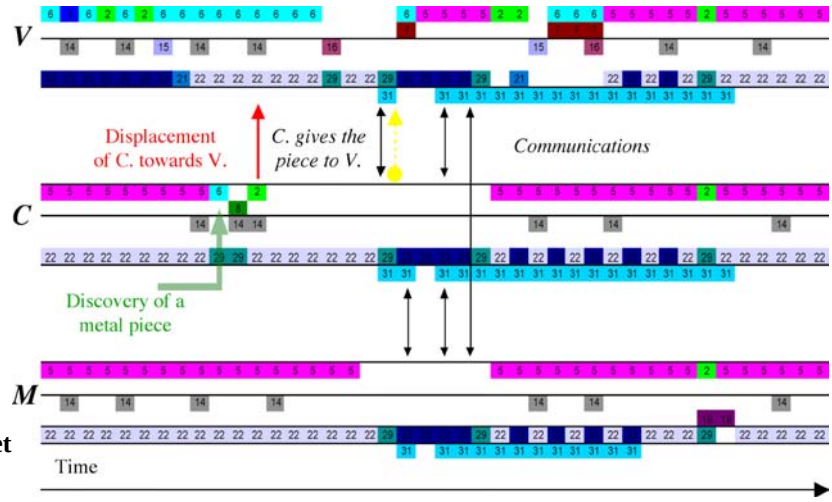


Figure IV-2
le graphe en ligne : une prospection archéologique à trois utilisateurs V, C et M

personnes sont marquées sur le graphe par des flèches. Néanmoins le graphe ne permet pas de prendre en compte les positionnements géographiques des utilisateurs, leurs distances relatives ainsi que leurs déplacements. Or ces facteurs entrent en jeu dans le déroulement de l'activité de chaque utilisateur mobile. Aussi, nous complétons ce graphe en ligne par un graphe des déplacements.

Graphe des déplacements

Afin de pouvoir représenter les déplacements des utilisateurs, nous avons développé une représentation à partir d'une carte de la zone de travail. Si le système interactif n'est pas confiné à une zone d'interaction particulière, des cas particuliers de zone de travail sont alors choisis comme une rue ou un supermarché. En découpant le temps en intervalles réguliers, nous représentons par un point indicé la position de chaque utilisateur dans le temps. La vision globale obtenue permet de comprendre les différences de parcours entre les utilisateurs sur l'ensemble de la zone considérée et de représenter les points de rencontre. La figure IV-3, extraite d'un scénario d'activité, reprend le même exemple que pour le graphe en ligne de la figure IV-2, c'est-à-dire la recherche d'indices lors d'une prospection archéologique. L'activité représentée ici couvre une durée de 2 heures et 15 minutes, avec un point marqué pour chaque utilisateur toutes les 2 minutes et 30 secondes.

Il est parfois nécessaire selon la complexité ou la richesse de l'activité observée de faire un zoom sur le graphe de déplacements et de détailler les déplacements à une unité temporelle plus fine que l'intervalle de temps choisi dans le graphe de déplacements. L'observation étant plus fine, il est tout à fait envisageable q'un utilisateur ne soit pas mobile pendant plusieurs unités d'observation : dans ce cas plusieurs points indicés sont associés à l'emplacement correspondant. La figure IV-4 illustre ce grossissement : l'intervalle de temps est réduit à 2 minutes et 15 secondes, et un point est marqué toutes les 15 secondes. La partie concernée par le zoom de la figure IV-4 est encadrée à la figure IV-3.

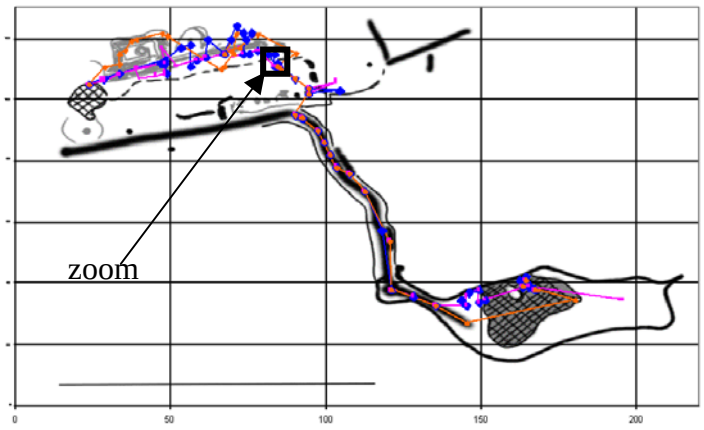


Figure IV-3
le graphe des déplacements : prospection archéologique à trois utilisateurs V (rose), C (bleu) et M (rouge)

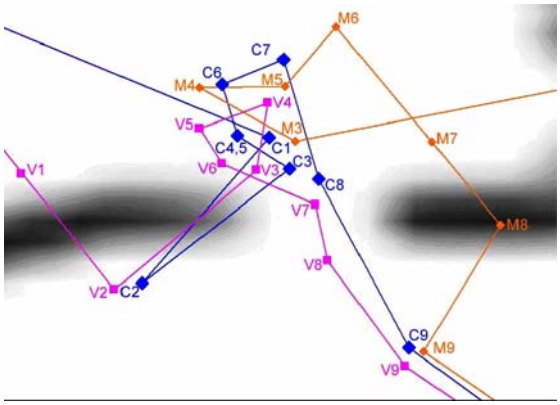


Figure IV-4
un zoom sur le graphe de déplacements

Couplage du graphe des déplacements avec une description narrative

Le graphe de déplacement peut être couplé à une description narrative. Nous illustrons ce couplage en complétant le scénario projeté du musée augmenté [Rekimoto 1995], version collaborative, que nous avons présenté ci-dessus, à la section 4.3 “Scénarios projetés” page 90.

Comme support d’illustration, nous avons extrait des données sur le musée du Louvre à Paris [Louvre]. Nous avons déjà vu le scénario général : “Un visiteur d’un musée se promène seul dans la section peinture. Il est seul et souhaiterait des informations détaillées sur chaque tableau. Heureusement, un de ses amis, qui ne pouvait l’accompagner, a laissé des informations explicatives. Il utilise donc le système *NaviCam*. Quand il se présente devant une œuvre, les informations sont alors disponibles à propos du peintre et du tableau.” Nous développons ce scénario, mais uniquement le rôle du visiteur. Nous l’illustrons par un graphe de déplacement à la figure IV-5 :

“M. Dupond visite le musée du Louvre. Il se situe dans l’aile Richelieu et il atteint la section Peintures et Arts Graphiques, les écoles du Nord. Il est à la recherche des œuvres de l’école Hollandaise du XVII^{ième} siècle, suites aux conseils d’un ami expert. Ce dernier lui a laissé des indications pour sa visite, ainsi que des informations sur les œuvres qu’il estime essentielles. M. Dupond passe d’abord devant l’école Allemande, et notamment l’Autoportrait (1493) d’Albrecht Dürer (1471-1528). Il passe alors vers La dentellière de Johannes Vermeer (1632-1675). Il est alors arrivé dans la bonne galerie du musée.”

Un scénario concret correspondant au système *NaviCam+* est donc :

“M. Dupond visite le musée du Louvre. Il se situe dans l’aile Richelieu et il atteint la section Peintures et Arts Graphiques, les écoles du Nord. Il est à la recherche des œuvres de l’école Hollandaise du XVII^{ième} siècle, suites aux conseils d’un ami expert. Ce dernier lui a laissé des indications pour sa visite, ainsi que des informations sur les œuvres qu’il estime essentielles. M. Dupond s’arrête devant un tableau représentant un homme de profile. La caméra du système *NaviCam* qu’il porte au niveau du regard, reconnaît alors le code-barre posé par son ami en bas à gauche

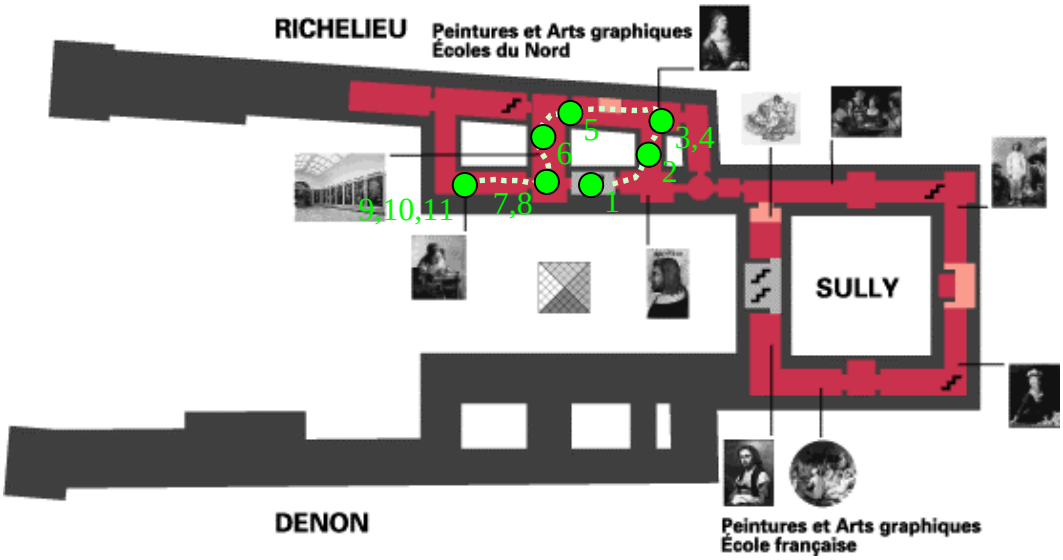


Figure IV-5
le graphe de déplacement pour un visiteur du Louvre

du tableau. L'information suivante est alors affichée dans le casque semi-transparent : il s'agit de l'Autoportrait (1493) d'Albrecht Dürer (1471-1528), de même qu'une flèche indique la direction à suivre (sa gauche). Mr Dupond est donc devant l'école Allemande. Il poursuit son chemin et il se dirige vers sa gauche. Il passe alors devant le tableau d'une femme qui semble broder. Le système ayant détecté et reconnu un autre code-barre posé par son ami, il affiche dans le casque semi-transparent le titre du tableau et le nom du peintre : La dentellière de Johannes Vermeer (1632-1675). Il est alors arrivé dans la bonne galerie du musée."

Représentation dynamique

La représentation dynamique consiste en la création d'une animation (Flash Macromedia par exemple) de l'ensemble de l'activité du scénario. Le support central reste une carte de la zone d'interaction, où des représentations des utilisateurs vont se mouvoir afin de simuler l'activité. Parallèlement au déroulement de l'histoire, des descriptions textuelles et des images (description narrative des scénarios) complètent les différentes situations d'interaction. Ce format de scénario sert de liens entre les différentes représentations vues précédemment.

Nous venons de décrire notre démarche de conception basée sur des scénarios. Cette démarche identifie des étapes de conception et exploite des scénarios comme support à la conception. Il s'agit donc d'un cadre à la conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Nous focalisons maintenant sur les outils qui peuvent aider le concepteur à faire des choix lors de la conception.

5. Outils de conception pour la phase de spécifications externes

Les outils décrits dans cette partie sont utiles lors de la phase de spécifications externes du système mixte collaboratif et mobile. Nous le rappelons, au sein de notre démarche de conception, cette étape repose sur l'élaboration de scénarios projetés.

Plusieurs types d'outils sont proposés. Le premier est un cadre taxonomique qui aide le concepteur à systématiquement explorer les possibilités de conception. Le second est un ensemble de principes ergonomiques. Enfin nous proposons une notation pour aider le concepteur à raisonner sur les différentes possibilités de conception.

5.1. TROIS CIBLES D'AUGMENTATION

Pour spécifier les interactions sur des petits dispositifs mobiles, il est proposé dans [Bertelsen 2000] d'explorer l'espace des possibilités en terme de cibles de l'augmentation, celles définies dans [Mackay 1998] vues dans la partie 1 "Les systèmes mixtes" du chapitre III page 50. Nous rappelons qu'il s'agit soit des utilisateurs (qui doivent alors porter un ensemble de dispositifs), soit des objets de la tâche ou soit de l'environnement des utilisateurs et des objets.

Cette démarche de conception suit la réflexion suivante : pour une tâche donnée, il faut déterminer quelle sera la meilleure option pour concrétiser l'augmentation désirée. Ce faisant, l'une des trois directions possibles pour une augmentation est alors fixée et de ce fait, la conception du système peut se faire autour de ce choix. Malheureusement, il n'apparaît pas de règles générales pour ce choix.

Le domaine d'application de l'étude de [Bertelsen 2000] concernent les activités au sein d'une usine de retraitement des eaux usagées. Les scénarios envisagés sont des situations de fonctionnement de l'usine qui mettent en œuvre des entités des mondes physique et numérique. Il est alors possible d'axer la conception des systèmes en commençant par fixer la cible de la future augmentation. Il s'agit donc d'assister les ouvriers d'une usine de retraitement d'eaux usagées. Les augmentations concernent :

- des informations liées aux positionnements de l'ouvrier tels des procédures pour accéder à un moteur (cas d'augmentation de l'utilisateur qui obtient les informations sur demande),
- des informations de contrôles d'armoires électriques (cas d'augmentation d'objets, les mesures étant effectuées en positionnant un assistant électronique sur l'armoire),

- et des relevés de compteurs (cas d'augmentation de l'environnement qui est capable de reconnaître les relevés manuels de mesure afin de les transmettre au système informatique).

5.2. PRINCIPES ERGONOMIQUES

Comme nous l'avons rappelé au chapitre II, les propriétés ergonomiques résultent d'une volonté de quantifier la qualité des interfaces Homme-Machine. Ces propriétés interviennent en tant que guides lors de la conception ergonomique.

Dans cette section, nous présentons des directives de conceptions tirées des expériences menées avec le système *Guide* [Bornträger 2003]. Puis nous introduisons trois propriétés ergonomiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles : l'observabilité mixte, la cohérence de l'augmentation et l'adaptabilité de l'augmentation.

Quatre directives de conception

Basées sur les expériences menées avec le système *Guide* présenté à la section 3.2 "Interactions pour des liens spécifiques à des utilisateurs co-localisés" page 80, quatre directives de conception pour des augmentations auditives sont proposés dans [Bornträger 2003]. Les liens sont des descriptions sonores de sites touristiques. Les liens sont activés sans intervention des utilisateurs, selon l'approche *Push*, en fonction de leurs positions géographiques. Les directives sont les suivantes :

- Les utilisateurs doivent être avertis (par un signal sonore) qu'un lien va leur être présenté, afin de limiter les effets de surprise et de permettre aux utilisateurs de prendre conscience de leur environnement.
- Si des liens auditifs sont fournis aux utilisateurs en suivant l'approche *Push*, un certain temps de temporisation doit être prévu avant de jouer le son. L'objectif est de laisser le temps, c'est-à-dire quelques secondes, aux utilisateurs de concentrer leur attention sur leur environnement.
- Des descriptions orales des lieux visités (des liens auditifs) ne suffisent pas aux utilisateurs. Ils ont besoin de se repérer sur une carte et aussi de disposer de photographies et de descriptions textuelles pour confirmer les descriptions orales, renseigner sur ce qui est décrit (la cible de l'augmentation) et rassurer les utilisateurs.
- Les oreillettes ne sont pas acceptées par les utilisateurs et ce malgré leurs usages répandus. Il faut donc se tourner vers d'autres dispositifs pour jouer les sons.

Observabilité mixte

L'observabilité mixte consiste à ne retranscrire à travers les liens que les informations relatives à l'activité en cours, ni plus ni moins. Il s'agit de séparer les informations selon leurs rapports avec l'augmentation et la tâche en cours. En d'autres termes, il convient de ne mettre au niveau de l'augmentation que ce qui concerne directement la tâche. En particulier, le lien entre les mondes physique et numérique ne doit contenir que le

minimum d'éléments nécessaires à l'augmentation, en fonction de l'activité et des objets utilisés pendant l'interaction. Par exemple, dans la *Touring Machine* de [Feiner 1997], présentée au chapitre précédent, un minimum d'informations sur les bâtiments vus est affiché dans le casque semi-transparent, tandis que sur la tablette, des informations complémentaires sont disponibles, à travers une navigation Web dans une base de données. A contrario, afficher le butineur Web devant les yeux de l'utilisateur mobile de la *Touring Machine* (à travers un casque semi-transparent) ne constitue pas un lien pertinent. Cette séparation découle des principes posés lors du chapitre précédent, notamment le principe de requérir le minimum d'attention d'un utilisateur mobile lors de l'usage de l'interface. A la façon de la *Touring Machine*, cette séparation se traduit par l'utilisation d'un couple dispositif et interface particulier pour donner les informations ou les outils supplémentaires. L'utilisation de ces données ou de ces capacités correspondent alors à une pose dans l'activité, et cela se traduit par une pose dans le déplacement, l'attention de l'utilisateur étant alors concentrée sur cette utilisation.

Cohérence de l'augmentation

La cohérence de l'augmentation est la capacité d'un système mixte (SM) collaboratif et mobile à assurer pour chaque utilisateur la cohérence perceptive et sémantique des liens. Les utilisateurs d'un SM collaboratif et mobile vérifiant la cohérence de l'augmentation partagent un même modèle cognitif des liens et ils disposent de la même description des liens.

Il s'agit d'un cas particulier du WYSIWIS présenté à la sous-section "Propriétés ergonomiques des collecticiels" du chapitre II page 35. Dans [Szalavari 1997], nous notons le principe de liberté de mouvement propre à chaque utilisateur, tout en conservant une cohérence entre tous les points de vue. En fait, chacun adopte un point de vue différent sur les objets (et donc leurs augmentations), mais en aucun cas, il ne peut y avoir de WYSIWIS : en effet, la perception du monde physique est propre à chaque utilisateur, aussi, la propriété du WYSIWIS ne peut être respectée comme dans les collecticiels "classiques", où l'univers d'interaction est numérique, donc artificiel et facilement répliqué.

En revanche, comme il est décrit dans [Szalavari 1997], même si les points de vue sont différents, il convient de conserver la cohérence des liens et ceci à deux niveaux :

- Pour un utilisateur seul. Elle/il peut par ses déplacements changer de point de vue sur les liens. Il faut s'assurer qu'elle/il perçoit et qu'elle/il ait l'impression de percevoir toujours le même lien.
- Entre différents utilisateurs. Ils adoptent chacun un point de vue qui leur est propre. Mais pour assurer une coopération efficace avec un minimum d'effort dans la communication, il est nécessaire de s'assurer que chacun perçoive et ait l'impression de percevoir le même lien. Ce principe est équivalent au premier point, car il revient à dire que

chaque utilisateur doit percevoir (et avoir l'impression de percevoir) le même lien s'il occupait la place d'un autre utilisateur.

Adaptabilité de l'augmentation

L'adaptabilité de l'augmentation traduit la faculté d'un système mixte collaboratif et mobile à laisser l'utilisateur paramétrer les liens. Ce contrôle de l'utilisateur sur les augmentations peut se réaliser à deux niveaux :

- la sélection des liens à un instant donné avec des filtres sur des caractères discriminants des liens, par exemple l'utilisateur peut vouloir ne percevoir que les liens créés après telle date,
- et la forme de présentation des liens, par exemple un rendu 3D, un rendu 2D, un rendu auditif, etc.

L'adaptabilité est une propriété de souplesse des interfaces qui caractérise les possibilités de personnalisation de cette interface. En cas de surcharge d'information, c'est la perception du monde physique par l'utilisateur qui est menacée. Une façon de résoudre le problème est de se remettre à la détection de contexte (et donc à l'adaptativité). L'autre façon est décrite dans [Szalavari 1997], où la notion de "couche" est appliquée afin de permettre une sélection des informations perçues aux travers des augmentations. Nous étendons la notion de couche par le principe de filtrage des informations. Par exemple, dans le cadre d'une fouille archéologique, les découvertes sont classées par unité stratigraphique (niveau de la fouille en profondeur dans le sol et dans le temps) au niveau d'un site, et aussi par type. Nous considérons une augmentation consistant à replacer dans leur contexte de fouille les découvertes. L'ensemble des éléments collectés pour une fouille est un espace d'information conséquent, qu'il convient de maîtriser. Les unités stratigraphiques sont ici un premier critère de filtrage de l'augmentation. Il est également possible de filtrer les objets selon leur type. Pour pouvoir analyser le site, un archéologue peut donc vouloir regarder l'ensemble des céramiques découvertes (un type d'objets pour toutes les unités stratigraphiques) ou seulement une unité stratigraphique (tous les types d'objet) ou encore les céramiques d'une ou plusieurs couches (un type d'objet pour une ou plusieurs unités stratigraphiques). Ainsi, plus il y a de traits caractéristiques sémantiques ou lexicales (le filtrage peut cerner le rendu des liens) des liens, plus les utilisateurs peuvent maîtriser la quantité de liens à percevoir.

5.3. NOTATION DE CONCEPTION

Après la présentation d'un cadre taxonomique selon la cible de l'augmentation pour la conception des systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mixtes et après la présentation de propriétés ergonomiques guidant la conception des SM collaboratifs et mobiles, nous présentons un dernier outil pour la phase de spécifications externes, une notation de conception. Dans notre démarche de conception, les spécifications externes des SM collaboratifs et mobiles reposent sur des scénarios projetés. Il existe deux

types de scénarios projetés : les scénarios projetés abstraits et les scénarios projetés concrets. Les scénarios projetés abstraits constituent la forme initiale des scénarios projetés tandis que les scénarios projetés concrets sont le résultat de la phase de spécifications externes. Dans cette partie, nous définissons une notation de conception permettant de raisonner avec les scénarios projetés abstraits. Cette notation permet de représenter de façon synthétique les scénarios projetés abstraits. En particulier, la notation représente graphiquement un ensemble de caractéristiques des objets intervenant dans les scénarios. Nous présentons d'abord les caractéristiques des objets, puis nous présentons la notation.

Caractéristiques des objets dans les scénarios projetés

Les objets jouent un rôle particulier dans le cadre des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles :

- D'une part, il s'agit d'une notion centrale pour les systèmes mixtes. Dans le cadre de notre étude, les objets sont en relations étroites avec le but de la tâche. Il y a alors différents niveaux de granularité dans les façons de considérer les objets. Le concepteur doit déterminer lors de l'analyse de l'activité et dans les scénarios projetés les objets avec lesquels les utilisateurs interagiront. Par exemple, dans le cadre d'une application dédiée à l'archéologie, le concepteur peut choisir de faire interagir l'utilisateur avec le site archéologique ou alors avec les éléments constitutifs du site.
- D'autre part la répartition des objets utilisés pendant la tâche à effectuer fait que les utilisateurs ont à se déplacer, soit pour trouver ces objets (tâche de collecte notamment), soit en les apportant avec eux (des outils), soit en les suivant (des indications).
- Enfin, le rôle central que jouent les objets se répercute sur la collaboration des différents protagonistes [Dix 1993]. Les objets deviennent des ressources à partager, une source d'information collective ou des supports d'interaction.

Il convient donc de caractériser les objets dans le but de concevoir les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Nous avons retenu cinq caractéristiques que nous présentons dans les paragraphes suivants et que nous représentons par le kivigraphe de la figure IV-6.

Type de l'objet. La première caractéristique de la description des objets concerne le type des objets. Ils sont numériques ou physiques.

Ce type s'applique à tous les objets manipulés par les utilisateurs. Le type influence l'interaction avec l'objet. Un objet numérique demande un dispositif particulier, notamment pour le retour d'information sur l'interaction. Un objet physique génère par lui-même ce retour d'information à travers les sens des utilisateurs : la vue, le touché, etc. Cependant dans le cas d'un objet physique, il faut capturer les informations le concernant afin de prolonger l'interaction dans le monde

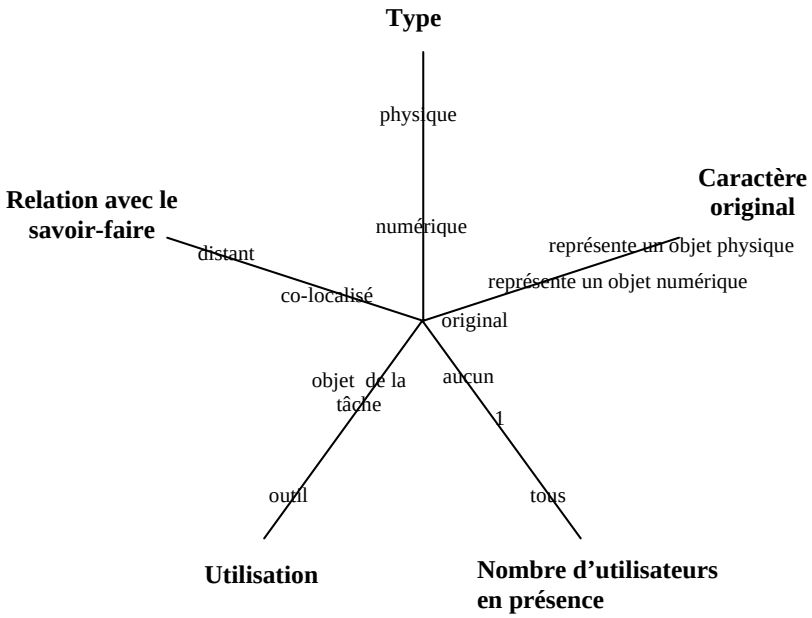


Figure IV-6
la caractérisation des objets

numérique. Il se présente alors les trois possibilités définies dans [Mackay 1998] : instrumenter les utilisateurs en capteurs, équiper les objets eux-même afin qu'ils puissent communiquer avec le système ou augmenter l'environnement de l'utilisateur pour le rendre interactif. Des solutions mixtes sont envisageables comme équiper les objets d'éléments passifs (tags RFID ou infrarouges) que des utilisateurs eux-mêmes équipés peuvent détecter.

Caractère original. Outre le type d'un objet, il convient de considérer son caractère original : soit l'objet est l'objet original soit il s'agit d'une représentation d'un objet physique ou d'un objet numérique.

Le caractère original d'un objet s'interprète différemment selon le type de l'objet. Le caractère original d'un objet numérique indique qu'il s'agit d'un objet de référence (la duplication dans le monde informatique étant plus facile que dans le monde réel). Le cas d'un objet physique original correspond simplement aux cas où les utilisateurs sont en présence directe de l'objet en question.

L'objet de type physique ou numérique peut être une représentation d'un autre objet de type physique ou numérique. Par exemple, dans le système *ActiveMap* [McCarthy 1999], présenté à la section 3.2 "Exemples" du chapitre II page 40, les membres d'un laboratoire sont localisés sur une carte du bâtiment grâce à des badges équipés de capteurs infrarouges. Chaque utilisateur peut exécuter le programme sur sa station. Les localisations sont centralisées sur un serveur qui gère les rafraîchissements de chaque client. La carte du laboratoire est donc ici un objet de type numérique dont le caractère original est "représente un objet numérique" pour chaque utilisateur. De même, pour la manipulation d'un objet à distance, les utilisateurs ont besoin d'une représentation numérique (une

représentation physique étant possible mais plus compliquée à réaliser) de l'objet en question et/ou de son environnement. Les objets de type numérique disponibles sur un site archéologique avec le système MAGIC [Renevier 2001], que nous détaillons au chapitre VI, sont des représentations d'objets physiques. Les objets numériques disponibles sur le site sont en effet une capture de découvertes archéologiques qui ont été enlevées du site pour permettre des analyses plus approfondies ou pour permettre de poursuivre la fouille. A l'inverse, les *Phicons* [Ishii 1997], qui proposent la manipulation directe d'objets informatiques par des objets physiques comme des cubes, constituent des objets informatiques dont le caractère original est "représente un objet numérique".

Nombre d'utilisateurs en présence. Cette caractéristique est un axe numérique discret : il va de zéro (personne n'est en contact avec l'objet) à tous (tous les utilisateurs sont en contact avec l'objet).

Nous remarquons que si la valeur sur l'axe "Nombre d'utilisateurs en présence" est égale à 0, alors les utilisateurs doivent disposer d'une représentation afin de pouvoir interagir avec l'objet.

L'axe "Nombre d'utilisateurs en présence" permet d'anticiper en phase de conception certaines communications et certains comportements particuliers. Dans le cas où il y a toujours un seul utilisateur en présence de l'objet, cet utilisateur peut être un nœud de communication, centralisant les discussions relatives à cet objet. Pour illustrer cet axe, nous considérons le système collaboratif pour réparer un vélo [Kraut 1996], présenté à la sous-section "Cas où les utilisateurs sont distants" du chapitre III page 67. Un utilisateur, le travailleur, est en présence de l'objet matériel objet de la tâche, (le vélo) ; l'expert se trouve en présence d'une représentation numérique du vélo.

Utilisation de l'objet. La caractérisation d'un objet à travers son utilisation est directement adaptée de [Dubois 2002]. Nous caractérisons un objet selon qu'il est un outil ou l'objet de la tâche.

Nous affinons cette définition en considérant les trois facettes du modèle du trèfle des collecticiel [Salber 1995], présentées à la section 2.1 "Définition" du chapitre II page 29 :

- L'objet peut être un outil pour la production, comme une aiguille (pour une ponction péricardique) d'un chirurgien dans le système *Casper* [Dubois 2001]. L'objet peut être aussi le but même de l'interaction, l'objet de la tâche, comme l'imprimante dans le système de réparation Karma [Feiner 1993]. Il appartient alors par définition à la facette production du trèfle des collecticiels.
- L'objet peut être un vecteur de communication [Dix 1993], comme un mémo numérique du système *GeoNotes* [Persson 2002].

- L'objet peut être un vecteur de coordination, comme la carte où sont représentées la localisation des utilisateurs dans *ActiveMap* [McCarthy 1999].

Relation avec le savoir-faire. La localisation des connaissances, le savoir-faire lié à un objet est une donnée critique. Ces connaissances peuvent être co-localisées ou distantes à l'objet.

A condition de connaître la répartition à priori des utilisateurs, cette information permet de prévoir un flux important d'échanges entre les utilisateurs. En effet, les connaissances sont très liées aux objets (ou à leurs représentations) car elles sont les outils intellectuels de leurs manipulations. Elles font parties des moyens à mettre en œuvre pour permettre, faciliter, favoriser les actions des utilisateurs sur les objets. La proximité ou l'éloignement d'un objet (ou de sa représentation) par rapport aux connaissances qui s'y rapportent influe sur les communications. Par exemple, dans le système de réparation d'un vélo [Kraut 1996], l'expert n'étant pas dans l'atelier de réparation du vélo, les connaissances (de l'expert) sont donc distantes de l'objet, objet de la tâche, le vélo. Dans ce système, il est clair que le technicien aura recours à l'expert. Nous constatons donc que ce savoir-faire peut expliquer, justifier l'asymétrie des rôles dans un système mixte collaboratif et mobile.

Notation

Pour raisonner sur les scénarios projetés abstraits lors de la phase de spécifications externes, nous introduisons une notation graphique. Celle-ci reprend les caractéristiques des objets intervenant dans un scénario, caractéristiques que nous venons d'exposer. La notation décrit les relations entre les utilisateurs et les objets. Ainsi, les traits caractéristiques que nous avons identifiés à la partie 2 "Traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles" page 74 sont également traduits. Nous présentons d'abord les éléments graphiques de la notation. Ensuite nous illustrons la notation et nous soulignons son apport en phase de conception.

Eléments de la notation. Les éléments de la notation sont introduits aux figures IV-7, IV-8, IV-9 et IV-10. Nous décrivons ainsi la représentation des utilisateurs, la représentation des objets, les relations entre les entités ainsi que deux relations particulières. La représentation des utilisateurs de la figure IV-7 comprend les éléments suivants :

- Un triangle plein représente un utilisateur.
- Le groupe et le rôle d'un utilisateur sont décrits par une annotation textuelle. Par exemple à la figure IV-7, nous avons annoté un utilisateur par "visiteur".
- Un triangle plein encadré par un autre triangle plein traduit une représentation physique d'un utilisateur.

- Un triangle plein encadré par un triangle hachuré traduit une représentation numérique d'un utilisateur.
- Un pied sous un triangle dénote un utilisateur ou une représentation fixe.

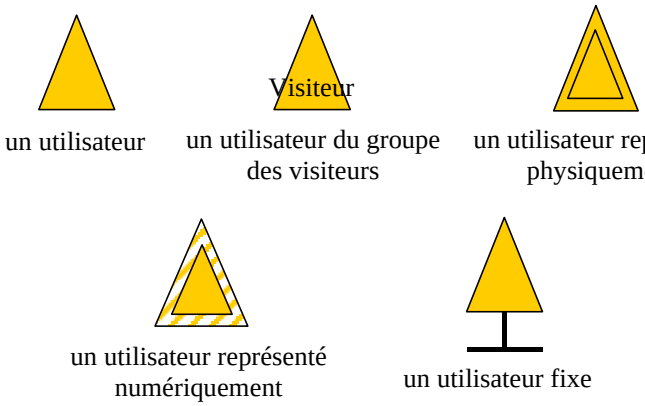


Figure IV-7
la représentation des utilisateurs

La représentation des objets, illustré par la figure IV-8, correspond à celle des utilisateurs. De plus nous différencions les objets de la tâche et les outils par leur forme : un rond pour un objet de la tâche et un carré pour un outil. La représentation des objets comprend les éléments suivants :

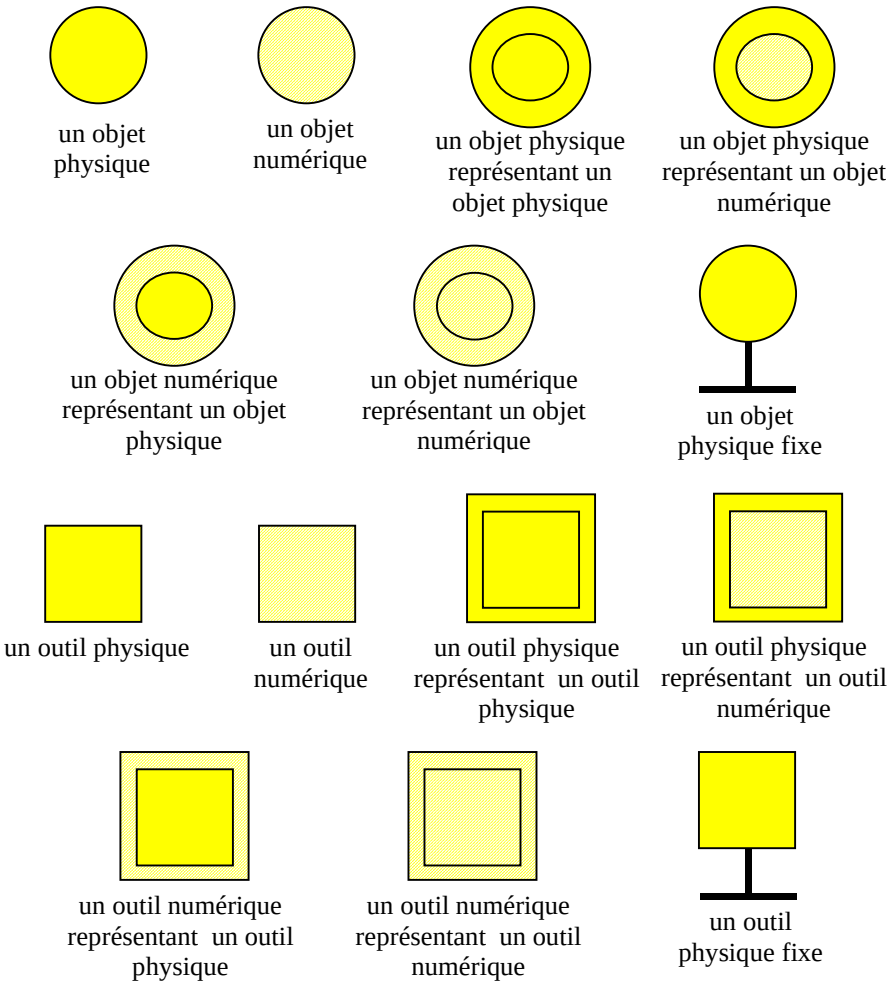


Figure IV-8
la représentation des objets

- Un rond (respectivement un carré) plein correspond à un objet (respectivement un outil) physique.
- Un rond (respectivement un carré) hachuré correspond à un objet (respectivement un outil) numérique.
- Un rond (respectivement un carré) plein ou hachuré entouré par un autre rond (respectivement un autre carré) plein ou hachuré correspond à une représentation.
- Un pied associé à un rond (respectivement un carré) dénote le caractère immobile de l'objet (respectivement de l'outil).

Comme le montre la figure IV-8, nous traduisons graphiquement les cinq caractéristiques des objets identifiées au paragraphe précédent. Les trois axes "Type", "Caractère original" et "Utilisation" sont traduits graphiquement tandis que nous représentons le fait que le savoir/savoir-faire est distant par la marque $\overline{K}$ (par défaut le savoir/savoir-faire étant co-localisé). Enfin le cinquième axe "Nombre d'utilisateurs en présence" est traduit par le nombre d'utilisateurs (de triangles) à proximité de l'objet sur le schéma du scénario.

L'ensemble des données liées à l'espace, illustré par la figure IV-9, est noté comme suit :

- Les interactions mixtes, c'est-à-dire les interactions menées dans les mondes physique et numérique avec une intervention du système informatique, entre un utilisateur et un objet ou entre deux utilisateurs sont représentées par des flèches. Si l'interaction est à sens unique, une seule flèche est représentée. Ainsi, nous représentons les trois types d'interactions mixtes : homme->objet, objet->homme et homme-homme.

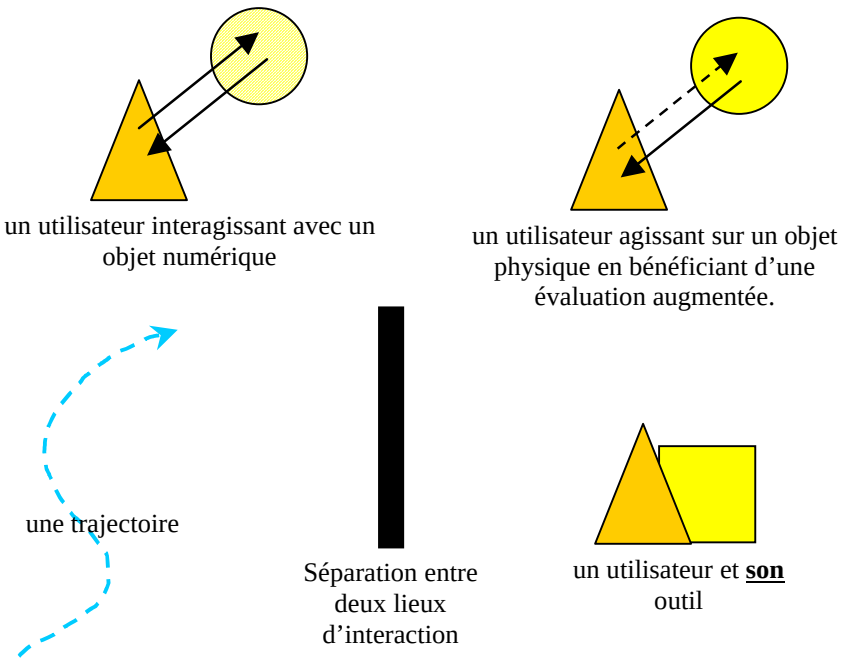


Figure IV-9
la représentation des données spatiales

- Les actions des utilisateurs non mixtes (réalisées dans le seul monde physique ou dans le seul monde numérique) sont notées par une flèche pointillée.
- Un mouvement spécifique qui a un impact sur l'interaction est représenté par des trajectoires, c'est-à-dire une courbe en pointillés. Le libre mouvement des utilisateurs autour des objets est sous-entendu.
- La séparation entre deux lieux d'utilisation est représentée par une barre épaisse. Cette séparation traduit le fait qu'un utilisateur ne puisse pas agir directement sur une entité qui se trouve au-delà de la séparation.
- L'adjacence de deux entités est significative : elle traduit une relation d'association. Les entités adjacentes constituent un "tout" qui par exemple se déplace ensemble. Un exemple de ce type de relation est un utilisateur avec un outil à la main (des degrés de libertés entre les différentes entités sont encore possibles).

A la figure IV-10, nous notons deux relations particulières :

- Une flèche double (=>) traduit la création d'une nouvelle entité tandis qu'une flèche double barrée signifie la destruction d'une entité. La création/destruction d'entités permet de traduire la dynamique pour la création et la destruction des liens entre les mondes physique et numérique.
- Lorsqu'une entité originale et une ou plusieurs de ses représentations sont sur le même schéma, nous notons cette relation par un trait entre ces entités.

Pour un scénario projeté, il est possible d'avoir plusieurs schémas. Les schémas sont alors ordonnés selon le déroulement temporel du scénario. Les éléments communs aux différents schémas sont alors mis en relation par un trait les liant.

Parmi les traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles identifiés à la partie 2 "Traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles" page 74, les trois types d'interaction et

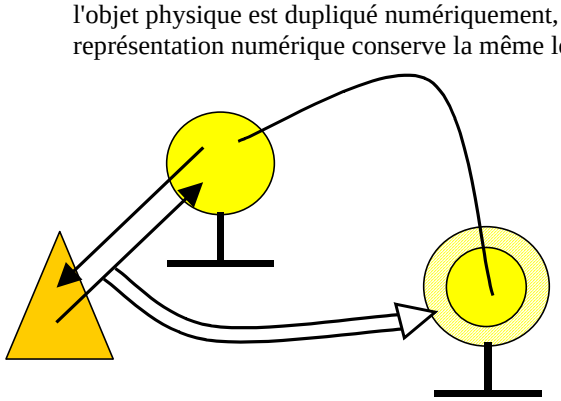


Figure IV-10 la représentation des relations particulières Un utilisateur interagissant avec un objet physique fixe, créant ainsi une représentation numérique fixe (localisée) de cet objet

l'asymétrie des rôles sont traduits graphiquement par définition des éléments graphiques. La distance des liens par rapport aux utilisateurs est représentée à la fois par le nombre de schéma, les trajectoires et le nombre de lieux (séparation par une barre verticale) pour un scénario. En effet, des liens co-localisés se représentent graphiquement par un seul lieu d'utilisation. De même, des liens co-localisés aux utilisateurs ne sont représentés que lorsque les utilisateurs sont co-localisés sur les schémas. Enfin, le cas de liens répartis sur l'espace d'utilisation est représenté par des déplacements, des lieux différents.

Intérêts de la notation. L'apport de la notation est double : la concision par rapport à la description narrative et la simplicité, tous deux favorisant l'exploration en phase de conception. Nous reprenons l'exemple du système *NaviCam+* (une version collaborative asynchrone du système *NaviCam* [Rekimoto 1995]) pour illustrer ces deux points.

A la figure IV-11, nous caractérisons l'œuvre d'art, un objet d'importance dans le système *NaviCam+*. Cet objet est physique et original, il est de plus l'objet de la tâche. Lorsque seul le visiteur est en présence de l'œuvre d'art, les connaissances relatives à l'œuvre d'art sont distantes. Ce cas est représenté par le polygone (bleu) foncé à la figure IV-11. A l'inverse, si l'expert est en présence de l'œuvre d'art, alors les connaissances s'y rapportant sont co-localisées. Par le polygone (orange) clair, nous représentons le cas où l'expert est seul devant l'œuvre (nombre d'utilisateur en présence = 1) et le cas où l'expert et avec le visiteur (nombre d'utilisateur en présence = tous).

A la figure IV-12, nous représentons le scénario projeté abstrait que nous avons précédemment présenté sous forme narrative à la section 4.3 "Scénarios projetés" page 90. Le système est asynchrone, il y a donc deux temps dans l'interaction représenté par deux schémas : l'expert (étape A)

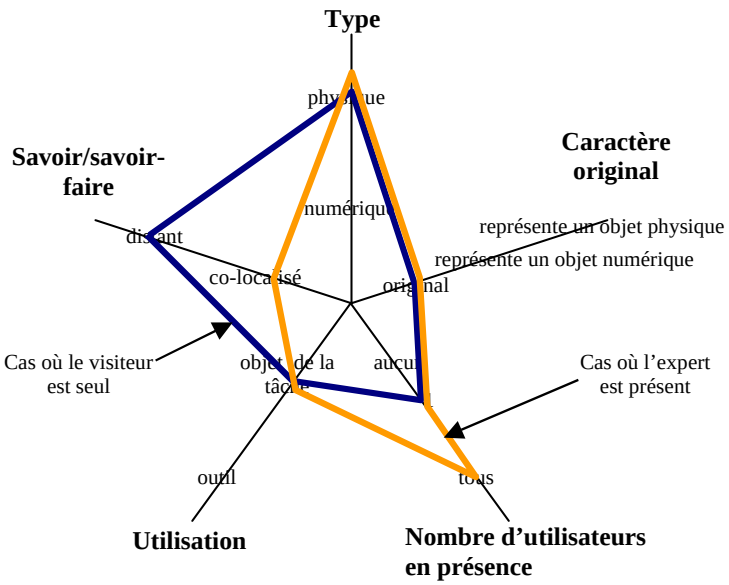


Figure IV-11
la caractérisation de l'œuvre d'art dans le système *NaviCam+*
Le polygone (bleu) foncé caractérise le cas où le visiteur est seul en présence du tableau. Le polygone (orange) clair caractérise le cas où l'expert est seul en présence du tableau (nombre d'utilisateur en présence = 1) et le cas où tous les utilisateurs (l'expert et le visiteur) sont en présence du tableau.

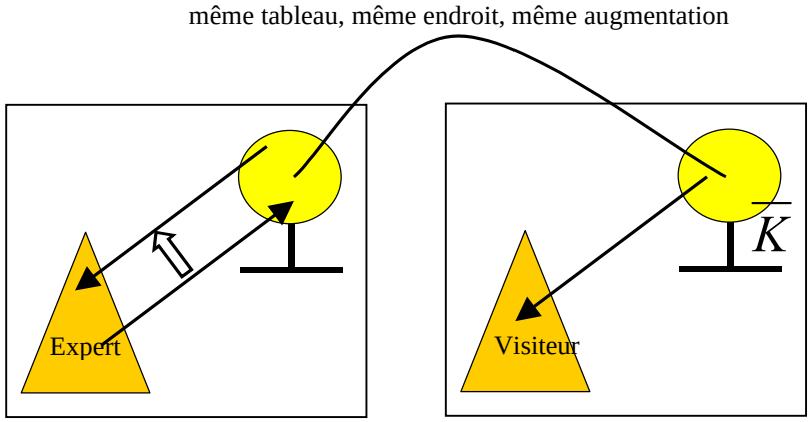


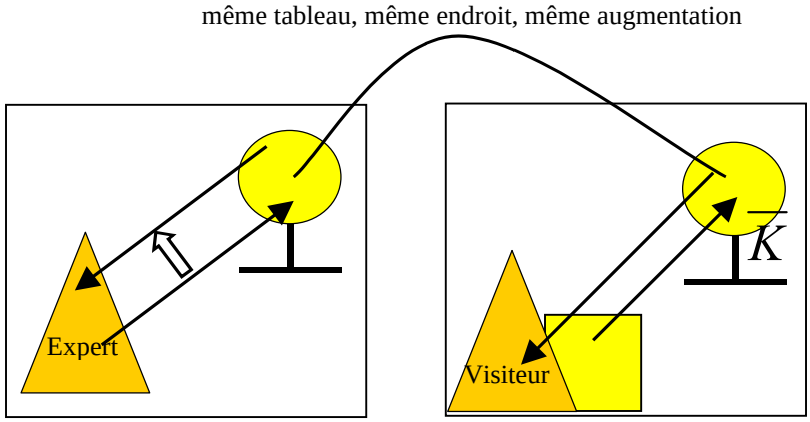
Figure IV-12
les schémas pour les scénarios projetés du système *NaviCam+*

et le visiteur admirant l'œuvre d'art (étape B). L'étape A décrit l'expert (un ami du visiteur dans le scénario) spécifiant des explications sur l'œuvre d'art : ses interactions avec l'objet (flèche dirigée vers l'objet) définissent l'augmentation (la flèche dirigée vers l'utilisateur). Ce mécanisme de définition est traduit par une flèche double. Nous présentons ici une création de lien augmentée : l'expert définit l'augmentation du tableau par une interaction augmentée. L'étape B montre donc l'utilisateur visiteur observant l'œuvre d'art augmenté des informations laissées par son ami expert.

Une alternative possible pour la création du lien relatif au tableau par l'expert est de définir cette augmentation de manière purement physique ou numérique. Dans un cas, la flèche double part de l'expert vers le lien partant de l'œuvre d'art et la relation partant de l'expert vers le tableau est en pointillé (il s'agit alors d'une interaction dans le monde physique). Dans la suite de l'illustration des intérêts de notre notation, nous conservons l'hypothèse d'une création du lien via une interaction mixte.

A la figure IV-13, nous avons représenté le scénario projeté du musée augmenté lorsque le visiteur est instrumenté. Cette instrumentation peut être liée à la lecture de code-barre avec un crayon optique comme nous l'avons envisagé lors de la présentation des scénarios projetés concrets. Tandis qu'il convient de réécrire le scénario dans sa forme narrative à chaque changement dans la conception, la notation graphique permet de décrire rapidement et de façon concise les solutions de conception envisagées. Ainsi en utilisant la notation graphique pour décrire les scénarios projetés, nous obtenons une vue synthétique riche d'informations sur les objets intervenant dans l'interaction et sur les interactions elles-mêmes.

Malgré sa simplicité, la notation permet néanmoins de décrire les aspects cruciaux de l'interaction. Cette simplicité favorise l'exploration des



Etape A : l'expert définit l'augmentation du tableau

Etape B : Le visiteur instrumenté regarde le tableau augmenté

Figure IV-13
les schémas pour les scénarios projetés du système *NaviCam+* avec un visiteur instrumenté

possibilités lors de la conception. Par exemple, les figures IV-14, IV-15, IV-16 et IV-17 présentent plusieurs alternatives de conception pour une version synchrone du système *NaviCam+* avec deux utilisateurs co-localisés. L'expert utilise alors le système pour montrer directement sur l'œuvre d'art les explications qu'il fournit au visiteur. Ces explications peuvent être des annotations, une mise en valeur de certaines parties de l'œuvre, etc.

Ces nouvelles versions du système impliquent qu'il n'y ait plus qu'une seule caractérisation de l'objet "œuvre d'art", le polygone (orange) clair de la figure IV-11. En effet, la caractéristique "nombre d'utilisateurs en présence" est à la valeur "tous" et la caractéristique "savoir/savoir-faire" est à la valeur "co-localisé". Dans les figures IV-14 à IV-17, les changements de caractéristiques de l'œuvre d'art se traduisent par la présence de tous les utilisateurs autour de l'objet et la disparition du signe $\overline{K}$, puisque désormais l'expert et le visiteur sont ensemble devant l'œuvre d'art.

De plus, avec les figures IV-14 à IV-17, nous explorons la possibilité d'instrumenter aucun, un ou tous les utilisateurs. Ces outils pourraient être des pinceaux pour dessiner, annoter ou encore désigner "numériquement" des éléments de l'œuvre d'art, comme ceux utilisés dans [Reitmayr 2001]. Sur chaque figure de IV-14 à IV-17, nous avons tracé une flèche de l'œuvre d'art vers l'expert. Ceci implique que l'expert perçoit aussi

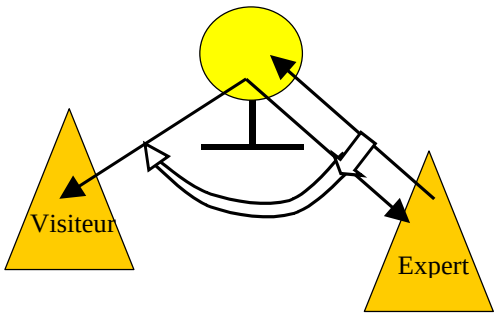


Figure IV-14
le schéma pour les scénarios projetés du système *NaviCam+* synchrone avec des utilisateurs co-localisés
Par une interaction mixte, l'expert définit l'augmentation qu'il peut percevoir (retours d'information) et que le visiteur peut également percevoir.

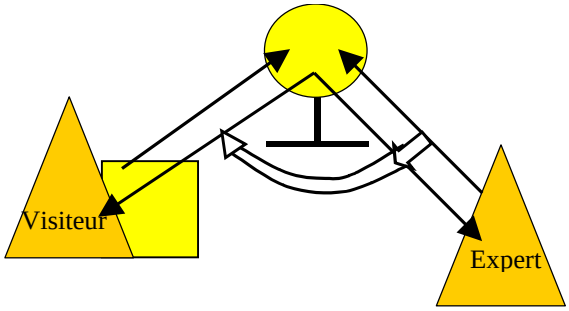


Figure IV-15
le schéma pour les scénarios projetés du système *NaviCam+* synchrone avec des utilisateurs co-localisés et le visiteur instrumenté
Par une interaction mixte, l'expert définit l'augmentation qu'il peut percevoir (retours d'information). Le visiteur utilise un outil pour acquérir les informations déposées par l'expert.

l'œuvre d'art augmenté comme le visiteur. Quand le visiteur est instrumenté, il doit alors interagir explicitement avec l'œuvre d'art, par exemple pour sélectionner une information. Il est alors nécessaire de représenter cette action du visiteur par une flèche de l'outil qu'il tient ou porte vers l'œuvre d'art.

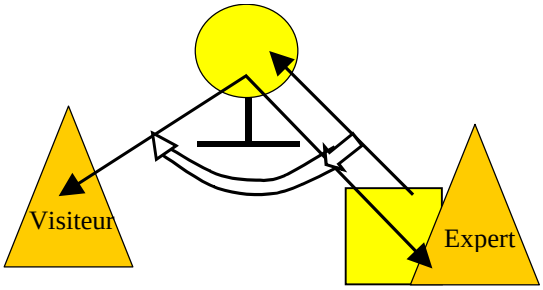


Figure IV-16
le schéma pour les scénarios projetés du système *NaviCam+* synchrone avec des utilisateurs co-localisés et l'expert instrumenté
Avec un outil et par une interaction mixte, l'expert définit l'augmentation qu'il peut percevoir (retours d'information) et que le visiteur peut également percevoir.

La figure IV-18 décrit une version du musée augmenté synchrone mais avec des utilisateurs distants. L'œuvre d'art devant le visiteur est de nouveau caractérisée par le polygone (bleu) foncé la figure IV-11. L'élément introduit est une représentation numérique de l'œuvre dont doit disposer l'expert pour définir l'augmentation de l'œuvre distante. Par ailleurs, il est concevable d'envisager une communication orale (par téléphone) entre les deux utilisateurs (relation en pointillé en bas du schéma de la figure IV-18). Là encore, d'autres schémas sont possibles en considérant l'instrumentation des utilisateurs.

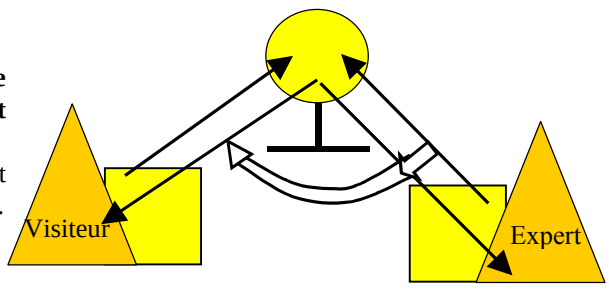


Figure IV-17
le schéma pour les scénarios projetés du système *NaviCam+* synchrone avec des utilisateurs co-localisés et instrumentés
Avec un outil et par une interaction mixte, l'expert définit l'augmentation qu'il peut percevoir (retours d'information). Le visiteur utilise un outil pour acquérir les informations déposées par l'expert.

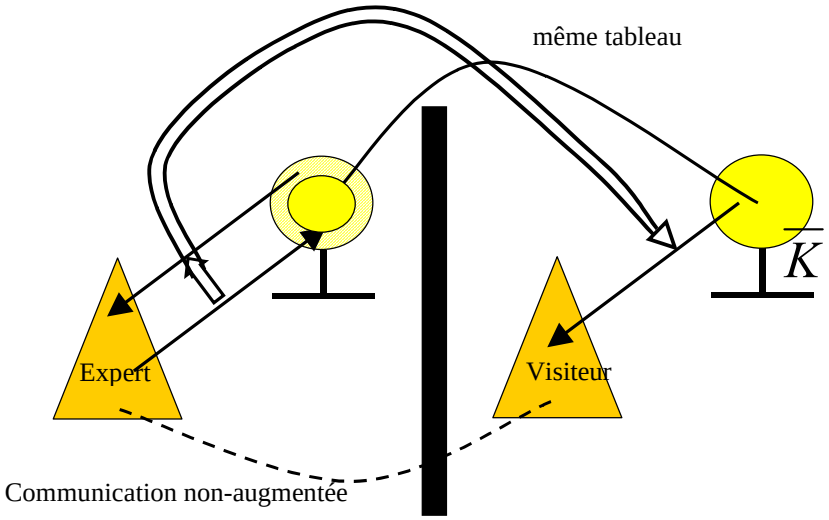


Figure IV-18
le schéma pour les scénarios projetés du système *NaviCam+* synchrone avec des utilisateurs distants
L'expert définit l'augmentation du tableau à travers une interaction mixte sur une représentation numérique du tableau. L'augmentation est répercutée en temps réel sur l'environnement physique du visiteur.

Illustrations. Nous appliquons notre notation à deux systèmes existants, illustrés par la figure IV-19 et la figure IV-20. Dans le cas du système de réparation de vélo [Kraut 1996], présenté à la section "Cas où les utilisateurs sont distants" page 67 et décrit par la figure IV-19, l'expert à distance interagit avec le technicien présent devant le vélo à travers ses indications sur l'objet lui-même et en parlant. Les différences avec la figure IV-18 se situent au niveau de la tâche : dans le cadre du musée augmenté, l'utilisateur n'agit pas sur l'œuvre d'art. A l'inverse, dans le cadre de la réparation du vélo, le technicien agit physiquement sur le vélo. De même, l'interaction de l'expert avec la représentation du vélo se situe dans le monde numérique. Ainsi, les flèches entre la représentation du vélo et l'expert sont en pointillé.

Le jeu d'échec augmenté [Reitmayr 2001] , présenté à la section 3.2 "Interactions pour des liens spécifiques à des utilisateurs co-localisés" page 80, est illustré par un la représentation d'un scénario abstrait de la solution existante à la figure IV-20. Les utilisateurs utilisent un outil pour

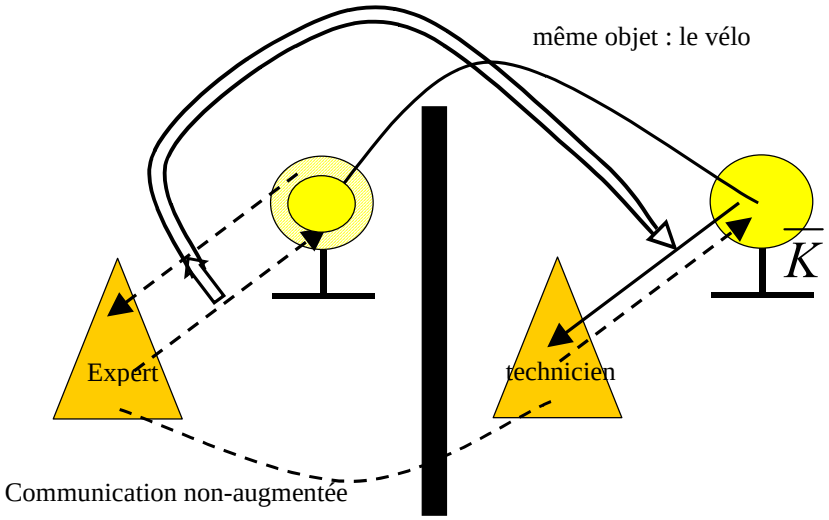


Figure IV-19
un scénario pour la réparation de vélo [Kraut 1996]
L'expert utilise une interface classique pour définir les augmentations destinées à aider le technicien, seul utilisateur en contact avec le vélo. Une communication (non mixte) est établie entre les deux utilisateus.

- les utilisateurs présents : les deux joueurs (J) et un observateur (O)
- les outils des joueurs : leur pointeur
- l'outil central : le support à l'échiquier numérique
- l'objet numérique : l'échiquier
- les interactions : les joueurs manipulent les pièces de l'échiquier grâce à leur pointeur. L'échiquier est affiché en fonction de son support.

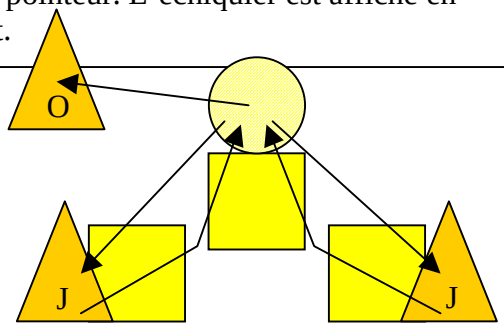


Figure IV-20
un scénario abstrait pour le jeu d'échec augmenté [Reitmayr 2001]
Les deux joueurs jouent aux échêques en déplaçant les pièces de l'echiquier numérique avec leur stylo. L'observateur peut assister à la partie, il perçoit les mêmes augmentations que les joueurs, mais il ne peut pas interagir avec les pièces de l'échiquier.

manipuler les pièces d'échec numériques. Les actions des utilisateurs joueurs sur l'échiquier sont donc mixtes. Les pièces sont affichées dans le casque semi-transparent porté par les utilisateurs en fonction d'un outil, un plateau équipé par un marqueur reconnu par caméra.

Vers un diagramme ASUR

Nous avons donc décrit un processus centré utilisateur, basé sur les scénarios projetés abstraits. Ces derniers sont enrichis à mesure que les choix d'interaction sont pris pour obtenir les scénarios projetés concrets. Pour cela, nous nous appuyons sur des formalismes déjà existants. Nous proposons ici l'adaptation de la notation ASUR++ [Dubois 2002], présentée à la section 2.3 "Outils de conception ergonomique" du chapitre III page 61, conçue pour la conception de systèmes mixtes mobiles, en ajoutant une dimension collaborative. Nous notons ASUR* cette version d'ASUR++.

Principe de conversion. Du scénario abstrait selon notre notation, il convient de concrétiser les interactions en fixant les modalités d'interactions (langages et dispositifs). Pour cela, nous adaptons la notation ASUR++ [Dubois 2002]. De nouveaux dispositifs sont introduits dans les scénarios projetés abstraits : il s'agit des adaptateurs, dont les utilisations permettent le passage du monde physique au monde numérique et vice versa. Par exemple, un casque semi-transparent est un adaptateur en sortie du monde numérique vers le monde physique. En marge de notre démarche, ces adaptateurs peuvent faire l'objet d'une spécification détaillée nécessaire pour les choix de conception, comme l'est le mini-écran dans [Mansoux 2003]. L'adaptation de ASUR++ en ASUR* est décrite par les points suivants :

- Les objets ne sont plus nécessairement des entités physiques. Nous considérons qu'un objet numérique peut être un objet de la notation ASUR*. Les objets numériques sont alors extraits du composant S

(système), mais ils restent juxtaposés à cet élément pour souligner leur nature. Il est alors possible d'avoir plusieurs S, ceci dénote alors autant d'intervention du système informatique.
- Nous adaptons ASUR en passant à plusieurs utilisateurs.

Les règles pour passer d'un schéma avec notre notation à une description ASUR* sont les suivantes :
- Chaque utilisateur présent physiquement est représenté par un composant U d'ASUR++.
- Les objets physiques et numériques sont des Robjects et les outils des Rtools d'ASUR++.
- Chaque utilisateur représenté physiquement ou numériquement est noté par un composant traduisant la nature de la représentation (un objet, un outil ou un autre utilisateur) ainsi que par les relations liant la représentation à l'utilisateur représenté.
- Les proximités physiques de la notation sont marquées par une relation de proximité (=) d'ASUR++.
- Les déclenchements des actions (les relations =>) et les adaptateurs en entrée et en sortie d'ASUR++ sont introduits dans les schémas en fonction des choix technologiques. Il en est de même pour les échanges entre les composants.
- Le composant S (système) est représenté plusieurs fois sur les diagrammes ASUR*. Un composant S est accolé à chaque entité numérique. De plus, il existe des composants S représentant les éléments de calcul et de gestion de l'interaction.

Illustrations. Comme exemple de passage de notre notation à ASUR*, nous montrons dans la figure IV-21, les diagrammes ASUR* du système mixte collaboratif [Kraut 1996] dont un scénario projeté abstrait est décrit avec notre notation à la figure IV-19. Une miniature de ce schéma est encadrée en bas à droite de la figure IV-21. Les éléments de la figure IV-21 sont les suivants :
- Les deux utilisateurs sont Ue, l'expert, et Ut, le technicien.
- Le vélo est noté Robject et la représentation du vélo pour l'expert est notée Robject2.
- Les adaptateurs pour le technicien lui sont physiquement liés. Il s'agit d'un casque semi-transparent (Aout) pour afficher les liens et une caméra (Ain) pour réaliser la capture du vélo afin de la transmettre à l'expert (relation entre le Ain du technicien vers Robject2).
- L'expert utilise une interface classique, avec un clavier, une souris et un écran. Il définit ainsi les augmentations sur le vélo (relation de Robject2 vers Aout du technicien).
- La partie communication homme-homme médiatisée est représentée par les lignes (bleues) épaisses et ne concerne que la partie inférieure

Ut : technicien	Ue : l'expert
Robject : le vélo	Robject 2 : la représentation du vélo
Ain (pour Ut): caméra	Ain (pour Ue): clavier, souris
Aout (pour Ut): casque semi-transparent	Aout (pour Ue): écran
Rtool : aucun	Aout2 (pour Ue et Ut) : les écouteurs
S : système informatique	Ain2 (pour Ue et Ut) : le microphone

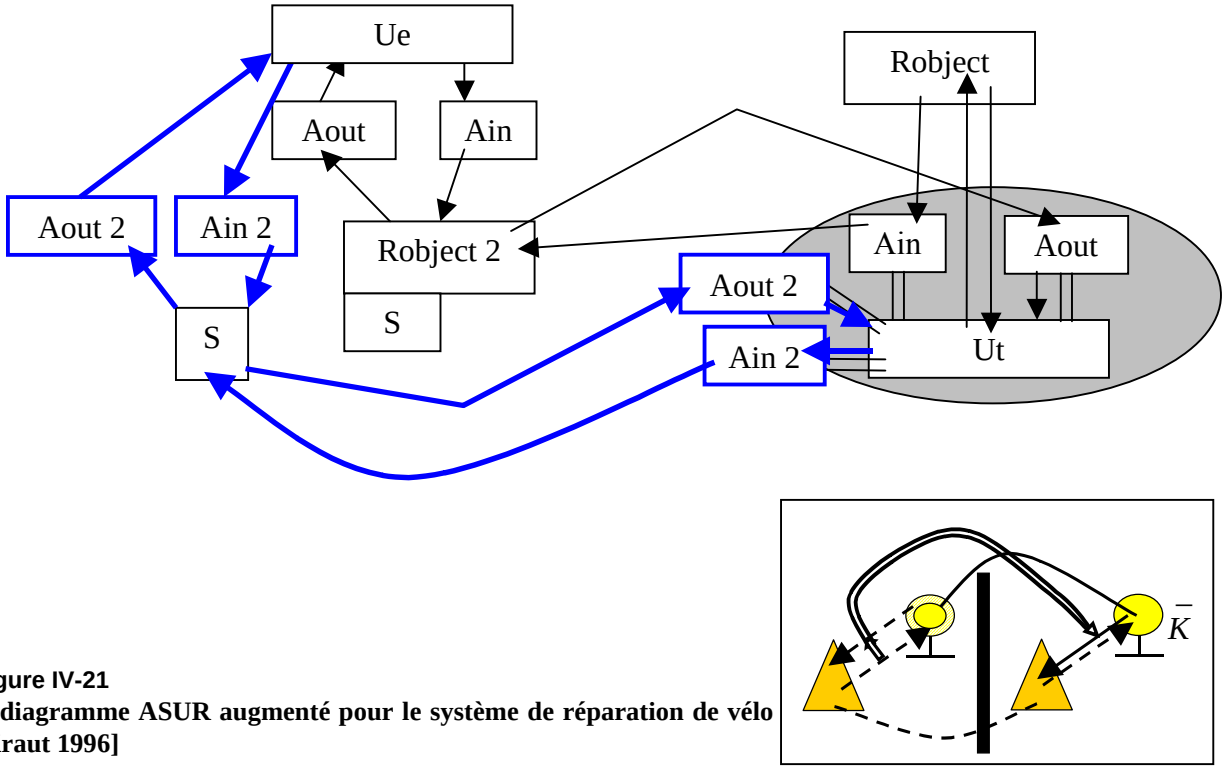
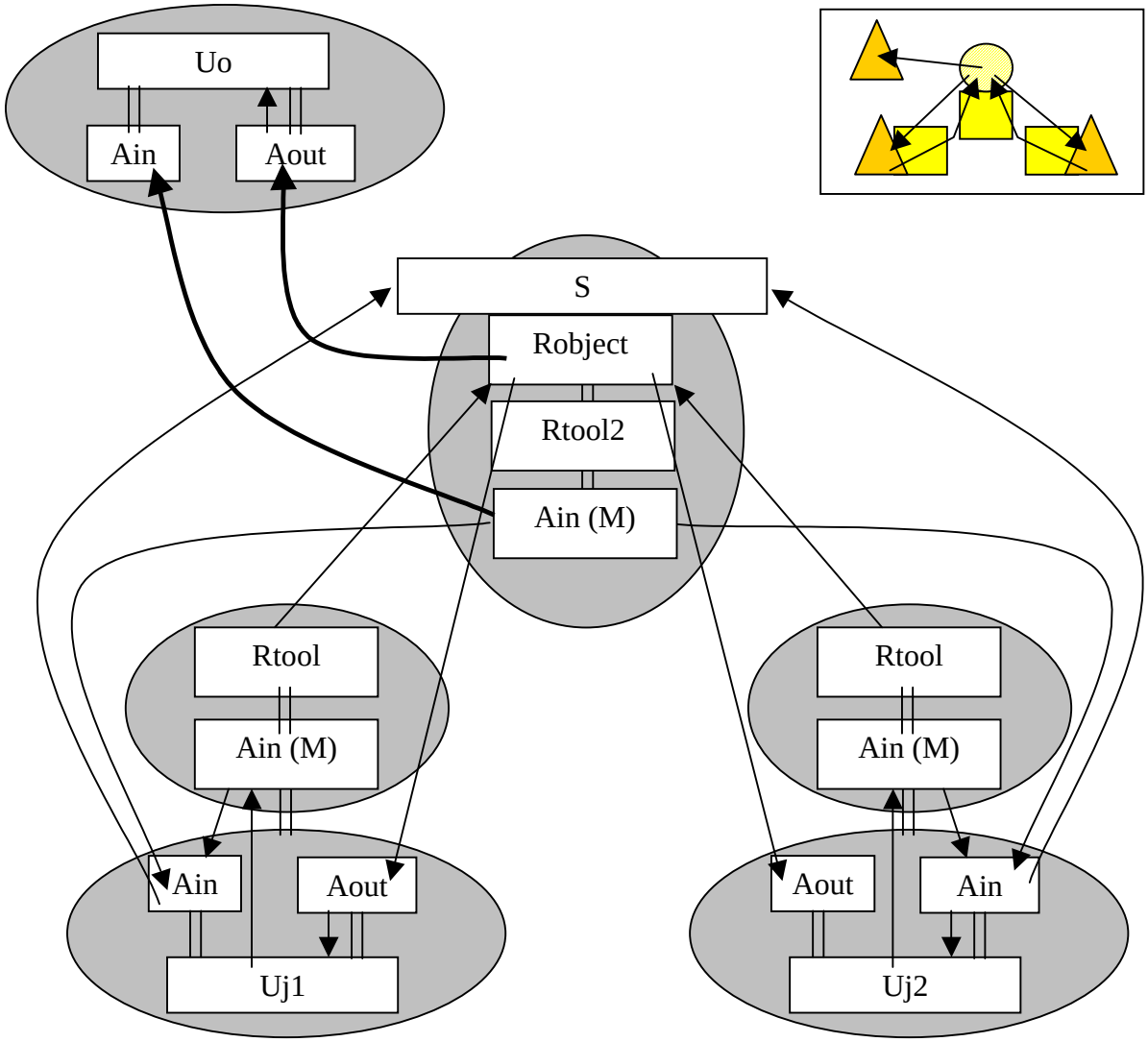


Figure IV-21
le diagramme ASUR augmenté pour le système de réparation de vélo [Kraut 1996]

gauche du schéma, c'est-à-dire les Ain2, Aout2 et la partie du système informatique dédié à la communication homme-homme médiatisée.

Nous montrons également à la figure IV-22, le diagramme ASUR* du jeu d'échec mixte collaboratif [Reitmayr 2001], dont le schéma d'un scénario abstrait est présenté à la figure IV-20. L'encadré en haut à droite de la figure IV-22 est une miniature de la figure IV-20. Nous rappelons que ce système utilise l'*ARToolkit* [Kato 1999], ce qui explique les caméras et les marqueurs. Les éléments de la figure IV-22 sont les suivants :

- Les trois utilisateurs sont Uo, un observateur, et Uj1 et Uj2, les deux joueurs.
- Robject représente l'échiquier et toutes ses pièces. Le plateau de jeu lui-même est manipulable à travers un outil, Rtool2, une plaque (une petite planche) équipée d'un marqueur reconnu par caméra pour la localiser.
- Chaque utilisateur est équipé d'une caméra (Ain) pour réaliser la capture de l'environnement physique. Les images sont utilisées pour reconnaître les marqueurs (relation des Ain(M) vers les Ain) et pour



Uo : un observateur	Uj1,Uj2 : les deux joueurs (rôle équivalent)
Robject : l'échiquier	Rtool : crayon équipé d'un marqueur
S : système informatique	Rtool2 : la plaque portant le marqueur
Aout : casque	
Ain (M): un marqueur	Ain : caméra

Figure IV-22
le diagramme ASUR augmenté pour le jeu d'échec mixte [Reitmayr 2001]

réaliser les augmentations par la *video see-through* (relation des Ain vers S) .

- Chaque utilisateur est équipé d'un casque de vision (Aout) pour afficher les données informatiques (relation Robject vers Aout).
- Chaque joueur (Uj1 et Uj2) utilise un crayon marqué, noté Rtool associé à un Ain(M). L'outil permet de manipuler les pièces de l'échiquier (relation de Rtool vers Robject).

6. Synthèse

Dans les deux premières parties de ce chapitre, nous avons défini les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles :

Un système mixte collaboratif et mobile est un système dont les augmentations pour un utilisateur dépendent à la fois de sa localisation, de son orientation et des activités des utilisateurs.

Les SM collaboratifs et mobiles se caractérisent aussi selon le découpage spatio-temporel des collecticiels mobiles : les lieux d'utilisation (confiné ou vagabond), la distance relative des utilisateurs (ensemble/lieu identique contre dispersés/lieux différents) et les temps d'utilisation (synchrone, asynchrone et les temps d'utilisation mixtes).

Ensuite nous avons caractérisé la dynamique (création, accès et modification/destruction) des liens entre les mondes physique et numérique selon l'axe actif-passif.

Puis nous avons identifié trois traits caractéristiques des SM collaboratifs et mobiles :
- la localisation de l'interaction à travers les liens,
- trois types d'interaction (homme-objet, objet-homme ou homme-homme),
- et l'asymétrie des rôles des utilisateurs.

La troisième partie est consacrée aux exemples de systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. La quatrième partie de ce chapitre est dédiée à la conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Notre collaboration avec des psychologues et des ergonomes nous a permis d'établir un processus de conception basé sur les scénarios. Ce processus est un canevas intégrateur des outils et résultats vus aux chapitres précédents. Les scénarios projetés abstraits puis concrets constituent un outil de développement et de concrétisation des spécifications externes des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles.

La dernière partie de ce chapitre est consacrée à la phase de spécifications externes lors de la conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Nous avons défini trois propriétés ergonomiques : l'observabilité mixte, la cohérence de l'augmentation et l'adaptabilité de l'augmentation. Nous avons également défini une notation de conception pour schématiser les scénarios projetés abstraits. Cette notion permet de caractériser synthétiquement les objets intervenant dans les scénarios ainsi que les trois traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles. Finalement, nous proposons une traduction en vue d'une conception informatique, grâce à une adaptation d'ASUR++ [Dubois 2002]. Nous envisageons la recherche de patrons de conception disponibles pour un diagramme ASUR++ donné. Cette démarche a été entreprise dans

[Mansoux 2003], mais dans le cadre des systèmes mixtes appliqués au domaine médical.

Nous sommes conscients de certaines limitations de notre approche, notamment en ce qui concerne le traitement du contexte et l'adaptativité résultante, en d'autre terme la plasticité. De fait, nous traitons les contextes uniquement à travers nos scénarios, qui définissent un cadre d'utilisation, mais nous ne modélisons pas les éléments extérieurs. Cet axe de travail constitue un réservoir de travaux de recherche important, dont nous ne pouvions nous contenter d'une approche partielle. Mais il nous apparaît évident que tout ce qui permettra l'adéquation d'une interface avec l'environnement d'utilisation ne peut être que bénéfique à l'utilisabilité.

Notre démarche de conception a été appliquée à la réalisation de deux systèmes : MAGIC [Houria 2001], un système dédié au support des fouilles archéologiques et TROC [Houria 2002], un jeu mobile et collaboratif, reprenant la plate-forme développée pour MAGIC. Ces applications de notre démarche seront présentées dans le chapitre VI. Avant cette application de notre démarche, nous poursuivons notre cheminement dans la conception des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles en nous intéressant à l'aspect conception logicielle au chapitre suivant.

Chapitre V Conception logicielle

Le chapitre précédent est dédié à la conception ergonomique des systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mobiles. Poursuivant le cycle de vie d'un système interactif issu du génie logiciel, nous abordons dans ce chapitre l'étape suivante, la conception logicielle des SM collaboratifs et mobiles.

Notre démarche de travail est descendante. Nous avons caractérisé les SM collaboratifs et mobiles, ainsi que leurs usages au chapitre précédent. A partir de ces résultats conceptuels, nous avons conçu deux SM collaboratifs et mobiles, MAGIC et TROC, détaillés au chapitre suivant. Ces deux systèmes exploitent trois techniques d'interaction générales que nous avons déclinées afin d'explorer expérimentalement plusieurs facettes des SM collaboratifs et mobiles.

Aussi, ce chapitre consacré à la conception logicielle des SM collaboratifs et mobiles est organisé en deux parties. Dans la première partie, nous traitons de l'architecture logicielle des SM collaboratifs et mobiles. Dans la seconde partie, nous exposons la réalisation des techniques d'interaction en les intégrant selon notre modèle d'architecture logicielle.

1. Architecture logicielle

La définition du terme "architecture" est l'art de la construction d'édifices selon un ensemble de règles établies. L'architecture d'un édifice, c'est aussi sa forme, sa structure. Dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine, il s'agit de la façon dont les composants logiciels ou matériels sont organisés et assemblés pour réaliser un système interactif. Un modèle

d'architecture logicielle est utilisé lors de la phase de conception logicielle dans le cycle de vie du système interactif pour en concevoir l'architecture. La phase de conception logicielle globale consiste à traduire les spécifications externes (le résultat de la conception ergonomique) sous forme logicielle en appliquant un modèle d'architecture logicielle.

Pour la réalisation logicielle des Systèmes Mixtes (SM) collaboratifs et mobiles, il existe des solutions architecturales pour le traitement des informations contextuelles [Reitmayr 2001]. Cependant il n'existe pas de solution globale. Notre démarche a été d'adapter le modèle d'architecture PAC-Amodeus [Nigay 1994] en nous basant sur notre expérience de ce modèle appliqué aux collecticiels. Nous détaillons cette architecture dans la section suivante.

Partant d'un modèle d'architecture applicable aux collecticiels, l'enjeu réside alors dans l'étude des flux d'informations propres aux SM collaboratifs et mobiles. Ces flux concernent la localisation (puisque nous avons réduit la mobilité à la localisation et l'orientation des utilisateurs) et les données relatives aux augmentations. Notre manière de gérer ces flux est décrite dans la section 1.2 "Gestion des flux d'informations pour les SM collaboratifs et mobiles" page 124.

Nous concluons cette partie consacrée à l'architecture logicielle par une synthèse du modèle PAC-Amodeus étendu que nous proposons pour la conception logicielle des SM collaboratifs et mobiles.

1.1. PAC-AMODEUS

Le modèle PAC-Amodeus est un modèle hybride entre les modèles d'architecture Arch et PAC. Nous présentons dans un premier temps ces deux modèles d'architecture, pour ensuite décrire le modèle PAC-Amodeus. Finalement, nous détaillons l'application de ce modèle aux collecticiels.

Modèle Arch

Le modèle Arch [Bass 1992], une extension du modèle Seeheim [Green 1985], est un modèle d'architecture qui offre une décomposition fonctionnelle d'un système interactif. Le principe véhiculé par le modèle, comme le montre la figure V-1, est de séparer l'interface utilisateur du Noyau Fonctionnel (logique de l'application). En pratique, le Noyau Fonctionnel ne doit avoir aucune connaissance des fonctionnalités relevant de l'interface utilisateur pour faciliter une conception itérative de l'interface, ainsi que pour favoriser la réutilisation et la portabilité du logiciel. Les composants de ce modèle d'architecture sont :

- Le Noyau Fonctionnel (NF) implémente les fonctionnalités et les concepts du domaine indépendamment de leur présentation. Les structures de données manipulées par ce composant sont les objets du domaine.

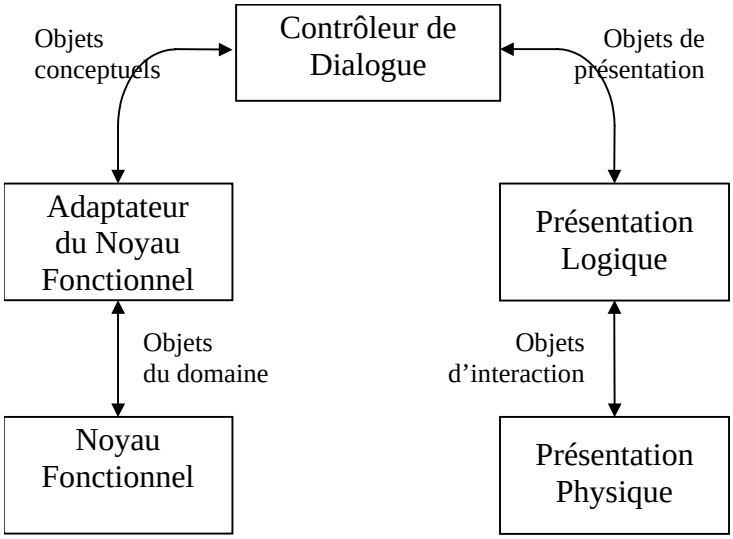


Figure V-1
le modèle Arch

- L'Adaptateur du Noyau Fonctionnel (ANF) joue un rôle de médiateur entre le Noyau Fonctionnel et le Contrôleur de Dialogue. Les données échangées avec le Noyau Fonctionnel sont les objets du domaine nécessaires à l'interaction. Les données échangées avec le Contrôleur de Dialogue sont extraites de ces objets et adaptées aux requis de l'interaction.
- Le Contrôleur de Dialogue (CD) est la pierre angulaire de cette architecture puisque ce composant a la charge de gérer le dialogue, c'est-à-dire l'enchaînement des tâches. Ce composant manipule à la fois les objets conceptuels et les objets de présentation nécessaires à l'interaction. Le Contrôleur de Dialogue associe un ou plusieurs objets de présentation à un ou plusieurs objets conceptuels et réciproquement.
- La Présentation Logique (PL) joue aussi un rôle de médiateur entre le Contrôleur de Dialogue et la Présentation Physique. Ce composant, généralement assimilé à une boîte à outils graphique abstraite, permet l'indépendance du CD vis-à-vis des boîtes à outils graphique du niveau de la Présentation Physique. Par exemple, la boîte à outils graphique AWT (*Abstract Window Toolkit*) écrite en Java [Java] relève de ce niveau : elle est indépendante de la boîte à outils graphique du système d'exploitation. Ceci permet au programme de fonctionner sur n'importe quel système d'exploitation où une version compatible de Java est installée.
- La Présentation Physique (PP) représente les interacteurs logiciels de bas niveaux (boîte à outils graphiques du système d'exploitation, contrôleur de périphérique) et les périphériques matériels (souris, écran, etc.).

Modèle multi-agent PAC

Le modèle PAC (Présentation Abstraction Contrôleur) [Coutaz 1987] est un modèle multi-agent pour la conception logicielle des systèmes interactifs. Il repose sur deux principes directeurs : le concept d'agents

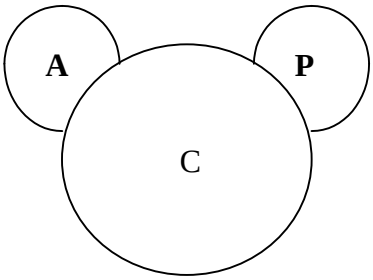


Figure V-2
un agent PAC, avec son abstraction (A), sa présentation (P) et son Contrôle (C)

réactifs à facettes (système de traitement de l'information) et l'organisation hiérarchique de ces agents. Un agent PAC est constitué de trois facettes représentées à la figure V-2 :

- La facette A, Abstraction, définit la compétence propre de l'agent, indépendamment de toute représentation.
- La facette P, Présentation, définit le comportement de l'agent pour l'utilisateur. Cette facette gère à la fois les communications de l'utilisateur vers l'agent et celles de l'agent vers l'utilisateur.
- La facette C, Contrôle, a deux rôles : exprimer les dépendances et assurer la traduction de formalismes entre les facettes A et P. Cette facette gère aussi la communication avec l'environnement de l'agent, c'est-à-dire d'autres agents PAC. Dans la hiérarchie d'agents PAC, un agent ne communique (par message) qu'avec son agent père (celui auquel il est attaché et dont il dépend) et ses agents fils (ceux dont il est l'agent père).

Modèle hybride PAC-Amodeus

Le modèle d'architecture PAC-Amodeus [Nigay 1994] est l'intégration du modèle multi-agent PAC au modèle fonctionnel Arch. Dans le modèle PAC-Amodeus, le Contrôleur de Dialogue d'Arch est organisé en une hiérarchie d'agents PAC, comme l'illustre la figure V-3. La facette A de chaque agent est en relation avec un objet du domaine situé dans

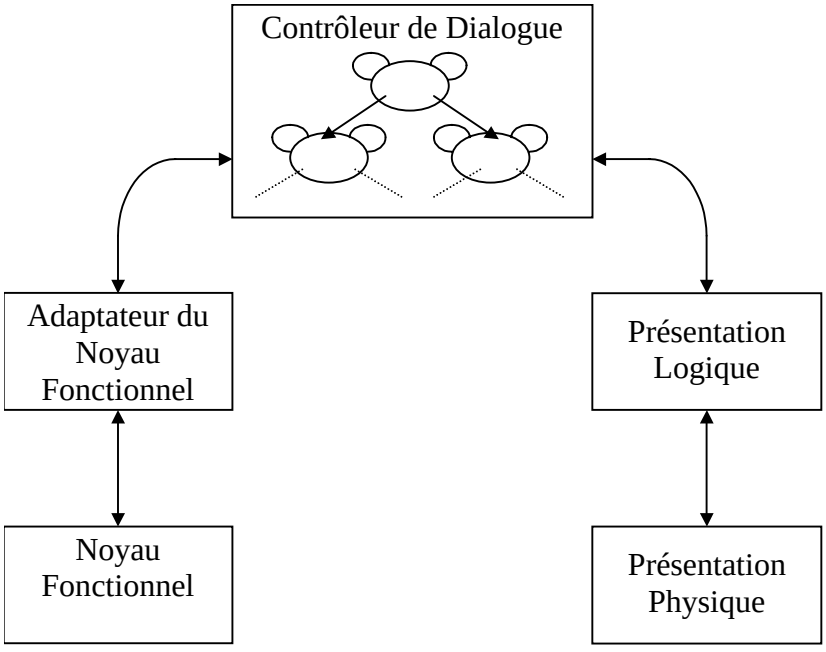


Figure V-3
le modèle PAC-Amodeus

l'adaptateur fonctionnel. La facette P de chaque agent pointe sur un objet de présentation dans la Présentation Logique. Les messages échangés entre les facettes Contrôle permettent d'articuler l'activité de l'utilisateur, de réguler les interactions.

PAC-Amodeus pour les collecticiels

L'application du modèle PAC-Amodeus aux collecticiels consiste en un partage d'un Noyau Fonctionnel commun entre les utilisateurs. Ainsi, des informations sont partagées par tous les utilisateurs et les échanges se font par le biais de requêtes clients-serveurs classiques. A la figure V-4, nous avons représenté un cas où la liaison réseau se fait au niveau de l'adaptateur du Noyau Fonctionnel. Il est cependant envisageable de mettre cette connexion à différents niveaux, du Noyau Fonctionnel à la Présentation Physique, comme c'est le cas avec les terminaux X-window.

Néanmoins, comme il a été identifié dans [Laurillau 2002], il est possible pour chaque client, c'est-à-dire pour chaque utilisateur, de disposer d'un Noyau Fonctionnel privé. Ce dernier ne contiendra alors que des données non-partagées ou des éléments répliqués et invariants afin de limiter les échanges sur le réseau. Notons que cette partie du NF privé peut être localisée sur le serveur.

Par exemple, l'application de la conscience de groupe localisée définie au chapitre II, peut être réalisée à travers le partage d'une carte représentant le lieu de l'utilisation et la mise à jour régulière des positions des utilisateurs dans ce lieu d'utilisation. Dans un tel cas, si la carte n'évolue pas, il est possible de répliquer cette carte sur chaque client et de ne faire

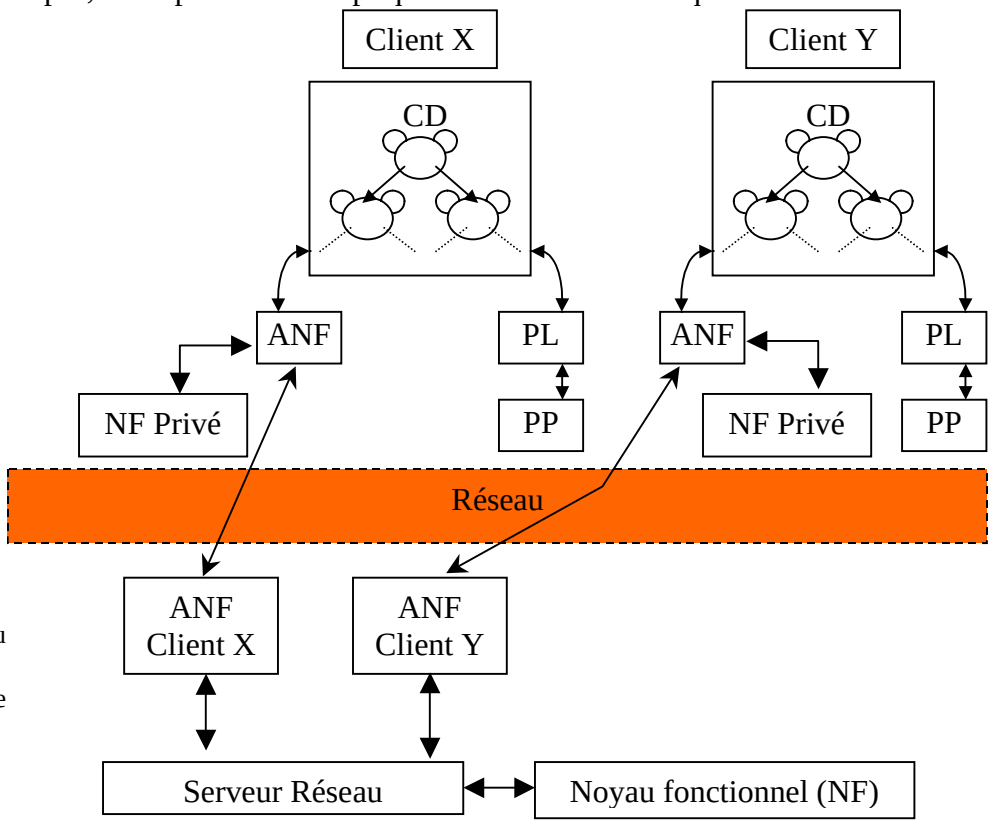


Figure V-4
PAC-Amodeus appliqué aux collecticiels
les abréviations utilisées sont les suivantes :
•NF : noyau fonctionnel
•ANF : adaptateur du noyau fonctionnel
•CD : contrôleur de dialogue
•PL : présentation logique
•PP : présentation physique

circuler sur le réseau que les données relatives aux positions des utilisateurs. De même, si une tâche des utilisateurs est de créer des liens entre les mondes numérique et physique mais de les partager uniquement après une validation de l'utilisateur créateur, alors les liens non validés sont mémorisés au niveau du Noyau Fonctionnel privé de l'utilisateur créateur. Une fois validé, le lien est mémorisé au niveau du Noyau Fonctionnel partagé.

Comme l'illustre l'exemple précédent, les données relatives à la mobilité et/ou aux augmentations sont traitées généralement comme des données alimentant l'interaction via le Contrôleur de Dialogue. Cependant, il existe des cas particuliers que nous présentons dans la section suivante.

1.2. GESTION DES FLUX D'INFORMATIONS POUR LES SM COLLABORATIFS ET MOBILES

Dans cette section, nous expliquons comment les traitements liés à la fusion entre les mondes physique et numérique sont localisés au sein de notre architecture. Une augmentation est définie dans le Contrôleur de Dialogue, à partir des données fournies par le Noyau Fonctionnel via l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel. La représentation de cette augmentation est concrétisée dans la Présentation Logique qui permet de manipuler les éléments de la Présentation Physique.

Selon notre définition des Systèmes Mixtes (SM) collaboratifs et mobiles, les augmentations dépendent de la position de l'utilisateur et des actions des utilisateurs. Ces dernières sont identifiées et traitées dans le modèle d'architecture PAC-Amodeus appliqué aux collecticiels. Il s'agit donc de canaliser les flux d'informations relatives à la position des utilisateurs. Ces données, essentiellement la localisation et l'orientation, constituent l'ensemble des informations contextuelles nécessaires aux SM collaboratifs et mobiles. Nous retenons comme définition du contexte "l'ensemble des données mesurables" [Gray 2001], c'est-à-dire les informations fournies par les capteurs.

Le traitement des données contextuelles est un sujet de recherche à part entière. Nous l'avons traité en le réduisant à nos besoins. Cependant, il existe de nombreuses approches qui traitent spécifiquement et en profondeur de ce problème, comme la *Context Toolkit* [Dey 2001]. Nous notons que la solution que nous avons adoptée n'est pas en contradiction avec les approches existantes.

Nous avons identifié trois flux d'informations contextuelles pour la réalisation logicielle des SM collaboratifs et mobiles, numérotés de 1 à 3 à la figure V-5 :

1. Dans un premier temps, les données contextuelles (i.e. l'orientation ou la localisation) peuvent être des données à part entière, des propriétés des objets numériques et/ou physiques manipulés. Par exemple, dans la création d'un objet numérique à un endroit précis, comme une annotation sur un objet physique, la localisation est une caractéristique

de l'augmentation qui doit être enregistrée dans le Noyau Fonctionnel (NF). Aussi, nous avons opté pour un traitement de cette donnée dans l'Adaptateur du Noyau Fonction (ANF), car :

- D'une part la dynamique des liens nous permet d'affirmer qu'il faut éviter de traiter ce flux dans le NF. En effet, le NF doit être indépendant de l'interaction et ne doit pas traiter des cas de création de liens entre les deux mondes.
- D'autre part, si les données de localisation sont traitées comme des propriétés des objets manipulés par les utilisateurs, il en résulte alors que cette localisation ne doit pas être gérée par le Contrôleur de Dialogue (CD).
- Finalement, l'interaction elle-même, comme celle permettant la création de l'annotation dans notre exemple, ne dépend pas à priori de la localisation de l'utilisateur. Aussi, la localisation n'intéresse ni la Présentation Logique (PL) ni la Présentation Physique (PP).
- De par les trois points ci-dessus, l'ANF est le seul composant du modèle à pouvoir gérer la localisation lorsque celle-ci est une donnée.

2 Dans un deuxième temps, il est possible que le contexte, limité dans notre étude à la localisation et à l'orientation, détermine l'activité et de ce fait les interactions. En d'autres termes, la position des utilisateurs détermine leurs activités. Il appartient alors au CD d'articuler l'interaction en fonction de la localisation courante et de proposer l'interface adéquate. Ce flux est identifié dans [Nigay 2002b], et les informations contextuelles sont alors traitées par la facette Contrôle des agents PAC du CD. Pour illustrer ce flux, nous considérons un système d'aide à la visite d'une ville. Il y a alors deux phases

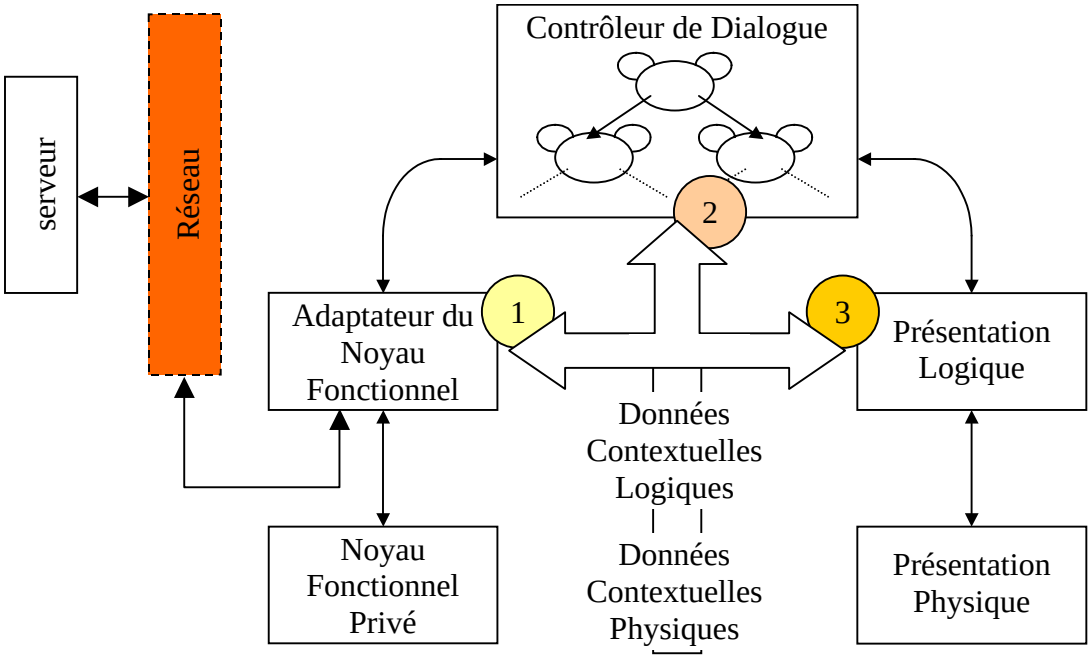


Figure V-5 les trois flux des données contextuelles dans le modèle

distinctes : les déplacements et les visites de monuments. Pendant la phase des déplacements, les utilisateurs recherchent des indications sur les bâtiments qui les entourent, comme avec la *Touring Machine* [Feiner 1997] ou des chemins. Cependant, une fois à l'intérieur d'un musée ou d'un monument, les utilisateurs demandent des informations relatives à ce qu'ils visitent, comme dans le musée augmenté [Rekimoto 1995]. Les activités de déplacements et de visites sont différentes, aussi il est concevable de mettre en œuvre des interfaces distinctes pour chaque situation. Or chaque situation est déterminée par la localisation de l'utilisateur, par exemple dans la rue et dans un musée.

3 Finalement, les données contextuelles peuvent être utilisées comme des données en entrée lors des interactions, à la manière des événements générés par un clavier. Ce flux d'informations est identifié dans [Dubois 2001] et il concerne directement les PL et PP. Le mouvement et l'orientation du regard définissent alors les interactions à travers les liens. L'interaction des utilisateurs avec l'objet augmenté par la *Virtual Showcase* [Bimber 2002], présentée à la partie 2 du chapitre IV page 74, correspond à ce traitement particulier des flux d'information des capteurs. En effet, en se déplaçant, les utilisateurs accèdent aux informations. Par analogie, ces déplacements sont assimilables à une navigation dans un monde numérique avec le clavier et la souris. Simplement, les utilisateurs n'utilisent pas une barre de défilement avec une souris, mais se déplacent eux-mêmes. De même, dans le cadre du projet *Studierstube* [Szalavári 1997], les déplacements des utilisateurs leur permettent d'obtenir des points de vue différents. Au lieu de faire tourner un objet numérique sur un écran, les utilisateurs se déplacent autour d'un objet augmenté.

Enfin, il convient de noter qu'une information contextuelle peut concerner plusieurs flux simultanément. La localisation de chaque utilisateur est notamment partagée entre les utilisateurs dans le cadre de la conscience de groupe localisée. Par exemple, en dotant la *Touring Machine* [Feiner 1997] d'une carte pour permettre à plusieurs utilisateurs de se situer, la localisation d'un utilisateur sert à déterminer les augmentations (flux 2 de la figure V-5 page 125) mais elle est aussi partagée par tous les utilisateurs (flux 1 de la figure V-5 page 125).

En pratique, la même information est utilisée selon plusieurs possibilités. Il est alors nécessaire d'utiliser des mécanismes de mise à jour d'une variable (par exemple la localisation) et de sa propagation dans le système mixte collaboratif et mobile. Il existe une ressource cruciale, le capteur, qui ne peut être accédé que par un processus à la fois. Il y a donc des appels concurrents à une ressource critique. C'est un problème identifié, qu'il est possible de résoudre de plusieurs manières :

- mettre en place un méta-contrôleur de périphérique qui autorise plusieurs connexions,
- mettre en place une mise à jour multifilaire asynchrone, l'asynchronisme étant dû aux temps de lecture variables aux données mesurées car les accès ne sont pas toujours permis, notamment pendant la mise à jour
- ou donner une priorité à l'un des flux (certainement le flux 3 de la figure V-5 page 125 afin d'obtenir l'interaction la plus fluide possible) puis propager cette donnée dans le reste de l'application.

En complément de ces trois flux, nous soulignons la possibilité de connexion réseau au niveau de tous les composants du modèle d'architecture. Cette connexion réseau peut notamment intervenir entre le capteur de position, qui est alors à distance, et les composants exécutés sur les dispositifs portés par les utilisateurs. En effet la localisation n'est pas forcément faite par un capteur porté par l'utilisateur et connecté directement à son dispositif informatique.

1.3. SYNTHÈSE : MODÈLE D'ARCHITECTURE LOGICIELLE POUR LES SYSTÈMES MIXTES COLLABORATIFS ET MOBILES

A partir de notre expérience du modèle d'architecture logicielle PAC-Amodeus appliqué aux collecticiels, nous adaptons ce modèle à l'architecture globale des Systèmes Mixtes (SM) collaboratifs et mobiles. Notre contribution consiste à identifier trois flux d'informations distincts au sein du modèle PAC-Amodeus étendu :

- les flux relatifs aux données,
- les flux relatifs à l'articulation de l'activité
- et les flux relatifs à l'interaction.

Ces flux ne sont pas antagonistes : il est possible qu'une donnée ait plusieurs utilisations. Notre architecture globale est résumée par la figure V-5 page 125 où la seule connexion réseau se situe au niveau de l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel. Cependant, nous le rappelons, des connexions réseaux peuvent exister entre tous les coposants logciels du modèle et au sein même de ces coposants logciels.

Nous venons de présenter notre modèle d'architecture logicielle pour les SM collaboratifs et mobiles. Nous pouvons désormais présenter les techniques d'interaction générales que nous avons déclinées afin d'expérimenter les SM collaboratifs et mobiles.

2. ***Techniques d'interaction générales***

Nous avons mené notre étude pratique des Systèmes Mixtes (SM) collaboratifs et mobiles à travers l'expérimentation de systèmes dont les

activités sont réalisées avec des techniques d'interaction générales. Pour déterminer ces techniques d'interaction générales, nous avons comparé plusieurs activités comme l'archéologie, la visite de musée, l'explication par un expert distant, etc. De plus, nous avons fixé plusieurs contraintes aux techniques d'interaction générales :

- D'abord, ces techniques doivent être effectivement générales. Leurs utilités dans plusieurs domaines d'application leur confèrent ce caractère général.
- Ensuite, nous voulons couvrir les échanges d'un monde à l'autre. C'est à dire, nous cherchons au moins une interaction basée sur des échanges du monde physique vers le monde numérique et au moins une interaction basée sur des échanges du monde numérique vers le monde physique.
- Finalement, notre objectif est de mettre œuvre des techniques d'interaction générales afin d'expérimenter la dynamique des liens et les trois traits caractéristiques identifiés au début du chapitre précédent.

Nous avons mis en œuvre trois techniques d'interaction générales qui sont les suivantes :

- la comparaison entre des objets numériques et des objets physiques,
- la réalité cliquable, qui permet de capturer un élément du monde physique pour l'enregistrer dans le monde numérique,
- et le terrain augmenté, qui permet de retranscrire des données numériques ayant une localisation dans le monde physique.

Les trois techniques d'interaction sont générales. En effet, celles-ci peuvent être utilisées pour différentes activités des utilisateurs, comme la collecte d'information, le tri, l'exploration, l'analyse de données réparties sur un site, etc.

De plus, l'étude de la dynamique des liens a reposé sur les points suivants :

- Pour la création des liens, la réalité cliquable nous a permis d'expérimenter les modes d'interaction actifs et passifs en obtenant des liens persistants.
- Pour l'accès aux liens, le terrain augmenté nous a permis d'expérimenter une interaction passive, tandis que la comparaison avec une intervention explicite de l'utilisateur nous a permis d'expérimenter une interaction active.
- Pour la modification/destruction des liens, l'expérimentation est basée sur des combinaisons entre des techniques d'interaction avec des actions dans le monde numérique, notamment dans le système TROC que nous présentons dans le chapitre suivant.

L'étude des traits caractéristiques des SM collaboratifs et mobiles a reposé également sur les techniques d'interaction :

- Pour la localisation des liens, nous avons en partie appuyé notre étude sur la littérature. Notamment, le cas où les liens sont co-localisés est détaillé dans le système *Virtual Showcase* [Bimber 2002] et dans le jeu de Mah-jong de [Szalavári 1998]. Il en est de même avec le cas où les utilisateurs doivent être co-localisés, comme avec le butineur Web en 3D [Billinghurst 1999]. Néanmoins, nous avons développé le cas où les liens sont répartis dans l'espace, grâce au terrain augmenté.
- Pour les types d'interaction, notre étude est également en partie basée sur la littérature. La communication homme-homme médiatisée est illustrée par le système de réparation de vélo de [Kraut 1996] et par *GestureCam* de [Kuzuoka 1994]. Nous n'avons donc pas expérimenté directement les interactions homme-homme. En revanche, la mise en œuvre d'interactions actives et passives avec la comparaison et le terrain augmenté nous a permis d'expérimenter les interactions homme->objet et objet->homme.
- L'asymétrie des rôles a été abordée par les rôles différents des utilisateurs. Ce point sera exposé dans le chapitre suivant.

Dans la suite de cette partie, nous décrivons dans un premier temps les techniques d'interaction, à travers des scénarios projetés abstraits sans considérer une activité particulière des utilisateurs. Une fois ces techniques identifiées, notre objectif a été de les implémenter de manière réutilisable. Cependant, nous avions besoin d'une plate-forme matériel pour réaliser nos expérimentations. Aussi, après avoir décrit les techniques d'interaction, nous présentons la plate-forme matérielle que nous avons utilisée pour nos réalisations. Finalement, nous présentons notre implémentation des techniques d'interaction générales.

2.1. SPÉCIFICATION DE TROIS TECHNIQUES D'INTERACTION GÉNÉRALES

Comparaison entre des objets numériques et physiques

La comparaison entre des objets numériques et physiques consiste en une juxtaposition d'un objet numérique par rapport à un autre objet (physique ou numérique) en présence de l'utilisateur. L'objectif est alors de comparer les deux objets. Par exemple, la comparaison peut se faire entre un objet physique présent devant l'utilisateur avec des objets numériques d'une base de données. Une autre tâche réalisable avec la comparaison est le tri d'une collection d'objets numériques en fonction d'un objet étalon de type physique et en présence de l'utilisateur.

Cette comparaison peut avoir un mode d'interaction actif comme l'illustre le scénario projeté abstrait décrit par la figure V-6. Dans ce cas, l'utilisateur agit explicitement pour placer l'objet numérique à comparer

vis-à-vis de l'objet physique. Le positionnement, la taille et l'orientation sont alors déterminés par l'utilisateur.

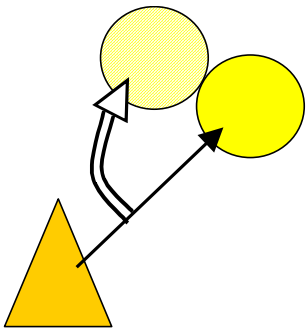


Figure V-6
le scénario projeté pour la comparaison active

A l'inverse, la comparaison peut avoir un mode d'interaction passif comme l'illustre le scénario abstrait décrit par la figure V-7. Le système informatique doit alors déterminer quel est l'objet le plus adapté pour réaliser la comparaison. Cet objet numérique est ensuite automatiquement placé, dimensionné et orienté en fonction de la position de l'utilisateur. Des solutions intermédiaires à ces deux cas sont aussi possible. Par exemple l'utilisateur choisit l'objet numérique mais le système informatique le place, le dimensionne et l'oriente automatiquement.

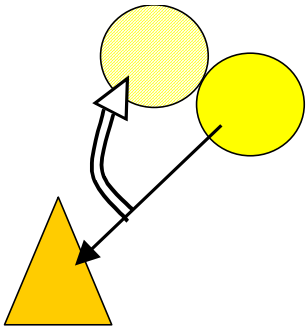


Figure V-7
le scénario projeté pour la comparaison passive

Réalité "cliquable"

La réalité cliquable consiste à offrir aux utilisateurs la capacité de capturer une partie de leur environnement physique. Cette capture doit se faire simplement, par un clic. Cette interaction peut servir pour toute activité où il existe une collecte d'information. Le scénario projeté abstrait de la réalité cliquable est décrit par la figure V-8. Un utilisateur désigne un objet cible de type physique, puis elle/il réalise une capture de cet objet. Selon de degré de passivité dans le mode d'interaction, l'objet numérique représentant l'objet physique capturé peut être immédiatement disponible (cas passif). A l'inverse, si la localisation de l'objet capturé n'est pas disponible, l'utilisateur doit spécifier la position de l'objet physique ainsi capturé (cas actif).

Terrain augmenté

Le terrain augmenté consiste à rendre accessibles les objets numériques qui sont à proximité de l'utilisateur mobile. Cet utilisateur doit être proche de l'objet et regarder dans la direction de l'objet pour y accéder.

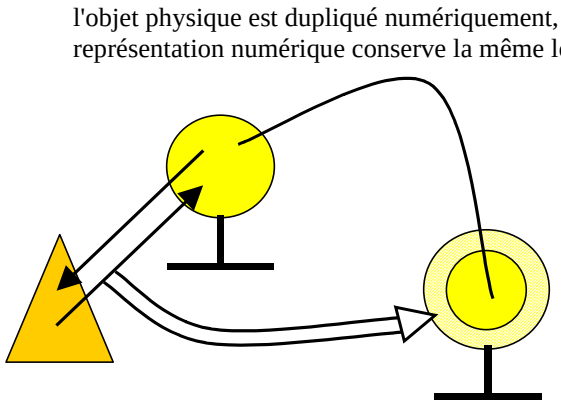


Figure V-8
le scénario projeté pour la réalité cliquable

Un utilisateur interagissant avec un objet physique fixe, créant ainsi une représentation numérique fixe (localisée) de cet objet

L'objet numérique peut être l'objet de référence (l'original) comme une annotation ou il peut être la représentation d'un objet physique comme l'illustre le scénario projeté abstrait de la figure V-9. Dans un tel cas, une collaboration asynchrone entre les utilisateurs est possible. Un premier utilisateur capture un objet physique et le numérise grâce à la réalité cliquable puis il enlève l'objet physique. Plus tard, d'autres utilisateurs peuvent accéder à la représentation numérique grâce à la technique d'interaction du terrain augmenté. Une forme de terrain augmenté a été développée dans le système *Archeoguide* [Vlahakis 2001] dédié à la visite touristique à Athènes, présenté au chapitre III.

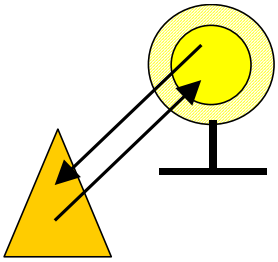


Figure V-9
le scénario projeté pour le terrain augmenté

Nous venons de spécifier trois techniques d'interaction générales. Nous traitons maintenant de leurs réalisations logicielles. Ces trois techniques sont implémentées sur une plate-forme. Dans la section suivante, nous présentons donc cette plate-forme et la réalisation de ces techniques.

2.2. PLATE-FORME MATÉRIELLE

Matériels utilisés

La plate-forme matérielle est illustrée par la figure V-10. L'ordinateur portatif est une tablette Fujit-su Stylistic 3500. Il s'agit d'un véritable PC équipé d'un processeur Céléron (Pentium III) 500, d'une mémoire vive portée à 192 Mo et d'une carte vidéo 3D. Cette tablette tactile est de la dimension d'une feuille A4 et d'un poids de 1,5 kg. En outre, elle dispose d'une sortie vidéo permettant l'affichage double, sur laquelle nous branchons un casque semi-transparent, un SONY LDI D100 BE, d'une résolution de 800x600. L'angle de vue à travers ce casque est de 57°. L'ordinateur fonctionnant sous Windows 98, nous utilisons l'extension du bureau pour avoir deux "écrans" distincts. Le casque fonctionne grâce à des miroirs semi-argentés, dont le principe est expliqué à la partie 1 du chapitre III page 50. Le casque permet donc la surimpression d'images numériques sur le monde physique. Par ailleurs, nous avons attaché une caméra au casque. Cette caméra USB, une Philips Ucam Pro, est d'une résolution de qualité intéressante (600x480). Ce matériel est le minimum requis pour la capture d'images. Pour les autres fonctionnalités, nous disposons d'un réseau sans fils Wavelan 802.11b à travers des cartes PCMCIA, d'écouteurs pour les sorties sonores, d'un GPS pour la localisation (un Garmin GPS III plus), et d'un capteur d'orientation relativement à une position initiale (Intertrax 2) ou d'orientation absolue avec un magnétomètre (un HMR 3000 de Honywell).

La figure V-11 montre une utilisatrice équipée avec la plate-forme. La caméra est placée entre les deux yeux de l'utilisatrice, sur le casque. Ce positionnement de la caméra permet l'approximation suivante : ce que voit l'utilisatrice à travers le casque semi-transparent est ce que filme la caméra. Cette approximation est illustrée par la figure V-12. Pour les objets proches, c'est-à-dire à moins d'une trentaine de centimètres, l'approximation est fausse, car la caméra ne peut pas capter tout ce que l'utilisatrice peut voir. Il s'agit des deux zones centrales hachurées sur la

Figure V-10
la plate-forme matérielle
L'ensemble des pièces composant la plate-forme sont des matériels commercialisés.

Figure V-11
une utilisatrice équipée avec la plate-forme matérielle

figure V-12. En revanche, pour les objets éloignés, la caméra capte plus d'information que l'utilisatrice n'en voit à travers le casque. Il est donc nécessaire de calibrer la caméra pour déterminer la zone de l'image qui correspond à ce que voit l'utilisatrice. Ce réglage se fait avec une mise au point à l'infini afin d'obtenir une image nette.

Utilisation de la plate-forme matérielle pour la réalisation des trois techniques d'interaction générales

La plate-forme matérielle permet de réaliser les trois techniques d'interaction générales exposées ci-dessus. La métaphore d'interaction est basée sur celle du livre :

- Quand l'utilisateur effectue des activités uniquement dans le monde numérique, elle/il est comme immergé dans ce monde. Toute son attention est prise par l'interaction, elle/il regarde et interagit avec la tablette. Par analogie, l'utilisateur est plongé dans son livre (la tablette). La tablette est une sorte de fenêtre sur le monde numérique que l'utilisateur amène avec lui.
- Quand l'utilisateur effectue ses activités uniquement dans le monde physique, elle/il n'interagit plus avec le système informatique, c'est comme si elle/il refermait le livre qu'elle/il lisait. L'attention de l'utilisateur est centrée sur son environnement physique.

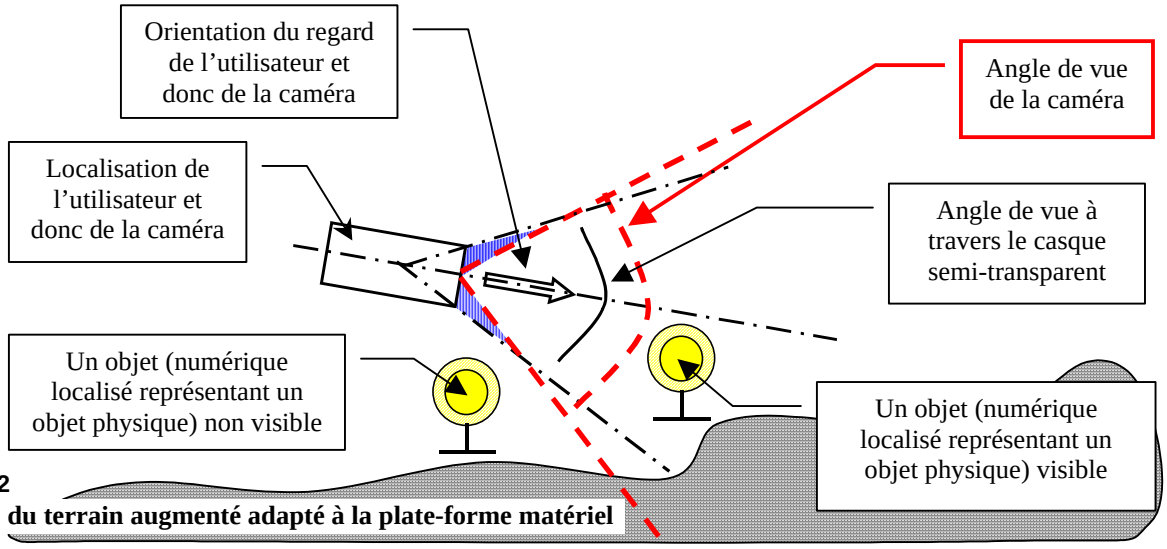


Figure V-12
le principe du terrain augmenté adapté à la plate-forme matériel

- Quand l'utilisateur effectue des activités alliant des entités des mondes physique et numérique, elle/il dispose du monde physique à travers sa perception de son environnement et également du monde numérique via la tablette. Finalement, la fusion des deux mondes est réalisée grâce aux écouteurs et au casque semi-transparent, où les informations des deux mondes peuvent être superposées. Pendant les interactions dont les informations de retours sont dans le casque et les écouteurs, la tablette n'est plus le centre d'attention de l'utilisateur. Elle s'utilise alors comme un outil et elle doit permettre la manipulation des entités numériques superposées à l'environnement physique de l'utilisateur.

Utilisée ainsi, la plate-forme matérielle permet de réaliser les trois techniques d'interaction générales. La comparaison est à priori simple à réaliser. Il suffit de placer des images numériques dans le casque pour pouvoir comparer ces images à des objets physiquement présents. De même, la réalité cliquable est possible grâce à l'agencement de la caméra entre les deux yeux de l'utilisateur. Il convient cependant de donner la capacité à l'utilisateur de désigner une partie de son environnement pour la capturer. Enfin, le terrain augmenté doit utiliser les données contextuelles, c'est-à-dire la localisation et l'orientation de l'utilisateur, afin de calculer les objets visibles pour l'utilisateur. Ces objets visibles sont alors affichés dans le casque.

Il est donc possible de réaliser les trois techniques d'interaction avec la plate-forme matérielle. Nous soulignons le fait que les informations affichées dans le casque sont différentes de celles disponibles sur la tablette, comme c'est le cas avec la *Touring Machine* [Feiner 1997]. La plate-forme permet donc de respecter la propriété ergonomique d'Observabilité Mixte définie à la sous-section "Observabilité mixte" du chapitre IV page 98.

Néanmoins, comme nous l'avons souligné, l'utilisateur doit pouvoir interagir avec les liens entre les deux mondes. En d'autres termes, l'utilisateur doit pouvoir interagir avec les entités numériques affichées dans le casque. Or la tablette tactile et le stylos ne permettent pas de déplacer le curseur de la souris dans le casque. Aussi, nous avons mis au point une passerelle entre les mondes physique et numérique. Cette passerelle regroupe deux éléments : le casque pour la partie physique et un dispositif logiciel, appelé "passerelle" que nous présentons à la section suivante.

2.3. PASSERELLE ENTRE LES MONDES PHYSIQUE ET NUMÉRIQUE

Pour interagir dans le casque, nous n'avons pas utilisé de dispositif supplémentaire afin de limiter l'encombrement des mains (et par exemple de forcer le passage d'une souris 3D au stylo de la tablette et vice versa). D'un point de vue cognitif, il est intéressant de ne pas avoir à réfléchir à quel outil utiliser et d'avoir une interaction similaire dans tous les

mondes. Il s'agit alors d'éviter l'opérateur *homing* de Goms [Card 1986]. C'est pourquoi nous avons développé la passerelle. Dans la sous-section suivante, nous en expliquons le principe puis nous décrivons sa réalisation et celle des techniques d'interaction.

Principe de la passerelle

Nous avons conçu une zone, la passerelle. D'un point de vue graphique, la passerelle est une fenêtre affichée sur la tablette représentant une copie mise à l'échelle de la fenêtre dans le casque. Ainsi, l'utilisateur dispose d'un lieu d'interaction sur la tablette pour manipuler ce qu'il y a dans le casque. Tous les événements produits avec le stylo (la souris) dans la passerelle sont dupliqués dans le casque. En particulier, les déplacements du stylo au-dessus de la fenêtre "passerelle" sont reproduits dans le casque, comme l'illustre la figure V-13. Nous notons que le fond de la fenêtre affichée dans le casque est noir car les pixels noirs ne sont pas visibles dans le casque. Une fois le stylo positionné dans la fenêtre "passerelle", l'utilisateur n'a plus besoin de regarder la tablette pour interagir : le retour d'information se fait dans le casque. L'utilisateur peut ainsi manipuler tout ce qu'il y a dans le casque à travers cette passerelle, d'une manière similaire à l'utilisation d'une souris classique.

Pour illustrer l'utilisation de la passerelle, observons le cas d'un utilisateur qui veut exploiter une image d'une base de données pour la voir dans le casque, dans un but de la comparer avec un objet physique présent devant elle/lui. Il lui suffira alors d'opérer un glisser/déposer depuis la base de données vers la passerelle. Puisque tout est dupliqué, l'image relâchée dans la passerelle sera également affichée dans le casque. La comparaison avec un mode d'interaction actif consiste donc à une simple utilisation de la passerelle.

Réalisation logicielle de la passerelle

Dans cette sous-section, nous décrivons la réalisation logicielle, en terme d'agents PAC au sein du Contrôleur de Dialogue dans notre modèle d'architecture PAC-Amodeus étendu aux systèmes mixtes collaboratifs et

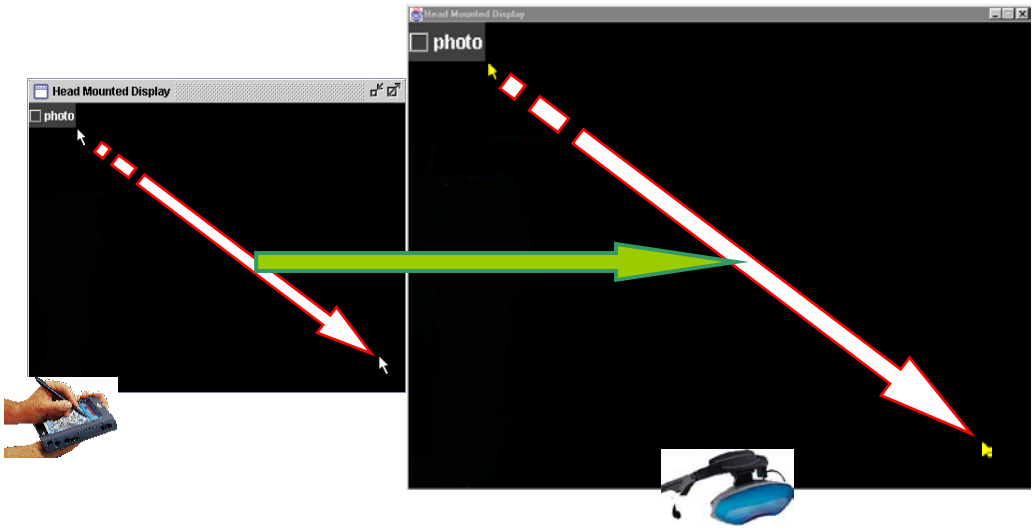


Figure V-13
la duplication des événements souris depuis la passerelle vers le casque

mobiles présenté à la section 1.3 "Synthèse : Modèle d'architecture logicielle pour les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles" page 127.

Les règles heuristiques pour la conception d'une hiérarchie d'agents PAC sont décrites dans [Nigay 1997]. Le cas de la passerelle est nouveau :

- D'une part il s'agit d'une vue multiple. En effet, ce qui est affiché dans le casque l'est sur la passerelle et réciproquement. Cependant, l'environnement physique accessible à travers le casque ne l'est pas sur la passerelle. Puisqu'il ne s'agit pas de données informatiques, les deux fenêtres sont d'un point de vue numérique la représentation des mêmes entités. La structure hiérarchique PAC pour la vue multiple est illustrée par la figure V-14a.
- D'autre part, les règles de construction de la hiérarchie d'agents à partir des fenêtres et des dépendances conduisent à la hiérarchie décrite à la figure V-14b. Les agents PAC correspondant aux fenêtres "casque" et "passerelle" ne sont pas directement liées dans la hiérarchie. En effet, il ne s'agit pas de fenêtre que l'utilisateur peut atteindre depuis une autre. Aussi ceci conduit à construire une hiérarchie avec un agent ciment entre le casque et la hiérarchie d'agents PAC correspondant à l'interface sur la tablette.

Dans le cas de la tablette, pour appliquer les deux règles exposées ci-dessus, il faudrait factoriser l'abstraction commune entre les deux agents correspondant à la passerelle et au casque dans l'agent Ciment (le premier Agent "père" commun). Seulement, pour des raisons de couplage entre les interactions dans le casque et sur la tablette, cette solution n'est pas satisfaisante. En effet les messages de mise à jour devant circuler dans la hiérarchie d'agents décrite par la figure V-14b, l'interaction est alors ralentie par la communication entre les agents. Aussi nous avons choisi de

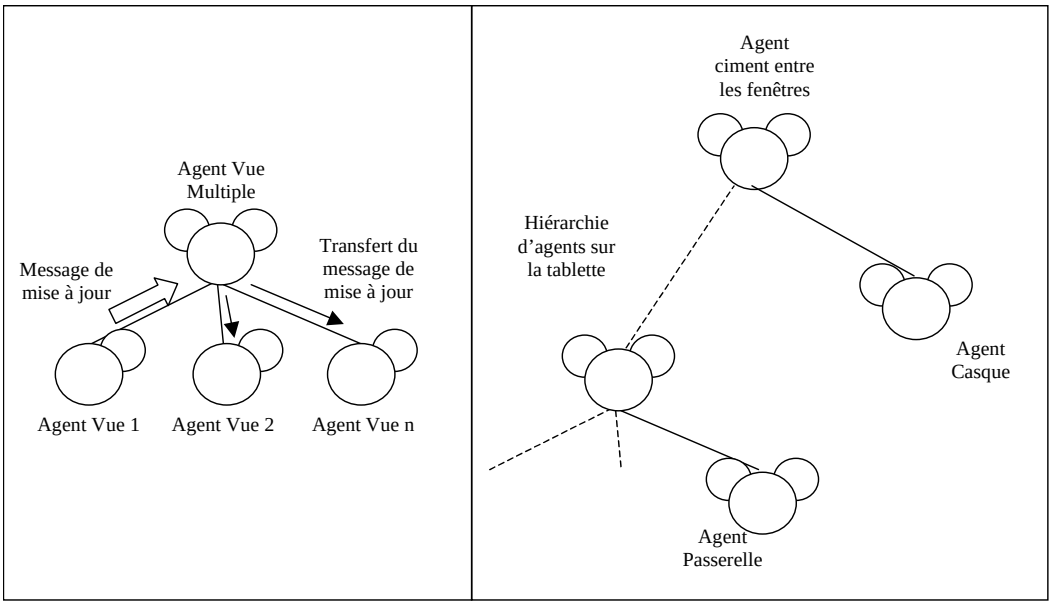


Figure V-14 les hiérarchies théoriques d'agents PAC possibles pour la passerelle

a) hiérarchie d'agents PAC pour l'implémentation de la vue multiple

b) hiérarchie obtenue en appliquant les règles de constructions basées sur les spécifications externes

ne retenir que la règle concernant la vue multiple. La réalisation de la passerelle en terme d'agents PAC dans le Contrôleur de Dialogue est décrite par la partie supérieure de la figure V-15. La passerelle entre les deux mondes est donc réalisée par trois agents :

- Un agent Représentation Numérique gère ce qui est affiché dans la fenêtre "passerelle" sur la tablette. Cet agent gère notamment les interactions tactiles (avec le stylo), comme les déplacements du pointeur de la souris (du stylo), les glisser/déposer initiés dans la fenêtre "passerelle", les changements de taille des éléments affichés, etc.
- Un agent Représentation Physique gère ce qui est affiché dans le casque, c'est-à-dire la fenêtre affichée dans le casque. Ce qui y est affiché est identique à ce qui est affiché dans la fenêtre "passerelle" sur la tablette. Lorsque le pointeur de la "souris" est présent dans la fenêtre "passerelle", il est répliqué dans le casque pour fournir à l'utilisateur un dispositif de sélection dans le casque.
- Un agent Passerelle maintient la vue abstraite de ce qui est affiché dans le casque et dans la fenêtre "passerelle" sur la tablette. L'agent

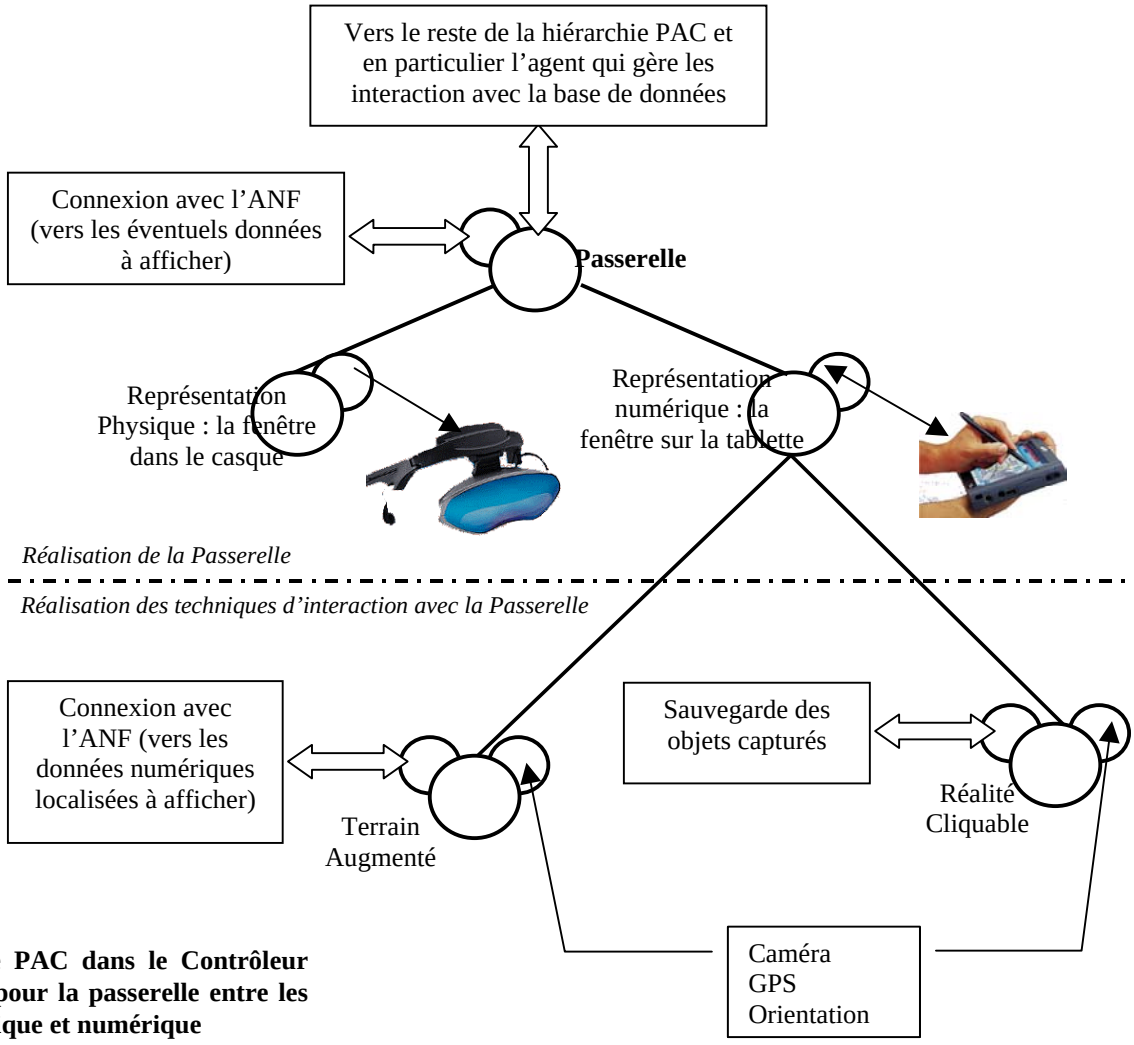


Figure V-15
l'architecture PAC dans le Contrôleur de Dialogue pour la passerelle entre les mondes physique et numérique

Passerelle répercute les modifications d'une présentation d'un des agents fils sur l'autre agent fils. Il permet également de rattacher la passerelle dans sa globalité à la hiérarchie d'agents PAC.

Comme la réalisation logicielle est plus simple avec une présentation de référence, nous avons choisi de maintenir la présentation de référence de la passerelle dans l'agent Représentation Numérique, parce qu'il s'agit de l'agent PAC qui reçoit effectivement les événements souris, susceptibles de faire évoluer l'apparence de la passerelle. Cet agent gère donc l'apparence graphique (et sonore) de la passerelle et chaque modification est répercutée sur la présentation de l'agent Représentation Physique grâce à des messages dans la hiérarchie d'agents PAC.

Réalisation logicielle des trois techniques d'interaction générales

Réalisation de la comparaison. La comparaison avec une mode d'interaction actif s'implémente sans effort supplémentaire : l'agent Passerelle reçoit les messages d'affichage d'un objet numérique dans le casque. Ces messages proviennent de l'agent PAC qui gère les interactions pour placer les images dans le casque en vue d'une comparaison. Cette interaction peut être simplement un glisser-déposer d'une image à partir d'une base de données vers la fenêtre "passerelle" sur la tablette. Les échanges de messages dans la hiérarchie d'agents PAC sont illustrés à la figure V-16. Au moment où l'image déplacée entre dans cette fenêtre, la facette Contrôle de l'agent Passerelle reçoit le message d'un glisser (message M1 à la figure V-16). Il répercute alors le message à l'agent Représentation Numérique (message M2 à la figure V-16). Celui-ci répercute la modification au niveau de la présentation et transmet cette mise à jour à l'agent Représentation Physique (via l'agent Passerelle par le message M3 à la figure V-16). Par la suite, tout déplacement (ou dépôt de l'image dans la fenêtre "passerelle" sur la tablette) est répercuté par des

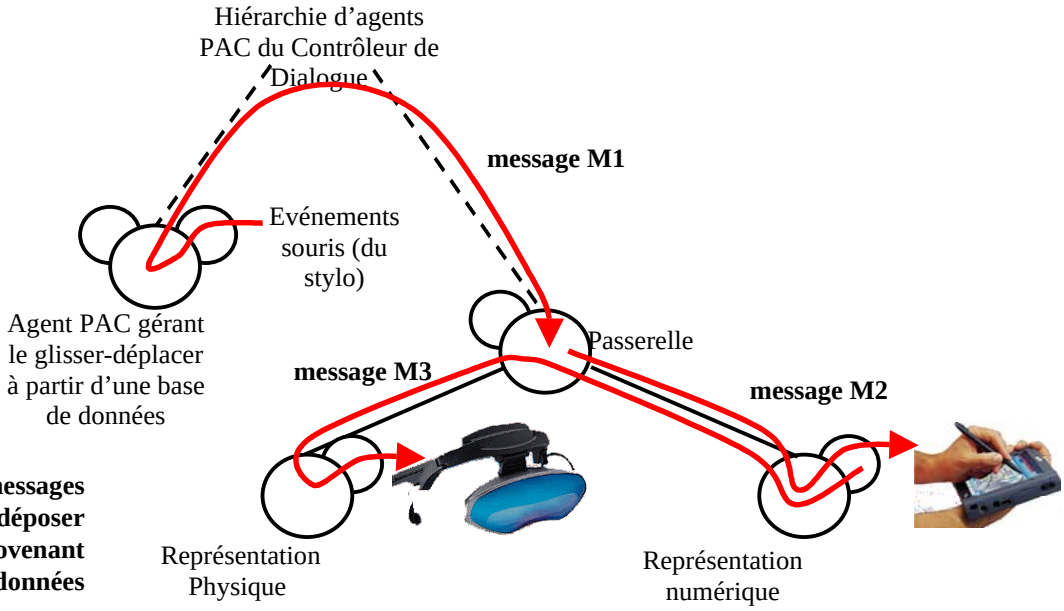


Figure V-16
les échanges de messages pour le glisser-déposer d'une image provenant d'une base de données dans la passerelle

messages similaires depuis l'agent PAC qui gère le glisser-déposer vers les agents Représentation Numérique et Représentation Physique à travers l'agent Passerelle. Une fois l'image positionnée dans la fenêtre "passerelle", l'utilisateur a la possibilité d'interagir (déplacer, agrandir, etc.) avec cette image à travers la passerelle entre les deux mondes. La gestion des événements générés par stylo est assurée par l'agent Représentation Numérique.

Réalisation de la réalité cliquable et du terrain augmenté. Pour des raisons de complexité et de modularité (notamment pour l'indépendance des techniques d'interaction vis à vis du matériel), nous avons isolé le code correspondant à la réalité cliquable et au terrain augmenté au sein d'agents PAC dédiés. Comme l'illustre la figure V-15 page 137, nous les avons rattachés à l'agent Représentation Numérique pour deux raisons :

- Ces agents gèrent des éléments graphiques contenus par l'agent Représentation Numérique. Il s'agit d'une règle dde construction liée à une relation père-fils dans une hiérarchie d'agents PAC.
- Pour la performance, ce positionnement minimise les échanges des messages entre les agents PAC.

Les agents Réalité Cliquable et Terrain Augmenté gèrent les événements provenant des capteurs des données contextuelles (la localisation et l'orientation correspondant au flux 3 de la figure V-5) ainsi que la caméra et les événements "souris".

Pour la technique de la réalité cliquable, les données contextuelles ne servent qu'en cas de mode d'interaction passif pour la création de l'objet numérique représentant l'objet capturé. La caméra capture les données sauvegardées dans la base des objets, d'où la connexion vers l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel à la figure V-15 page 137.

La figure V-17 décrit les échanges de messages pour la réalité cliquable. La facette Présentation de l'agent Réalité Cliquable reçoit les événements souris (générés par l'utilisateur avec le stylo) et les transmet à la facette Contrôle du même agent PAC par le message M1 :

- Tant qu'il s'agit de la sélection de l'élément de l'environnement physique qui est capturé, seul le message M2 est diffusé vers la facette Contrôle de l'agent Représentation Numérique. La réception de ce message entraîne deux traitements au sein de l'agent Représentation Numérique : un transfert du message vers sa propre facette Présentation pour mettre à jour la position de la souris (message M2') et le transfert vers l'agent Passerelle de la mise à jour de la représentation avec le message M3. L'agent Passerelle ne fait que relayer le message M3 vers l'agent Représentation Physique. Finalement, la notification pour un rafraîchissement de ce qui est affiché dans le casque est transmis par la facette Contrôle de l'agent Représentation Physique vers sa facette Présentation. Cet échange de

messages illustre le mécanisme de mise à jour des liens au sein de la hiérarchie d'agents PAC.

- Si l'événement souris transmis à la facette Contrôle de l'agent Réalité Cliquable dans le message M1 correspond à une capture, c'est-à-dire à un clic, alors, en plus du traitement décrit au point précédent, le message M1' est envoyé à la facette Abstraction de l'agent Réalité Cliquable afin de sauvegarder l'objet numérique ainsi créé.

Pour la technique du terrain augmenté, les données contextuelles permettent de déterminer les objets visibles par l'utilisateur (voir la figure V-12). Ces objets sont disponibles par l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel comme il est présenté à la figure V-15.

La figure V-18 décrit les messages échangés au sein de l'agent Terrain Augmenté. Nous envisageons deux possibilités, selon le traitement des informations contextuelles :

- La première possibilité est le cas du flux 2 de la figure V-5 : les informations contextuelles sont alors gérées par le Contrôleur de Dialogue. A chaque nouvelle information, l'événement est transmis à la facette Abstraction par le message M1 afin de déterminer les objets perceptibles par l'utilisateur. La facette Abstraction renvoit alors la liste des objets à afficher par le message M2. La facette Contrôle transmet cette liste à la facette Présentation par le message M3 afin de calculer et d'afficher la représentation des objets. Finalement, la facette

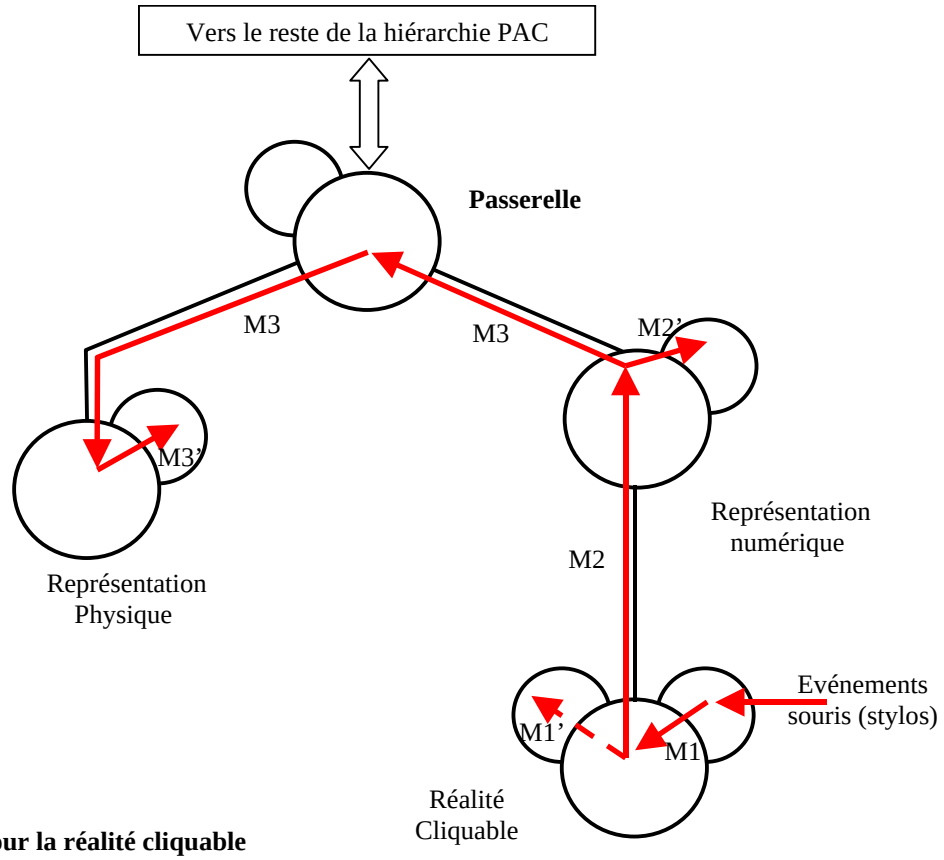


Figure V-17
les échanges de messages pour la réalité cliquable

Contrôle notifie l'agent Représentation Numérique de la mise à jour de sa représentation par le message M4 afin de mettre à jour l'agent Représentation Physique.

- La seconde possibilité est le cas du flux 3 de la figure V-5 : les informations contextuelles sont alors gérées par les Présentations Logique et Physique. La priorité est donnée à l'affichage. La facette Présentation de l'agent Terrain Augmenté reçoit les événements contextuels (nouvelle position, nouvelle orientation). Elle calcule la modification du rendu des objets déjà affichés et elle transmet ces nouvelles actions de l'utilisateur à la facette Contrôle par le message m1. La facette Contrôle génère alors deux messages. Un premier message, m2, est émis vers la facette Abstraction pour mettre à jour la nouvelle position et/ou orientation de l'utilisateur. Le second, m2', est émis vers l'agent Représentation Numérique pour la mise à jour de la représentation graphique dans le casque et pour transmettre la nouvelle position de l'utilisateur aux autres agents PAC. Le message m2 peut être à l'origine d'une mise à jour des éléments affichés dans le casque. Dans ce cas, un message m3 désignant la nouvelle liste des objets à afficher est émis vers la facette Contrôle. La facette Contrôle transmet alors cette liste à la facette Présentation par le message m4 afin de calculer et d'afficher la représentation des objets. Finalement, la facette Contrôle notifie l'agent Représentation Numérique de la mise à jour de sa représentation par le message m4'.

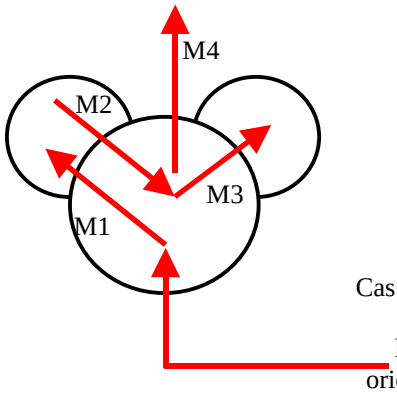


Figure V-18
les messages créés au sein de l'agent Terrain Augmenté
Deux cas sont représentés. Le schéma de la partie supérieure décrit un traitement de l'information de localisation suivant le flux 2 de la figure V-5 : l'information est alors gérée par la facette Contrôle de l'agent Terrain Augmenté. Le schéma de la partie inférieure décrit un traitement de l'information de localisation suivant le flux 3 de la figure V-5 : l'information est alors transmise via la Présentation Logique à la facette Présentation de l'agent Terrain Augmenté.

Par ailleurs, les objets affichés avec la technique du terrain augmenté peuvent également être disponibles par l'intermédiaire d'un autre agent PAC gérant la base de données. Dans ce cas, des messages supplémentaires déterminant les objets à afficher sont échangés entre les agents PAC de la hiérarchie. Il y a alors deux types de messages : les messages de mise à jour de la position et les messages de mise à jour des objets à afficher. Le passage d'un cas à l'autre (existence ou non d'un agent dédié à la gestion de la base de données) se traduit par un transfert de lignes de code (gestion de la base de donnée et des informations contextuelles) d'une facette Abstraction à une autre.

Programmation en Java. Nous avons programmé les techniques d'interaction générales selon notre modèle d'architecture logicielle en Java [Java]. Nous décrivons ici la programmation de l'agent Terrain Augmenté dans le cas du flux 3 de la figure V-5 page 125 illustré par la partie inférieue de la figure V-18 page 141. Chaque agent PAC du Contrôleur du dialogue est décomposé en trois classes, une pour chaque facette. Les communications entre les facettes d'un même agent PAC, entre deux agents PAC, entre les facettes Présentation et les objets de la Présentation logique et entre les facettes Abstraction et l'Adaptateur du Noyau fonctionnel se font par messages. Un message est défini par une chaîne de caractères et un objet java en attachement. Les chaînes de caractère sont définies sous formes de "*public final static String*" dans une classe non-instanciée "*Consts*". La définition des messages est accessible par tous programmes sous la forme de référence statique.

Chacune des trois classes définissant un agent PAC hérite d'une classe qui définit la facette implémentée. Par exemple, chaque facette Contrôle hérite de la classe "*Control*". Les méthodes qui définissent les facettes sont illustrées par l'agent "*AugmentedStroll"* (traduction de balade augmentée, il s'agit donc de l'agent Terrain Augmenté) aux figures V-19, V-20 et V-21. Nous détaillons les trois facettes de cet agent.

La facette Contrôle de l'agent Terrain Augmenté est illustrée par l'extrait du fichier source C_AugmentedStroll.java, figure V-19. Cette facette maintient des références sur :

- l'agent PAC père, c'est-à-dire l'agent Représentation Numérique, en tant qu'objet java *Control*,
- sa propre facette Présentation en tant qu'objet java *Presentation,*
- et sa propre facette Abstraction en tant qu'objet java *Abstraction.*

D'une manière générale, il existe trois méthodes caractéristiques des facettes de type Contrôle. La première est *newAction*. Cette méthode est appelée par une facette Contrôle d'un autre agent PAC afin de transmettre les messages dans la hiérarchie d'agents PAC. Il n'est donc possible pour une facette Contrôle que d'appeler cette méthode de la facette Contrôle d'un agent fils ou de l'agent père. La deuxième méthode est *newSyste-*

mAction. Cette méthode est appelée par la facette Abstraction de cet agent pour signifier un événement généré par le Noyau Fonctionnel. La dernière méthode est *newUserAction*. Cette méthode est appelée par la facette Présentation de cet agent pour signifier une action réalisée par l'utilisateur.

Spécifiquement à l'agent Terrain Augmenté, la facette Contrôle de cet agent permet notamment :

- de transférer la nouvelle position de l'utilisateur à la facette Abstraction (*newUserAction*) par le message *UPDATEMYPOSITION*,
- et de transférer la mise à jour de la base de données (*newSystemAction*), notamment par le message *DISPLAYOBJECTSINHELMET* qui définit les objets à afficher dans la passerelle (c'est pourquoi il y a une transmission à l'agent père, Représentation Numérique) et par le message

```
public class C_ AugmentedStroll extends Control {
        **
        * Method to receive a message from the Presentation Facet.
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newUserAction (String Message, Object Attachment)
        {
        if (Message.equals(Consts.UPDATEMYPOSITION))
                {
                Abstr.newControlWork(Message, Attachment);
                PacFather.newAction(Message, Attachment);
                }
        […]
        }

        /**
        * Method to receive a message from the Astraction Facet.
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newSystemAction (String Message, Object Attachment)
        {
        if (Message.equals(Consts.DISPLAYOBJECTSINHELMET))
                {
                Pres.newControlEvent(Message, Attachment);
                PacFather.newAction(Message, Attachment);
                }
        else if (Message.equals(Consts.PLAY3DSOUNDPLAYGROUND))
                {
                Pres.newControlEvent(Message, Attachment);
                }
        […]
        }

        /**
        * Method to receive a message from an other agent.
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newAction (String Message, Object Attachment)
        {
        […]
        }
}
```

Figure V-19
un extrait du fichier
C_ AugmentedStroll.java

PLAY3DSOUNDPLAYGROUND pour signifier les sons à jouer en relation avec les objets visibles.

La facette Présentation de l'agent Terrain Augmenté est illustrée par l'extrait du fichier source P_AugmentedStroll.java, figure V-20. Cette facette sert de lien entre la Présentation Logique et le Contrôleur de Dialogue. Cette facette maintient des références sur :

- sa propre facette Contrôle en tant qu'objet java *Control*,
- et sur l'objet de la Présentation Logique qui représente graphiquement cet agent en tant qu'interface java *PTC* (pour *Presentation Technique Component*).

D'une manière générale, il existe deux méthodes caractéristiques des facettes de type Présentation. La première est *newUserEvent*. Elle est appelée par la Présentation Logique pour avertir d'une nouvelle action de l'utilisateur. Après d'éventuels traitements, la facette Présentation appelle la méthode *newUserAction* de sa facette Contrôle. La seconde méthode est *newControlEvent*. La facette Contrôle de l'agent appelle cette méthode pour mettre à jour sa représentation, soit à la suite d'un message provenant de la hiérarchie d'agents PAC (à travers la méthode *newAction* de la facette Contrôle) soit à la suite d'une requête de sa facette Abstraction (à travers la méthode *newSystemAction* de la facette Contrôle).

```
public class P_ AugmentedStroll extends Presentation {
        /**
        * Generic method to receive a message from the Presentation Techniques Component
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newUserEvent(String Message, Object Attachment)
        {
        if (Message.equals(Consts.UPDATEMYPOSITION))
                {
                Ctrl.newUserAction(Message, Attachment);
                }
        […]
}

        /**
        * Generic method to receive a message from the Control attached with this facet
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newControlEvent(String Message, Object Attachment)
        {
        if (Message.equals(Consts.DISPLAYOBJECTSINHELMET))
                {
                Myptc.newPEvent(Message, Attachment);
                }
        else if (Message.equals(Consts.PLAY3DSOUNDPLAYGROUND))
                {
                Myptc.newPEvent(Message, Attachment);
                }
        […]
        }
}
```

Figure V-20
un extrait du fichier P_AugmentedStroll.java

Spécifiquement à l'agent Terrain Augmenté, la facette Présentation de cet agent permet notamment :

- de recevoir les nouvelles positions de l'utilisateur en provenance de la Présentation Logique pour la transmettre au reste de la hiérarchie d'agents PAC (message *UPDATEMYPOSITION),*
- et de transmettre à la Présentation Logique les éléments à rafraîchir (message *DISPLAYOBJECTSINHELMET* pour les objets à afficher sur la passerelle et message *PLAY3DSOUNDPLAYGROUND* pour jouer les sons en rapport avec les objets visibles).

La facette Abstraction de l'agent Terrain Augmenté est illustrée par l'extrait du fichier source A_AugmentedStroll.java, figure V-21. Cette facette sert de lien entre l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel et le Contrôleur de Dialogue. Cette facette maintient des références sur :

```
public class A_ AugmentedStroll extends Presentation {
        /**
        * Generic method to receive a message from the Adaptator Functional Core
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newCoreWork(String Message, Object Attachment)
        {
        if (Message.equals(Consts.REMOVEOBJECTONPLAYGROUND))
                {
                […]
                displayObjects();
                }
        else if (Message.equals(Consts.SETOBJECTONPLAYGROUND))
                {
                […]
                displayObjects();
                }
        else if (Message.equals(Consts.CHANGEOBJECTPOSITION))
                {
                […]
                displayObjects();
                }
        else if (Message.equals(Consts.CHANGEAPPEARANCEONPLAYGROUND))
                {
                […]
                displayObjects();
                }
        […]
        }

        /**
        * Generic method to receive a message from the Control attached with this facet
        * @param Message    : A string which describes the request
        * @param Attachment : A ref to an eventual object necessary to treat the request
        **/
        public void newControlWork(String Message, Object Attachment)
        {
        if (Message.equals(Consts.UPDATEMYPOSITION))
                {
                […]
                Theafc.newUserActionForServer(Message, Dataposition);
                }
        […]
        }
}
```

Figure V-21
un extrait du fichier
A_ AugmentedStroll.java

- sa propre facette Contrôle en tant qu'objet java *Control*,
- et l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel en tant qu'objet java *AFC* (pour *Adapter of the Functional Core*).

D'une manière générale, il existe deux méthodes caractéristiques des facettes Abstraction. La première est *newCoreWork*. Elle est appelée par l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel pour avertir d'un nouvel événement généré par le Noyau Fonctionnel. Après d'éventuels traitements, la facette Abstraction appelle la méthode *newSystemAction* de sa facette Contrôle. La seconde méthode est *newControlWork*. La facette Contrôle de l'agent appelle cette méthode pour mettre à jour sa vue sur les données, soit à la suite d'un message provenant de la hiérarchie d'agents PAC (à travers la méthode *newAction* de la facette Contrôle) soit à la suite d'une requête de sa facette Présentation (à travers la méthode *newUserAction* de la facette Contrôle).

Spécifiquement à l'agent Terrain Augmenté, la facette Abstraction de cet agent permet notamment :

- de gérer la dynamique des objets visibles, les messages *REMOVEOBJECTONPLAYGROUND*, *SETOBJECTON-PLAYGROUND*, *CHANGEOBJECTPOSITION* et *CHANGEAPPEAR-ANCEONPLAYGROUND* traduisant respectivement la suppression d'un objet du terrain, l'ajout d'un objet, le déplacement d'un objet et la modification d'un objet et la méthode interne à l'Abstraction *displayObjects* permettant de créer la liste des objets à afficher sur la passerelle.
- et de transmettre à l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel la nouvelle position de l'utilisateur afin que le Noyau Fonctionnel puisse maintenir et partager cette donnée contextuelle (message *UPDATEMYPOSITION*).

Nous avons donc réalisé les trois techniques d'interaction présentées ci-dessus selon notre modèle PAC-Amodeus étendu. Grâce à l'application du modèle d'architecture, nous disposons d'implémentations réutilisables et modifiables.

Cependant, les capteurs de localisation sont soit bon marchés et peu précis, comme un GPS précis à 10 mètre près, soit chers et précis. Par ailleurs, un système de localisation précis ne fonctionne de manière exclusive qu'à l'intérieur ou qu'à l'extérieur, comme un GPS différentiel (*D-GPS*) précis au centimètre près. Seulement, nous avons besoin d'un système de localisation suffisement précis mais d'un prix accessible pour utiliser nos programmes. Aussi, nous avons mis au point une technique du magicien d'Oz pour la localisation, présentée dans la sous-section suivante.

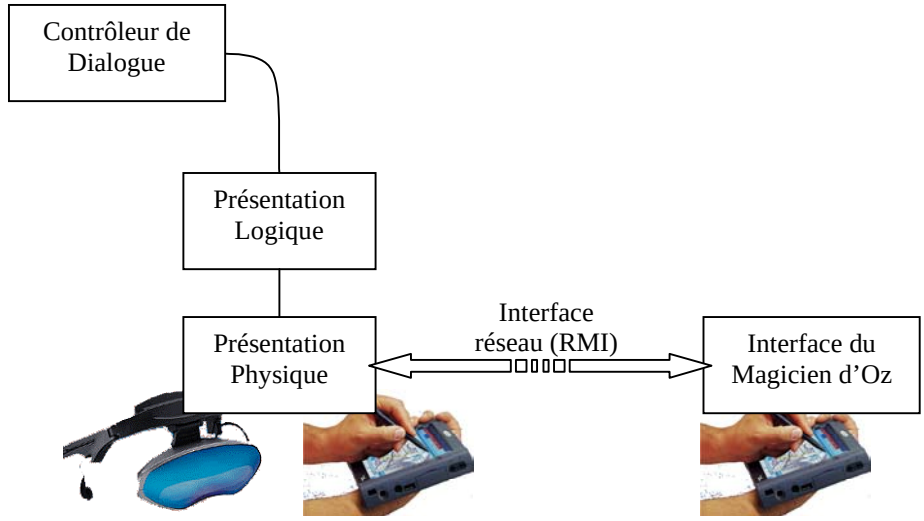


Figure V-22
la réalisation du magicien d'Oz

Simulation du capteur de localisation par magicien d'Oz

La technique du magicien d'Oz permet de simuler des fonctionnalités d'un logiciel, à l'insu de l'utilisateur avec l'aide d'un compère. Nous avons réalisé une simulation de la localisation avec l'aide d'un compère mobile. Ce compère suit l'utilisateur mobile afin de le localiser sur la carte du lieu des interactions.

Cette simulation remplace le pilote du capteur de localisation et la connexion réseau entre l'utilisateur et son compère se fait au niveau de la Présentation Physique, comme l'illustre la figure V-22. Ceci nous assure d'un programme prêt à fonctionner avec un capteur réel avec un minimum d'effort. Il suffit de modifier l'abonnement au flux d'information concernant la localisation, adaptation équivalente à celle requise lors d'un changement de capteur avec une interface (un pilote) différente. La mise en œuvre de la simulation illustre la modiafibilité de notre code (issue de la forte modularité véhiculé par notre modèle d'architecture.

Le magicien d'Oz est également codé en java. L'interface réseau est réalisée avec des java RMI (*Remote Method Invocation*). La communication par les RMI se fait par une interface commune qui étend l'interface java *Remote*. L'interface java que nous avons utilisée est décrite à la figure V-23. Elle définit deux entêtes de méthode : la première, *register*, concerne l'enregistrement d'un client et la seconde, *newMessage*, permet d'échanger des messages, à l'instar de ceux utilisés dans le Contrôleur de Dialogue. Les échanges de message permettent d'une part de fournir la carte au magicien d'Oz et de fournir les nouvelles localisations d'autre part.

```
public interface MagicienDOzInterface extends Remote {
        /**
        * Method that registers a Customer
        * @param Attachment : required datas to register a customer
        **/
        public void register (Object Attachment) throws RemoteException;

        /**
        * Method that get a new message and attachment
        * @param Message : the message string
        * @param Attachment : the attached object
        **/
        void newMessage(String Message, Object Attachment) throws RemoteException;
}
```

Figure V-23
l'interface utilisée pour la communication avec les java RMI

3. ***Conclusion***

Dans ce chapitre, nous avons traité de la conception logicielle des Systèmes Mixtes (SM) collaboratifs et mobiles. Nous avons adapté le modèle d'architecture conceptuelle et globale PAC-Amodeus aux SM collaboratifs et mobiles. Nous avons identifié trois types de flux d'information provenant des capteurs de contexte pour la localisation et l'orientation.

Appliquant notre modèle d'architecture, nous avons développé trois techniques d'interaction générales afin d'expérimenter les SM collaboratifs et mobiles : la comparaison entre des objets numériques et physiques, la réalité cliquable et le terrain augmenté. Le caractère général de ces techniques repose sur la variété des activités pouvant les mettre en œuvre, comme la collecte d'information, le tri, l'exploration, l'analyse de données réparties sur un site, etc.

De plus nous avons ces techniques selon notre modèle d'architecture PAC-Amodeus étendu afin d'en garantir une réutilisabilité efficace.

Suite au développement des trois techniques d'interaction générales, nous envisageons la réalisation d'une boîte à outils pour les SM collaboratifs et mobiles ainsi que la réalisation d'une plate-forme complète (matérielle et logicielle) pour le développement et l'évaluation des SM collaboratifs et mobiles.

Nous avons appliqué les techniques d'interaction générales dans deux systèmes : MAGIC et TROC que nous présentons dans le chapitre suivant.

Chapitre VI *Des résultats conceptuels à la réalisation*

Les systèmes MAGIC et TROC

Au chapitre IV, nous avons défini les systèmes mixtes (SM) collaboratifs et mobiles et nous avons présenté des outils de conception ergonomique pour de tels systèmes. Dans le chapitre précédent, nous avons décrit la phase de conception logicielle. Nous en avons extrait une architecture globale générique pour SM collaboratifs et mobiles, ainsi que des techniques d'interaction génériques dans le but d'expérimenter les SM collaboratifs et mobiles. L'objet de ce chapitre est d'appliquer ces résultats à la réalisation de deux systèmes : MAGIC et TROC.

A travers ces deux systèmes, nous avons différents objectifs. Tout d'abord, nous voulons vérifier et affiner nos définitions exposées au chapitre IV. Ensuite, même si nous sommes conscients que ceci ne constitue pas une preuve à part entière, nous cherchons à éprouver la démarche de conception basée sur les scénarios, présentée à la partie 4 du chapitre IV page 86, ainsi que la notation de conception par l'expérimentation, présentée à la partie 5 du chapitre IV page 97. Il en est de même avec notre modèle d'architecture logicielle, présentée à la partie 1 du chapitre V page 119, que nous avons appliqué aux deux systèmes, MAGIC et TROC. Finalement, avec les tests utilisateurs, nous cherchons à mesurer l'acceptation des SM collaboratifs et mobiles par les utilisateurs.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord le système MAGIC, dédié à la fouille archéologique. Puis nous présentons TROC, un jeu collaboratif que nous avons développé afin de compléter notre étude. Finalement, nous décrivons les deux tests expérimentaux que nous avons menés avec le système TROC.

1. Le système MAGIC

MAGIC est un acronyme pour les mots anglais *Mobile Augmented Reality Group Interaction in Context*. Il s'agit d'un prototype, le résultat du projet exploratoire France Télécom, Houria I [Houria 2001]. Pour développer le système MAGIC, nous avons suivi la démarche de conception basée sur les scénarios présentée à partie 4 du chapitre IV page 86. De même, la réalisation logicielle du système MAGIC utilise les outils présentés au chapitre précédent.

Dans un premier temps, nous présentons le domaine d'application, l'archéologie, à travers les activités journalières des archéologues. Dans un deuxième temps, nous présentons l'analyse des besoins. En particulier, nous décrivons les résultats de l'analyse de l'activité réelle, réalisée dans le cadre du projet. Dans un troisième temps, nous détaillons la conception ergonomique du système à travers l'utilisation des outils que nous proposons dans le chapitre IV. Dans un quatrième temps, nous détaillons la conception logicielle du système, en appliquant les résultats du chapitre précédent. Finalement, nous ferons le bilan du système MAGIC.

1.1. ARCHÉOLOGIE : LE DOMAINE D'APPLICATION

Nous avons basé la conception du système MAGIC sur une étude concernant le travail des archéologues [Archéologie]. Cette étude a été enrichie par l'analyse de l'activité d'archéologues sur un site à Alexandrie exposée à la section suivante. Voici les différentes étapes que nous avons isolées concernant une fouille archéologique :

- Les préparatifs liés au site de la fouille : Les archéologues font des photos, soit aériennes, soit satellites du site de recherche. Il est également possible qu'ils disposent du plan du cadastre pour les fouilles urbaines. Ensuite, ils placent sur cette photo un quadrillage qui découpe le site en plusieurs carrés. La taille de ces carrés peut varier de 1 mètre jusqu'à 10 mètres, selon la taille du périmètre à fouiller. Ce quadrillage est physiquement réalisé sur le terrain de manière à coïncider avec celui représenté sur la photo. Chaque carré a un numéro d'identification. Une phase d'évaluation du site détermine si la fouille doit avoir lieu. Les archéologues parcourent le site à le recherche d'indices. Si le potentiel archéologique est suffisant les fouilles peuvent commencer. A partir du quadrillage et du rapport de l'évaluation, un archéologue remplit une fiche descriptive du site.
- Le travail pendant une journée de fouille. A chaque fois qu'un archéologue trouve un objet, elle/il remplit une fiche décrivant l'objet ainsi que l'endroit où elle/il l'a trouvé. Pour le situer, l'archéologue utilise le quadrillage qui a été dessiné sur la carte. Elle/il considère également des niveaux de profondeur (les strates, permettant de dater les objets), et la direction dans laquelle l'objet est orienté. Elle/il réalise également des croquis et/ou des photos de l'objet. Lorsqu'elle/il prend

une photo d'un objet, elle/il dispose près de cet objet une règle afin de connaître l'échelle et une flèche orientée vers le nord. Toutes les photos ainsi que tous les croquis sont complétés par des explications textuelles. Les archéologues utilisent notamment des carnets et des stylos pour prendre des notes et dessiner.

- Le travail entre deux journées de fouille (généralement le soir, hors site). Lorsque les archéologues reviennent au camp, ils remettent leurs notes au propre. Cette phase passe par une numérisation des données collectées (scanner, insérer dans une base de données, etc.). Ils font aussi une analyse de la journée entre eux, afin de savoir qui a trouvé quoi et où. L'analyse est effectuée sur un plan du site agrémenté des objets découverts et aussi des vues en coupe aux endroits significatifs. Ils peuvent également se renseigner entre eux sur un objet trouvé dont ils ne connaissent pas toutes les informations. Ils utilisent aussi une base de données, soit pour trouver des renseignements sur un objet précis, soit pour insérer un nouvel objet. Les archéologues essayent parfois de reconstituer un monument ou un objet à l'aide de vestiges de celui-ci, soit en dessinant, soit en réalisant une reconstitution virtuelle à l'aide d'ordinateurs.
- Le travail des archéologues se poursuit une fois le site de fouille fermé. Puisqu'il ne s'agit plus d'une activité mobile, cette phase des travaux n'est pas considérée.

1.2. ANALYSE DES BESOINS

Une observation de l'activité des archéologues et des interviews ont été réalisées au Centre d'Etudes d'Alexandrie (CEA) par nos partenaires du projet. Cette analyse de la tâche réelle a été focalisée sur la phase de prospection, lorsque les archéologues explorent un site potentiel afin de déterminer si celui-ci est effectivement un site de fouille.

Parmi les différentes étapes du travail archéologique, la prospection est logiquement la première. Elle oriente la décision de fouille et permet une reconnaissance globale du milieu, qui comprend un recensement systématique des indices archéologiques. L'évaluation archéologique concerne l'analyse de l'état initial des sites : repérage des indices historiques, délimitation du site, définition de la nature des indices et de toutes les informations jugées utiles par les décideurs (aménageurs et pouvoirs publics).

La prospection au sol, observation directe sur le terrain de la présence d'éléments (poteries, outils, traces d'habitats, etc.), est une activité préparatoire à la fouille. Elle est considérée comme un repérage. Malgré une apparence simpliste, la prospection au sol est un mode d'investigation technique dont les données, les résultats et les échantillons sont évalués scientifiquement par des analyses en laboratoire et par des méthodes de recherche géophysique. La prospection en archéologies est une activité

coopérative requerrant des expertises diverses. Elle est aussi représentative de leurs activités. Excepté les creusages ou les déblaiements, la prospection ressemble aux activités de fouille proprement dites.

Les résultats de cette étude sont présentés à travers l'analyse de la tâche réelle. Nous illustrons les différentes formes de description des scénarios présentées au chapitre IV avec l'activité de prospection.

Analyse de la tâche réelle et Analyse de l'activité

En collaboration avec les archéologues du Centre d'Etudes Alexandrie, des entretiens centrés sur la description de la tâche de prospection ont débuté le processus d'analyse. Durant ces entretiens, des schémas de tâches représentant leur vision de l'activité de prospection ont été construits. Il s'agit d'une représentation de l'enchaînement des tâches habituelles en prospection. Les résultats de l'analyse de la tâche réelle sont résumés par le cycle de prospection de la figure VI-1. L'analyse de l'activité repose quant à elle sur l'observation et elle est décrite par les graphes en ligne et par les descriptions narratives des scénarios d'activités.

Déroulement d'un cycle de prospection. La prospection est un ensemble d'opérations d'analyse du terrain qui va permettre l'évaluation archéologique finale d'un site. L'analyse d'un site consiste en une exploration fine du terrain pour en relever les informations pertinentes,

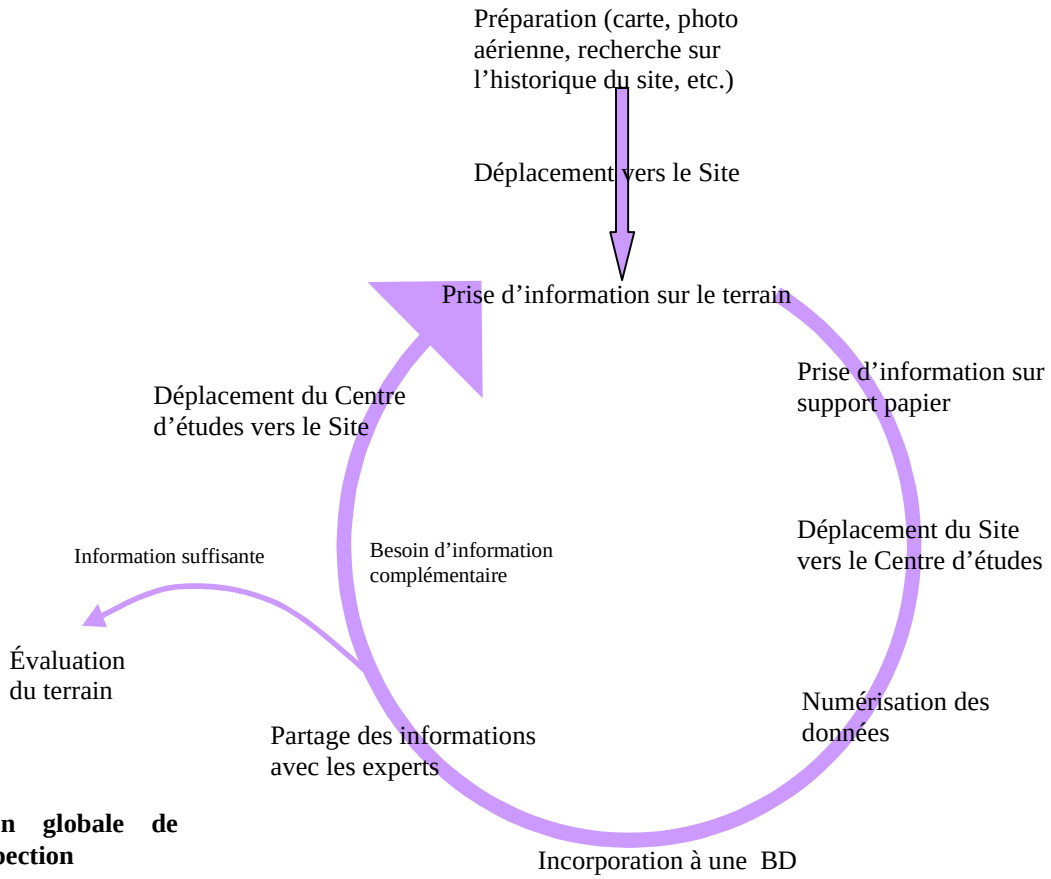
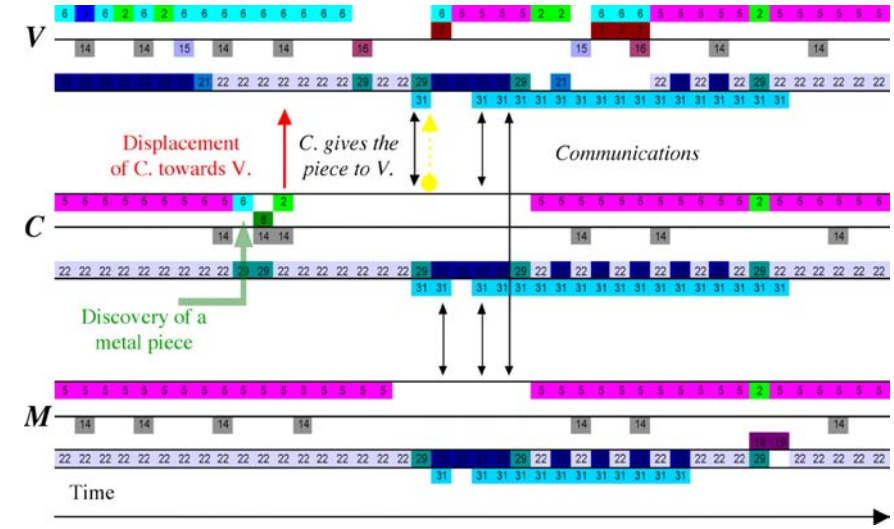


Figure VI-1
la représentation globale de l'activité de prospection

permettant à des spécialistes (céramologues, géologues, etc.) d'évaluer la valeur archéologique d'un site. Cette évaluation implique des aller/retours entre le terrain, le centre d'études et un ensemble de spécialistes. Le cycle de prospection est décrit par la figure VI-1.

La prospection commence par une préparation : établissement de la carte du site, recherche sur l'histoire du site, etc. Puis, les archéologues se rendent sur place pour explorer et analyser le site en détail. Chaque information est notée et les objets trouvés positionnés sur une carte. Après avoir collecter suffisamment d'information, les archéologues retournent au centre d'études afin de numériser et d'incorporer ces informations dans une base de données. Il s'ensuit une phase d'analyse hors-site, et des experts (probablement distants) peuvent être consultés. Si les informations relevées s'avèrent suffisantes pour évaluer définitivement le site, le cycle s'arrête. Par contre, si des informations supplémentaires sont nécessaires, alors les archéologues doivent retourner sur le site poursuivre leurs investigations.

Graphe en ligne et Graphe de déplacement. Nous ne présentons qu'une partie des résultats des observations. L'ensemble des informations observées est rassemblé dans [Houria 2001], rapport interne à France Télécom. Les illustrations de représentations des scénarios de la tâche réelle au chapitre IV (les figures IV-2, IV-3 et IV-4) sont extraites de



1 Lecture de Notes (écrite, mentale, vocale)
2 Lecture de L'environnement
3 Lecture de Cartes
4 Lecture photos
5 Observation NON Ciblée Visuelle
6 Observation Ciblée Visuelle
7 Observation Ciblée Tactile
8 Découverte d'un Element Significatif
9 Grattage du Sol
11 Croquis, dessin, schéma
12 Relevé métrique
13 Relevé d'échantillon
14 Prise de notes Mentales
15 Prise de notes sur Carte
16 Prise de Note sur Calepin
17 Prise de Notes VOCALES
18 Ecriture BD
19 Photos
21 Calcul de position
22 Déplacement (En Avant)
23 Déplacement (Retour en arrière)
26 Répartition des zones d'exploration
29 Arret
31 Communication (verbale ou gestuelle)

Figure VI-2
le graphe en ligne pour une séquence de l'exploration d'un site avec la légende complète

Séquence K.	
Thème	Diffusion d'information contextuelle, Géolocalisation, Saisie d'information, Evaluation Collective, Diffusion de connaissances établies antérieurement
Acteur(s) mobilisé(s)	V., C. & M.
Support(s) utilisé(s)	Fond de carte
Sortie de la séquence	Découverte d'un élément hautement significatif avec perte partielle de sa localisation
11:04:30 C. trouve un culot de forge, elle l'apporte à V. qui arrête immédiatement son activité, ils reviennent vers l'endroit où il a été découvert et C. tente de retrouver l'endroit exact où il a été trouvé, mais la localisation reste approximative. Tout le monde se regroupe autour de cette découverte. V. recherchait ce type d'élément pour confirmer son hypothèse de la présence de forge dans cette zone. 11:06:45 l'élément est localisé sur la carte et analysé par V. pendant que M. et C. recherchent d'autres indices sur la zone de découverte. Première analyse de la position de l'élément pour orienter la recherche d'autres indices près de cet élément.	

Figure VI-3
la description narrative illustrée de la découverte d'un indice historique

l'analyse de la tâche réelle pour la prospection. Ces illustrations concernent la phase d'exploration du site, à la recherche d'indices historiques. A la figure VI-2, nous reprenons le graphe en ligne pour une séquence de l'exploration d'un site en vue de son évaluation en y ajoutant la légende complète. Une séquence est une suite d'actions qui définit la réalisation d'un but intermédiaire.

Description narrative. Pour illustrer la description narrative, nous prenons l'exemple d'une séquence sur site à la figure VI-3. Cette séquence concerne la découverte d'un indice hautement significatif.

Arbre des tâches

L'idée fondatrice du système MAGIC est de permettre aux archéologues de produire des notes numériques sur le site de fouille. L'objectif est double : éviter la phase de numérisation et faciliter l'intégration dans les bases de données afin de favoriser les échanges et faciliter la consultation des experts. Afin de représenter de manière synthétique les actions réalisables avec le futur système, nous résumons l'ensemble des tâches réalisables par les utilisateurs à l'aide du formalisme HTA à la figure VI-4.

Les tâches des utilisateurs s'organisent en arbre, dont le passage d'un niveau à un autre correspond en un découpage en tâches intermédiaires.

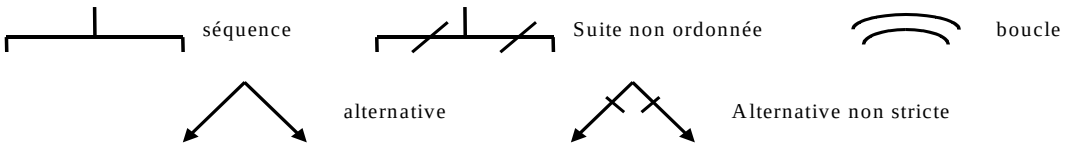


Figure VI-4
la notation HTA

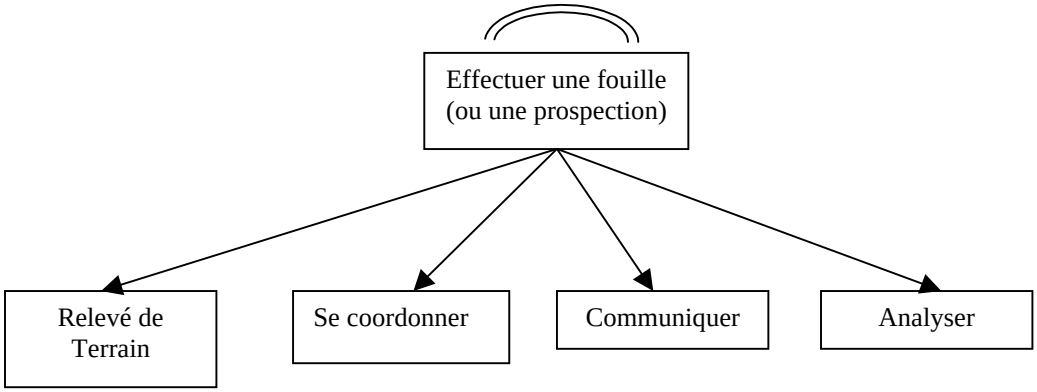


Figure VI-5
le sommet de l'arbre des tâches pour le système MAGIC

Les parties des arbres correspondant aux fonctions classiques des collecticiels ne sont pas détaillées. Le sommet de l'arbre des tâches est décrit par la figure VI-5. Pour effectuer une fouille ou évaluer un site, nous avons identifié des tâches de production, le relevé de terrain détaillé à la figure VI-6 et l'analyse du site détaillée à la figure VI-7, des tâches de coordination détaillées à la figure VI-8 et des tâches de communication que nous ne détaillons pas car il s'agit de communications hommes-hommes médiatisées classiques. Les différentes tâches sont identifiées à partir de l'analyse de la tâche réelle et de l'activité. A chaque feuille de l'arbre, il existe un ou plusieurs scénarios illstrant cette activité (la feuille de l'arbre). La consultation d'un expert pour l'analyse est mise en pointillé, car nous n'avons rien prévu excepté le courriel. De même, la consultation à une base de données ne présente aucune innovation.

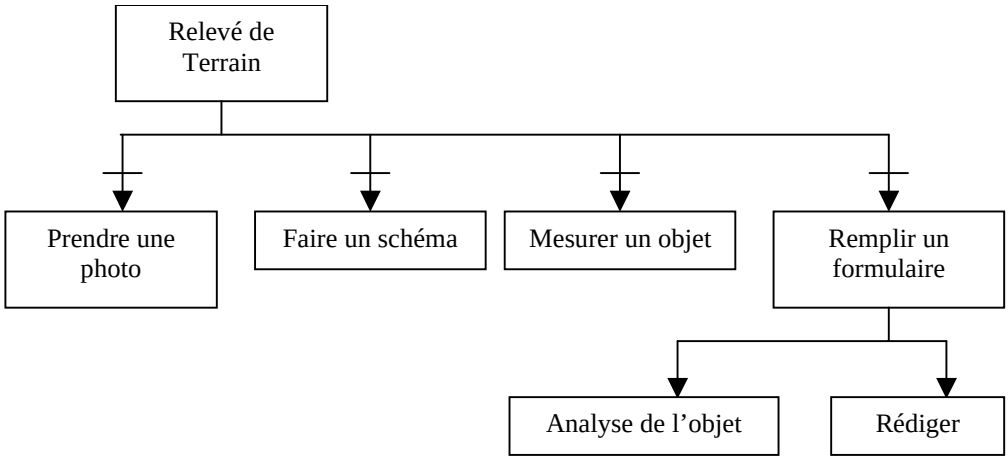


Figure VI-6
la partie de l'arbre des tâches concernant le relevé de terrain

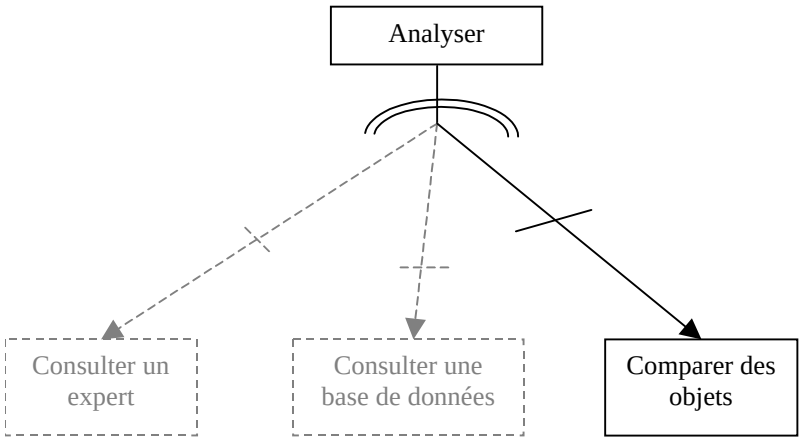


Figure VI-7
la partie de l'arbre des tâches concernant l'analyse du site (potentiel) de fouille

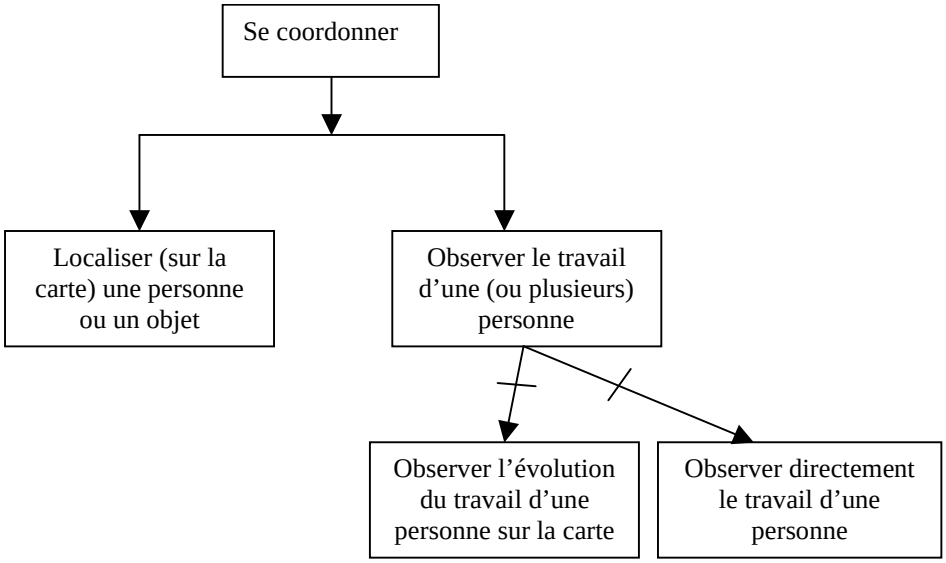


Figure VI-8
la partie l'arbre des tâches concernant la coordination entre les utilisateurs

A partir des résultats de la phase d'analyse des besoins, la phase de conception ergonomique ou phase de scpécifications externes est la création de la future interface. Les résultats de la phase d'analyse des besoins sont les scénarios de la tâche réelle et d'activité, que nous avons résumés avec les arbres de tâches. La conception ergonomique du système MAGIC consiste alors à spécifier les scénarios projetés.

1.3. CONCEPTION

Dans cette partie, nous exposons la conception ergonomique du système MAGIC. Nous illustrons les scénarios projetés avec l'exemple de la séquence K, la découverte d'un élément hautement significatif pendant la prospection sur un site. Il s'agit de l'introduction du futur outil informatique dans l'activité observée. Ensuite, nous caractérisons les objets utilisés pendant les interactions des utilisations avec le système MAGIC. Puis, nous présentons les scénarios projetés de la séquence K avec des schémas suivant la notation que nous avons présentée au chapitre IV. Finalement, nous décrivons les spécifications externes du prototype.

Scénario projeté

Un scénario projeté consiste en l'introduction de l'outil informatique dans l'activité. La figure VI-9 illustre la différence entre le scénario réel de la figure VI-3 page 154 et sa projection dans l'interaction future.

Projection Séquence K.	
Thème	Diffusion d'information contextuelle, Géolocalisation, Saisie d'information, Evaluation Collective, Diffusion de connaissances établies antérieurement
Acteur(s) mobilisé(s)	V., C. & M.
Support(s) utilisé(s)	**Tablette, système de géolocalisation incorporé, système de communication instantané, Fond de carte digital**
Sortie de la séquence	**Découverte d'un élément hautement significatif sans perte d'information**
C. trouve un culot de forge, elle l'indique par un post-it urgent à V. qui arrête immédiatement son activité et ce déplace vers l'endroit de la découverte. Tout le monde se regroupe autour de cette découverte. V. recherchait ce type d'élément pour confirmer son hypothèse de la présence de forge dans cette zone. L'élément à été automatiquement localisé sur la carte lorsque C. a ouvert une nouvelle fiche pour cet élément, V. analyse alors l'élément pendant que M. et C. recherche d'autres indices sur la zone de découverte. Première analyse de la position de l'élément pour orienter la recherche d'autres indices près de cet élément.	

Figure VI-9
une description narrative du scénario projeté de la séquence K

Caractérisation des objets

Nous identifions quatre types d'objets utilisés pendant les activités archéologiques : le plan du site, les objets qui viennent d'être découverts (encore sur le site), les objets déjà découverts (retirés du site) et les objets permettant la comparaison (ceux de la base de données). Nous ne représentons que les objets servant à la fois dans le monde physique et dans le monde numérique. Le plan du site n'est pas directement utilisé dans une interaction mixte précise, mais il est clair qu'il peut servir à des tâches de repérage et de coordination avec les autres utilisateurs.

Plan du site. La carte du site, informatisée, sur laquelle sont représentés les archéologues ainsi que les objets découverts, est le lieu de coordination entre les utilisateurs. Chaque utilisateur dispose d'une carte de type numérique représentant la carte numérique de référence. En effet, l'utilisateur ne dispose pas de la carte originale. La carte n'est pas produit pendant le travail de fouille, mais elle est modifiée. Elle n'est mise à jour que quand l'utilisateur en fait la demande. L'archéologue travaille sur une recopie de la carte, mise à jour en fonction de la production des autres archéologues. Seulement après validation des travaux, ceux-ci sont répercutés sur les cartes des autres utilisateurs. Il se peut qu'un utilisateur subisse une interruption momentanée de service à cause d'une défaillance du réseau sans fil. Dans ce cas, même si la carte n'est plus remise à jour, elle n'en demeurera pas moins une représentation. Ceci implique néanmoins, pour le respect du principe d'honnêteté, que tous les utilisateurs soient conscients de la perte du réseau par cet utilisateur. Par ailleurs, la carte, support de la coordination, est l'objet de la tâche. C'est par une analyse et une modification de cet artefact que les archéologues

vont parvenir à se coordonner dans leurs recherches. Enfin, utiliser une carte fait partie du travail des archéologues, le savoir est donc co-localisé à la carte. Nous résumons cette caractérisation du plan du site à la figure VI-10.

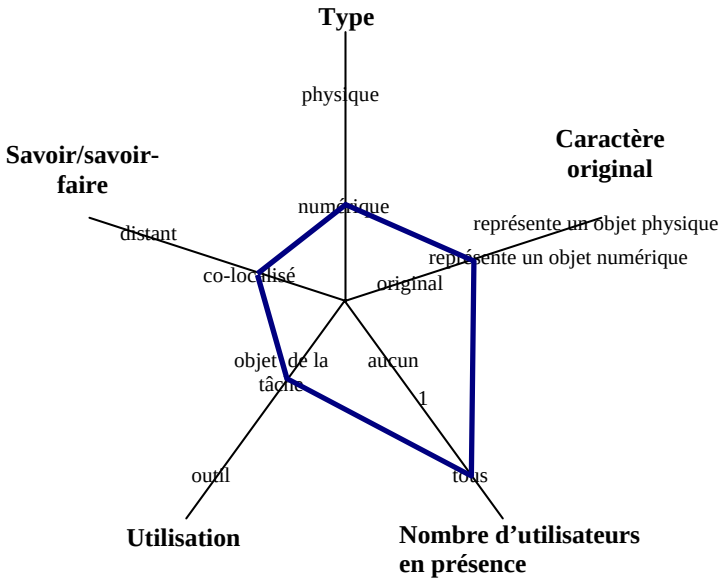


Figure VI-10
la caractérisation du plan du site

Objets récemment découverts. Les objets récemment découverts sont les indices historiques que les archéologues recherchent et trouvent. Ces objets sont donc de type physique et sont les objets originaux. Il y a au moins un archéologue en présence de l'objet, celui qui le découvre. Un indice historique est l'objet central à l'activité de fouille : il s'agit de l'objet de la tâche. Finalement, selon qui est en présence de la découverte, le savoir relatif à l'objet peut être aussi bien distant que co-localisé. La figure VI-11 illustre la caractérisation d'un objet récemment découvert.

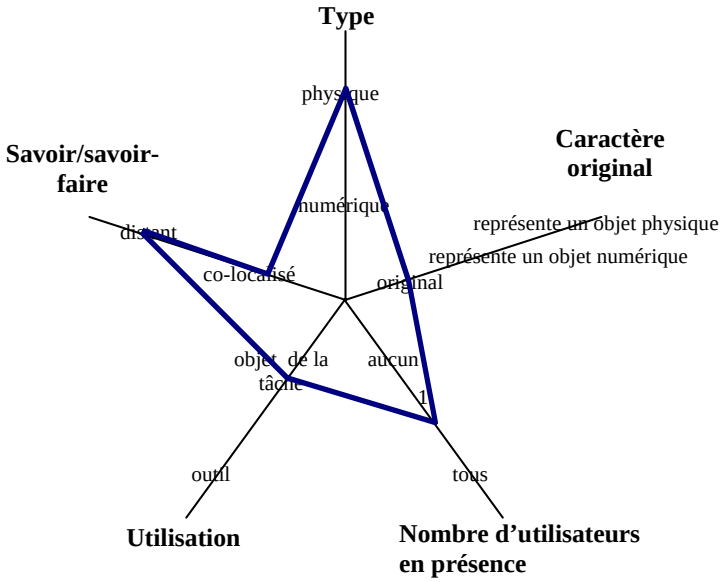


Figure VI-11
la caractérisation d'un objet récemment découvert

Objets déjà découverts. Les objets déjà découverts sont les indices historiques que les archéologues ont déjà trouvés. Ces derniers sont enlevés du site pour des analyses complémentaires et/ou pour pouvoir creuser à son emplacement. Cependant, pour l'analyse du site et l'observation du travail des autres, les archéologues peuvent avoir besoin d'appréhender le site avec l'ensemble des découvertes. Ceci est actuellement fait sur des plans dessinés sur papier. En supposant que les archéologues utilisent la technique de la réalité cliquable, présentée au chapitre précédent, alors il existe des représentations numériques localisées des indices historiques retirés du site. L'utilisation de la technique d'interaction le terrain augmenté, présentée au chapitre précédent, est alors une alternative à l'étude sur plan. En se déplaçant sur le site de fouille, l'archéologue accède aux objets retirés. Il peut ainsi appréhender le site dans son ensemble, sous différents points de vue.

La figure VI-12 illustre la caractérisation des objets déjà découverts. Un objet déjà découvert et disponible pour les archéologues est donc un objet numérique représentant un objet physique, l'indice historique original. Il y a autant d'utilisateurs en présence qu'il y a d'archéologues à proximité de l'objet. En effet, pour qu'un objet soit visible par un utilisateur, il faut que l'objet soit dans la zone d'influence de cet utilisateur. Un objet déjà découvert est l'objet de la tâche, en tant qu'élément observé et analysé. Quant au savoir en relation avec l'objet, il est possible que l'archéologue utilisant le terrain augmenté soit un expert ou non. Il en découle deux cas différents d'interaction, avec des besoins en communication bien spécifique dans le cas d'un archéologue "novice" vis à vis de la nature de l'objet.

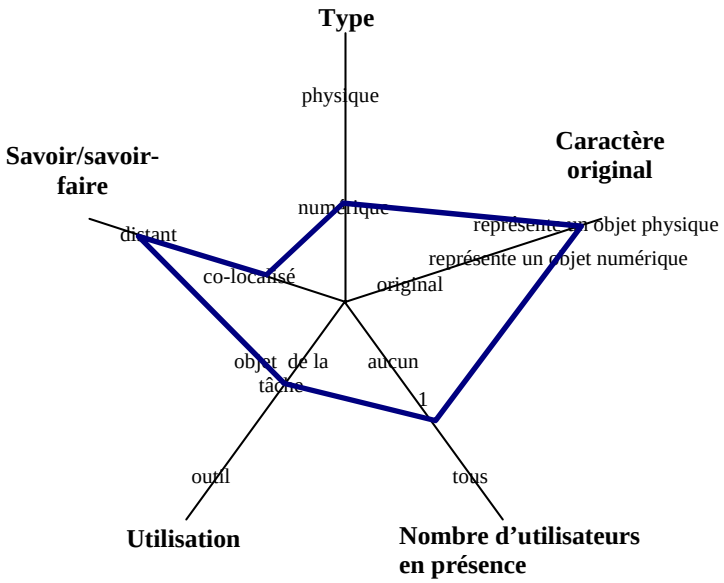


Figure VI-12
la caractérisation d'un objet déjà découvert et retiré du site

Objets permettant la comparaison. Les objets permettant la comparaison sont les objets extraits des bases de données afin de réaliser

une comparaison avec un objet en présence des utilisateurs. Ceci correspond à l'utilisation de la technique d'interaction "la comparaison", présentée au chapitre précédent. Un objet permettant la comparaison est donc un objet de type numérique, représentant un objet numérique. Suivant notre spécification de la comparaison, il y a une personne en présence de l'objet. Un objet permettant la comparaison est un outil : il s'agit d'une sorte de règle à mesurer, d'un objet étalon. Comme il participe à l'analyse et éventuellement à l'identification d'un problème, l'archéologue utilisant la comparaison n'est pas forcément expert dans le type d'objet utilisé. La figure VI-13 illustre la caractérisation d'un objet permettant la comparaison.

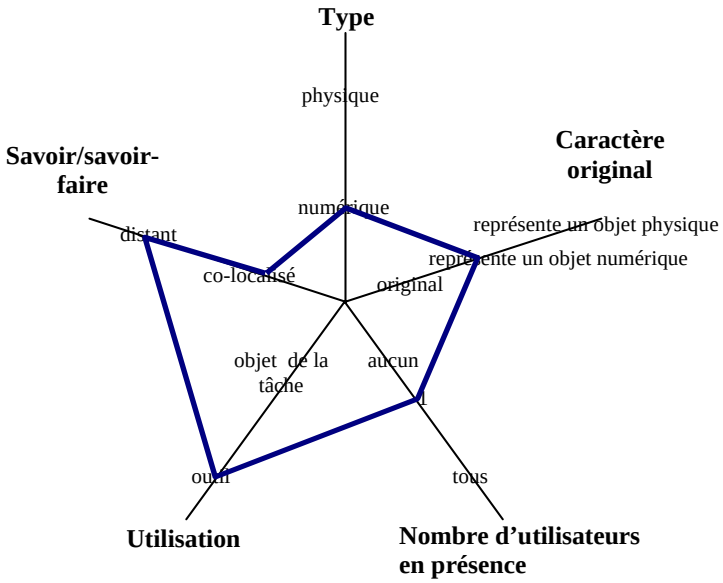


Figure VI-13
la caractérisation d'un objet permettant la comparaison

Notons que la caractérisation d'un objet permettant la comparaison peut varier selon la spécification de la technique d'interaction "la comparaison". Par exemple, nous ne notons qu'un utilisateur en présence de l'objet permettant la comparaison, mais il est également possible de réaliser une version collaborative de la comparaison avec un partage de l'élément servant à la comparaison. Dans un tel cas, il y a plusieurs utilisateurs en présence de l'objet.

Exemples de scénarios projetés représentés par des schémas

Afin d'illustrer à la fois la conception du système MAGIC et l'utilisation de la notation exposée au chapitre IV, nous présentons les scénarios en différentes étapes correspondant à la séquence K.

La figure VI-14 correspond à la première phase de la séquence : C découvre un indice de hautement significatif. Avec l'aide du système, elle numérise l'objet découvert grâce à la technique de la réalité cliquable. Puis elle avertit V.

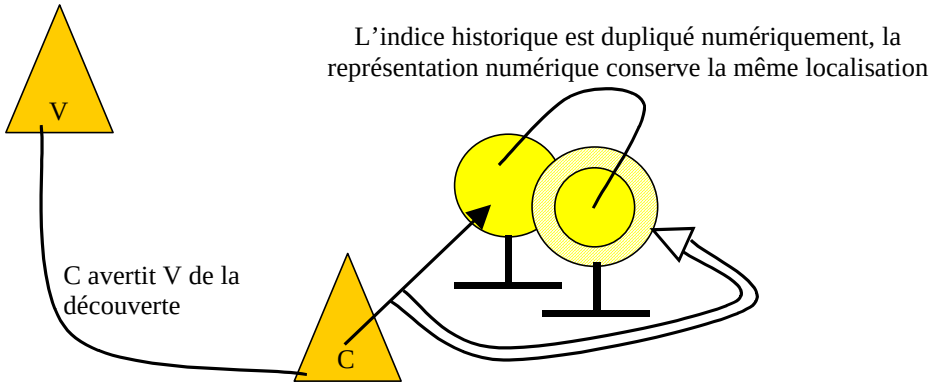


Figure VI-14
C découvre un indice important, le numérise et appelle V

La figure VI-15 correspond à l'étape suivante : C ramasse l'objet découvert afin de l'analyser ultérieurement. Cette étape pourrait intervenir plus tard. C a donc l'objet, ceci étant traduit par une adjacence entre le triangle représentant C et l'objet physique découvert représenté par le rond plein. Suite à la numérisation de la première phase de la séquence, l'objet reste néanmoins accessible, grâce à la technique du terrain augmenté.

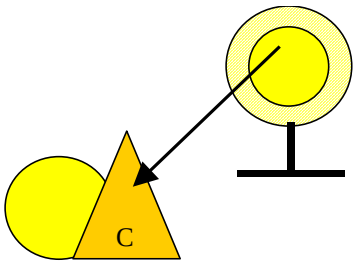


Figure VI-15
C ramasse l'indice et observe la représentation numérique localisée de la découverte

La dernière phase de la séquence K relate les arrivées de V et M près de C, là où C a découvert l'objet. Chaque archéologue peut accéder à l'objet retiré par la technique du terrain augmenté. Ils recherchent alors d'autres indices autour de l'objet découvert, ceci est schématisé par les trajectoires sinueuses à la figure VI-16.

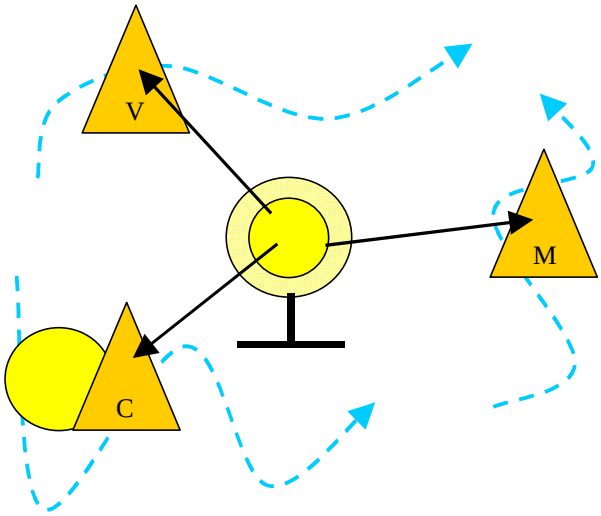


Figure VI-16
V et M ont rejoint C et ils recherchent ensemble des indices autour de l'indice découvert par C

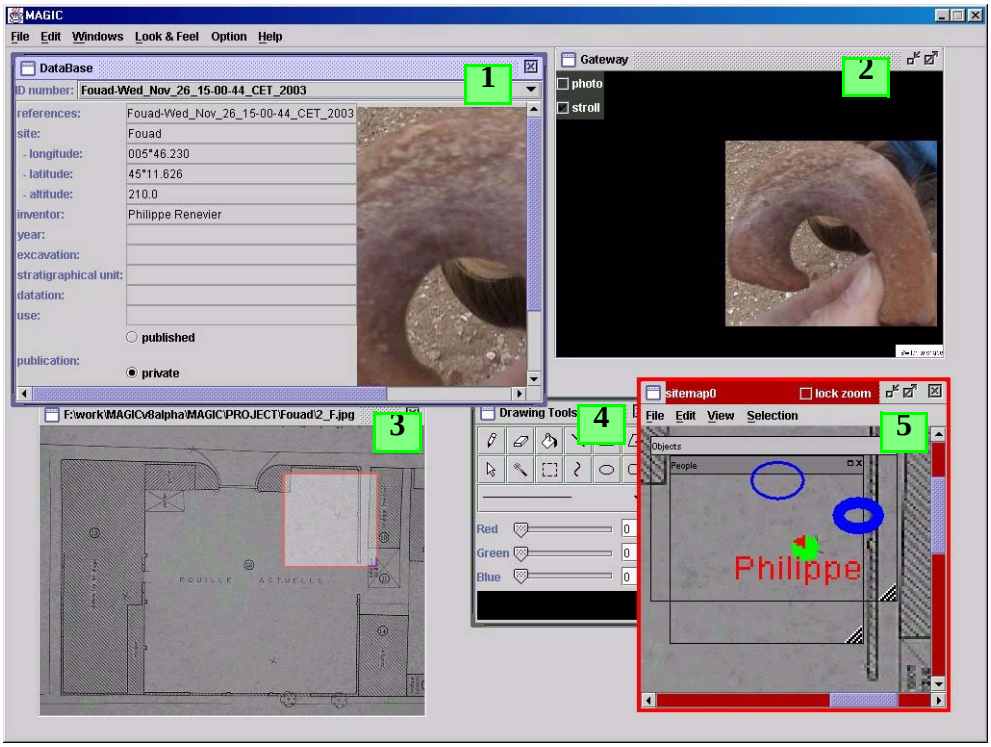


Figure VI-17
une copie d'écran de l'interface sur la tablette du système MAGIC

Spécifications externes

Les spécifications externes complètes sont décrites dans [Renevier 2000] et [Renevier 2001]. Le système MAGIC utilise la plate-forme présentée au chapitre précédent. Le prototype comporte deux zones d'interaction : la tablette, dont l'interface est illustrée par la figure VI-17, et le casque, dont la figure VI-18 page 163 présente une photographie possible et réaliste. Sur la tablette, des fonctionnalités classiques des collecticiels sont proposées :

- Les outils de coordination sont centrés sur la carte du site, afin de réaliser la conscience de groupe localisée présentée au chapitre II. La carte se compose d'une vue statique et globale (fenêtre 3, en bas à gauche de la figure VI-17) et de fenêtres de zoom sur une zone marquée par un rectangle de couleur sur la carte. La fenêtre en bas à droite de la figure VI-17 (fenêtre 5) est une fenêtre de zoom. L'interaction avec la carte se fait avec des lentilles magiques [Bier 1993], dont une permet de voir les archéologues.
- L'outil de communication est une interface avec le courriel à partir des représentations des archéologues sur la carte à chaque avatar est associée l'adresse électronique de l'archéologue représenté, ainsi qu'un forum de discussion.
- Les outils de production sont d'une part une fenêtre d'exploration d'une base de données (fenêtre 1, en haut à gauche de la figure VI-17), qui permet d'obtenir des images à placer dans le casque via la passerelle (fenêtre 2, en haut à droite de la figure VI-17). D'autre part, une lentille magique permet d'éditer des objets sur le terrain dans une

Figure VI-18
un photomontage proche de ce que perçoit l'utilisateur de MAGIC dans le casque semi-transparent

fenêtre de zoom, en complément de la réalité cliquable présentée au chapitre précédent.

La réalité cliquable n'a pas été réalisée de manière entièrement automatique. En effet, il est impossible de déterminer la localisation de l'objet capturé à partir des seules informations que sont la position de l'utilisateur et son orientation. Il manque alors des données métriques sur l'objet capturé comme la distance entre l'utilisateur et l'objet (télémétrie), un repère placé à proximité de l'objet (comme les marqueurs de l'*ARToolkit* [Kato 1999]) ou les dimensions de l'objet capturé et sa reconnaissance dans l'image. La réalité cliquable se déroule donc en deux temps. Tout d'abord, l'utilisateur réalise la capture de l'objet, puis elle/il précise la localisation de l'objet sur la carte (en cliquant à sa position). A ce moment, un formulaire de description est ouvert avec un maximum de renseignements (dont la localisation) et il est possible d'y associer l'image réalisée juste avant ou de corriger une localisation peut-être approximative.

Le photomontage de la figure VI-18 montre ce que perçoit l'utilisateur à travers le casque pendant l'utilisation du terrain augmenté. La perception de l'environnement physique est un peu ternie par les pixels noirs (et donc transparents) affichés dans le casque. Nous rappelons que la superposition des images "réelles" et numériques se fait par la fusion entre l'image directe de l'environnement et la réflexion sur un miroir partiellement argenté des images numériques affichées sur des écrans LCD.

1.4. CONCEPTION LOGICIELLE

Nous détaillons la réalisation logicielle du prototype MAGIC. Comme l'illustre la figure VI-19, nous avons suivi le modèle d'architecture présenté à la section 1 "Architecture logicielle" du chapitre V page 119.

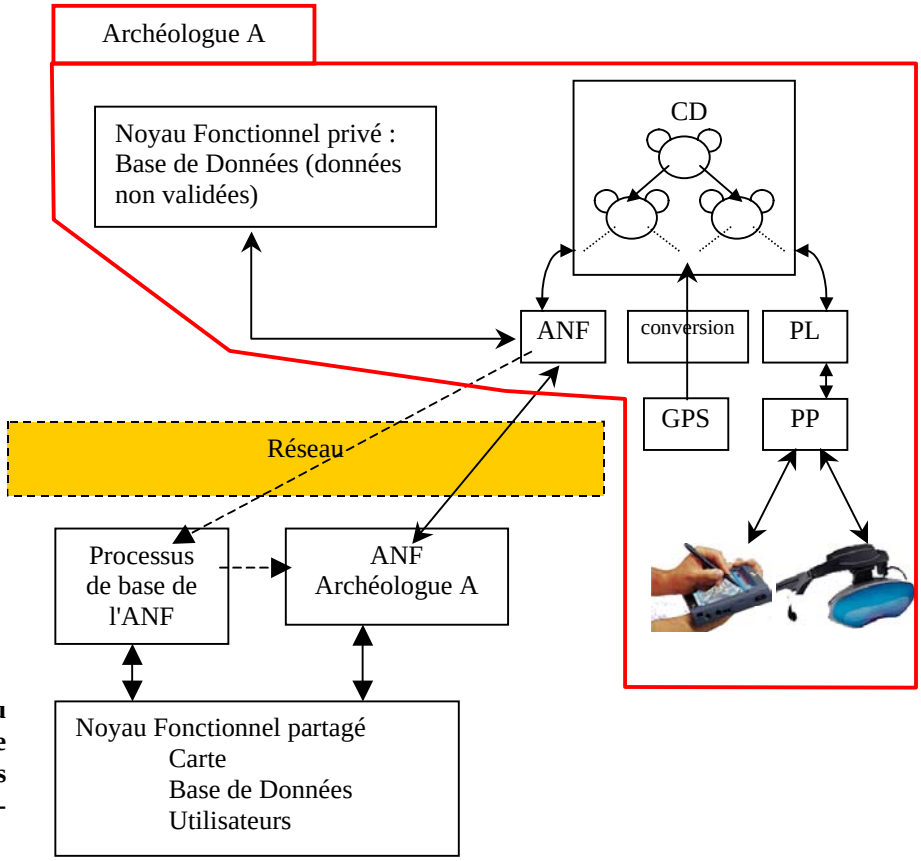


Figure VI-19
l'architecure logicielle du système MAGIC suivant le modèle PAC-Amodeus adaptées aux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles

Le Noyau Fonctionnel (NF) partagé contient la description du site de fouille (la carte du site). Il maintient la liste des utilisateurs et permet la communication homme-homme médiatisée (forum de discussion et envoie de courriel). Finalement, le NF partagé gère la base de données commune à tous les utilisateurs. Le NF privé contient les entrées de la base de données non validées.

Pour chaque utilisateur, l'Adaptateur du Noyau Fonction (ANF) est réparti entre le serveur et l'application cliente. La connexion initiale se fait par un échange de message entre l'ANF "embarqué" et le processus de base de l'ANF sur le serveur dans le but d'instancier une communication propre au client.

Le Contrôleur de Dialogue (CD) est détaillé à la figure VI-20. L'agent “Racine” gère la fenêtre principale présentée à la figure VI-17 page 162, ainsi que le glisser-déposer. Les agents “Forum de Discussion” et “Courriel” permettent la communication homme-homme médiatisée. L'agent “Clavier” transparent fournit à l'utilisateur un clavier virtuel transparent. La représentation graphique de l'agent “Barre d'Outils” est illustrée par la fenêtre 4 de la figure VI-17 page 162. Il permet l'édition de dessin sur un zoom du plan du site. L'agent “Plan du Site” gère les interactions avec la carte. Sa représentation graphique est la fenêtre 3 à la figure VI-17 page 162. Il peut dynamiquement avoir plusieurs agents fils,

des agents “Zoom”. Ces agents “Zoom” correspondent à des agrandissements d'une partie de la carte et ils permettent l'édition d'objets et la conscience de groupe localisée grâce à des lentilles magiques. Chaque agent “Zoom” peut donc afficher la position des archéologues, il reçoit alors les données contextuelles relatives à la position de l'archéologue. Un zoom est représenté par la fenêtre 5 à la figure VI-17 page 162. L'agent “BD” gère la base de données. Pour le prototype, cette base de données est simplifiée à un fichier texte contenant des références sur les objets de la base. Ces références sont elles-mêmes des noms de fichiers textes contenant les champs descriptifs de l'objet ainsi que le nom d'un fichier image le représentant. Finalement, le dernier groupe d'agents de cette hiérarchie réalise la fusion entre les mondes physique et numérique. Il s'agit en effet de l'agent “Passerelle” et de ses deux agents fils, “Représentation Physique” et “Représentation Numérique”. La passerelle et les techniques d'interaction, la comparaison, la réalité cliquable et le terrain augmenté sont réalisées conformément aux résultats décrits au chapitre précédent. Nous notons néanmoins que les données contextuelles sont transmises à deux sortes d'agents, les agents “Zoom” et l'agent “Terrain Augmenté”, afin de minimiser la circulation de message dans la hiérarchie d’agents PAC.

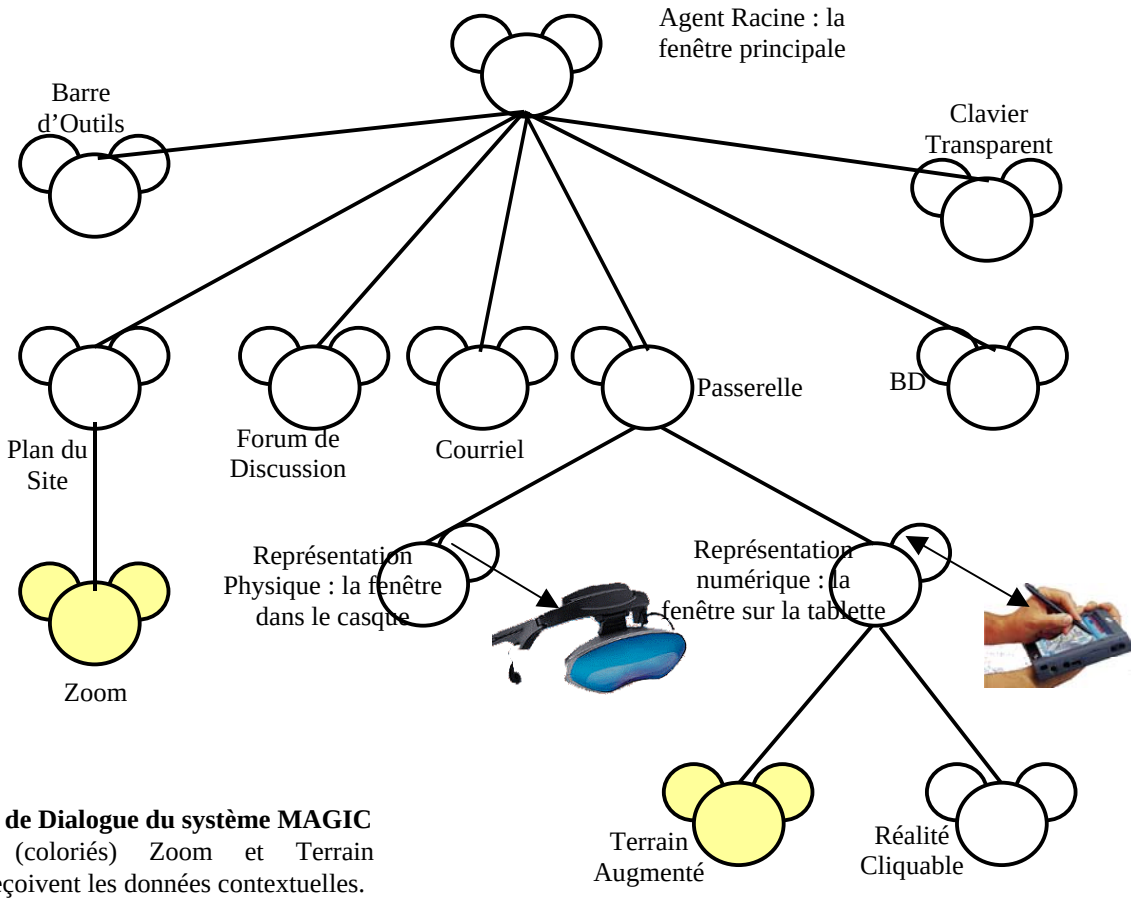


Figure VI-20
le Contrôleur de Dialogue du système MAGIC
Les agents (coloriés) Zoom et Terrain Augmenttée reçoivent les données contextuelles.

Puisque le traitement des données contextuelles est géré par le contrôleur de dialogue, selon le flux 2 de la figure V-5 page 125 du chapitre V, les Présentations Logique et Physique ne présentent pas de détails particuliers. Il s'agit de l'utilisation des bibliothèques graphiques *Swing* et *AWT* de Java [Java] et des composants systèmes (l'extension de bureau sous Windows 98) et de la plate-forme matérielle.

Nous précisons également la nature des données contextuelles. Il existe deux types de coordonnées : les coordonnées géographiques, fournies par un GPS, composées d'une longitude, d'une latitude (exprimées en degré) et d'une altitude (exprimée en mètre) et les coordonnées cartésiennes (exprimées en mètre) sur la carte. En connaissant les dimensions de la carte et les coordonnées géographiques et cartésiennes de son origine, il est alors possible de convertir les angles en abscisse et en ordonnée. Dans ce cadre, notre approximation est d'assimiler la carte à un rectangle plat, la conversion étant alors linéaire. Par exemple, pour calculer une hauteur (une ordonnée), et en prenant comme origine le coin Nord-Ouest de la carte, les calculs sont les suivants :

- diffLat = latitude[origine]-lat[coin Sud-Est de la carte]
  diffLat représente la différence de latitude entre les deux extrémités de la carte. Le signe de l'opération dépend de l'hémisphère où se situe la carte. Ici, le calcul est fait pour l'hémisphère nord.
- hauteur_carte = diffLat*(2.0*Math.PI*EARTH/360.0);
  En assimilant la terre à une sphère de rayon EARTH = 6378000 mètres, alors la distance Nord-Sud représentée sur la carte vaut la longueur de l'arc de cercle hauteur_de_la_carte.
- ordonnée[point] = hauteur_carte*(lat[origine]-latitude[point])/diffLat
  En négligeant la courbure locale de la Terre, l'ordonnée d'un point de la carte se calcule alors comme un simple rapport.

La calcul de l'abscisse est similaire, mais la différence de longitude dépend de quel côté (Est ou Ouest) se situe la carte par rapport au méridien de Greenwich.

L'ensemble du prototype est programmé en Java, avec l'utilisation des bibliothèques JavaCom (pour interfacer les ports séries avec Java), JAI (*Java Advanced Imaging*) et JMF (*Java Media Framework* pour interfacer la caméra avec Java), et comprend 27342 lignes de codes.

1.5. BILAN DE MAGIC

Dans le cadre du projet France Télécom Houria I, nous avons donc réalisé un prototype, le système MAGIC, dédié aux prospections et aux fouilles archéologiques. La réalisation de ce système mixte collaboratif et mobile repose sur les préceptes exposés au chapitre précédent.

Par nos tests informels (sans les archéologues) du système, nous avons pu expérimenter les caractéristiques des liens entre les mondes physique et numérique exposés au chapitre IV :

- la création dynamique de liens persistants en mode d'interaction presque passif avec la réalité cliquable,
- la création dynamique de liens éphémères en mode d'interaction active avec la comparaison,
- et une collaboration asynchrone en mode d'interaction passive avec le terrain augmenté.

De même pour les traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, nous avons expérimenté :

- le cas où les liens sont répartis sur le terrain
- et deux types d'interactions avec les interactions actives (la comparaison) et passives (le terrain augmenté).

Malheureusement, nous n'avons pas pu réaliser des expériences et des évaluations du système avec des archéologues en situation réelle. Aussi, afin de vérifier l'aspect général de notre plate-forme et des techniques d'interaction et de réaliser des expérimentations avec des utilisateurs, nous avons développé un autre Système, TROC, exposé dans la partie suivante.

2. Le système TROC

2.1. MOTIVATIONS, OBJECTIFS ET DOMAINE D'APPLICATION

Nous avons réalisé un second système mixte collaboratif et mobile afin de compléter l'étude débutée avec le projet France Télécom Houria I et de réaliser des tests utilisateurs. Nous sommes conscients qu'appliquer deux fois nos outils de conception ne suffit pas à montrer leurs génralités, mais ceci constitue néanmoins les bases d'une étude complète visant à démontrer le caractère général de nos outils.

Tirant les enseignements du premier projet, nous avons recherché un domaine d'application dont nous maîtriserions les conditions d'utilisation. Aussi nous nous sommes tourné vers les jeux. D'une part, le jeu est un domaine d'application où les systèmes mixtes collaboratifs et mobiles peuvent permettre la réalisation d'actions normalement impossibles (comme les effets spéciaux d'un film) ou fastifieuses (comme le décompte d'éléments répartis sur le terrain de jeu). De plus, les jeux permettent des situations mélangeant des éléments physiques (souvent les briques de bases du jeu) avec des éléments numériques (les éléments inexistants comme les monstres ou les effets magiques). La collaboration et la compétition sont des dimensions reconnues des jeux. Finalement, associer le déplacement des joueurs au jeu lui-même revêt un caractère ludique et immersif qui s'apparente aux jeux de rôle grandeur nature. Il

existe par ailleurs de nombreux jeux : *ARQuake* [Thomas 2000], *Human Pacman* [Cheok 2003], *PingPongPlus* [Ishii 1999], *Can You See Me Now ?* [Can you see me now ?], etc.

Ainsi, dans le cadre du projet France Télécom Houria II, nous avons développé le jeu TROC [Renevier 2004], un jeu de collecte et d'échange d'éléments numériques répartis sur un terrain de jeu. Comme le système MAGIC, le système TROC utilise la plate-forme présentée au chapitre précédent, ainsi qu'un maximum de techniques d'interaction. L'objectif est alors de mettre à l'épreuve l'aspect général de la plate-forme, de l'architecture logicielle globale et des techniques d'interaction.

Choisir un jeu permet de faire des tests expérimentaux facilement, les utilisateurs étant plus facilement disponibles. Le fait de définir le jeu et ses règles nous a permis de maîtriser autant que possible les conditions d'évaluation du jeu. En effet, l'aspect ludique du jeu peut permettre aux joueurs de s'immerger dans le jeu et d'oublier en partie le contexte de l'expérience.

Nous présentons les règles du jeu mis en relation avec nos objectifs, puis nous décrivons la conception ergonomique du système TROC et finalement nous détaillons la réalisation logicielle.

2.2. RÈGLES DU JEU

Le but du jeu est de collecter une liste d'objets répartis sur un terrain de jeu pendant un temps limité. La plus part des actions ont un coût magique. Les joueurs disposent d'une réserve de magie (100 unités magiques) qui se régénère automatiquement. Faire une action dépense un certain nombre d'unités magiques. Quand un joueur n'a plus d'unité magique en réserve, elle/il doit attendre d'en avoir à nouveau. L'ensemble des coûts et la vitesse de régénération sont communs à tous les joueurs et sont paramétrables avant de commencer une partie.

D'une manière générale, les règles comportent beaucoup de variables qu'il est possible de fixer avant de commencer une partie. Cette flexibilité a deux justifications :

- Il est difficile de paramétrer un jeu et un bon paramétrage dépend certainement des goûts des joueurs.
- Nous maîtrisons ainsi les conditions de jeu et nous pouvons orienter le comportement des joueurs. Ainsi, nous pouvons réaliser des mesures relativement précises en cernant au maximum les éléments mesurés.

Pour présenter les règles du jeu, nous commençons en présentant le terrain de jeu sur lequel les joueurs sont amenés à se déplacer afin de collecter les objets. Ensuite, nous décrivons les objets et les possibilités offertes aux joueurs pour manipuler ces objets. Puis, nous présentons deux actions globales. Finalement, nous décrivons un rôle subsidiaire, celui du superviseur.

Terrain de jeu

Le terrain de jeu peut varier d'une partie à l'autre. Le jeu peut se dérouler dans des locaux (comme des bureaux) ou à l'extérieur. La taille du terrain n'est pas contrainte : elle varie en fonction des parties souhaitées. Cette maîtrise du terrain permet de vérifier l'influence de l'environnement sur les interactions.

Sur le terrain, les objets (décrits à la sous-section suivante) sont répartis et les joueurs doivent explorer le terrain afin de les retrouver.

Le terrain est modélisé numériquement et doit servir aux joueurs à des tâches de repérage dans l'espace et de localisation des objets recherchés. La conscience de groupe localisée est réalisée sur la carte du terrain de jeu.

Les objets

Les objets sont des vignettes situées à un endroit précis sur le terrain de jeu. Les vignettes sont caractérisées par une famille, une sorte d'animal, et par une couleur. Par exemple, il y a la famille des chats : le chat bleu, le chat rouge, le chat jaune, etc. Chaque vignette est unique. La déclinaison des couleurs dans chaque famille est similaire. Ainsi, s'il y a la famille des mouettes, il y aura également la mouette bleue, la mouette rouge, etc. Le nombre de famille et le nombre des couleurs dépendent du nombre de joueurs. C'est un élément paramétrable au début d'une partie. De plus, les vignettes émettent des sons en rapport avec leur famille, par exemple un chat miaule. Le son est spatialisé et permet une découverte plus aisée.

Les interactions entre les vignettes et les joueurs sont régies par des règles particulières. Aussi, nous les exposons dans les paragraphes suivants : les cubes permettant de contenir les vignettes, les listes de vignettes à collecter, les filtres de vision permettant de voir les vignettes, ramasser et poser les vignettes, les échanges de vignettes entre deux joueurs et un pouvoir magique particulier à chaque équipe.

Cubes magiques. Les joueurs disposent de 4 cubes magiques. Ils permettent de transporter des vignettes. Un cube ne peut contenir qu'une vignette. Ainsi, si les quatre cubes d'un joueur sont pleins, elle/il doit en vider s'elle/il veut acquérir d'autres vignettes. Les cubes sont propres à chaque joueur et ne peuvent être utilisés sans l'accord de leur propriétaire.

Listes d'objets. Les joueurs doivent collecter une liste d'objets pour gagner. A chaque moment, ils ne disposent que d'une sous-liste (de 4 éléments), qui change une fois que celle-ci est complétée. La collecte doit être terminée avant la fin d'un compte à rebours mettant fin à la partie. Il existe des équipes et chaque membre d'une équipe partage la même liste globale. L'équipe gagne lorsque toutes les vignettes ont été collectées, même par des joueurs différents. Cependant, chaque membre dispose d'une sous-liste différente, même si quelques vignettes peuvent être en commun. Ceci force la collaboration. Le nombre d'objets par liste est défini par le nombre de membres de l'équipe. Par ailleurs, quelques

éléments (une minorité) de chaque liste globale sont choisis au hasard parmi un pot commun de vignettes. Le reste des listes leur est propre. Ceci permet de favoriser les échanges entre les équipes tout en maintenant un peu de concurrence pour l'aspect ludique.

Pour permettre aux joueurs de dissimuler des informations ou d'élaborer des stratégies de jeu, nous avons introduit une étape de validation des vignettes collectées. Lorsqu'un joueur pense avoir l'ensemble des objets définissant sa sous-liste, elle/il peut décider de la valider. La validation ne coûte rien en unité magique, elle permet juste au joueur de contrôler ce moment. Après une vérification des vignettes, si les objets sont les bons, la validation est effective : les vignettes sont replacées aléatoirement sur le terrain, le joueur reçoit une nouvelle sous-liste (avec un maximum d'éléments nouveaux) et l'ensemble des joueurs est averti que quelqu'un a réussi à valider une sous-liste.

Filtres de vision. Les objets ne sont pas directement visibles. Il existe des filtres de vision qui doivent être activés afin de permettre aux joueurs de percevoir les vignettes. A chaque famille de vignettes est associée un filtre. Bien entendu, c'est le filtre d'une famille qui permet de voir et d'entendre les vignettes de cette famille. Nous avons choisi de limiter le nombre de formules activées simultanément à deux, pour favoriser les échanges et l'exploration.

Les filtres de vision nous permettent d'expérimenter l'adaptabilité de l'augmentation définie à la section 5.2 "Principes ergonomiques" du chapitre IV page 98.

Ramasser et poser une vignette. Pour collecter (ou ramasser) une vignette, il faut remplir les conditions suivantes :
- voir la vignette, c'est-à-dire être à proximité,
- avoir le filtre adéquat activé,
- disposer d'un cube libre,
- et avoir suffisamment d'unités magiques en réserve.

Ramasser une vignette est une modification dynamique d'un lien : l'augmentation ne cible plus un objet localisé, mais un cube contenant une entité numérique (qui a perdu sa localisation).

Poser un objet est l'opération inverse : il s'agit de libérer le cube de ce qu'il contient et de redonner une localisation à la vignette déposée. Pour poser une vignette, il suffit d'avoir suffisamment d'unités magiques en réserve. Ramasser et poser une vignette sont des actions solitaires, mais une forme de collaboration asynchrone est possible pour les joueurs à travers le déplacement des vignettes, l'échange d'information sur la position de telle ou telle vignette, etc.

Voir et échanger des vignettes collectées. Pour voir le contenu d'un cube d'un autre joueur, il faut son autorisation. Par ailleurs, pour des

aspects ludiques, il n'est possible que de voir la famille de la vignette mais pas sa couleur. De même, il est possible à deux joueurs co-localisés d'échanger des vignettes. Selon le trait caractéristique des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles identifé à la section 2.1 "localisation des liens" du chapitre IV page 75, il s'agit du cas où les utilisateurs doivent être co-localisés.

Le pouvoir magique. Chaque équipe est définie par une action sur les vignettes. Il s'agit d'un pouvoir partagé par tous les membres d'une équipe et si un joueur possède ce pouvoir, alors elle/il fait partie de cette équipe. Notons que les équipes ne sont pas forcément connues par les joueurs et que le pouvoir est un moyen de les déterminer. Ce pouvoir est un piège qui se pose sur une vignette. Il dure le temps d'un compte à rebours paramétrable. Il n'est pas possible d'être piégé par son propre piège : il est alors relancé si le joueur dispose d'assez d'unités magiques, sinon le piège est annulé. Pour un joueur, tant qu'un piège est actif, aucun autre ne peut être posé. Nous avons défini cinq pouvoirs :

- Copier un objet : le joueur copie l'un de ses objets. L'objet copié est considéré comme faux et se détruira une fois l'effet magique dissipé. Il faut un cube vide pour pouvoir copier un objet. La copie de l'objet, qu'elle soit contenue dans un cube ou posée sur le terrain, disparaîtra avec la fin du compte à rebours.
- Déguiser un objet : le joueur piégeur déguise l'un de ses objets avec l'identité d'un autre objet qu'elle/il possède. A la fin d'un compte à rebours, qu'il soit contenu dans un cube ou posé sur le terrain, l'objet retrouvera ses caractéristiques d'origine.
- Faire disparaître un objet : à la fin d'un compte à rebours, ce dernier disparaîtra de l'endroit où il se trouve (soit contenu dans un cube, soit posé sur le terrain) pour être replacé aléatoirement par le système sur le terrain.
- Espionner une liste personnelle : à la fin d'un compte à rebours, le joueur piégeur connaît la liste personnelle du joueur détenant l'objet piégé. Si l'objet n'est plus contenu dans un cube, il n'y aura aucun effet.
- Espionner les cubes d'un joueur : à la fin d'un compte à rebours, le joueur piégeur connaît tous les objets des cubes du joueur détenant l'objet piégé. Si l'objet n'est plus contenu dans un cube, il n'y aura aucun effet.

Les pièges sont un élément ludique du jeu. Ils permettent de modifier (de créer) des liens dynamiquement avec un mode d'interaction actif pour le poseur. A l'opposé, les pièges constituent un cas d'interaction passive pour la personne qui subit le piège. Par ailleurs, les différents pouvoirs définissent des rôles différents.

Les actions magiques générales

Pour terminer la description des actions possibles des joueurs, nous décrivons la borne propre à chaque joueur et les fonctions de recherche dans le monde numérique.

Borne. Chaque joueur dispose d'une borne. Il s'agit un lieu particulier du terrain de jeu. Si le joueur est à sa borne, elle/il peut alors acquérir automatiquement les nouveaux filtres de visions disponibles (s'il en manque encore au joueur) et elle/il recharge sa réserve d'unités magiques plus rapidement. Il s'agit d'une interaction active d'un objet vers un utilisateur. Comme nous le soulignons au chapitre IV de la définition de la propriété des liens et en particulier les trois types d'interaction (IV.C.2), l'interaction d'un objet vers un utilisateur n'est pas forcément une interaction passive. Dans le cas d'une interaction avec la borne, le joueur se dirige sciemment vers celle-ci. Cependant, le joueur n'y fait rien. C'est la borne qui lui communique les nouveaux filtres et le recharge plus vite. C'est un cas particulier que nous avons voulu mettre en œuvre afin de vérifier la validité de cette propriété des liens.

Rechercher sur la carte. Certaines recherches sont réalisées dans le monde numérique. Nous appelons cette interaction l'œil magique, car il s'agit de la projection de la perception à un lieu où l'utilisateur n'est pas. Nous favorisons ainsi l'aspect ludique, mais aussi obtenons une interaction plus riche. Ces recherches se font sur la carte, en projetant son regard aux endroits explorés. Il est alors possible de découvrir les vignettes qui y sont. Ceci permet aussi de déterminer qui est à cet endroit, la conscience de groupe localisée étant anonyme. Il est alors possible d'observer des temps d'utilisation composés : un joueur suit la progression des autres joueurs et ses actions comme la collecte ou la dépose de vignette. Plus tard, elle/il pourra alors collecter les vignettes posées (ou laissées) ou utiliser ces informations pour une interaction synchrone que constitue l'échange.

Le superviseur

Finalement, afin de contrôler au mieux les conditions de jeu, nous avons défini un rôle subsidiaire : le superviseur. Le superviseur n'est pas nécessaire au jeu. Cependant elle/il peut paramétrer, surveiller et même intervenir sur le jeu. Elle/il dispose en effet de toutes les informations sur les joueurs : leur sous-liste, ce qu'ils ont dans leurs cubes, leur position sur le terrain, leurs équipes, etc. Elle/il a également la possibilité de déplacer les vignettes. Le superviseur est un utilisateur a priori fixe.

2.3. CONCEPTION

Nous venons de décrire les actions que doivent réaliser les joueurs. Nous traitons dans cette partie de la conception du système TROC. Nous commençons par décrire les objets de l'interaction. Ensuite, nous décrivons les interactions avec les schémas des scénarios projetés. Enfin, nous présentons les spécifications externes du système.

Caractérisation des objets

Dans le jeu TROC, il y a quatre types d'objets intervenant des les interactions : les vignettes, les cubes, la borne propre à chaque joueur et la carte du terrain de jeu. Nous ne décrivons pas à nouveau la carte du terrain de jeu, car sa caractérisation est la même que pour le système MAGIC (figure VI-10 page 158).

Vignettes. La caractérisation des vignettes utilisées dans TROC est décrite par la figure VI-21. Les vignettes sont des objets de type numérique et elles sont originales. Qu'une vignette soit sur le terrain ou dans un cube, il est possible qu'il y ait quelques utilisateurs autour de la cette vignette lors d'une observation directe. Cependant dans le cadre d'une observation à distance, il se peut que personne ne soit en présence de la vignette. Les vignettes sont l'objet de la tâche : les joueurs les recherchent afin de gagner la partie. Finalement, il n'y a pas de savoir particulier relatif aux vignettes.

Le cas des vignettes falsifiées ou des fausses vignettes créées par le pouvoir d'un des joueurs n'est pas traité spécifiquement. Les techniques d'interaction restent inchangées. Il n'est donc pas nécessaire de décrire ces "fausses" vignettes.

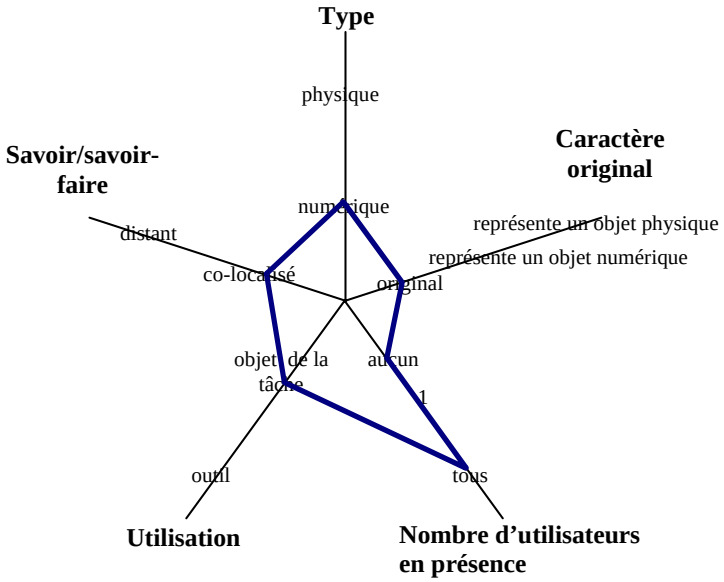


Figure VI-21
la caractérisation des vignettes de TROC

Cubes. La caractérisation des cubes est décrite par la figure VI-22. Un cube est un objet physique et original qui nécessite au moins une personne présente pour en observer le contenu. Il s'agit d'une forme de *Phicon* [Ishii 1997], les cubes sont donc des outils. A l'instar des vignettes, il n'y a pas de savoir-faire particulier lié au cube. L'interaction avec un cube

doit se faire par une reconnaissance du cube et la spécification d'une action, par exemple via une reconnaissance vocale.

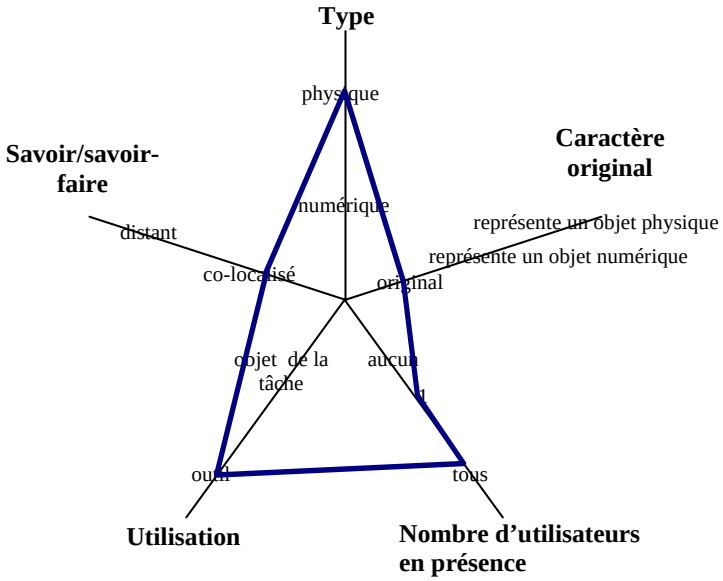


Figure VI-22
la caractérisation des cubes de TROC

Borne. La borne est une zone physique à laquelle correspond une existence numérique, à travers des actions déclenchées lorsque le joueur associé à la borne est à l'intérieur. C'est pourquoi nous définissons la borne comme un objet physique qui représente un objet numérique. L'interaction avec une borne donnée ne fonctionne qu'avec un seul joueur : le nombre d'utilisateurs en présence est forcément 1. Bien qu'il ne s'agisse que d'un élément annexe du jeu, lorsque le joueur désire recevoir de nouveaux filtres ou se recharger en unités magiques, la borne est bien l'objet de la tâche. A l'instar des deux types d'objet décrits ci-dessus, il n'y a pas besoin de connaissance particulière pour interagir avec

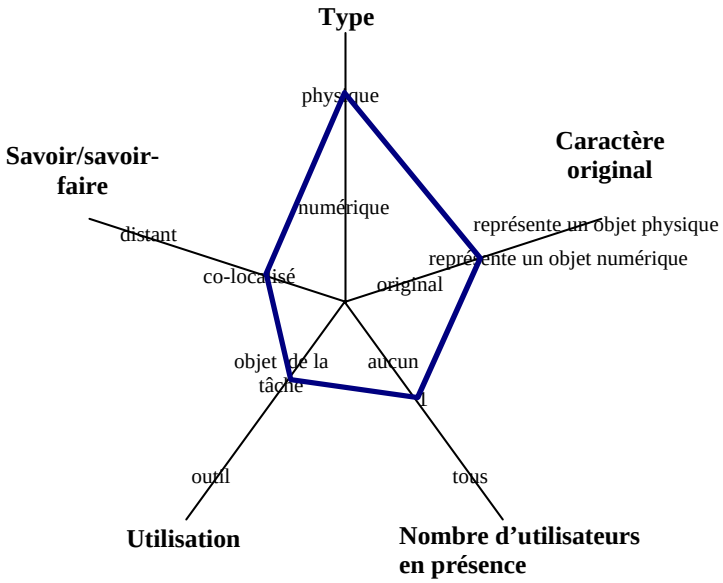


Figure VI-23
la caractérisation de la borne propre à chaque joueur de TROC

la borne, si ce n'est son emplacement. Le kivigraphe de la figure VI-23 représente la caractérisation de la borne propre à chaque joueur.

Scénarios projetés sous forme de schémas

A la section précédente, nous avons caractérisé les objets intervenant dans les interactions. Maintenant, nous sommes en mesure de décrire les scénarios projetés. Nous utilisons la notation présentée au chapitre IV pour décrire les actions intervenant à la fois dans les mondes physique et numérique à savoir : collecter une vignette, déposer une vignette, consulter le cube d'un autre joueur, échanger des vignettes, piéger une vignette, subir un piège et interagir avec sa borne. Notons que nous ne décrivons pas à nouveau le terrain augmenté utilisé dans le jeu TROC pour accéder aux vignettes.

Collecter une vignette. La collecte d'une vignette, illustrée par la figure VI-24, se déroule en deux étapes :

- Tout d'abord, le joueur doit être en présence de la vignette (flèche de l'objet numérique fixe vers l'utilisateur). Le joueur utilise alors un de ses cubes (l'outil) : ceci est marqué par la flèche partant de l'utilisateur, passant par l'outil et arrivant sur l'objet numérique.
- Une fois la collecte effectuée, l'objet numérique est contenu dans le cube (adjacence entre l'objet et l'outil). L'objet est désormais localisé dans le cube, qui se déplace avec l'utilisateur.

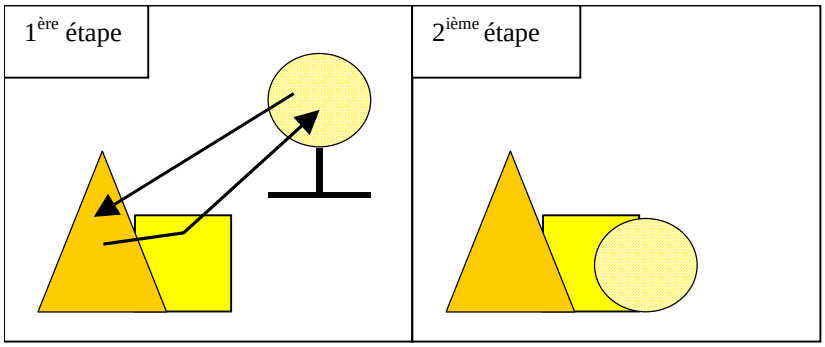


Figure VI-24
le scénario projeté de la collecte d'un objet

Déposer une vignette. La dépose d'une vignette, illustrée par la figure VI-25, se déroule en deux étapes :

- Dans un premier temps, le joueur interagit avec la vignette à travers le cube qui la transporte.
- Dans un second temps, après que la vignette est déposée, le joueur se retrouve dans le cas du terrain augmenté. En effet la vignette déposée est de nouveau fixe et localisée là où le joueur l'a posée

Consulter le cube d'un autre. L'observation d'une vignette dans le cube d'un autre joueur, illustrée par la figure VI-26, se déroule en trois étapes :

- Le joueur D, qui demande la consultation, interagit avec l'un des cubes du joueur P, qui possède le cube consulté.
- Le joueur P donne son accord à la consultation.
- La vignette contenue dans le cube est désormais visible au joueur D.

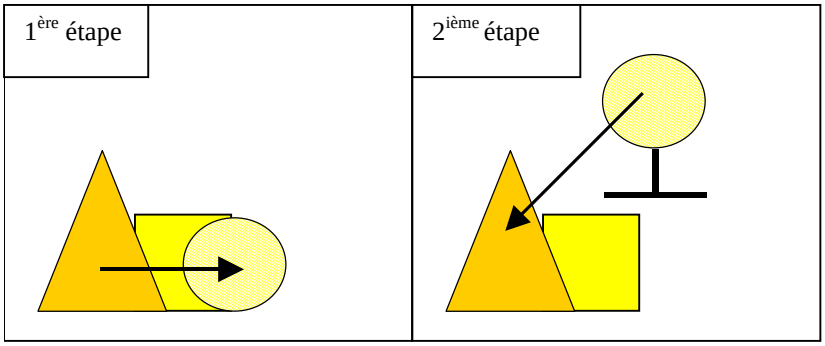


Figure VI-25
le scénario projeté de la dépose de vignette sur le terrain

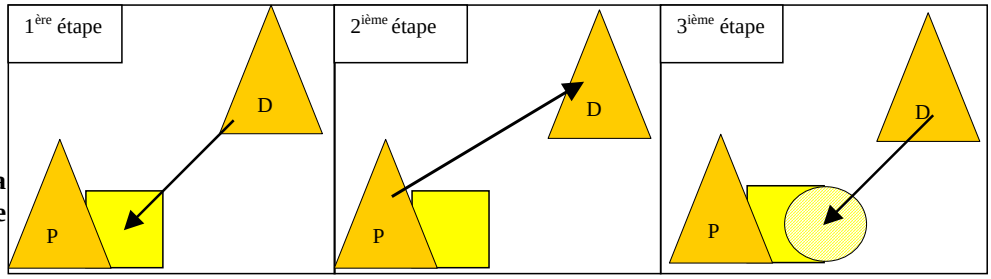


Figure VI-26
le scénario projeté de la consultation d'un cube d'un autre joueur

Echanger deux vignettes. L'échange de vignettes entre deux joueurs, illustré par la figure VI-27, intervient après une consultation exposée ci-dessus. L'échange est initié par un seul joueur. Il se déroule en trois étapes :

- L'un des joueurs demande l'échange en interagissant simultanément avec un de ses cubes et le cube de l'autre joueur. Les vignettes contenues dans ces deux cubes seront échangées.
- Le second joueur donne son accord pour l'échange.
- Finalement, les deux vignettes sont échangées par une permutation : la vignette contenue dans le cube du premier joueur se retrouve dans le cube du second et vice versa.

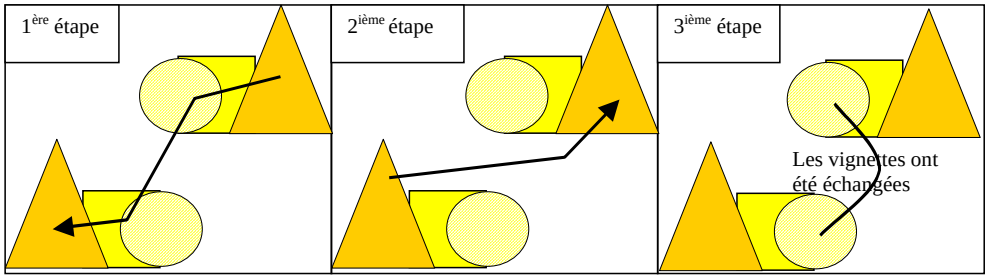


Figure VI-27
le scénario projeté de l'échange de deux vignettes collectées

Piéger une vignette. Piéger une vignette, illustré par la figure VI-28, est une interaction entre un joueur qui désire utiliser son pouvoir sur l'une des vignettes qu'il possède. Il peut y avoir des conditions supplémentaires, comme avoir un cube vide.

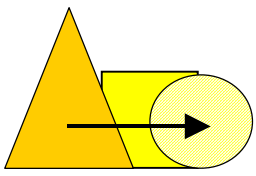


Figure VI-28
le scénario projeté du piégeage d'une vignette

Subir un piège. Subir un piège dépend du piège même. La figure VI-29 illustre le cas de “faire disparaître une vignette”. Subir un piège se passe en deux étapes : la première est le déclenchement proprement dit, la seconde est la résolution du piège, comme la téléportation de la vignette seule à un autre endroit du terrain de jeu.

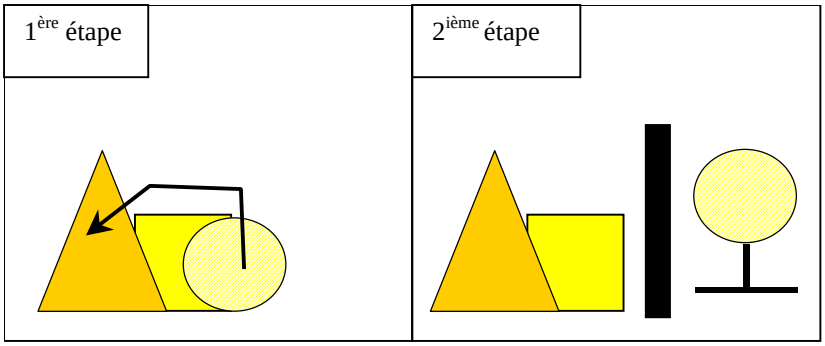


Figure VI-29
le scénario projeté du déclenchement d’un piége, l’exemple avec “faire disparaître un objet”

Interagir avec sa borne. Interagir avec sa borne se déroule en deux temps, comme le montre la figure VI-30 :

- Le joueur se dirige vers sa borne et entre dedans.
- Une fois à l’intérieur de la borne, le joueur reçoit les nouveaux filtres et se recharger plus vite.

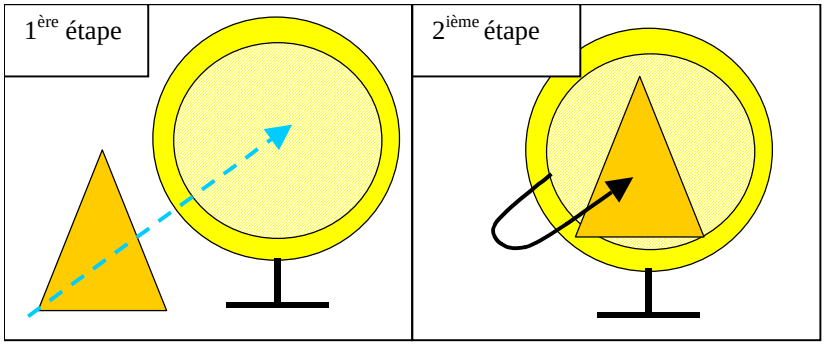


Figure VI-30
le scénario projeté de l’interaction entre un utilisateur et sa borne

Spécifications externes

Du jeu TROC, nous avons défini les règles, caractériser les objets et décrit les scénarios projetés. Nous décrivons maintenant les spécifications du système TROC. La plate-forme présentée au chapitre précédent est de nouveau utilisé. Il y a donc deux dispositifs d’interaction : la tablette et le casque. L’interface a été corrigée et validée par des ergonomes de France Télécom.

Interface sur la tablette. L’interface sur la tablette, illustrée par la figure VI-31, est découpée en quatre parties :

- Partie A : Il s’agit des filtres de vision dont le joueur dispose. Les espaces vides indiquent le nombre de filtres qu’elle/il lui manque. Les filtres sont représentés par les images des vignettes, mais sans couleur.
- Partie B : C’est la sous-liste des vignettes que le joueur doit collecter. Les vignettes que le joueur possède et qu’elle/il doit

retrouver sont mises en valeur comme c'est le cas du chat bleu sur la figure VI-31.

- Partie C : Les cubes sont représentés numériquement sur la tablette. Ceci permet de vérifier discrètement ce que contiennent les cubes. Les boutons placés en dessous permettent de réaliser les actions sur les cubes et les vignettes qu'ils contiennent : prendre, échanger, poser et piéger. Ces boutons peuvent être utilisés plutôt que les cubes physiques associés à une reconnaissance vocale. Il s'agit de deux modalités d'interaction fonctionnelement équivalentes qui assurent de la souplesse d'utilisation et une mesure de sauvegarde en cas de problème avec les cubes ou la reconnaissance vocale. La validation de la sous-liste se fait par le dernier bouton, tout en bas de la colonne comportant les parties A, B et C.
- Partie D : La carte du terrain de jeu est un lieu d'interaction particulier. Elle permet de voir la position des joueurs. Elle permet aussi des actions de recherche à distance avec l'œil magique. Sur la figure VI-31, un œil de taille intermédiaire est utilisé. Il permet de voir les chats sur cette zone : le chat jaune et le chat rouge. Seuls les chats sont visibles car c'est le seul filtre qui est activé dans la zone A. Les interactions classiques avec une carte (zoom, déplacement de la zone affichée, etc.) sont implémentées.

Par ailleurs, des informations complémentaires et subsidiaires (les informations sur le piège en cours, l'historique des actions, le rappel des coûts en unités magiques des actions et les informations sur les joueurs) sont disponibles à partir des boutons en dessous de la carte.

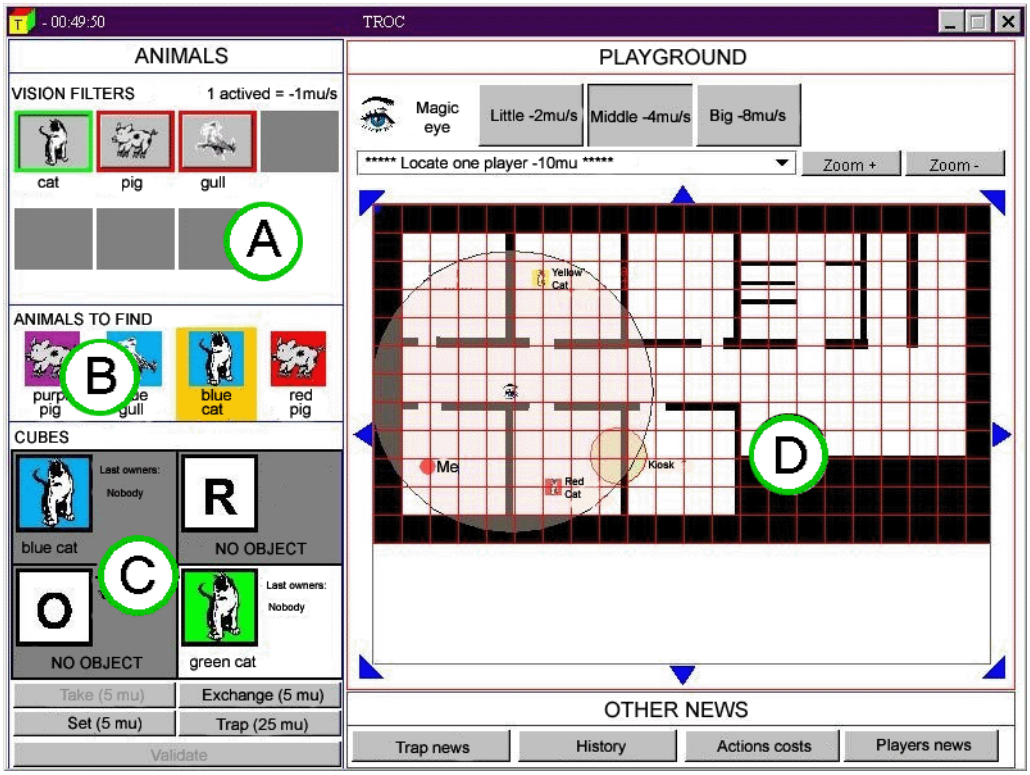


Figure VI-31
l'interface du système TROC sur la tablette

Interface dans le casque. La figure VI-32 est un photomontage (une copie d'écran réalisé dans le casque) avec une image de fond afin d'illustrer ce que les joueurs peuvent percevoir. Au centre, il y a la perception des vignettes, c'est à dire le terrain augmenté. Tout autour, il y a des informations périphériques comme le temps de jeu restant, le niveau d'énergie magique, etc. Les icônes en bas à gauche de la figure VI-32 rappellent les filtres de vision activés et si l'œil magique est utilisé.

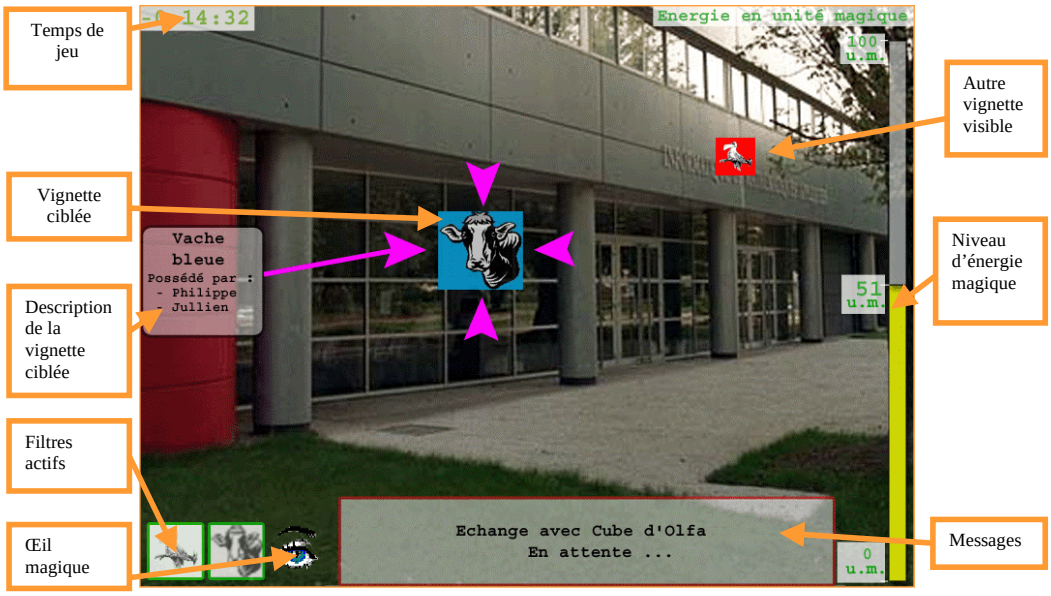


Figure VI-32 un photomontage de l'interface dans le casque du système TROC

2.4. RÉALISATION LOGICIELLE

Nous détaillons la réalisation logicielle du système TROC. Comme l'illustre la figure VI-33, nous avons suivi le modèle d'architecture présenté à la section 1 "Architecture logicielle" du chapitre V page 119. Le Noyau Fonctionnel (NF) partagé contient la description du terrain de jeu (la carte). Il maintient la liste des utilisateurs et permet le partage des positions des utilisateurs entre-eux. De plus, le NF partagé gère "l'état numérique et ludique" des utilisateurs (niveaux d'énergie magique, pièges en cours, listes à découvrire, formules obtenues et celles disponibles à la borne, etc.). De même, le NF partagé maintient l'ensemble des vignettes (localisations, apparences variables selon les pièges, etc.).

La connexion réseau (IR pour Interface Réseau à la figure VI-33) se situe entre le NF partagé et l'Adaptateur du Noyau Fonctionnel (ANF). L'ANF et les autres composants de l'architecture sont exécutés sur la tablette. L'ANF permet la traduction des données envoyées par le NF partagé selon les règles du jeu et l'état numérique et ludique du joueur. L'ANF gère aussi l'accès aux fichiers images et sons enregistrés sur la tablette qui constituent le NF privé.

Le Contrôleur de Dialogue (CD) est détaillé à la figure VI-34 page 181. La passerelle n'étant pas réutilisée, la hiérarchie d'agents PAC est classique. Un agent "Ciment" gère les échanges entre la fenêtre affichée

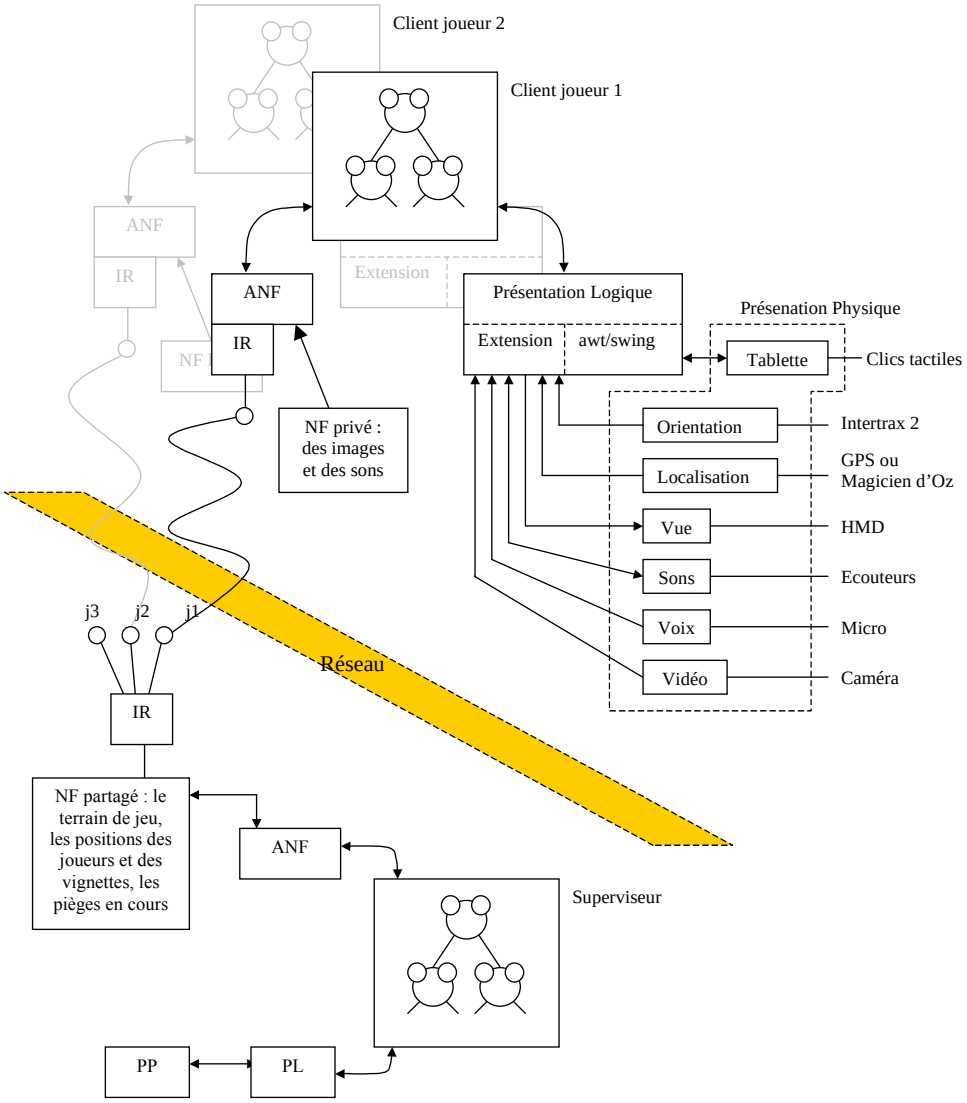


Figure VI-33
l'architecure logicielle du système TROC suivant le modèle PAC-Amodeus adaptées aux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles
La partie inférieure de la figure montre l'insertion de l'application (classique) du superviseur qui partage le même Noyau Fonctionnel que les applications des joueurs mobiles.

sur la tablette, illustrée par la figure VI-31 et définie par l'agent "Tablette", et la fenêtre affichée dans le casque, illustrée par la figure VI-32 et définie par l'agent "Casque". L'agent "Tablette" possède un fils par zone notée sur la figure VI-31 :

- L'agent "Filtres" correspond à la zone A et traite les filtres de vision disponibles et ceux activés.
- L'agent "Liste" correspond à la zone B et traite de la sous-liste que le joueur doit retrouver.
- L'agent "Cube" correspond à la zone C et maintient une image numérique des cubes du joueur et ce qu'ils contiennent.
- L'agent "Carte" correspond à la zone D et permet les interactions avec la carte du terrain de jeu, comme la recherche avec l'œil magique, ainsi que la conscience de groupe localisé. Cet agent détermine également les objets visibles dans le casque.
- L'agent "Other News" correspond aux actions accessibles par les boutons en dessous de la zone D, comme l'historique des actions.

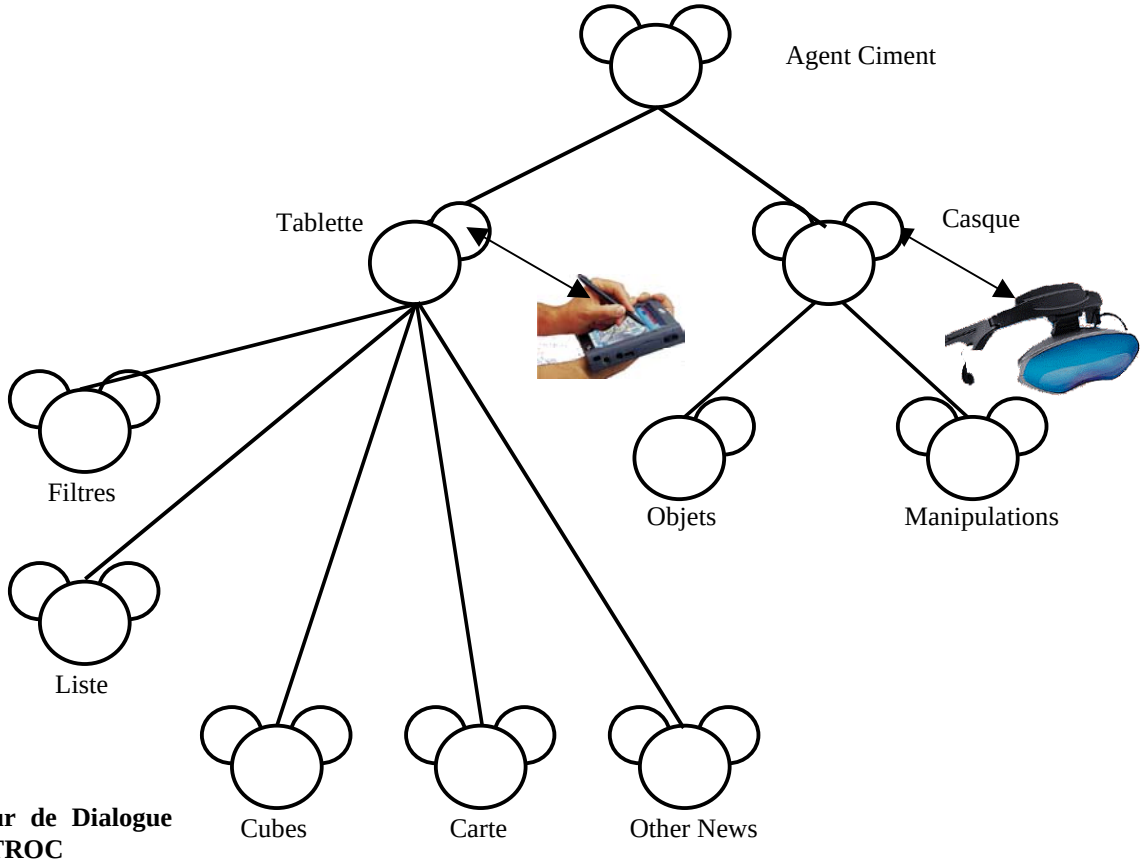


Figure VI-34
le Contrôleur de Dialogue du système TROC

L'agent “Casque” gère les données périphériques affichées dans le casque. Il a deux fils : l'agent “Objets” qui traite du rendu des vignettes visibles et l'agent “Manipulation” qui traite de la reconnaissance des cubes, ainsi que des actions alors possibles. Nous avons essayé une reconnaissance des cubes par analyse d’image, à la manière de l’*ARToolkit* [Kato 1999]. Nous cherchons à avoir une reconnaissance économe en ressources informatiques, les tablettes utilisées n’étant pas très puissantes. Nous avons essayé de limiter la zone d’analyse et donc la complexité des calculs. Notre approche a été de recherche dans cette zone un cube à partir de la reconnaissance d’un cadre rouge. Mais cette reconnaissance n’est pas assez robuste, car elle dépend beaucoup des conditions d’éclairage. Or la luminosité est par définition changeante lors d’une utilisation mobile. Par ailleurs, la reconnaissance des couleurs est limitée par le matériel, la caméra sature assez vite. Aussi, nous ne l’avons pas essayée lors de nos tests avec les utilisateurs que nous présentons dans la partie suivante.

Comme le montre la figure VI-33 page 180, nous détaillons les Présentations Logique et Physique. Les données contextuelles sont acheminées vers les agents “Objets” et “Carte” par la Présentation Logique. Puisque nous simulons le localisateur par la technique du magicien d'Oz, il n'y a pas de conversion à faire : l'application du compère envoie directement les coordonnées sous le bon format.

Nous ne détaillons pas l'interface du superviseur qui est une application classique.

Comme le prototype MAGIC, le système TROC est développé en Java et utilise la librairie JMF (*Java Media Framework* pour interfacer la caméra avec Java). La technique d'interaction du Terrain Augmenté a été reprise de MAGIC, et concerne 350 lignes de code. L'application client/joueur de TROC correspond à 22132 lignes de code et Le NF partagé à 6529. L'interface du superviseur correspond à 11488 lignes de code, mais partage beaucoup d'éléments avec le client/joueur, notamment la carte, évaluée à 500 lignes de code. Ces 500 lignes se retrouvent dans les 1441 lignes de l'application du compère du magicien d'Oz.

3. Evaluations

Nous avons réalisé deux séries de tests avec le système TROC. La première, dans le cadre du projet Houria II, vise à évaluer l'acceptation de la superposition d'un monde numérique avec l'environnement physique des utilisateurs. La seconde cherche à étudier l'asymétrie des rôles entre un utilisateur mobile et un utilisateur fixe.

3.1. ACCEPTATION DE LA RÉALITÉ MIXTE

Objectifs de l'expérience

Dans cette expérimentation, nous étudions l'apport de la superposition d'informations numériques sur un environnement physique dans un contexte de jeu en situation de mobilité.

Nous visons à répondre à des questions relatives à l'efficacité de l'usage de la superposition du monde numérique sur le monde physique comme : des obstacles permettent-ils de mieux se repérer et localiser une image numérique dans l'espace ? Un son spatialisé permet-il d'être plus rapide à localiser un objet ?

Description de l'expérience

Huit sujets ont participé à l'expérimentation. Ils sont tous familiers avec les ordinateurs et amateurs de jeu vidéo. Les sujets étaient répartis de façon aléatoire en quatre équipes de deux joueurs.

Quatre conditions expérimentales ont été étudiées. Dans la première condition, les sujets entendent des sons signifiant les retours d'actions, c'est la condition "sans son spatialisé". Dans la seconde condition, les sujets peuvent entendre en plus de la condition précédente, le cri de l'animal avant de visualiser et localiser l'image numérique de l'animal à

capturer, c'est la condition "avec son spatialisé". Dans la troisième condition, les sujets se trouvent dans un espace avec des murs, des couloirs…, c'est la condition terrain "avec repère". Dans la quatrième condition, les sujets se trouvent dans un espace limité mais vide (une salle de réunion), c'est la condition terrain "sans repère". La combinaison de ces différentes conditions nous donne le protocole expérimental ci-dessous :

- Les équipes n°1 et n°3 passent la condition "sans son spatialisé" en premier puis la condition "avec son spatialisé" dans le terrain "avec repère".
- Les équipes n°2 et n°4 passent la condition "avec son spatialisé" en premier puis la condition "sans son spatialisé" dans le terrain "sans repère" .

L'expérimentation se décomposait en trois phases :

- Une première phase consiste pour les joueurs à se familiariser avec le système et les règles du jeu TROC.
- Une deuxième consiste à la situation de jeu.
- Une troisième consiste en un entretien post-expérimental.

A chaque situation expérimentale, chacune des équipes jouait deux parties, ce qui fait quatre parties pour chacun des joueurs, réparties sur deux jours différents.

Différentes données ont été recueillies au cours de l'étude. Durant le jeu, un expérimentateur suivait et filmait chacun un des joueurs dans ses déplacements et ses interactions avec le système. Un enregistrement pendant de la prise en main et l'entretien d'auto-confrontation (les participants revoyaient leurs parties) a été réalisé afin de permettre une analyse quantitative à partir des intentions, ressentis et stratégies des sujets quant à l'usage des outils et de la réalité mixte.

Résultats de l'expérience

Il faut indiquer que pour des raisons techniques, le jeu TROC a été expérimenté dans des petits espaces (étages dans les locaux de l'université ou salle de réunion) ce qui a entraîné un environnement facile à retenir et dans lequel, il a été facile de se mouvoir.

D'une façon générale, on peut constater une prégnance des vignettes et des informations numériques associées à un oubli de l'environnement naturel. Les résultats sont les suivants :

- Certains sujets n'ont pas perçu les informations qui apparaissent dans le bas de l'écran du casque. Les vignettes numériques ont été très visuellement prégnantes, des sujets ont même eu envie de les saisir surtout lorsqu'elles sont présentées très près (elles semblent alors avoir une grande taille, comme quand nous nous rapprochons très près d'un objet).

- La majorité des sujets ont un sentiment d'incohérence et d'ambiguïté lorsqu'ils visualisent un animal numérique derrière un obstacle car il faut contourner l'obstacle pour récupérer l'image numérique alors qu'il est possible de la voir de la même façon/manière qu'une image sans obstacle devant. Ce problème a été corrigé dans le système pour l'expérience suivante : une vignette derrière un mur est affichée avec une sorte de mur de brique transparente.
- Dans la condition sans repère, les sujets ont plus de difficulté à localiser les animaux, ils ont une stratégie appelée à tâtons alors que dans la condition avec repère, ils mémorisent plus aisément l'endroit où est l'animal à localiser. C'est pourquoi nous marquons les bornes des joueurs avec des objets (par exemple une chaise) lors des expérimentations suivantes.
- La spatialisation du son facilite la localisation des animaux numériques dans le monde physique : le son est joué avant la visualisation de l'image numérique dans le casque. Les sujets ont une sensation de lien entre le monde physique et le monde numérique renforcée avec le son spatialisé, comme si ce son permettait un passage sans couture (*seamless*) entre les deux mondes. Ils ont aussi l'impression que le jeu est plus intéressant et plus vivant.

3.2. ASYMÉTRIE DES RÔLES ET CONSCIENCE DE GROUPE

Objectifs de l'expérience

La seconde série d'expériences menée à partir du système TROC vise l'étude de la collaboration entre deux utilisateurs n'ayant pas les mêmes rôles et ne disposant pas de la même interface. TROC est un système respectant la cohérence de l'augmentation, une propriété ergonomique introduite à la sous-section "Cohérence de l'augmentation" du chapitre IV page 99. Cependant, il n'est pas toujours possible de fournir aux utilisateurs les mêmes outils et de leur fournir des outils respectant la propriété WYSIWIS présentée au chapitre II. Aussi, nous avons étudié l'asymétrie des rôles en détournant l'utilisation de TROC. En effet, bien qu'un des utilisateurs soit mobile, l'autre est fixe devant l'interface du superviseur. A la différence du système *Can You See me Now ?* [Can you see me now ?] ou du jeu *Human Pacman* [Cheok 2003] avec le compère distant de chaque joueur mobile, la communication entre les utilisateurs n'est pas instrumentée. Les objectifs de l'expérience sont :

- de déterminer si les utilisateurs parviennent à se comprendre, à partager un espace commun de collaboration,

- de vérifier si la propriété de conscience de groupe localisé, introduite à la section 3.4 “Synthèse” du chapitre II page 46, aide les utilisateurs à se faire une idée de l’activité des autres
- et de vérifier si le fait d’être en contact visuel est un fait important de la collaboration.

Description de l’expérience

L’utilisation du logiciel a été adaptée au besoin de l’expérience :

- Deux utilisateurs participent à chaque expérimentation.
- L’une/l’un joue le rôle de collecteur. Elle/Il est équipé de la plate-forme matérielle, mais n’a pas besoin d’utiliser la tablette. Toutes les formules pour voir les animaux sont disponibles et n’ont pas besoin d’être activées. Le collecteur peut donc voir les animaux situés à moins de 5 mètres de lui. Son objectif est de ramasser 5 animaux. L’action de collecter se fait en passant à travers la vignette représentant l’animal.
- Chaque participant intervient deux fois : une première fois en tant que collecteur, une seconde fois en tant que guide. L’autre joue le rôle de guide. Elle/il est fixe, devant l’interface superviseur, mais en noir et blanc. Elle/il observe le terrain de recherche. Elle/il connaît ainsi la position et la nature des animaux sur le terrain, mais pas leur couleur. Par exemple, elle/il sait qu’une mouette est à tel endroit, mais pas sa couleur. Le guide dispose de la liste des 5 animaux (nature et couleur). Elle/il doit coopérer avec le collecteur pour retrouver les animaux. Si par exemple, ils doivent retrouver un chat bleu, le guide indique des lieux probables (là où sont les chats) et le collecteur doit vérifier la couleur des chats et ramasser le chat bleu. La communication se fait de vive voix. Le guide dispose de la liste à collecter sur un papier et d’un stylo pour cocher les animaux retrouvés.
- Onze personnes, toutes familières avec l’informatique, ont participé à l’expérience. Compte-tenu des problèmes à maîtriser la difficulté de la tâche de recherche et de collecte, les animaux sont placés aléatoirement sur le terrain de fouille, la liste à rechercher restant la même. Ceci a fait qu’un cas sur dix n’est pas très significatifs du fait de la proximité des animaux à collecter. Le terrain de recherche est l’ensemble des bureaux de l’équipe IIHM du CLIPS, dans bâtiment B de l’IMAG. Ceci contient le hall d’arrivée des escaliers, les toilettes, une partie du couloir et six bureaux. La figure VI-35 montre le parcours d’un des explorateurs sur la carte représentant le terrain de fouille. Chaque point représente une position, enregistré à écart d’environ une seconde. La couleur des traits reliant deux points est fonction de l’indice des points : pour les premiers points, la couleur tire sur le rouge. Cette couleur se dégrade vers le bleu plus elle indique des positions du collecteur tardives lors du déroulement de l’expérience.

Une variation nette de changement de couleur indique une immobilité du collecteur pendant quelques secondes.

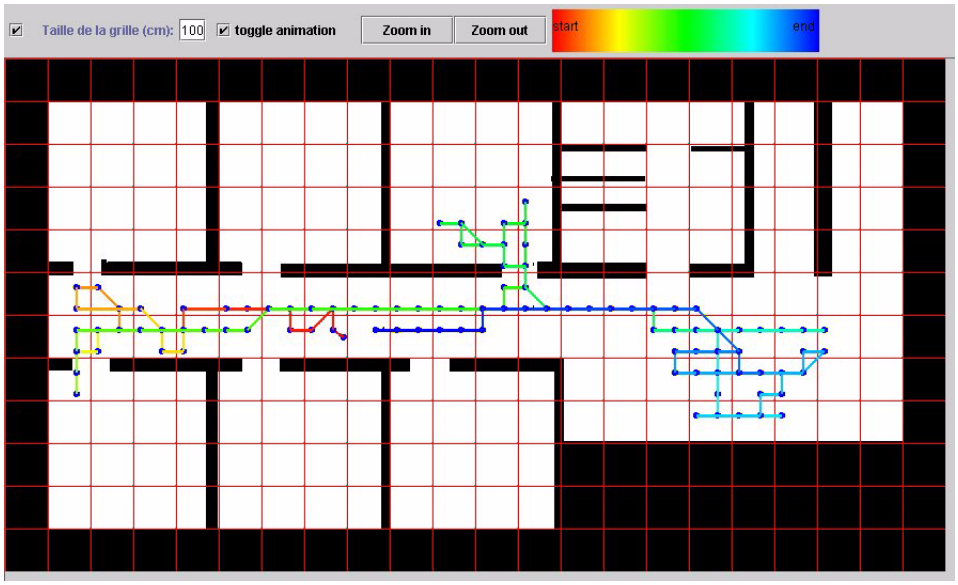


Figure VI-35
le parcours d'un des utilisateurs pendant la seconde expérimentation

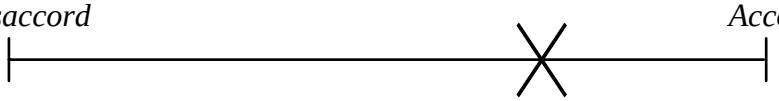
L'expérience se déroulait comme suit :

- Tout d'abord, les participants prennent connaissance de leur rôle en lisant une description de leurs tâches. Ils ont la possibilité de poser des questions si nécessaire.
- Le collecteur est équipé et le guide placé devant l'application superviseur, dans le couloir (endroit marqué par le début en rouge sur la figure VI-35). La localisation étant simulé par la technique du magicien d'Oz exposée à la sous-section "Simulation du capteur de localisation par magicien d'Oz" du chapitre V page 147, le compère qui suit le collecteur pour la localisation se prépare également, ainsi que le caméraman qui filme le collecteur. Une caméra fixe filme le guide.
- Une fois que tous les protagonistes sont prêts, l'expérience commence.

En plus des données enregistrées (position et l'orientation du collecteur une fois par seconde et les films), nous disposons des questionnaires remplis par les volontaires après l'expérience et de leurs interviews. Les questionnaires comportent dix questions, dont huit sont sous forme d'affirmation, les utilisateurs donnant leurs réponses sur une échelle continue de Likert de 100 millimètres, illustrée par la figure VI-36. La moyenne des réponses (distance avec le bord désaccord) et l'écart type permettent de déterminer le degré d'accord avec l'affirmation et l'uniformité des réponses entre les utilisateurs. Les documents distribués aux volontaires sont disponibles en annexe.

1. Dans le cas où je pouvais voir directement le chercheur, j'ai eu le sentiment de savoir où se trouve le chercheur par rapport à l'animal requis.

Désaccord *Accord*



une réponse à 70 mm du bord "Désaccord" exprime un avis plutôt positif

Figure VI-36 une échelle de 10 mm et continue de Likert

Résultats de l'expérience

Partage d'un espace commun. Les affirmations relatives au partage d'un espace commun proposées aux guides sont les suivantes :

- G4 : J'ai eu le sentiment d'être dans le même espace du collecteur et de ne pas avoir été loin de lui. [Moyenne : 66, Ecart type : 26.8]
- G5 : J'ai trouvé que c'était difficile de faire mes indications compréhensibles pour le collecteur. [Moyenne : 31, Ecart type : 25.9]
- G7 : J'ai trouvé que c'était difficile de comprendre le rapport entre la carte de l'ordinateur et l'espace de l'expérience pendant que j'étais en train de l'utiliser. [Moyenne : 26, Ecart type : 25.6]

Les affirmations relatives au partage d'un espace commun proposées aux collecteurs sont les suivantes :

- C4 : J'ai eu le sentiment d'être dans le même espace que le guide et de ne pas avoir été loin de lui. [Moyenne : 75, Ecart type : 32.5]
- C5 : J'ai trouvé que c'était difficile de comprendre les indications du guide. [Moyenne : 15, Ecart type : 19.9]
- C6 : J'ai facilement compris la relation entre les indications du guide et l'affichage des objets numériques dans mes lunettes. [Moyenne : 73, Ecart type : 31.7]
- C7 : J'ai trouvé que c'était difficile de comprendre le rapport entre l'affichage des objets numériques dans mes lunettes et l'espace de l'expérience. [Moyenne : 35, Ecart type : 29.6]

Compte tenu de leur interface plus immersive, les guides ne pensent pas partager le même espace physique que les collecteurs (question G4). A l'inverse, les collecteurs ont le sentiment d'évoluer dans le même espace physique que les guides (question C4). Puisque les collecteurs et les guides partagent leurs modèles de l'espace physique à travers des descriptions et des indications orales, ces résultats suggèrent que la communication directe entre les deux types d'utilisateur comble les disparités entre les interfaces.

Bien que les guides éprouvent une impression d'immersion plus grande, ils ne ressentent pas beaucoup de difficultés à donner leurs indications aux collecteurs (question G5). Dans le même temps, les collecteurs comprennent facilement ces indications ainsi que la correspondance entre

les vignettes positionnées dans leur environnement physique et ces mêmes indications (questions C5 et C6).

Tandis que les guides appréhendent assez facilement la carte (question G7), il semble qu'il soit un peu plus difficile pour les collecteurs (question C7) de faire correspondre l'espace physique avec la position des vignettes. A la vue des commentaires des collecteurs, la latence dans l'affichage des vignettes est à l'origine de cette difficulté.

Il apparaît donc que même si certains guides ne semblent pas partager le même modèle de l'espace physique dans lequel évoluent les collecteurs, la collaboration est relativement facile entre les deux types d'utilisateurs.

Conscience de groupe localisée. Nous avons défini la conscience de groupe à la section 3.4 "Synthèse" du chapitre II page 46 par : "la capacité d'un collecticiel mobile à rendre compte de l'activité des utilisateurs en relation avec leurs positions". Les affirmations relatives à la conscience de groupe localisée proposées aux guides sont les suivantes :

- G3 : Je savais toujours le point de regard du collecteur. [Moyenne : 68, Ecart type : 31.4]
- G6 : J'ai facilement compris comment utiliser la carte de l'ordinateur pour savoir ce que le collecteur était en train de faire. [Moyenne : 91, Ecart type : 6.0]

Puisque les guides sont les seuls à consulter la carte, ils sont les seuls à avoir eu des questions sur la conscience de groupe localisée. Même si la direction du regard du collecteur n'est pas toujours connue (question G3), certainement à cause du mode de représentation pas assez perceptible (un arc de couleur sur la pastille représentant le collecteur mais l'écran est réglé en noir et blanc), l'utilisation de la carte pour comprendre l'activité d'un utilisateur distant semble intuitive (question G6). Ces résultats indiquent que la carte est un support facile d'utilisation pour représenter la conscience de groupe localisée.

Contact visuel. Les affirmations relatives au contact visuel proposées aux guides sont les suivantes :

- G1 : Dans le cas où je pouvais voir directement le collecteur, j'ai eu le sentiment de savoir où se trouve le collecteur par rapport à l'animal requis. [Moyenne : 51, Ecart type : 36.2]
- G2 : Dans le cas où je ne pouvais pas voir directement le collecteur, mais où je pouvais uniquement regarder l'écran de l'ordinateur, j'ai eu le sentiment de savoir où se trouvait le collecteur par rapport à l'animal requis. [Moyenne : 83, Ecart type : 17.9]

Les affirmations relatives au contact visuel proposées aux collecteurs sont les suivantes :

- C1 : Dans le cas où je pouvais voir directement le guide, j'ai bien compris où se trouvait l'animal requis par rapport à ma position. [Moyenne : 68, Ecart type : 33.9]
- C2 : Dans le cas où je ne pouvais pas voir directement le guide, mais où je pouvais uniquement l'entendre, je savais où je me trouvais par rapport à l'animal requis. [Moyenne : 82, Ecart type : 16.4]
- C3 : Je faisais attention aux actions du guide pendant que je pouvais le voir. [Moyenne : 17, Ecart type : 30.2]

Les résultats indiquent que le contact visuel n'est pas nécessaire pour que les utilisateurs puissent collaborer. Le fait que les guides ne tirent pas profit d'un contact visuel (question G1) s'explique par le manque d'information sur leur environnement. En effet, les guides ne disposent pas de fonctionnalités augmentées, et il leur est assez compliqué d'un point de vue cognitif de superposer l'espace physique proche et les vignettes qui sont représentées sur la carte. Ceci rejoint l'impression nuancée de ne pas partager le même espace que les collecteurs (G4). Par contre, lorsque les collecteurs sont hors de vue des guides, l'interaction a lieu sur la carte. Les guides ont alors une bonne idée de l'activité des collecteurs (question G2), ce qui complète les résultats sur la conscience de groupe localisée.

L'impact du contact visuel avec un guide varie selon les collecteurs (question C1). Les vidéos montrent que certains collecteurs regardent leur guide qui leur fait des gestes. Cependant, certains guides restent concentrés sur la carte (et ne communiquent pas avec des gestes avec les collecteurs). Il semble que la proximité aide les utilisateurs à collaborer, puisque les collecteurs ne prêtent généralement pas d'attention aux actions du guide quand ils pouvaient le voir (question C3). Il n'y a pas de corrélation entre les questions C1 et C2 (coefficient de 0.20). Ceci indique que le bénéfice n'est pas visuel, mais oral, la proximité favorisant la communication. En revanche, le non-contact visuel ne nuit pas à l'activité du collecteur (question C2).

Bilan de l'expérience

En résumé, cette expérience donne des indications sur une collaboration asymétrique :

1. Les personnes immergées (les guides) ne pensent pas partager le même espace de travail que les personnes maintenues dans le monde physique (les collecteurs). A l'inverse, les collecteurs estiment le contraire. Malgré cette disparité, la collaboration n'en est pas moins possible.
2. Le contact visuel n'est pas nécessaire à une bonne collaboration. La conscience de groupe localisée peut pallier les manques de contact visuel.

Par ailleurs, la carte est un support valide pour la conscience de groupe localisée.

4. Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons décrit deux systèmes que nous avons développés :

- Le premier, MAGIC, est un système dédié à la fouille archéologique. Par nos tests informels, nous avons pu expérimenter des caractéristiques des liens entre les mondes physique et numérique exposés au chapitre IV. Cependant, aucun test avec des utilisateurs finaux n'a été réalisé avec MAGIC.
- Le second, TROC, est un jeu d'échanges. Il complète l'exploration des caractéristiques et des propriétés des liens.

Deux séries de tests utilisateurs ont été réalisées avec le système TROC. La première expérience concerne l'acceptation de la réalité mixte en situation de mobilité. Les principaux résultats de cette expérience sont les suivants :

- La réalité mixte est globalement acceptée par les utilisateurs, même si l'impression d'interagir dans le monde physique n'est pas acquise.
- Les repères physiques facilitent la création d'un espace cognitif assurant la superposition du monde numérique sur le monde physique. La carte seule ne suffit pas à localiser sans effort les objets numériques.
- Les sons spatialisés renforcent les liens entre les deux mondes.

La seconde expérience a exploré la collaboration entre deux d'utilisateurs aux rôles différents : des guides et des collecteurs mobiles. Les principaux résultats de cette expérience sont :

- Les personnes immergées (les guides) ne pensent pas partager le même espace de travail que les personnes maintenues dans le monde physique (les collecteurs). A l'inverse, les collecteurs estiment le contraire. Malgré cette disparité, la collaboration n'en est pas moins possible.
- Le contact visuel n'est pas nécessaire à une bonne collaboration. La conscience de groupe localisée peut pallier les manques de contact visuel.
- La carte est un support valide pour la conscience de groupe localisée.

Afin de poursuivre l'évaluation de l'utilisation des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles, nous envisageons d'autres expérimentations :

- En se reposant sur l'équivalence fonctionnel des modalités, par exemple pour les interactions avec les vignettes et les cubes, nous voulons étudier et comprendre quand les utilisateurs préfèrent "travailler" dans le monde numérique, dans le monde physique ou dans un monde mixte.
- Par ailleurs, une chasse aux trésors mise en œuvre à partir du système TROC est proposée aux journées CNRS de "la science en fête", du 11

au 17 octobre 2004. Ceci constitue une possibilité de retour du grand public.

Chapitre VII Conclusion

Centrés sur l'instrumentation des activités ancrées dans le monde physique en situation de mobilité et de collaboration, les travaux décrits dans ce mémoire de thèse sont dédiés à la conception et à la réalisation des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles.

Nous proposons ici, en conclusion, un résumé de nos contributions. Une prise de recul par une analyse critique des résultats nous permet ensuite de cerner les limites de nos travaux. Finalement, nous identifions plusieurs perspectives à nos travaux.

1. Résumé des contributions

Nos travaux de recherche contribuent à la conception et à la réalisation des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. En accord avec notre démarche scientifique, une première contribution est d'ordre terminologique et consiste en une définition et en une caractérisation des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Le domaine cerné, nos contributions concernent alors deux phases distinctes du cycle de vie des systèmes interactifs : la conception ergonomique et la conception logicielle. Enfin nos contributions logicielles résident dans deux systèmes mixtes collaboratifs et mobiles dévéloppés et testés.

1.1. DÉFINITIONS

La démarche adoptée pour mener ces travaux est d'analyser l'influence mutuelle des trois facettes de cette étude : l'informatique mobile (que nous avons réduite aux systèmes sensibles à la localisation et à

l'orientation), les collecticiels et les systèmes mixtes. Au chapitre II, nous caractérisons l'usage des collecticiels sur supports mobiles à travers un découpage espace-temps étendu, comprenant trois axes :

- Confiné-vagabond : un collecticiel confiné est un système dont l'utilisation est limitée à un espace physique déterminé. A l'opposé, un collecticiel vagabond est un système utilisable de partout.
- Ensemble-dispersés (ou lieu identique-lieux différents) : cet axe caractérise la distance relative entre les utilisateurs.
- Temps d'utilisation : les utilisateurs peuvent collaborer en même temps (ils sont alors synchrones), à des temps différents (ils sont alors asynchrones). Néanmoins la réalisation d'une tâche collaborative sur supports mobiles repose souvent sur des activités à la fois synchrones, asynchrones et les deux simultanéments. Il s'agit alors de temps d'utilisation composés.

De plus, au chapitre III, nous définissons :

- les systèmes mixtes sur supports mobiles comme des systèmes dont les augmentations dépendent de la localisation et de l'orientation de l'utilisateur,
- et les systèmes mixtes collaboratifs comme des systèmes dont les augmentations dépendent des actions des utilisateurs.

Ainsi en combinant ces définitions, nous définissons au chapitre IV les systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles par :

Un système mixte collaboratif sur supports mobiles est un système dont les augmentations pour un utilisateur dépendent à la fois de sa localisation, de son orientation et des activités des utilisateurs.

Les systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles se caractérisent aussi selon le découpage spatio-temporel des collecticiels sur supports mobiles. Nous caractérisons également les augmentations, les liens entre les mondes physique et numérique, par leurs dynamiques :

- La création, la modification et l'accès à un lien peuvent être actifs (l'utilisateur agit alors explicitement) ou passifs (l'utilisateur n'interagit pas explicitement avec le système informatique).
- Ces liens peuvent être éphémères ou persistants.

Nous identifions également au chapitre IV trois traits caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles :

- la localisation de l'interaction à travers les liens,
- trois types d'interaction (homme->objet, objet->homme ou homme-homme),
- et l'asymétrie des rôles des différents utilisateurs découlant de l'activité et pouvant conduire à la réalisation de différentes interfaces, une pour chaque rôle.

Outre l'aspect terminologique, ces définitions et ces caractéristiques permettent de cerner et d'appréhender les systèmes mixtes collaboratifs

sur supports mobiles pour en étudier la conception ergonomique et logicielle.

1.2. CONCEPTION ERGONOMIQUE

Dans la seconde partie du chapitre IV, nous décrivons un processus de conception et de développement pour les systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Ce processus est basé sur des scénarios. Tandis que l'analyse des besoins s'appuie sur les scénarios de la tâche réelle et sur les scénarios de l'activité, la conception ergonomique repose sur des scénarios projetés. Les scénarios projetés sont élaborés pendant la phase de spécifications externes. Ils matérialisent et mettent en contexte les interactions avec le futur système. Ainsi, par un processus itératif, passant des scénarios projetés abstraits aux scénarios projetés concrets, l'interaction avec le système mixte collaboratif sur supports mobiles est entièrement conçue. Nous proposons une notation graphique des scénarios projetés abstraits afin d'aider le concepteur dans ce processus itératif. La notation reprend les caractéristiques des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles.

Enfin, nous identifions quatre nouvelles propriétés ergonomiques qui peuvent servir de guide lors de la conception de l'interaction :

- La conscience de groupe localisée (chapitre II) concerne la représentation des activités des utilisateurs en fonction de leurs positions, notamment sur une carte de l'espace physique d'utilisation.
- L'observabilité mixte (Chapitre IV) invite les concepteurs à n'utiliser que les données nécessaires pour l'établassement des liens, ni plus, ni moins. Les données complémentaires peuvent être disponible sur un autre dispositif.
- La cohérence de l'augmentation est une adaptation du WYSIWIS (*What You See Is What I See*) aux systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles.
- L'adaptabilité de l'augmentation traduit la souplesse d'utilisation des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles à travers des filtrages orthogonaux sur l'information.

1.3. CONCEPTION LOGICIELLE

Fidèles à notre démarche de travail, nous avons ensuite étudié la réalisation logicielle des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Nous présentons au chapitre V une adaptation de l'architecture logicielle globale PAC-Amodeus [Nigay 1994]. Dans un premier temps, nous appliquons l'architecture aux collecticiels par le partage d'un Noyau Fonctionnel commun et la réplication pour chaque utilisateur d'une partie des composants de l'architecture [Bass 1992]. De même, les flux d'informations contextuelles (la localisation et l'orientation des utilisateurs) pour les systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles sont identifiés et canalisés au sein de l'architecture logicielle.

Ayant pour objectif la validation expérimentale des définitions exposées ci-dessus, nous décrivons également trois techniques d'interaction générales : la comparaison entre des objets numériques et physiques, la réalité cliquable et le terrain augmenté. Nous détaillons la réalisation de ces techniques au sein de notre modèle d'architecture.

1.4. RÉALISATIONS ET ÉVALUATIONS

Au chapitre VI, nous décrivons deux systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles que nous avons développés et qui intègrent nos techniques d'interactions :

- Le système MAGIC est dédié aux activités de fouilles archéologiques.
- Le jeu TROC nous a permis de valider expérimentalement une partie de nos apports. Une première expérience montre que la réalité mixte est globalement acceptée par les utilisateurs, même si l'impression d'interagir dans le monde physique n'est pas acquise. Par ailleurs, une seconde expérience indique que la carte est un support facile d'utilisation pour la conscience de groupe localisée et que l'asymétrie des rôles au sein d'un système mixte collaboratif sur supports mobiles ne nuit pas à la collaboration.

2. Limites

Le sujet d'étude, les systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles, est vaste. Nous identifions trois types de limitation à nos travaux. Ces limitations et donc perspectives de travail à court terme concernent les deux facettes de nos travaux, la conception de l'interaction et la conception logicielle. En effet, les limitations concernent la validation de l'apport des résultats de conception de l'interaction, les limations technologiques et l'amélioration de la robustesse et du rendu

2.1. VALIDATION DE L'APPORT DES RÉSULTATS DE CONCEPTION DE L'INTERACTION

La caractérisation des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles nous semble un apport important dans un domaine mal cerné en fournissant un ensemble d'éléments de conception à considérer. Il définit un espace de possibilités que le concepteur doit explorer lors de la conception.

Nous sommes néanmoins conscients que l'apport de la notation pour représenter graphiquement les scénarios projetés lors de la conception itérative n'est pas prouvé. Il est certes très difficile de prouver l'apport d'une notation en conception. Cela nécessiterait son application à la conception de nombreux projets.

De par sa simplicité et sa concision, la notation est un support au concepteur pour explorer rapidement plusieurs solutions. Pour valider expérimentalement l'apport de la notation en conception, il conviendrait de mener par exemple des tests comparatifs en demandant à deux équipes de conception de concevoir un système, l'une en utilisant la notation, l'autre sans la notation.

2.2. LIMITATIONS TECHNOLOGIQUES

Pour la validation expérimentale de nos réalisations logicielles, là encore nous faisons face à un problème connu dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine, celui-ci étant accentué pour le cas des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles : les prototypes développés sont-ils assez opérationnels pour conclure de leur utilisabilité ? Quelle est l'influence des limitations technologiques actuelles sur les conclusions des expérimentations ? En particulier, dans le cas des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles, nous devons faire face aux limitations technologiques, or notre volonté est d'anticiper des nouvelles technologies pour des activités collaboratives ancrées dans le monde physique. De plus le temps imparti d'une thèse ne permet pas de développer complètement deux systèmes mixtes qui nécessiteraient dans notre domaine de la conception matérielle en plus de la réalisation du logiciel.

Nous identifions donc ici des perspectives à court terme qui vise l'amélioration de nos systèmes développés par des changements logiciels mais aussi matériels.

Nous avons développé nos systèmes sur une plate-forme matérielle avec des éléments commercialisés. Ce matériel est en perpétuelle évolution. Ainsi, les tablettes PC acquises pour le jeu TROC sont plus puissantes que celles acquises pour le système MAGIC. De même, nous avons changé de capteur d'orientation, passant d'une boussole électronique peu précise à un capteur relatif plus précis, donnant une orientation par rapport à une position initiale. De ces évolutions, il résulte une capacité de traitement grandissante et en conséquence un plus grand confort d'utilisation de la plate-forme.

Cependant, nous n'avons pas voulu nous limiter par des considérations techniques. Ainsi, nous avons mis en place une technique du magicien d'Oz pour palier nos manques en localisateurs précis, ceux-ci étant très chers et ne fonctionnant qu'en extérieur ou qu'à l'intérieur.

Néanmoins, le matériel utilisé n'est pas entièrement adapté aux besoins de cette étude. Outre les problèmes d'alimentation électrique, les capacités des tablettes, en particulier leurs cartes graphiques, ne sont pas suffisantes pour obtenir une interaction fluide. De même, la technique de magicien d'Oz pour la localisation induit quelques erreurs humaines dans la localisation et aussi des saccades dans le rafraîchissement de la position des utilisateurs. En effet, le compère qui localise un utilisateur mobile ne

parvient à donner que deux ou trois positions par seconde, de cinq à dix fois moins qu'un localisateur numérique. Cette faible fréquence se répercute sur le taux de rafraîchissement perçu par l'utilisateur. Elle/il doit alors se contenter de 2 ou 3 images secondes, ce qui n'est pas satisfaisant.

Il convient alors de suivre l'évolution technologique afin d'actualiser la plate-forme. Une évaluation exhaustive des systèmes MAGIC et TROC nécessiterait du matériel plus performant afin d'éliminer les gênes lors de l'utilisation liées à la technologie et non pas à l'interaction implémentée.

2.3. DE LA ROBUSTESSE ET DU RENDU

En dehors des considérations technologiques, l'implémentation de l'interaction avec les cubes du jeu TROC n'est pas satisfaisante, comme nous l'avons souligné au chapitre VI. La reconnaissance des cubes par caméra propose une interaction avec une instrumentation minimale et peu coûteuse. Cependant, les essais avec l'*ARToolkit* [Kato 1999] et avec nos propres programmes indiquent que cette solution n'est pas très robuste car elle dépend fortement des conditions de luminosité. Il semble alors très difficile de faire fonctionner la reconnaissance en extérieur. Dans une utilisation à l'intérieur où il est possible de contrôler la luminosité, cette solution reste cependant viable, comme le montre le jeu *ARQuake* [Thomas 2000] qui utilise l'*ARToolkit* à l'intérieur. Il convient alors d'envisager d'autres technologies, comme les tags infrarouges ou RFID [RFID].

Par ailleurs, les expériences montrent que le rendu des informations numériques liées au monde physique est une donnée importante pour les utilisateurs. En effet, les vignettes d'animaux affichées dans le casque pour le jeu TROC ont une apparence de dessin et sont affichées en deux dimensions. Or, nous avons constaté la prégnance de ces vignettes sur le monde physique, donnant une impression d'immersion pour les utilisateurs. Il convient alors de réaliser des expériences similaires à celles réalisées mais avec un rendu photo-réaliste et en affichant des objets en trois dimensions.

3. Perspectives

Outre les améliorations des systèmes MAGIC et TROC, nous envisageons des perspectives à plus long terme pour l'étude des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Nous avons traité la conception et la réalisation de tels systèmes. Il est désormais possible de prolonger nos travaux par une étude de l'utilisation, c'est-à-dire une comparaison

entre l'activité non instrumentée et l'activité instrumentée, et par une étude sur la réalisation de tels systèmes à partir des scénarios projetés.

3.1. COMPARAISON ENTRE L'ACTIVITÉ RÉALISÉE AVEC OU SANS UN SYSTÈME MIXTE COLLABORATIF SUR SUPPORTS MOBILES

Nos travaux ont cerné les systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Nous savons les concevoir et les réaliser. Nos tests tendent à montrer leur acceptation par les utilisateurs. L'objectif à moyen terme est de déterminer leur efficacité. Cette efficacité doit alors se mesurer :

- Par rapport à une activité sans l'utilisation d'un système mixte collaboratif sur supports mobiles. Mesurer l'efficacité des utilisateurs dans les conditions de l'activité (avec ou sans le système) permet de déterminer l'apport du système. Cette mesure peut être quantitative et concerner alors le rendement des utilisateurs, mais elle peut être également qualitative et concerner alors les préférences des utilisateurs.
- Par rapport à une activité non augmentée. Il s'agit de déterminer si la réalité mixte apporte une aide dans l'utilisation d'un collecticiel sur supports mobiles. En effet, la simple instrumentation de l'activité, par l'ajout de dispositifs mobiles peut suffire à améliorer l'activité, comme c'est le cas pour les écologiste au Kenya dans [Pascoe 2000]. Il convient alors de déterminer l'impact et l'efficacité de l'utilisation d'une interaction augmentée. La difficulté est alors la même que dans la comparaison précédente : il faut déterminer l'influence de l'interface mixte en cas de rejet de celle-ci.

Par ailleurs, une comparaison ambitieuse (et à priori compliquée à mettre en œuvre) est de réaliser ces deux comparaisons sur un même domaine d'application. L'enjeu de ces comparaisons est de déterminer quand les utilisateurs utilisent les interactions augmentées, les interactions non instrumentées ou les interactions purement numériques. Déterminer ces cas d'utilisation permettrait de concevoir avec précision et efficacité les fonctionnalités augmentées ou non des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles.

3.2. VERS DES COMPOSANTS

Parallèlement aux poursuites de travaux sur l'usage des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles, nous envisageons à long terme des travaux sur la réalisation logicielle de tels systèmes. Nous avons défini au chapitre IV une notation pour décrire les scénarios projetés abstraits, base de la conception ergonomique des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Dans le même temps, nous avons proposé trois interactions génériques au chapitre V. Ces interactions sont définies à partir de scénarios projetés abstraits. Un prolongement de ces résultats est la réalisation d'un corpus de composants logiciels pour les interactions collaboratives, mobiles et augmentées associées aux scénarios projetés abstraits. Chacune de nos trois techniques pourrait être l'un de ces

composants. Ce corpus s'enrichirait au fur et à mesure des développements des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles. Par ailleurs, il servirait lors de la conception de ces systèmes. Grâce à l'identification de scénarios projetés abstraits connus, il serait alors possible de proposer des solutions "clefs en main" : les composants associés aux scénarios reconnus. La conception des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles serait alors faciliter par les expériences précédentes (capitalisation) et le travail du concepteur serait, une fois les scénarios projetés abstraits identifiés, de choisir parmi des solutions existantes et d'en assurer la cohérence.

Bibliographie

[Ackoff 1979] Ackoff, R.L. (1979) Resurrecting the future of operations research. Journal of the Operations Research Society, Vol. 30, issue 3, pp 189-199.

[Ancona 1999] Ancona, Dodero, Gianuzzi. RAMSES : A Mobile Computing System for Field Archaeology. Lectures Notes in Computer Science 1707, Handheld and Ubiquitious Computing First International Symposium, HUC'99, Karlsruhe, Germany, September 1999. pp. 222-233.

[Archéologie] Littérature archéologique : plusieurs sites Web. ArchéoTech SA Homepage (http://www.archeotech.ch). Arkéo Web (http:// arkeoweb.accom.fr). Informatique & Egyptologie (http://www-sira.montaigne.u-bordeaux.fr/IE10_FIN/broccart/yannick.html). Service Informatique de Recherche Archéologique (http://www-sira.montaigne.u-bordeaux.fr/indexframe.html). Radar Images of Earth - Archeology (http:/ /www.jpl.nasa.gov/radar/archeology.html). RAMSES – [Ancona 1999] - (http://www.disi.unige.it/person/DoderoG/ramses/main.html).

[Azuma 1999] Azuma. Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds. Yuichi Ohta and Hideyuki Tamura (ed.), Springer-Verlag, 1999, Chp 21 pp, 379-390.

[Bajura 1992] Bajura, Fuchs, Ohbuchi. Merging Virtual Objects with the Real World : Seeing Ultrasound Imagery within the Patient. In Proceeding of SIGGRAPH'92, Chicago, July 1992, pp 203-210.

[Bass 1992] Bass, Faneuf, Little, Mayer, Pellegrino, Reed, Seacord, Sheppard, Szczur. A Metamodel for the Runtime Architecture of an Interactive System. ACM Journal Special Interest Group Computer-Human Interface bulletin (SIGCHI), 1992, vol 24, n° 1, ACM Press, pp 32-37.

[Battle.net] http:// www.battle.net/

[Bauer 1998] Bauer, Heiber, Kortuem, Segall. A Collaborative Wearable System with Remote Sensing. In Proceedings of the Second International Symposium on Wearable Computers (ISWC'98), Pittsburgh, October 1998.

[Benford 1998] Benford, Greenhalgh, Reynard, Brown, Koleva. Understanding and Constructing Shared Spaces with Mixed-Reality Boundaries. ACM Transaction On Computer Human Interaction, Tochi Vol. 5, No 3, 1998, pp. 185-223.

[Bérard 1999] Bérard. "Vision par ordinateur pour l'interaction homme-machine fortement couplée". Thèse de l'Université Joseph Fourier (Grenoble), spécialité informatique, novembre 1999. pp 201 pages.

[Bérard 2003] Bérard. The Magic Table: Computer-Vision Based Augmentation of a Whiteboard for Creative Meetings. International Workshop on Projector-Camera Systems (procams'2003) In the CD-ROM Proceedings of the IEEE International Conference in Computer Vision, Nice, October 2003.

[Bertelsen 2000] Bertelsen, Nielsen. Augmented Reality as a Design Tool for Mobile Interfaces. In Conference Proceedings of DIS'00, ACM, New York, 2000, pp 185-192.

[Bier 1993] Bier, Stone, Pier, Buxton, DeRose. Toolglass and Magic Lenses: The See-Through Interface. In Conference Proceedings of Siggraph'93, Anaheim, Computer Graphics Annual Conference Series, ACM (1993) 73-80

[Billinghurst 1999] Billinghurst, Kato. Collaborative Mixed Reality. In Proceedings of the First International Symposium on Mixed Reality (ISMR '99), Berlin, 1999, pp. 261-284.

[Bimber 2002] Bimber, Gatesy, Witmer, Raskar, Encarnação. Merging Fossil Specimens with Computer-Generated Information. In IEEE Computer, vol 35, n° 9, September 2002, Electronic Edition (IEEE Computer Society DL), pp 25-30.

[Bornträger 2003] Borntrager, Cheverst, Davies, Dix, Friday, Seitz. Experiments with multi-modal interfaces in a context-aware city guide. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 116-130.

[Can you see me now ?] http://www.canyouseemenow.co.uk/ et http://www.mrl.nott.ac.uk/~axc/documents/

[Card 1986] Card, Moran, Newell. The Psychology of Human-Computer Interaction. Chapter 2, The Human Information-Processor, Hillsdale, 1986, pp 23-97.

[Carroll 1995] Carroll, J. M. (1995) "The Scenario Perspective on System Development", in Scenario-Based Design: Envisioning Work and Technology in System Development, Ed J.M. Carroll.

[Carroll 2000a] Carroll, J.M. (2000) Making use. Scenario-based design of computer interactions. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

[Carroll 2000b] Carroll, J.M. (2000) Five reasons for scenario-based design. Interacting with computer, Vol. 13, Issue 1, pp 43-60. Elsevier Science.

[Cheok 2002] Cheok, Yang, Ying, Billinghurst, Kato. Touch-Space: Mixed Reality Game Space Based on Ubiquitous, Tangible, and Social Computing. Personal and Ubiquitous Computing , Vol. 6, No 5/6, London, 2002, pp 430-442.

[Cheok 2003] Cheok, Wan Fong, Hwee Goh, Yang, Liu, Farbiz. Human Pacman: A Mobile Entertainment System with Ubiquitous Computing and Tangible Interaction over a Wide Outdoor Area. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Spriger Verlag LNCS 2795, Udine, September 2003, pp. 209-223.

[Cheverst 1999] Cheverst, Davies, Mitchell, Friday. The Role of Connectivity in Supporting Context-Sensitive Applications. Lectures Notes in Computer Science 1707, Handheld and Ubiquitious Computing First International Symposium, HUC'99, Karlsruhe, Germany, September 1999. pp. 193-207.

[Ciavarella 2003] Ciavarella, Paternò. Design Criteria for Location-aware, Indoor, PDA Applications. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 131-144.

[Coutaz 1987] Coutaz. PAC: an Implementation Model for Dialog Design. Conference Proceedings of Interact'87 , Stuttgart, 1987, pp. 431-436.

[Coutaz 1999] Coutaz et al. Comedi: Using Computer Vision to Support Awareness and Privacy in Mediaspaces. In Proceedings of CHI'99 Extended Abstract, Video Demonstration, Pittsburgh, May 1999. pp. 13-16.

[Danesh 2001] Danesh, Inkpen, Lau, Shu, Booth. Geney: Designing a collaborative activity for the Palm handheld computer. CHI Letters: Human Factors in Computing Systems, SIGCHI'01 Vol. 3 No 1, Seattle, 2001, pp 388-395.

[Dey 2001] Dey, Salber, Abowd. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-aware Applications. Anchor article of a special triple issue on context-aware computing, Human-Computer Interaction (HCI) Journal, 2001, pp. 97-166.

[Dix 1993] Dix, Finlay, Abowd, Beale. Human-Computer Interaction. Book, Prentice-Hall, 1993, 570 p.

[Dix 2000] Dix, Rodden, Davies, Trevor, Friday, Palfreyman. Exploiting space and location as a design framework for interactive mobile systems ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 7, No 3, September 2000, pp. 285-321.

[Dourish 1992] Dourish, Bellotti. Awareness and coordination in shared workspaces. In Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'92), Toronto, November 1992, pp 107-114.

[Dubois 1999] Dubois, Nigay, Troccaz, et al. Classification Space for Augmented Surgery, an Augmented Reality Case Study. In Proceedings of INTERACT'99, Edinburgh, September 1999, pp 353-359.

[Dubois 2001] Emmanuel Dubois, "Chirurgie Augmentée, un Cas de Réalité Augmentée – Conception et Réalisation Centrées sur l'Utilisateur", Thèse de doctorat informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, Juillet 2001, 275 pages.

[Dubois 2002] Emmanuel Dubois, Philip Gray, Laurence Nigay, "ASUR++: a design notation for mobile mixed systems", Proceedings of mobile-HCI 2002, ACM, Pisa, September 2002, pp 123-139.

[Elrod 1993] Elrod, Hall, Costanza, Dixon, Rivieres. "The Responsive Environment". Xerox Park, CSL-93-5, 1993. pp 16.

[Esbjörnsson 2003] Esbjörnsson, Juhlin, Östergren. Motorbikers using Hocman - Field Trials on Mobile Interaction. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 32-44.

[Falk 2001] Falk, Ljungstrand, Bjork, Hannson. Pirates: Proximity-Triggered Interaction in a Multi-Player Game. Extended Abstracts of ACM Conference on Computer-Human Interaction in Computer Science (CHI'01), 2001, pp. 119-120.

[Feiner 1993] Feiner, MacIntyre, Seligman. Knowledge-based augmented reality. Communications of the ACM, vol. 36, n°7, July 1993. pp 53-62.

[Feiner 1997] Feiner, MacIntyre, Höllerer, Webster. A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment. in Proceedings of the International Symposium on Wearable Computers (ISWC '97), Cambridge, October 1997, pp 74-81.

[Fithian 2003] Fithian, Iachello, Moghazy, Pousman, Stasko. The design and evaluation of a mobile location-aware handheld event planner. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 145-160.

[Gray 2001] Gray, Salber: Modelling and Using Sensed Context Information in the Design of Interactive Applications. In proceedings of Engineering for Human-Computer Interaction (EHCI'01), LNCS 2254 Springer-Verlag, Toronto, 2001, pp 317-336.

[Grudin 1994] Grudin, Jonathan. CSCW: History and Focus. Jounal, IEEE Computer, 1994, volume 27, numéro 5, pages 19-26, IEEE.

[Holmquist 1998] Holmquist. Supporting Group Collaboration with IPAD:s - Inter-Personal-Awerness Devices. Submission of the Workshop on Handheld CSCW, at ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'98), November 1998.

[Houria 2001] Pasqualetti, Nigay, Renevier, Salembier, Marchand. Houria I, Mobile, Augmented reality, Group Interaction in Context (MAGIC). Rapport interne à France Télécom R&D. Septembre 2001

[Houria 2002] Pasqualetti, Nigay, Renevier. Houria II. Rapport interne à France Télécom R&D. Septembre 2003

[Huang 2002] Huang, Terry, Mynatt, Lyons, Chen. Distributing Event Information by Simulating Word-of-Mouth Exchanges. 4th International Symposium, Mobile HCI 2002, Pisa, September 2002, pp 60-68.

[Iacucci 2003] Iacucci, Juustila, Kuutti, Pehkonen. Connecting Remote Visits and Design Environment: User Needs and Prototypes for Architecture Design. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 45-60.

[idSoftware] http://www.idsoftware.com/

[Ishii 1997] Ishii, Ullmer, "Tangible Bits : Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms", In Proceedings of the ACM conference CHI'97, Atlanta, March 1997. pp 234-241.

[Ishii 1999] Ishii, Wisneski, Orbanes, Chun, Paradiso. PingPongPlus: Design of an Athletic-Tangible Interface for Computer-Supported Cooperative Play. In Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99), Pittsburgh, May 1999, pp. 394-401.

[Java] http://java.sun.com/

[Jacobson 1995] Jacobson, I. (1995) "The Use Case Construct in Object-Oriented Software Engineering", In John M. Carroll, editor, Scenario-Based Design: Envisioning Work and Technology in System Development, pp 309-336. John Wiley and Sons.

[Kato 1999] Kato, Billinghurst. Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, San Francisco, 1999, pp. 85–94.

[Kjeldskov 2003] Kjeldskov, Graham. A Review of Mobile HCI Research Methods. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 317-355.

[Koleva 1999] Koleva, Benford, Greenhalgh. The Properties of Mixed Reality Boundaries. in Proceedings of the 6th European Conference on Computer Supported Co-operative Work (ECSCW 1999), Copenhagen, September 1999, pp. 119-137.

[Kortuem 1999] Kortuem, Segall, Cowan Thompson. Close Encounters : Supporting Mobile Collaboration through Interchange of User Profiles. Lectures Notes in Computer Science 1707, Handheld and Ubiquitious Computing First International Symposium, HUC'99, Karlsruhe, Germany, September 1999. pp. 171-185.

[Kortuem 2000] Kortuem, Segall, Bauer. Context-Aware, Adaptive Wearable Computers as Remote Interfaces to 'Intelligent' Environments. 2ND. International Symposium on Wearable Computers, Pittsburgh, October 1998, pp. 58-65.

[Kraut 1996] Kraut, Miller, Siegel. Collaboration in Performance of Physical Tasks: Effects on Outcomes and Communication. In Proceeding of CSCW'96, 1996. pp. 57-66.

[Kristoffersen 1999] Kristoffersen, Ljungberg. "Making place" to make IT work: empirical explorations of HCI for mobile CSCW. Proceedings of the ACM Conference on Supporting Group Work (GROUP '99), Phoenix, 1999, pp 276-285.

[Kuzuoka 1994] Kuzuoka, Kosuge, Tanaka. GestureCam: a Video Communication System for Sympathetic Remote Collaboration. Conference Proceeding of CSCW'94, p. 35-43.

[Kyng 1995] Kyng, M. (1995) "Creating Contexts for Design", In John M. Carroll, editor, Scenario-Based Design: Envisioning Work and Technology in System Development, pages 85-107. John Wiley and Sons.

[Kyng 1997] Kyng, M., Mathiassen, L. (1997) Computers and Design in Context, The MIT Press.

[Laurillau 1999] Laurillau. Techniques de navigation collaborative. Rapport de DEA, Université Joseph Fourier, juin 1999, 136 pages.

[Laurillau 2002] Laurillau. Conception et réalisation logicielles pour les collecticiels centrées sur l'activité de groupe : le modèle et la plate-forme Clover. Thèse de doctorat informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, Septembre 2002, 216 pages.

[Liechti 1999] Liechti, Ichikama. A Digital Photography Framework Supporting Social interaction and Affective Awerness. Lectures Notes in Computer Science 1707, Handheld and Ubiquitious Computing First International Symposium, HUC'99, Karlsruhe, Germany, September 1999, pp. 186-192.

[Louvre] http://www.louvre.fr/

[Luff 1998] Luff, Heath. Mobility in Collaboration. In Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'98), Seattle, September 1998, pp 305-314.

[Mackay 1996] Mackay. Réalité augmentée : le meilleur des deux mondes. La recherche n°285, mars 1996, pp 32-37.

[Mackay 1998] Wendy Mackay, "Augmenting Reality: Linking real and virtual worlds A new Paradigm for interacting with computers", in proceedings of AVI'98, ACM Conference on Advanced Visual Interfaces, ACM, New York, pp 1-9.

[Mackay 2000] Mackay. Augmented Reality: Dangerous Liaisons or the Best of Both Worlds? Proceedings of Designing Augmented Reality Environments 2000 (ACM), pp. 170-171.

[Mandryk 2001] Mandryk, Inkpen. Supporting Free Play in Ubiquitous Computer Games. UbiComp 2001 Workshop on Ubiquitous Gaming. Atlanta, October 2001.

[Mansoux 2003] Benoît Mansoux, "Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur : Conception centrée sur l'utilisateur - Application à l'interaction avec un mini-écran", DEA, 2003.

[Marcus 1998] Marcus, Ferrante, Kinnunen, Kuutti, Sparre. Baby faces: user-interface design for small displays. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '98), Los Angeles, 1998, pp 96-97.

[McCarthy 1999] McCarthy, Meidel, "ActiveMAP : A Visualization Tool for Location Awareness to Support informal Interactions", Lectures Notes in Computer Science 1707, Handheld and Ubiquitious Computing First International Symposium, HUC'99, Karlsruhe, Germany, September 1999. pp. 158-170.

[McGarry 2000] Ben McGarry, Ben Matthews, Margot Brereton, "Reflections on a candidate design of the user-interface for a wireless vital-signs monitor", Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments, April 2000, pp 33-40.

[Milgram 1994] Milgram, Kishino. A taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information Systems, vol. E77-D, n°12, December 1994, 11 pages.

[Miller 2003] Miller, Albert, Lam, Konstan, Riedl. MovieLens Unplugged: Experiences with a Recommender System on Four Mobile Devices. In conference proceedings of HCI 2003, Bath, september 2003, pp 263-280.

[Mizobuchi 2002] Mizobuchi, Mori, Ren, Yasumura. An Empirical Study of the Minimum Required Size and the Minimum Number of Targets for Pen Input on the Small Display. 4th International Symposium, Mobile HCI 2002, Pisa, September 2002, pp 184-194.

[Negroponte 1995] Negroponte. Being Digital. Alfred A. Knopf, Inc., New York, 1995.

[Nigay 1994] Nigay. Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs : Application aux interfaces multimodales. Thèse de l'Université Joseph Fourier, janvier 1994, Grenoble, 315 pages.

[Nigay 1997] Nigay, Coutaz. Software architecture modelling: Bridging Two Worlds using Ergonomics and Software Properties. Book chapter of Palanque, Paterno : Formal Methods in Human-Computer Interaction, Springer-Verlag, London, 1997, pp 49-73.

[Nigay 2002a] Nigay, Salembier, Marchand, Renevier, Pasqualetti. Mobile and Collaborative Augmented reality: A Scenario Based Design Approach. In Conference Proceedings of the 4th International Symposium, Mobile HCI 2002, Springer-Verlag, LNCS 2411, Pisa, 2002, pp. 241-255.

[Nigay 2002b] Nigay, Gray. Architecture Logicielle Conceptuelle pour la Capture de Contexte. Conférence IHM 2002, ACM Press, Poitiers, novembre 2002, pp. 211-212.

[Nintendo] http://www.gameboyadvance.com

[Ohshima 1998] Ohshima, Satoh, Yamamoto, Tamura. AR²Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality. In Proceedings of IEEE VRAIS '98, Los Alamitos, 1998, pp. 268-275.

[Pascoe 2000] Pascoe, Ryan, Morse. Using While Moving: HCI Issues in Fieldwork Environments. ACM Transactions on Computer Human Interaction, Vol. 7, No 3, September 2000, pp. 417-437.

[Pering 2002] Pering. Pat Pals: A Game for Social Mediation. Extended abstracts of ACM Conference on Human factors in computer systems (CHI'02), Minneapolis, 2002, pp. 778 – 779.

[Persson 2002] Persson, Espinoza, Fagerberg, Sandin, Cöster, GeoNotes: A Location-based Information System for Public Spaces. Readings in Social Navigation of Information Space, Chap. 6, Springer, 2002, pp 151-173.

[Pinelle 2003] Pinelle, Dyck, Gutwin. Aligning Work Practices and Mobile Technologies: Groupware Design for Loosely-Coupled Mobile Groups. 5th International Symposium, Mobile HCI 2003, Udine, September 2003, pp 177-192.

[Reitmayr 2001] Gerhard Reitmayr and Dieter Schmalstieg, "Mobile Collaborative Augmented Reality", 4th International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2001), ISAR 2001, IEEE, New York, October 2001, pp 114-123.

[Rekimoto 1995] Rekimoto, Nagao. The World through the Computer : Computer Augmented Interaction with Real World Environments. In Proceedings of UIST'95, Pittsburgh, 1995, pp 29-36.

[Rekimoto 1997] Rekimoto. Pick-and-Drop : A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. Proceedings of UIST'97. pp. 31-39.

[Rekimoto 1999] Rekimoto, Saitoh. Augmented Surfaces: A spatially continuous work space for hybrid computing environments. In Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99), Pittsburgh, 1999, pp. 378--385.

[Renevier 2000] Renevier. Supports mobiles d'interaction et réalité augmentée en situation collaborative. DEA, 2000

[Renevier 2001] Renevier, Nigay. Mobile Collaborative Augmented Reality: The Augmented Stroll. In Proceedings of Engineering for Human-Computer Interaction (EHCI'01), LNCS 2254 Springer-Verlag, Toronto, 2001, pp 300-316.

[Renevier 2004] Renevier, Nigay, Bouchet, Pasqualetti. Generic Interaction Techniques for Mobile Collaborative Mixed Systems. In Proceedings of the Fifth International Conference onComputer-Aided Design of User Interfaces CADUI'2004, ACM, Funchal, 2004, pp 307-320.

[RFID] http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/

[Rhodes 1997] Rhodes. The wearable remembrance agent: a system for augmented memory. In proceedings of the first International Symposium on Wearable Computers, IEEE Computer Society, 1997, pp 123-128.

[Roland 2000] Rolland, C. & Grosz, G. (2000) De la modélisation conceptuelle à l'Ingénierie des besoins, in : Encyclopédie d'informatique, Hermès, Paris.

[Römer 2002] Römer, Domnitcheva. Smart Playing Cards: A Ubiquitous Computing Game.Personal and Ubiquitous Computing Vol. 6, No 5/6, London, 2002, pp. 371-377.

[Salber 1995] Daniel Salber, "De l'interaction individuelle aux systèmes multiutilisateurs. L'exemple de la Communication Homme-Homme-Médiatisée", Thèse de doctorat Informatique, université Joseph Fourier, Grenoble, France, Septembre 1995, 303 pages. [Römer 2002] Römer, Domnitcheva. Smart Playing Cards: A Ubiquitous Computing Game.Personal and Ubiquitous Computing Vol. 6, No 5/6, London, 2002, pp. 371-377.

[Salvador 1996] Tony Salvador, Jean Scholtz, et James Larson, “The Denver Model for Groupware Design”, Journal, ACM Special Interest Group Computer-Human Interface bulletin (SIGCHI), 1996, volume 28, numéro 1, édition en ligne, ACM Press.

[Schmidt 1999] Schmidt, Aidoo, Takaluoma, Tuomela, Van Laerhoven, Van de Velde. Advanced interaction in context. In Proceeding of the First International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC99), LNCS 1707 Springer-Verlag, Karlsruhe, 1999, pp 89-101.

[Starner 2000] Starner, Leibe, Singletary, J. Pair. Mind-warping: Towards creating a compelling collaborative augmented reality gaming interface through wearable computers and multi-modal input and output. In Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'2000), New Orleans, 2000, pp. 256-259.

[Streitz 1999] Streitz, Geißler, Holmer, Konomi, Müller-Tomfelde, Reischl, Rexroth, Seitz, Steinmetz. i-LAND: an interactive landscape for creativity and innovation. In Poceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, Pittsburgh, May 1999, pp 120-127.

[Szalavari 1997] Szalavári, Schmalstieg, Fuhrmann, Gervautz. 'Studierstube' - An Environment for Collaboration in Augmented Reality",.Journal of the Virtual Reality Society - Virtual Reality : Research, Development and Application, Virtual Press Ltd., UK, 1997.

[Szalavári 1998] Szalavári, Eckstein, Gervautz. Collaborative Gaming in Augmented Reality. Proceedings of VRST'98, Taipei, November 1998, pp.195-204.

[Thomas 2000] Thomas, Close, Donoghue, Squires, De Bondi, Morris, Piekarski. ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application. In Proceedings of Fourth International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2000), IEEE Computer Society, Atlanta, October 2000, pp. 139-146.

[UsabilityFirst] Usability First, groupware principles, http://www.usabilityfirst.com/glossary/cat_40.txl

[Vlahakis 2001] Vlahakis, Karigiannis, Tsotros, Gounaris, Almeida, Stricker, Gleue, Christou, Carlucci, Ioannidis. Augmented reality and mobile systems II: Archeoguide: first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites. In proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage, Glyfada, november 2001, pp 131-139.

[Want 1999] Want, Fishkin, Gujar, Harrison. Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags. In Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 99), Pittsburgh, May 1999, pp 370-377.

[Warcraft] http://www.blizzard.com/

[Warmage] http://www.magewar.com/

[Wellner 1991] Wellner. The Digital Desk calculator : tangible manipulation on a desk top display. In Proceedings of the fourth annual ACM symposium on User interface software and technology, November 1991, pp 27-33.

[Wichert 2002] Wichert. Collaborative gaming in a mobile augmented reality environment. Proceedings of EUROGRAPHICS - Ibero-American Symposium in Computer Graphics (SIACG 2002), Guimares, 2002, pp. 31-37.

[Yee 2003] Yee Ka-Ping. Peephole displays: pen interaction on spatially aware handheld computers. Proceedings of the conference on Human factors in computing systems 2003, Ft. Lauderdale, April 2003, pp 1-8.

Annexe A *Les documents de la seconde série d'expériences*

4. Instructions aux participants

4.1. POUR LES DEUX PARTICIPANTS

1. Vous allez travailler ensemble afin de ramasser cinq objects numériques dans les 8 zones dans cet etage du batiment (6 bureaux, les toilettes, devant les escaliers). En tout, il y a 35 objets numériques à ramasser : chaque objet est un animal d'une couleur spéficique. Par exemple, il y a un chat jaune et une vache violette.
2. Un objet numérique est quelquechose que l'ordinateur fournit et qu'il peut afficher à l'ecran. Il y a deux ecrans dans cette experience : l'écran d'un ordinateur portable, l'autre est un dispositif à la forme des lunettes translucides.
3. Vous avez tous les deux un maximum de 15 minutes pour finir cette tâche. Alors, travaillez aussi vite que vous pouvez.

4.2. POUR LE GUIDE:

1. Votre participation dans l'experience est de fournir l'aide au chercheur afin de trouver les animaux specifiés. Vous avez à côté de vous la liste qui precise les animaux à collecter : le chercheur n'a pas cette liste. Alors, c'est à vous d'expliquer au chercheur lesquels sont les bons et lesquels ne sont pas requis.
2. Vous pouvez voir tous les animaux sur votre écran de portable. Le chercheur ne peut voir que les animaux dans sa proximité immédiate (limite de 5 mètres) via ses lunettes spéciales.
3. Même si vous pouvez voir tous les animaux, vous ne pouvez pas distinguer leur couleur. C'est à vous de diriger le chercheur au bon endroit pour trouver les animaux du type precisé sur votre liste (par exemple, un chat si vous un avez un chat d'inscrit sur votre liste) : c'est

au chercheur de vous dire la couleur de l'objet et donc si c'est vraiment un des bons.

4 Vous allez voir où se trouve le chercheur sur votre carte des bureaux affichée sur votre écran. Sa position est affichée comme un rond avec une ligne tournant comme l'aiguille d'une horlorge. La direction de l'aiguille est la direction du regard du chercheur.

5 Quand le chercheur se deplace, vous allez voir le rond sur votre carte bougé en correspondance. Comme ça, vous savez toujours où est le chercheur.

6 Vous avez besoin de dire au chercheur ou aller pour trouver les animaux de la recherche.

7 Vous avez besoin de dire au chercheur ou regarder pour trouver les animaux de la recherche.

8 Chaque fois que le chercheur ramasse un animal, veuillez le marquer sur la liste à votre disposition.

9 Dès que tous les animaux marqués dans la liste sont bien ramassés, où si le temps de 15 minutes est depasse, l'expérience est finie.

4.3. POUR LE CHERCHEUR:

1 Votre participation dans l'expérience est de trouver les cinq animaux avec les indications du guide et grâce à vos mouvements et votre perception des objets qui vous entourent. Le guide va vous preciser, quels sont les animaux necessaires et également lesquels ne sont pas requis.

2 Vous ne pouvez pas voir tous les animaux dans vos lunettes spéciales. Les animaux visibiles sont limités à ceux dans votre proximité immédiate (limite de 5 metres).

3 Meme si vous ne pouvez pas voir tous les animaux, vous pouvez bien voir leur couleur et une approximation de leur distance par rapport à vous. Si vous voyez un des animaux (par exemple : un chat) que le guide a vous indiqué, dites lui la couleur (par exemple : "ça, c'est un chat rouge"). Si le guide vous repond que c'est un des animaux à ramasser, allez le recupérer. Pour simiplifier la tâche, vous ne ramassez pas réelement l'animal : vous n'avez qu'à marcher directement à travers l'animal.

4 Le guide connaît votre localisation grâce à une carte sur son ordinateur. Il connait également l'orientation de votre regard.

5 Vous avez besoin de bien entendre ce que le guide vous dit comme où vous devez aller pour trouver les animaux recherchés ou également où vous devez regarder.

6 Chaque fois que vous ramassez un animal, veuillez le dire au guide.

7 Dès que tous les animaux marqués dans la liste sont bien ramasser, ou si le temps de 15 minutes est depassé, l'expérience est finie.

5. Liste des animaux à ramasser:

- Chat Bleu
- Serpent Vert
- Chat Jaune
- Mouette Bleu
- Serpent Rouge

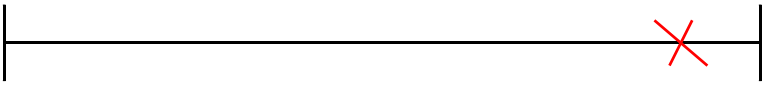
6. Procédure post-expérimentale

6.1. QUESTIONNAIRE À PROPOS D'EXPERIENCE COLLABORATIVE DE RÉALITÉ AUGMENTÉE DU GUIDE

Répondez à ce questionnaire en mettant une croix sur l'échelle, en fonction de votre accord avec la phase énoncée au-dessus. Par exemple, quelqu'un qui est d'accord avec la phrase concernant Yannick Noah mettrait une croix à proximité de "*Accord*".

0. Je pense que Yannick Noah a été le meilleur joueur de tennis français.

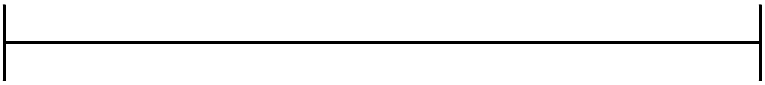
Désaccord *Accord*



Toutes les questions concernent votre expérience avec le système collaboratif que vous avez utilisé tout à l'heure. Si vous désirez justifier vos réponses, vous pouvez écrire vos commentaires en-dessous ou dans la marge. Vous pouvez aussi tourner la page et indiquer le numéro de la question associée à votre commentaire.

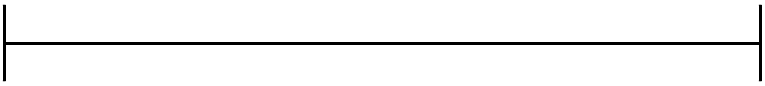
1. Dans le cas où je pouvais voir directement le collecteur, j'ai eu le sentiment de savoir où se trouve le collecteur par rapport à l'animal requis.

Désaccord *Accord*



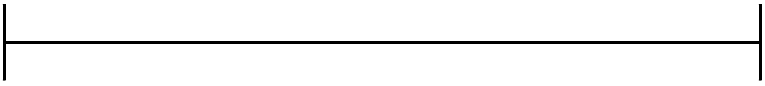
2. Dans le cas où je ne pouvais pas voir directement le collecteur, mais où je pouvais uniquement regarder l'écran de l'ordinateur, j'ai eu le sentiment de savoir où se trouvait le collecteur par rapport à l'animal requis.

Désaccord *Accord*



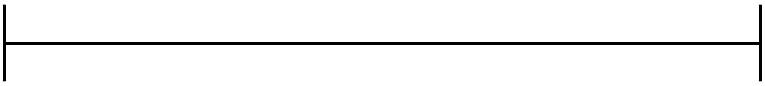
3. Je savais toujours le point de regard du collecteur.

Désaccord *Accord*



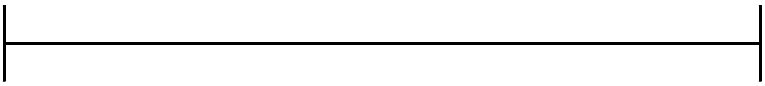
4. J'ai eu le sentiment d'être dans le même espace du collecteur et de ne pas avoir été loin de lui.

Désaccord *Accord*



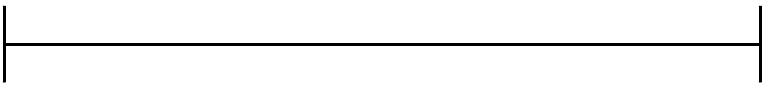
5. J'ai trouvé que c'était difficile de faire mes indications compréhensibles pour le collecteur.

Désaccord *Accord*



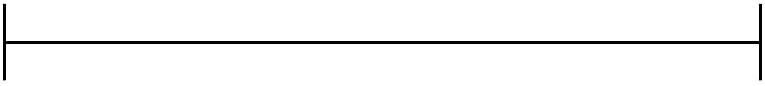
6. J'ai facilement compris comment utiliser la carte de l'ordinateur pour savoir ce que le collecteur était en train de faire.

Désaccord *Accord*



7. J'ai trouvé que c'était difficile de comprendre le rapport entre la carte de l'ordinateur et l'espace de l'expérience pendant que j'étais en train de l'utiliser.

Désaccord *Accord*

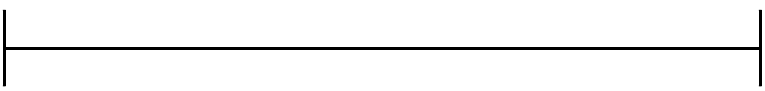


8. A ton avis, quel est l'aspect du travail collaboratif le plus difficile à expliquer au chercheur?

9. A ton avis, quel est l'aspect du travail collaboratif le plus facile à expliquer au chercheur?

10. J'ai beaucoup apprecié de participer à cette experience.

Désaccord *Accord*



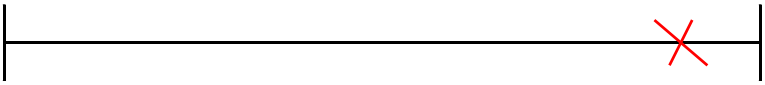
Autres commentaires, par exemple la prise en main du système, le temps qui est nécessaire pour comprendre les relations entre le monde réel et le monde numérique.

6.2. QUESTIONNAIRE À PROPOS D'EXPERIENCE COLLABORATIVE DE RÉALITÉ AUGMENTÉE DU CHERCHEUR

Répondez à ce questionnaire en mettant une croix sur l'échelle, en fonction de votre accord avec la phase énoncée au-dessus. Par exemple, quelqu'un qui est d'accord avec la phrase concernant Yannick Noah mettrait une croix à proximité de "*Accord*".

0. Je pense que Yannick Noah a été le meilleur joueur de tennis français.

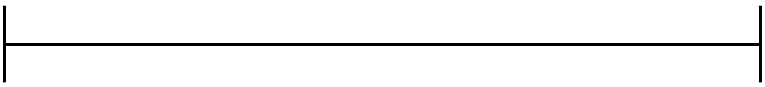
Désaccord *Accord*



Toutes les questions concernent votre expérience avec le système collaboratif que vous avez utilisé tout à l'heure. Si vous désirez justifier vos réponses, vous pouvez écrire vos commentaires en-dessous ou dans la marge. Vous pouvez aussi tourner la page et indiquer le numéro de la question associée à votre commentaire.

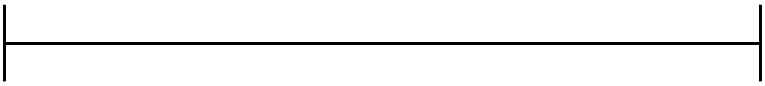
1. Dans le cas où je pouvais voir directement le guide, j'ai bien compris où se trouvait l'animal requis par rapport à ma position.

Désaccord *Accord*



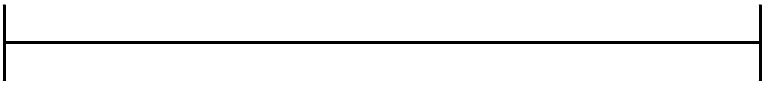
2. Dans le cas où je ne pouvais pas voir directement le guide, mais où je pouvais uniquement l'entendre, je savais où je me trouvais par rapport à l'animal requis.

Désaccord *Accord*



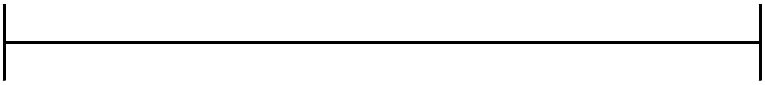
3. Je faisais attention aux actions du guide pendant que je pouvais le voir.

Désaccord *Accord*



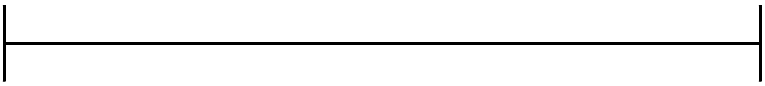
4. J'ai eu le sentiment d'être dans le même espace que le guide et de ne pas avoir été loin de lui.

Désaccord *Accord*



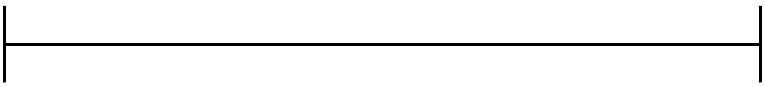
5. J'ai trouvé que c'était difficile de comprendre les indications du guide.

Désaccord *Accord*



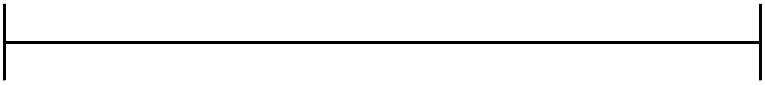
6. J'ai facilement compris la relation entre les indications du guide et l'affichage des objets numeriques dans mes lunettes.

Désaccord *Accord*



7. J'ai trouvé que c'était difficile de comprendre le rapport entre l'affichage des objets numeriques dans mes lunettes et l'espace de l'experience.

Désaccord *Accord*

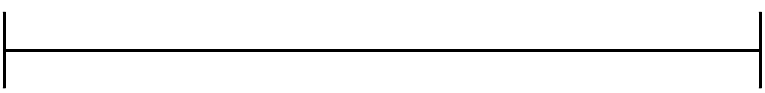


8. A ton avis, quel est l'aspect du travail collaboratif le plus difficile à faire avec le guide?

9. A ton avis, quel est l'aspect du travail collaboratif le plus facile à faire avec le guide?

10. J'ai beaucoup apprecié de participer à cette experience.

Désaccord *Accord*



Autres commentaires, par exemple la prise en main du systeme, le temps qui est nécessaire pour comprendre les relations entre le monde réel et la monde numérique.

Résumé Cette thèse s'inscrit dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM). Nous explorons trois thèmes de recherche : les IHM sur Supports Mobiles, les Collecticiels et les Systèmes Mixtes. Dans ce cadre, nous visons à définir, concevoir (conception ergonomique et logicielle) et comprendre l'usage des systèmes mixtes collaboratifs sur supports mobiles (SMCSM). Les contributions de cette thèse couvrent le cycle de vie des interfaces.

Tout d'abord, pour la phase d'analyse des besoins, nous élaborons une définition et une caractérisation des SMCSM. Nous montrons ainsi que de tels systèmes ne sont pas qu'une simple juxtaposition des trois thèmes. Nous identifions alors un nouveau découpage espace-temps et la dynamique des liens entre les mondes physique et numérique.

Ensuite, pour la phase de conception ergonomique, nous développons une démarche de conception basée sur les scénarios en collaboration avec des psychologues-ergonomes. Nous définissons une notation de conception afin de représenter les scénarios projetés, qui décrivent l'utilisation de la future interface.

Puis, pour la phase de conception logicielle, nous décrivons un modèle d'architecture pour les SMCSM. Nous adaptons le modèle PAC-Amodeus aux les collecticiels en explicitant les traitements informatiques des données contextuelles (localisation, orientation, etc.). De plus, nous développons trois techniques d'interaction générales sur une plate-forme matérielle dédiée aux SMCSM.

Enfin, nous réalisons deux SMCSM : MAGIC, un système dédié à la fouille archéologique et TROC, un jeu d'échange. Nous rapportons les résultats de deux séries d'expériences menées avec le système TROC.

Mots-clés Interaction homme-machine, informatique mobile, collecticiel, systèmes mixtes, réalité augmentée, méthode de conception, notation de conception, techniques d'interaction.

Abstract This thesis focuses on software engineering and implementation of Human-Computer Interfaces. We study three research themes: Mobility, Groupware and Mixed Systems. Our goals are to define, to design (ergonomic and software) and to understand the use of Mobile Collaborative Mixed Systems (MCMS). The main contributions of this thesis correspond to the steps of the life cycle of an Interface.

First, for the requirement phase, we define and characterize MCMS. We thus demonstrate that such systems are not a simple juxtaposition of the three themes. We also identify a new time-space taxonomy and the dynamic of links between the physical and digital worlds.

Then, for the design phase, we develop a scenario-based design method in collaboration with some psychologists-ergonomists. We define a design notation in order to represent projected scenarios, which describe the use of the future Interface.

Next, for the development phase, we describe an architectural model for MCMS. We adapt the PAC-Amodeus model to groupware by identifying the software treatments of contextual data (localization, orientation, etc.). Moreover, we develop three general interaction techniques on a platform dedicated to MCMS.

Finally, we develop two MCMS: MAGIC, a system for archaeological excavation, and TROC, a game of exchanges. We also report the results of two series of user experimentations performed with the TROC system.

Key words Human-computer interaction, mobility, CSCW, mixed systems, augmented reality, design method, design notation, interaction techniques.