



HAL
open science

Contribution à la conception d'interfaces homme-machine distribuées sur tables interactives avec objets tangibles

Amira Bouabid

► **To cite this version:**

Amira Bouabid. Contribution à la conception d'interfaces homme-machine distribuées sur tables interactives avec objets tangibles. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2018. Français. NNT : 2018VALE0004 . tel-02878737

HAL Id: tel-02878737

<https://theses.hal.science/tel-02878737v1>

Submitted on 23 Jun 2020

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 de doctorat

**Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de
VALENCIENNES ET DU HAINAUT-CAMBRESIS**

Sciences et Technologie, Mention : Informatique

Présentée et soutenue par Amira, BOUABID.

Le 31/01/2018, à Valenciennes

Ecole doctorale :

Sciences Pour l'Ingénieur (ED SPI 072)

Equipe de recherche, Laboratoire :

Département d'Informatique

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines
(LAMIH UMR CNRS 8201)

**Contribution à la conception d'interfaces homme-machine distribuées sur
tables interactives avec objets tangibles**

JURY

Présidente du jury

- COUTURE, Nadine. Professeur, ESTIA.

Rapporteurs

- DAVID, Bertrand. Professeur des universités émérite. Ecole Centrale de Lyon.
- MOUSSA, Faouzi. Professeur des universités. Université de Tunis, Tunisie.

Directeurs de thèse

- KOLSKI, Christophe. Professeur des Universités. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
- BOUHLEL, Mohamed Salim. Professeur des Universités. Université de Sfax, Tunisie.

Co-encadrante

- LEPREUX, Sophie. Maître de Conférences. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	V
DEDICACE	VI
ABSTRACT	VII
RESUME	VIII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1. Qu'est-ce que la collaboration ?.....	2
1.2. La collaboration et l'apprentissage.....	5
1.3. La table interactive, un outil favorable pour la collaboration	6
1.4. Objectifs de recherche	7
1.5. Contributions de recherche	8
1.6. Contenu du mémoire	9
CHAPITRE 2 - LES TABLES INTERACTIVES : DES PRINCIPES DE BASE A L'INTERACTION TANGIBLE	11
2.1. Introduction	12
2.2. Les tables interactives	12
2.2.1. Les interfaces graphiques post-WIMP.....	12
2.2.2. Les tables interactives, de leurs débuts à de nouvelles considérations en IHM	15
2.2.3. Exemples d'utilisations remarquables des tables interactives.....	17
2.2.4. Classification des tables interactives.....	19

2.3.	Les tables interactives à interaction tangible	21
2.3.1.	Qu'est-ce qu'une table interactive à interaction tangible	23
2.3.2.	Les TUIs : des interfaces pour des systèmes de réalité mixte	24
2.3.3.	Modélisation de l'interaction tangible	28
2.4.	Interaction tangible sur table interactive	30
2.4.1.	Exemples d'interfaces tangibles pour tables interactives	31
2.5.	Les interfaces utilisateur tangibles et leur rôle dans le domaine de l'apprentissage.....	34
2.5.1.	Pourquoi des applications à base d'interaction tangible pour l'apprentissage ?.....	34
2.5.2.	Relation entre apprentissage chez les enfants et utilisation des interfaces tangibles	39
2.6.	Synthèse et discussion	41
2.7.	Conclusion du chapitre	43
	CHAPITRE 3 - DU TRAVAIL COLLABORATIF A LA COLLABORATION ET	
	L'APPRENTISSAGE SUR TABLE INTERACTIVE.....	45
3.1.	Introduction	46
3.2.	Le travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO)	46
3.2.1.	Le Workflow.....	49
3.2.2.	Contextes d'utilisation	49
3.2.3.	L'awareness	50
3.2.4.	Modèles d'architecture pour les TCAO	51
3.2.5.	TCAO et cognition distribuée	54
3.2.6.	L'apprentissage collaboratif	55
3.3.	Les tables interactives tangibles : un support favorable pour une collaboration réussie	60
3.3.1.	La collaboration via les tables interactives	61
3.3.2.	Travail collaboratif sur table interactive : conscience de la présence de l'autre.....	62
3.3.3.	Les situations de collaboration.....	63
3.3.4.	Collaboration distante : quel effet sur les utilisateurs ?	65
3.3.5.	Collaborer à distance via les tables interactives.....	67
3.4.	Synthèse	69
3.5.	Conclusion du chapitre	70

CHAPITRE 4 - MODELE DE CONTEXTE ET TANGIGETS POUR LA COLLABORATION A DISTANCE SUR TABLES INTERACTIVES	71
4.1. Introduction	72
4.2. Motivation et présentation générale de l'approche	73
4.3. Vers une prise en considération de la notion de collaboration dans la modélisation du contexte pour des interactions sur tables interactives	74
4.4. Vers une prise en charge des situations de collaboration par les tangigets lors d'une collaboration distante sur tables interactives tangibles	81
4.4.1. Les Choix de distribution concernant les objets métiers	81
4.4.2. Les Choix de distribution concernant les objets génériques	82
4.5. Synthèse	92
4.6. Conclusion du chapitre	94
CHAPITRE 5 - MISE EN PLACE D'UNE APPLICATION COLLABORATIVE DISTRIBUEE SUR DES TABLES INTERACTIVES A INTERACTION TANGIBLE	96
5.1. Introduction	97
5.2. La table interactive TangiSense	98
5.2.1. Présentation de la table	98
5.2.2. Présentation des projets ANR TTT et ANR IMAGIT	99
5.2.3. Description des objets	102
5.2.4. Présentation de l'architecture	102
5.2.5. Une interaction distribuée grâce au système multi agent	104
5.3 Présentation de l'application Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode collaboratif sur tables interactives TangiSense	106
5.3.1 Présentation générale	107
5.3.2 Présentation et conception des objets de l'application	109
5.4. Conclusion du chapitre	122
CHAPITRE 6 - EVALUATION DE L'APPLICATION COLLABORATIVE DISTRIBUEE ET DE SES TANGIGETS	123

6.1. Introduction	124
6.2. Méthodologie d'observation pour l'approche de collaboration distante entre les utilisateurs des tables interactives tangibles	124
6.3. Elaborer un plan d'expérimentation pour recueillir les informations	126
6.3.1. Protocole	127
6.3.2. Participants	127
6.3.3. Déroulement global pour l'ensemble des groupes.....	129
6.3.4 Déroulement pour chacun des groupes G1 à G12	130
6.4. Résultats.....	133
6.5. Conclusion du chapitre	143
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	145
Notre contribution.....	146
Originalité de nos travaux.....	148
Perspectives de recherche.....	149
REFERENCES	151
ANNEXES.....	164
Annexe A	164
Annexe B.....	165
Annexe C	167
Annexe D	168
Annexe E.....	174

REMERCIEMENTS

Le seul moyen de se délivrer d'une tentation, c'est d'y céder paraît-il ! Alors j'y cède en disant en grand Merci aux personnes qui ont cru en moi et qui m'ont permis d'arriver au bout de cette thèse.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Pr Christophe KOLSKI qui fut pour moi un directeur de thèse attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheur.

J'exprime tous mes remerciements à Pr Med Salim BOUHLEL, mon directeur de thèse côté l'université de Sfax, pour m'avoir ouvert les portes de son laboratoire sans aucune limite et surtout pour l'occasion qu'il m'a accordé lors de mon premier stage à Valenciennes.

Un grand merci également à Dr. Sophie LEPREUX, ma co-encadrante de thèse, pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant de co-encadrer ce travail doctoral, pour ses multiples conseils et pour toutes les heures qu'elle a consacrées à améliorer cette recherche. J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité et son respect sans faille des délais serrés de relecture des documents que je lui ai adressés.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury : Madame Nadine COUTURE et Messieurs Bertrand DAVID et Faouzi MOUSSA.

J'adresse toute ma gratitude à tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail, principalement à ma très chère collègue et amie Taisa pour son soutien, son aide et sa générosité.

DEDICACE

Je dédie cette thèse :

A MES TRES CHERS PARENTS, A ceux qui m'ont aidé à découvrir le 'savoir' le trésor inépuisable. Merci d'avoir été toujours là pour moi, un grand soutien tout au long de mes études. Vous avez été et vous serez toujours un exemple à suivre pour vos qualités humaines, votre persévérance et votre perfectionnisme.

A MON CHER EPOUX, Ton amour est un don du dieu. Aucune dédicace, aussi expressive qu'elle soit, ne saurait exprimer la profondeur de mes sentiments et l'estime que j'ai pour toi. Dans tes yeux, j'ai toujours pu lire de la tendresse, tu es une étoile dans ma vie. Tu m'as toujours soutenu, compris et réconforté tu es et restera toujours ma source d'inspiration. Merci pour ton attention, ta patience et tes encouragements ; Merci pour tout.

A MES PETITS BOUTS DE CHOU, Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer l'amour.... Bref, vous êtes la joie de ma vie. J'espère que ma thèse sera pour vous source de fierté et qu'elle sera un exemple à suivre. Votre joie de vivre et votre sourire ont été pour moi le meilleur encouragement que je puisse avoir. Que Dieu vous garde et vous protège.

A MES TRES CHERS BEAUX PARENTS, Parce qu'il est impossible de trouver les mots qui peuvent exprimer mon amour et ma reconnaissance pour vous. Je vous dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que vous m'avez offert depuis mon mariage, de tous les sacrifices que vous vous êtes imposés pour assurer notre vie de couple et notre bien-être, de votre tolérance, et de votre bonté exceptionnelle.

A MES TRES CHERS FRERES, je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et mon attachement. Puisse nos fraternels liens se pérenniser et consolider encore. Je ne pourrais d'aucune manière exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les sacrifices consentis, votre aide et votre générosité extrêmes ont été pour moi une source de courage, de confiance et de patience

A MES BEAUX FRERES ET SŒURS, Vous qui m'avez toujours soutenu et encouragé. Voilà le jour que vous avez attendu plus impatiemment que moi et sera l'occasion de partager une joie avec votre complicité habituelle. J'ai le grand plaisir de dédier à vous ce modeste travail.

A MES GRANDS AMIS ET COLLEGUES, En souvenir des moments merveilleux que nous avons passés et aux liens solides qui nous unissent. Un grand merci pour votre soutien, vos encouragements, votre aide. J'ai trouvé en vous le refuge de mes chagrins et mes secrets. Avec toute mon affection et estime, je vous souhaite beaucoup de réussite et de bonheur, autant dans votre vie professionnelle que privée.

Abstract

This thesis contributes to the Human-Computer Interaction domain. It aims to focus on collaborative remote capabilities of interactive tabletops with tangible interaction. Co-located collaboration on interactive tabletops has been dealt with in several previous works. But few studies have been devoted to exploiting the capabilities of interactive tabletops (specifically those with purely tangible interaction) in order to improve remote collaboration. Consequently, due also to the importance given to these new platforms, we have proposed an extension of a context model in order to take into consideration characteristics of remote collaboration exploiting tangible interactive tabletops. For this, we first crossed a set of collaborative situations with categories of generic tangible objects, called tangiget. This crossing gave birth to a set of categories of objects able to achieve a remote collaboration via interactive tabletops. In order to test our proposal, we have developed a collaborative application running on two TangiSense v2 interactive tabletops, resulting from previous ANR projects. In order to evaluate the whole of the elements proposed in this thesis, a study was conducted in the laboratory. A set of research prospects finishes the thesis.

Keywords: Human-Machine Interaction; Tangible Interaction; Interactive Tabletop; Context; Distributed User Interface; Collaboration Situations; TangiSense; Tangiget.

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine. Elle vise à mettre l'accent sur les capacités collaboratives à distance des tables interactives à interaction tangible. La collaboration co-localisée sur les tables interactives a été traitée lors de plusieurs travaux antérieurs. Par contre peu d'études ont été consacrées à exploiter les capacités des tables interactives (précisément celles à interaction purement tangible) afin de faciliter la collaboration à distance. C'est face à ce constat et en raison de l'importance accordée à ces nouvelles plateformes que nous avons proposé une extension d'un modèle de contexte afin de prendre en considération des caractéristiques liées à la collaboration distante en exploitant des tables interactives tangibles. Pour cela, nous avons dans un premier temps croisé un ensemble de situations de collaboration avec des catégories d'objets tangibles génériques, appelés tangigets. Ce croisement a donné naissance à un ensemble de catégories d'objets capables de réaliser une collaboration distante via des tables interactives. Afin de tester notre proposition, nous avons développé une application collaborative tournant sur deux tables interactives de type TangiSense v2, résultat de projets ANR antérieurs. Afin d'évaluer l'ensemble des éléments proposés dans cette thèse, une étude a été menée en laboratoire. Un ensemble de perspectives de recherche termine le mémoire.

Mots-clés : Interaction Homme-Machine ; Interaction Tangible ; Table interactive ; Contexte ; Distribution des interfaces Utilisateur ; Situations de collaboration ; TangiSense ; Tangiget.

Liste des Figures

Figure 1. Différents types et situations de collaboration via des outils et des plateformes informatiques	2
Figure 2. Matrice de travail collaboratif proposé par (Ellis et al. 1991)	3
Figure 3. Illustrations de différentes activités d'apprentissages collaboratifs réalisés sur des supports informatiques	6
Figure 4. Intégration des tables interactives dans les procédures d'enseignement collaboratif dans les écoles	7
Figure 5. Les premières interfaces graphiques utilisées au début des années 1990	13
Figure 6. Illustration de la Digital Desk proposée en 1991	16
Figure 7. Des applications conçues et développées sur des tables interactives dédiées pour l'apprentissage	17
Figure 8. Utilisateur en train de tester la plateforme VIP, cas d'un jeu conçu spécialement pour les personnes âgées (Al Mahmud et al. 2008)	18
Figure 9. Exemples de technologies de capture : (a) par utilisation de la fibre optique, (b) par caméra	20
Figure 10. Exemple d'étiquettes (ou tags) RFID (a) et schéma de la technologie de capture par matrice d'antennes RFID (b)	20
Figure 11. Exemples d'interaction homme-machine sur tables interactives : (a) interaction tactile, individuelle et (b) interaction par objets, en groupe	21
Figure 12. Le 3DC21, un système interactif multi-opérateur multi-vues	21
Figure 13. Exemples de démonstrateurs fonctionnant sur tables interactives : (a) gestion de photos, (b) application musicale utilisée en particulier par la chanteuse islandaise Björk en concert, (c) gestion de trafic routier	22
Figure 14. Le continuum réel-virtuel de Milgram	24
Figure 15. Modélisation des interfaces graphiques et tangibles (traduit d'Ullmer (2002))	27
Figure 16. Modélisation des interfaces graphiques et tangibles (traduit d'Ishii (2008))	28
Figure 17. Modélisation des interactions graphiques et tangibles (traduit de Zuckerman (2005))	29
Figure 18. Les boucles de double rétroaction offertes par les TUIs offrent deux boucles de rétroaction : (1) une première rétroaction tactile immédiate et (2) une deuxième rétroaction qui passe à travers le calcul numérique avec un possible temps de délai (traduit d'Ishii (2008))	29
Figure 19. Les TUIs avec actuation, l'actuation numérique offre une troisième boucle de rétroaction pour le contrôle par ordinateur de la position (traduit d'Ishii (2008))	30
Figure 20. Les outils tangibles proposés dans (Underkoffler et Ishii 1999) pour la modélisation des plans d'urbanisme	31
Figure 21. Aperçu de l'utilisation du système interactif BUILD-IT par un ensemble d'experts	32

Figure 22. Réactable, un instrument de musique avec une interface utilisateur tangible sur table interactive.....	33
Figure 23. Manipulation des <i>pucks</i> afin de paramétrer une connexion (client, serveur routeur ...)	34
Figure 24. Les 10 points susceptibles d'améliorer l'apprentissage selon (Marshall 2007).....	35
Figure 25. Cadre analytique recensant les éléments tangibles pour l'apprentissage (Marshall 2007) ..	36
Figure 26. Enfants en train de tester l'application Math-Vocab en deux versions : la version papier classique et la version interactive (Almukadi 2017) (Almukadi et Stephane 2015)	37
Figure 27. Exemple d'utilisation de l'application Youtopia par la manipulation des tampons.	37
Figure 28. Etude de (Xie et al. 2008) pour comparer le comportement utilisateur envers un jeu d'apprentissage sur trois types d'interfaces différents	38
Figure 29. Etude comparative du système tangible AC avec l'ancienne méthode d'enseignement BSM	39
Figure 30. Le système NIKVision proposé dans (Marco et al. 2013).....	40
Figure 31. La configuration du système TanTab	41
Figure 32 . Le modèle 3C et les différentes tâches (d'après (David, 2001))	52
Figure 33. Exemple de l'espace personnel et l'espace partagé selon (Kruger et al. 2004)	62
Figure 34. Les situations de collaboration identifiées par Isenberg	64
Figure 35. Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'Utilisateur, de la Plateforme et de l'Environnement proposé dans (Kubicki 2011)	74
Figure 36. Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'Utilisateur, de la Plateforme et de l'Environnement, étendant l'étude menée dans (Kubicki 2011) pour l'interaction avec des tables interactives	79
Figure 37. Diagramme de classe pour un modèle du contexte spécifique à la collaboration via les tables interactives à interaction tangible (Bouabid et al. 2014b)	80
Figure 38. Tangiget "identification" pour s'identifier à distance	83
Figure 39. Diagramme de séquence pour modéliser l'identification à distance via le tangiget "identification"	83
Figure 40. Tangiget affectation de tâches pour organiser le travail entre les différents collaborateurs	84
Figure 41. Diagramme de séquence pour modéliser l'affectation de tâche à distance via le tangiget "Affectation tâche".....	84
Figure 42. Tangiget synchronisation de début de l'activité pour organiser le lancement de l'activité collaborative entre les différents collaborateurs	85
Figure 43. Diagramme de séquence pour modéliser la synchronisation du début de l'activité sur les deux tables connectées via le tangiget "synchronisation"	86
Figure 44. Tangiget "mode affichage" permettant de changer le mode d'affichage	87
Figure 45. Diagramme de séquence pour modéliser le changement du mode d'affichage via le tangiget "mode affichage".....	87

Figure 46. Tangiget "demande aide" afin de demander l'aide du collaborateur distant.....	88
Figure 47. Diagramme de séquence pour modéliser la demande d'aide à distance via le tangiget "demande aide"	89
Figure 48. Tangiget "offre aide" afin d'aider la personne distante qui a demandé de l'aide	90
Figure 49. Diagramme de séquence pour aider le collaborateur à distance via le tangiget "offre aide"	90
Figure 50. Tangiget "fin de tâche" permettant d'annoncer la fin de la tâche à chaque collaborateur ...	91
Figure 51. Diagramme de séquence pour modéliser l'annonce de la fin de la tâche affectée à distance via le tangiget "fin tâche"	91
Figure 52 . Une illustration des différents choix conceptuels pour une interaction tangible distribuée	94
Figure 53 . Schématisation de la technologie RFID employée par la table interactive TangiSense (Kubicki 2011).....	98
Figure 54 . Présentation du principe de composition d'une table interactive TangiSense.....	99
Figure 55. (a) Une dalle de la table, comportant 8*8 antennes RFID, (b) association d'une LED par antenne, (c) la table interactive TangiSense affichant une application qui utilise les LEDs	100
Figure 56. Architectures de connexion entre tables proposées dans (Lepreux et al. 2011)	101
Figure 57. Utilisation des objets tangibles pour collaborer à distance.....	101
Figure 58. Modélisation de l'architecture en couches (Kubicki et al. 2009)	104
Figure 59. Diagramme de séquence illustrant l'interaction mixte via les tables interactives	105
Figure 60. Modélisation de l'architecture multi agent utilisée pour la communication entre les tables tangisense.....	106
Figure 61. Exemple d'objets incolores utilisés dans l'application apprentissage de couleurs en mode distribué	108
Figure 62. (a) les catégories des objets incolores (triangle, rayé verticalement, pointillé, rayé horizontalement), (b) les différents objets incolores utilisés dans cette application (proposés initialement dans (Kubicki 2011))	110
Figure 63 . Les zones de couleur de l'interface principale	110
Figure 64. L'objet magicien permettant de corriger l'exercice.....	111
Figure 65. Le tangiget "identification" posé sur la table pour identifier la personne présente	113
Figure 66. Diagramme de collaboration présentant la procédure de l'identification sur la table enfant	113
Figure 67. Le tangiget "affectation catégorie" posé sur la table adulte et affectation de la catégorie "rayé verticale" à l'enfant identifié.....	114
Figure 68. Diagramme de collaboration présentant la procédure de l'affectation d'une catégorie d'objet à l'enfant identifié.....	114
Figure 69. Le tangiget "Start " posé sur la table adulte et synchronisation de l'affichage de l'interface principale de l'application	116

Figure 70. Diagramme de collaboration présentant la procédure de la synchronisation du début de l'activité collaborative	116
Figure 71. Tangiget Focus sur la table adulte et changement du mode d'affichage.....	117
Figure 72. Diagramme de collaboration présentant la procédure du changement du mode d'affichage des informations de la table adulte à l'aide du tangiget " focus"	117
Figure 73. Tangiget zone de collaboration pour une demande d'aide.....	118
Figure 74. Diagramme de communication illustrant le tangiget zone de collaboration pour une demande d'aide à distance.....	118
Figure 75. Le tangiget "gomme" pour une offre d'aide.....	119
Figure 76. Diagramme de communication illustrant l'offre d'aide provenant de l'adulte.....	120
Figure 77. Le tangiget "fin de l'exercice" annonce la fin de la tâche	120
Figure 78. Diagramme de communication illustrant l'annonce de la fin de l'exercice.....	121
Figure 79. Illustration des domaines de recherche croisés dans cette thèse.....	125
Figure 80. Classification des objets métier et des tangigets sur les deux tables	128
Figure 81. Environnement en laboratoire de l'expérimentation	128
Figure 82. Les procédures de l'évaluation système	131
Figure 83. Progression des six groupes.....	132
Figure 84. Résultats des questionnaires remplis par les participants	134
Figure 85. Présentation des résultats du questionnaire SUS	134
Figure 86. Utilisation du tangiget <i>gomme</i> couplé avec l'objet <i>magicien</i> afin de fournir une aide globale aux utilisateurs de la table enfant.....	135
Figure 87. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table enfant à propos des tangigets utilisés directement.....	137
Figure 88. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table enfant à propos des informations communiquées suite à l'utilisation des tangigets sur la table adulte.....	139
Figure 89. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table adulte à propos des tangigets utilisés directement.....	142
Figure 90. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table adulte à propos des informations communiquées suite à l'utilisation des tangigets sur la table enfant.....	143

Liste des Tableaux

Tableau 1. Synthèse comparative des caractéristiques du travail coopératif et collaboratif (Piquet, 2009)	5
Tableau 2. Tableau de synthèse des applications développées sur les tables interactives	42
Tableau 3. Spécifications prises en considération pour la modélisation du contexte du travail	75
Tableau 4. Spécifications prises en considération pour la modélisation du contexte du travail pour les tables interactives, proposé initialement par Kubicki	78
Tableau 5. Croisement entre les différentes situations de collaboration et les catégories tangiget	93
Tableau 6. Les objets métiers de l'application apprentissage de couleurs en mode distribué	111
Tableau 7. Tangigets : les choix de distribution	121
Tableau 8. Le score obtenu pour chaque sujet suite au calcul des résultats du questionnaire SUS	136

Chapitre 1 - Introduction générale

1.1. Qu'est-ce que la collaboration ?

La collaboration est l'acte de travailler ou de réfléchir ensemble pour atteindre un objectif et échanger des idées (Danis 2006). Dans son sens commun, la collaboration est un processus par lequel deux ou plusieurs personnes ou organisations s'associent pour effectuer un travail intellectuel suivant des objectifs communs (Piquet 2009). Des méthodes structurées de collaboration encouragent l'introspection de comportements et la communication (Danis 2006). Ces méthodes ont pour objectif spécifique l'augmentation du taux de réussite des équipes quand elles se livrent à la résolution de problèmes en collaboration. La Figure 1 fournit des illustrations de personnes ou organisations en collaboration.



Figure 1. Différents types et situations de collaboration via des outils et des plateformes informatiques

La collaboration nécessite un effort conjoint d'individus ou de membres d'un groupe de travail afin d'accomplir une tâche ou un projet. Au sein d'une organisation, la collaboration implique généralement la capacité de deux personnes ou plus de visualiser et de contribuer à des documents ou d'autres contenus via un réseau (Bellotti et Bly 1996) (Danis 2006). Le terme collaboration a pris toute son importance dans les dernières années au sein des entreprises, de nombreuses instances municipales, régionales et gouvernementales, des établissements de santé, des grandes institutions d'enseignement, etc. La collaboration est devenue une valeur, un objectif à atteindre, une compétence (Ldaoeng 2014).

Dans le cadre de l'entreprise, la capacité de collaborer et de communiquer devient de plus en plus primordiale dans de nombreux domaines d'application. Nous pouvons attribuer la popularité de la collaboration, entre autres, aux changements économiques, sociodémographiques et à l'arrivée des nouvelles technologies, et tout particulièrement celles qui contribuent à une plus grande intégration des différents secteurs, à une réorganisation du travail, ainsi qu'à des structures favorisant le décloisonnement (Kubicki et al. 2012).

Le travail collaboratif au sein d'une entreprise peut comprendre l'utilisation d'une plate-forme de collaboration, d'outils de partage de réseau dans l'entreprise, d'un intranet d'entreprise et de l'Internet public (Cord 2003) (Bellotti et Bly 1996). L'une des méthodes de partage et de collaboration proposée récemment est le nuage (*Cloud*) (Scale 2009). La collaboration en nuage permet aux employés de travailler ensemble sur des documents (ou autres types de données) qui sont stockés ailleurs. Les employés utilisent de plus en plus la plateforme en nuage pour partager, modifier et travailler ensemble sur des projets. La collaboration en nuage permet à deux personnes ou plus de travailler sur un ou plusieurs projets à la fois.

Tout système de travail collaboratif devrait prendre en considération deux facteurs importants : le temps et l'emplacement de l'interaction (Rittenbruch 2015). A ce sujet, Ellis et ses collègues proposent une matrice de travail collaboratif (Ellis et al. 1991). Celle-ci est utilisée pour conceptualiser les systèmes de travail collaboratif en tenant compte de leurs contextes d'utilisation (Dey 2001). La matrice considère les contextes de travail selon deux dimensions : le temps et l'espace (emplacement). La dimension de l'emplacement détermine si la collaboration est co-localisée ou distribuée ; la dimension du temps, quant à elle, détermine si les individus collaborent de manière synchrone (en même temps) ou asynchrone. Cette matrice est illustrée en Figure 2.

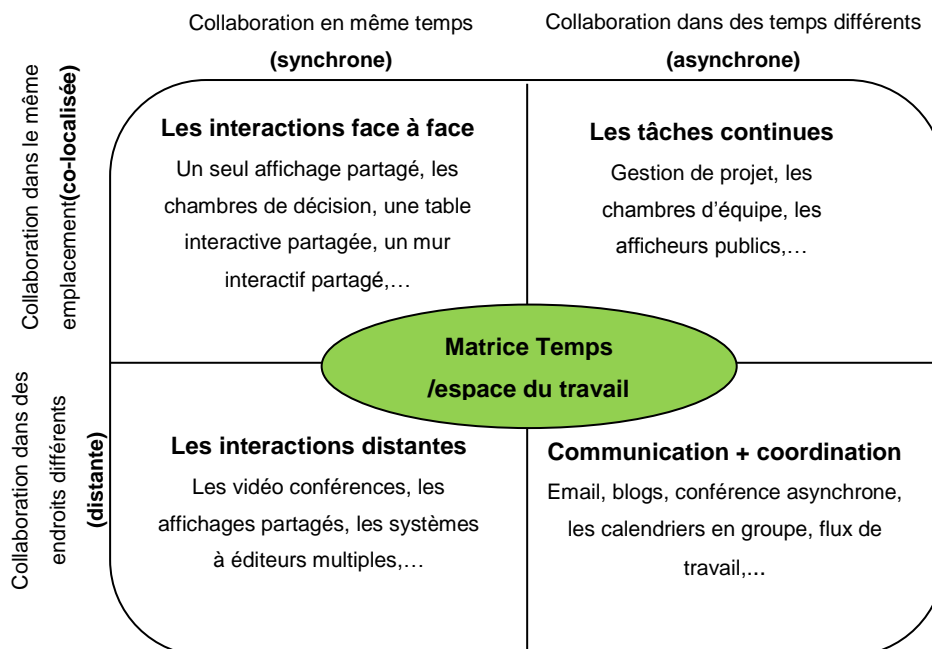


Figure 2. Matrice de travail collaboratif proposé par (Ellis et al. 1991)

La notion de mobilité est la capacité de travailler à partir de différents endroits et de communiquer par l'intermédiaire de plateformes numériques dédiées au travail collaboratif, telles que des portables, des tablettes, etc. Cette notion de mobilité est désormais considérée par les utilisateurs comme acquise. Les utilisateurs se trouvent en situation de travailler à la maison, en voyage et à partir d'autres endroits pendant les heures de travail, ou en dehors de ces horaires, et ils cherchent à être en mesure de collaborer avec des collègues via des outils ou des appareils qu'ils ont à disposition (Olson et Olson 2000) (Ahlers et al. 1995).

Dans certains travaux, les deux notions de collaboration et de coopération peuvent être associées à un seul sens. Dans plusieurs articles et références, tels que (Bannon et Schmidt 1989) (Ardaiz et al. 2010), les auteurs les utilisent encore comme des synonymes, malgré le fait qu'ils ne représentent pas les mêmes modes d'organisation du travail, ni les mêmes comportements des personnes.

Lorsque nous comparons les définitions de coopération et de collaboration (cf. ci-dessous), la coopération a un sens de consensus, excluant la concurrence et les conflits. Pour ce qui est de la collaboration, elle s'articule davantage autour de l'importance de travailler ensemble, de l'atteinte d'un objectif commun, donc d'une notion de résultats et de coresponsabilité (imputabilité).

LA COOPERATION AU TRAVAIL (Dillenbourg 1999) (Roschelle et Teasley 1995)

Comportement où les individus mènent leurs relations et leurs échanges d'une manière non conflictuelle ou non concurrentielle, tout en cherchant les modalités appropriées pour analyser ensemble et de façon partagée les situations et collaborer dans le même esprit pour parvenir à des fins communes ou acceptables par tous. En coopération, les partenaires divisent le travail, résolvent individuellement les sous-tâches, puis assemblent les résultats partiels dans la sortie finale.

LA COLLABORATION AU TRAVAIL (Roschelle et Teasley 1995) (Lipponen 2002)

La collaboration est une activité synchrone coordonnée qui résulte d'une tentative continue de construire et de maintenir une conception partagée d'un problème. Il s'agit de travailler ensemble pour atteindre un objectif commun. Dans son sens commun, la collaboration est un processus par lequel deux ou plusieurs personnes ou organisations s'associent pour réaliser un travail suivant des finalités communes.

Dans le Tableau 1, les concepts généraux de coopération et de collaboration du point de vue du travail sont présentés. Il s'agit d'une synthèse comparative des caractéristiques du travail coopératif et collaboratif.

Tableau 1. Synthèse comparative des caractéristiques du travail coopératif et collaboratif (Piquet, 2009)

LE TRAVAIL COOPÉRATIF	LE TRAVAIL COLLABORATIF
<p>Organisation collective du travail dans laquelle la tâche (résultat attendu) est fragmentée en sous-tâches.</p>	<p>Organisation du travail qui s'entend sur une situation de travail collectif où les tâches et les buts sont communs.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Le travail se fait par le cumul d'activités individuelles. • Chaque personne (acteur) sait ce qu'il doit faire dès le début et sa communication, ses échanges ou le partage d'éléments serviront à arriver à l'atteinte de son objectif individuel. • Les rapports entre les personnes (acteurs) sont principalement verticaux. • L'atteinte de l'objectif fixé se fait par une succession progressive et coordonnée des actions de chaque personne (acteur). • Le mode de communication est généralement par étape selon l'évolution du travail. • Le travail effectué par chaque personne (acteur) est identifiable en cours et la fin du projet, du mandat ou de l'activité. • Chaque personne (acteur) se sent personnellement responsable de son propre résultat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le travail se fait par l'amalgame des contributions individuelles avec des ajustements et réalignements continus. • Le travail implique un engagement mutuel des personnes (acteurs) dans un effort coordonné pour effectuer une même tâche et/ou résoudre ensemble un même problème. • Le travail nécessite de l'équipe une plus forte interdépendance, plus de motivation et de confiance interpersonnelle. • Les rapports entre les personnes (acteurs) sont horizontaux. • L'approche de la communication selon le contexte sera beaucoup plus souple et principalement dans un environnement accentué par les TIC. • Le travail individuel est difficilement identifiable tout au long de la démarche et la responsabilité est constamment partagée donc toutes les personnes (acteurs) sont imputables des résultats.

1.2. La collaboration et l'apprentissage

Henri et Lundgren-Cayrol précisent que « l'apprentissage résulte du travail individuel soutenu par des activités de groupe ou d'équipe. L'apprenant partage des ressources avec le groupe et utilise le travail réalisé en groupe pour apprendre. La structure de l'activité est souple et ouverte. Les parcours d'exploration et de découvertes sont libres. » (Henri et Lundgren-Cayrol, 2005).

Panitz, dans (Panitz 1996), présente la différence entre l'apprentissage collaboratif et l'apprentissage coopératif comme suit : « l'apprentissage collaboratif est une philosophie d'interaction et de style de vie personnel, alors que l'apprentissage coopératif est un ensemble d'interaction structurées et conçues pour faciliter la finalisation d'un produit ou un objectif. »

On considère que l'apprentissage collaboratif est principalement adopté pour faire progresser les élèves, améliorer leur niveau scolaire. Dillenbourg présente l'apprentissage collaboratif à travers les notions de situation et d'interaction (Dillenbourg 1999). Il considère qu'une situation peut être qualifiée de collaborative à partir du moment où des personnes de même niveau cognitif, dont les statuts sont équivalents, sont capables de travailler ensemble dans un but commun. Elle peut être ensuite considérée comme interactive si ces personnes communiquent de façon soutenue, argumentent, voire s'opposent en évitant toutefois d'imposer leurs points de vue. L'idée est basée alors sur l'échange entre pairs, sur la justification des idées émises par les uns et les autres au sein du groupe. L'Apprentissage Collaboratif peut dépasser dans son sens le plus large une simple technique ou un moyen de sollicitation aux activités collectives (voir la Figure 3). Panitz le considère comme « une façon de lier des personnes tout en respectant et mettant en valeur les habiletés et contributions des membres du groupe » (Panitz 1999). L'Apprentissage Collaboratif présente alors l'intérêt de rapprocher les personnes et de partager le travail entre eux afin de contribuer à l'émergence d'un esprit communautaire.



Figure 3. Illustrations de différentes activités d'apprentissages collaboratifs réalisés sur des supports informatiques

1.3. La table interactive, un outil favorable pour la collaboration

En tant qu'interfaces utilisateur pour le travail collaboratif, les tables interactives font l'objet d'une recherche en Interaction Homme-Machine depuis plus de deux décennies (Baecker 1995) (Kubicki et al. 2012) (Müller-Tomfelde et Fjeld 2010). Plusieurs facteurs ont incité les chercheurs et les concepteurs à penser aux tables interactives en tant que plateforme de collaboration et de coopération. Ainsi on considère que l'orientation de son affichage partagé

permet aux utilisateurs d'interagir les uns avec les autres, en utilisant un environnement numérique riche, avec un accès égalitaire, tout en maintenant une communication face à face avec l'autre (Kubicki 2011) (Kubicki et al. 2012) (Buisine et al. 2012). De tels avantages ont également incité les chercheurs du CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*) à s'intéresser à l'utilisation des tables de travail interactives dans l'éducation (Dillenbourg et Evans 2011) (Figure 4). Cependant, étant donné que les tables interactives sont relativement nouvelles et originales, un certain nombre de verrous scientifiques ne sont pas encore levés. Nous présentons dans la suite les objectifs de recherche.



Figure 4. Intégration des tables interactives dans les procédures d'enseignement collaboratif dans les écoles

1.4. Objectifs de recherche

Les principaux objectifs de cette recherche sont les suivants :

1. Comprendre les étapes d'évolution des tables interactives afin d'avoir une plus ample idée des mécanismes de fonctionnement des différentes catégories des tables interactives ainsi que de leurs performances, tout en se focalisant sur les tables interactives à interaction tangible, et tout en prenant comme cadre applicatif le domaine éducatif. Nous avons abordé cet objectif en examinant la littérature relative aux tables interactives, en plus de mener une étude de l'intégration des applications sur les tables interactives à interaction tangible avec une visée de distribution, notamment durant les premières années d'école.

2. Identifier l'importance des activités collaboratives dans différents domaines et secteurs, ainsi qu'étudier la différence entre la collaboration co-localisée et la collaboration distante, ainsi que les points forts de chaque type de collaboration. Nous avons abordé cet objectif en examinant plusieurs évaluations faites sur le comportement utilisateur lors de plusieurs activités collaboratives. Nous avons notamment étudié l'impact d'utiliser des tables interactives lors d'activités collaboratives ; une utilisation qui peut faciliter la communication

et l'entraide entre les différents collaborateurs, et qui peut assurer une collaboration fiable et réussie.

3. Explorer comment la technologie de tables interactives tangibles peut soutenir l'apprentissage collaboratif à distance, et le potentiel de cette nouvelle technologie pour combler le fossé entre la collaboration à distance et le CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*).

4. Créer et évaluer une application mettant en pratique des concepts de compréhension et d'interaction. Nous avons atteint cet objectif en suivant un processus de conception itératif et en faisant des choix de conception fondés sur les théories de l'Interaction Homme-Machine Homme-Machine (avec l'apprentissage collaboratif en illustration).

5. Proposer un ensemble d'objets tangibles en correspondance avec les situations de collaboration possible sur les tables interactives, afin d'assurer un ensemble de types de communication et de collaboration à distance entre les différents collaborateurs.

1.5. Contributions de recherche

Nos principales contributions se situent dans la définition d'objets génériques supportant la collaboration à distance sur des tables interactives à interaction tangible, ainsi que dans le développement d'une application distribuée collaborative à finalité d'apprentissage sur des tables interactives distantes.

Pour les objets supportant la collaboration distante, nous avons croisé un ensemble d'objets génériques, appelés *tangigets*, avec des situations de collaboration possibles sur tables interactives. Suite à ce croisement, nous avons pu définir des objets génériques qu'on peut utiliser sur toute table à interaction tangible afin d'assurer une activité collaborative entre des collaborateurs distants. Cette technique est conçue pour résoudre la problématique de l'interaction sur table, dans un contexte de communication à distance, en s'appuyant sur les propriétés des tables interactives, ainsi que sur des principes de partage de l'information et d'échange d'expertise et d'avis. Nous avons développé une application collaborative sur tables interactives à interaction tangible ; cette application, dérivée de l'application d'apprentissage de couleurs, version co-localisée, présentée dans (Kubicki 2011), aborde le problème d'apprentissage à distance chez les enfants. Il s'agit d'une application interactive au cours de laquelle l'enfant est invité à placer des objets incolores (« ayant perdu leurs couleurs ») dans des zones de couleurs appropriées à la couleur dominante de ces objets (par exemple le vert

pour un objet représentant un sapin). Cette application est collaborative entre enfant et adulte (par exemple parent ou enseignant), dans la mesure où l'enfant peut demander l'aide de l'adulte en cas de besoin, ce dernier pouvant suivre le déroulement de l'application et évaluer le niveau d'apprentissage chez l'enfant ainsi que connaître ses points de faiblesse dans ce type d'exercice. La collaboration dans cette application se déroule via les objets génériques spécifiques à la collaboration à distance. Une évaluation a été menée en laboratoire, avec 36 participants.

1.6. Contenu du mémoire

Le mémoire se compose de six chapitres. Après ce premier chapitre d'introduction, le second chapitre est consacré au passage des interfaces WIMP vers les interfaces Post-WIMP, à l'étude des tables interactives et de l'apport de ces dernières pour les utilisateurs, ainsi qu'à la conception d'applications interactives sur un tel support. Nous nous focalisons plus précisément sur l'apparition des interfaces à interaction tangible et nous étudions quelques applications conçues et développées sur ce type de support, tout en parcourant des spécificités de l'interaction tangible par rapport à d'autres modes d'interaction.

Dans le troisième chapitre, nous abordons l'importance des activités collaboratives dans différents domaines de notre vie, et nous étudions de manière globale la façon dont la technologie a été utilisée pour améliorer cette notion de collaboration, ainsi que quels types d'applications interactives collaboratives nous pouvons réaliser sur des supports informatiques de type table tangible. Nous étudions à titre d'exemple un domaine qui encourage vivement le travail collaboratif, qu'est l'apprentissage collaboratif, tout en décrivant des exemples représentatifs d'applications d'apprentissage collaboratif sur table interactive.

Le quatrième chapitre développe notre proposition de mise en avant des propriétés collaboratives pour les tables interactives. Nous commençons par analyser et identifier les situations de collaboration possibles sur les tables interactives ainsi que les différents objets tangibles capables de supporter ces collaborations. A partir de cette analyse, nous proposons d'illustrer à l'aide d'un diagramme de classes le contexte d'une collaboration distante via des tables interactives à interaction tangible avant de proposer une modélisation des situations de collaborations via des objets génériques utilisés sur les tables tangibles et capables de supporter la collaboration distante entre différents collaborateurs en utilisant seulement les

propriétés des tables interactives. Nous détaillons précisément les objets et les rôles à travers un ensemble de digrammes d'interaction.

Le cinquième chapitre présente une étude de cas, prenant la forme d'une application que nous avons conçue et réalisée sur des tables interactives à interaction tangible. Elle permet l'apprentissage de couleurs en mode distribué. Cette application fonctionne sur deux tables interactives interconnectées mais distantes ; le seul moyen de communication et de collaboration entre les utilisateurs de cette application sont des objets tangibles génériques proposés dans le chapitre 3. Via cette application, nous avons conçu un scénario pour chaque situation de collaboration possible, que ce soit à distance ou en mode co-localisé.

Dans le sixième chapitre, nous présentons les résultats de l'évaluation, menée en laboratoire, de cette application ; elle a été réalisée avec 12 groupes de 3 personnes chacun. Il s'agit d'une première évaluation fournissant des résultats prometteurs concernant le comportement des utilisateurs envers l'application collaborative, ainsi qu'envers les objets génériques disponibles pour communiquer et échanger via les tables interactives.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives de recherche que nous visons dans nos prochains travaux.

Chapitre 2 - Les tables interactives : des principes de base à l'interaction tangible

2.1. Introduction

Les tables sont depuis longtemps utilisées dans notre vie quotidienne, dans nos maisons, dans nos bureaux et même dans les espaces publics. On y mange, on y joue, on y travaille. Ce qui est remarquable dans notre utilisation des tables, c'est qu'on peut pratiquer des activités à plusieurs autour d'elles ; on peut veiller à disposer de l'espace suffisant pour chaque personne, qu'elle veuille effectuer l'activité seule, ou qu'elle préfère interagir avec les autres personnes.

A partir des années 80, les chercheurs ont commencé à imaginer, concevoir et créer des tables interactives disposant de différents systèmes d'affichage (vidéo-projection, écran intégré) qui permettent d'exploiter à la fois les avantages des tables, en termes de surface large, et les capacités des ordinateurs ; ceci a permis de déboucher sur des interfaces utilisateur horizontales, appelées tables interactives (*tabletops*, ou *interactive tabletops*).

Ce chapitre se compose de 4 parties. La première se focalise sur le passage de l'interface WIMP à l'interface post-WIMP, débouchant en particulier sur l'apparition des tables interactives. La deuxième partie porte plus précisément sur les principes de base des tables interactives à interaction tangible. La troisième partie présente des techniques d'interaction sur interfaces tangibles. Ce chapitre se termine par une présentation des atouts des interfaces tangibles relativement au domaine de l'apprentissage.

2.2. Les tables interactives

2.2.1. Les interfaces graphiques post-WIMP

Les interfaces post-WIMP ont émergé comme un nouveau style d'interaction pour surmonter les limitations dont les interfaces WIMP souffrent. En effet, L'acronyme WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointing device*) désigne un type d'interface graphique très utilisé dès son apparition en 1973 à Xerox PARC (Ashley 1997). Le terme a été inventé par Merzouga Wilberts en 1980, avec les principes popularisés par le Macintosh d'Apple en 1984. Les interfaces WIMP permettent à l'utilisateur d'interagir avec le système depuis l'écran de l'ordinateur grâce à un dispositif de pointage (la souris), et d'éléments d'interface utilisateur comme des fenêtres, des menus déroulants et des icônes, qui représentent les commandes actionnables. Au début des années 1980, Apple est le premier à vendre en grande quantité des ordinateurs proposant une interface WIMP, avec le Macintosh (1984). Leur système

d'exploitation deviendra le standard pour ce type d'interface. Depuis la fin des années 1980, avec l'avènement du système d'exploitation de Microsoft, Windows, inspiré des travaux précédents, les interfaces WIMP prédominent comme style d'interaction avec les ordinateurs. La Figure 5 présente les toutes premières interfaces graphiques utilisées au cours des années 1990.

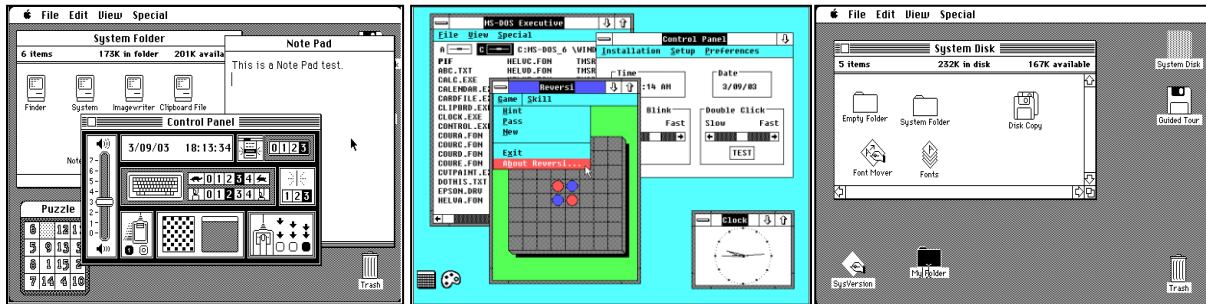


Figure 5. Les premières interfaces graphiques utilisées au début des années 1990

Des réflexions ont été menées pour trouver des solutions aux nombreux problèmes rencontrés avec les interfaces utilisateur de type WIMP. Les chercheurs ont alors pensé à un nouveau paradigme des interfaces graphiques qu'on appelle le post-WIMP. Beaudouin-Lafon précise dans (Beaudouin-Lafon 2004) qu'avec WIMP on a conçu des interfaces et non pas des interactions.

C'est pourquoi on trouve que les propriétés et les principes de fonctionnement des interfaces post-WIMP reposent sur des idées inspirées des problèmes rencontrés précédemment et accordent une grande importance à la notion d'interaction, ce qui n'était pas une priorité dans les interfaces WIMP. Parmi ces limitations on peut citer particulièrement celles citées dans (van Dam 1997) et (Biström et al . 2005) :

- **La croissance exponentielle de la quantité d'information à traiter :** tous les domaines de notre vie quotidienne ont été touchés par la technologie ; on utilise les systèmes informatiques dans presque toutes nos activités, ce qui engendre une très grande quantité d'information à traiter chaque jour en parallèle. L'affichage limité des écrans d'ordinateurs ordinaires peut causer certains problèmes et limiter l'utilisateur dans ses activités.
- **La diffusion des informations sur plusieurs ordinateurs et périphériques :** dans certains cas les documents ou les documents à traiter par l'utilisateur sont de taille beaucoup plus grande que l'écran de l'ordinateur. Dans ce cas, le traitement de ce type de document se fait en partie, ou bien on doit avoir recours à d'autres écrans ou

afficheurs externes (vidéo projecteur ou autres) pour afficher le maximum d'information.

- **Le nombre croissant d'utilisateurs d'ordinateurs :** rapidement l'utilisation des ordinateurs est devenue indispensable dans tous les domaines. L'évolution technologique a facilité le passage de l'ère du papier à l'ère du stockage numérique de tout type de documents. Certains traitement de documents se faisaient auparavant à plusieurs et autour d'une table ronde de discussion (Greenbaum et Kyng 1992). Mais l'affichage limité d'un ordinateur ne peut pas offrir des conditions favorables pour ce type d'activité ; ce qui peut poser un problème de passage des documents à traiter en boucle (en cas de révision et correction).
- **Le changement au niveau de la nature de l'information à traiter :** les interfaces WIMP sont conçues principalement pour l'affichage des applications 2D (traitement du texte, dessin, visualisation de média, etc.). Quand l'information est plus complexe que la représentation 2D, la correspondance entre l'information et des objets 2D devient beaucoup moins naturelle.
- **La non prise en considération des cas particuliers des utilisateurs :** l'utilisation des composants du paradigme WIMP n'est pas évidente pour tout type d'utilisateur. En fait, les utilisateurs qui ont des besoins particuliers, dus par exemple à des déficiences mentales ou physiques, peuvent rencontrer des difficultés plus ou moins importantes, dans l'utilisation des outils disponibles.
- **Une mauvaise exploitation des sens humains :** les interfaces WIMP sont conçues pour utiliser principalement deux sens : l'ouïe et la vue. L'exploitation des 5 sens humains (ouïe, vue, odorat, goût, toucher) peut potentiellement fournir une grande quantité d'aides en termes d'interaction et de rétroaction. Il est difficile pour nous de communiquer dans le monde physique sans nos cinq sens, raison pour laquelle les interfaces WIMP sont considérées comme moins naturelles.

On définit une interface post-WIMP (on l'appelle aussi non WIMP) en tant qu'interface qui contient au moins une technique d'interaction qui ne dépend pas des éléments WIMP classiques tels que les menus ou les icônes (van Dam 1997) (Jacob et al. 2008).

Ce paradigme opte pour l'implication de trois facteurs en parallèle : les sens humains, la communication verbale et l'intervention à plusieurs (Van Dam 1997). Une interface post-WIMP ne comprend, normalement, ni menu, ni formulaire, ni barre d'outils, et elle compte en

contrepartie sur les gestes et l'utilisation des différents sens, ce qui fait généralement appel aux compétences des utilisateurs au niveau de la manipulation des objets virtuels et réels.

Le post-WIMP repose sur un ensemble de nouvelles techniques d'interaction. De ce fait, le passage du WIMP vers le post-WIMP doit se baser sur des modèles d'interaction afin de faciliter la conception et le développement de l'interface. Par un modèle d'interaction on veut dire un ensemble de règles, de méthodes et de propriétés qui guident la conception d'une interface utilisateur ; de tels modèles aident également à décrire la façon de combiner l'ensemble de techniques d'interaction souhaitées, d'une manière significative, logique et cohérente (Beaudouin-Lafon et Lassen 2000).

Pour plusieurs chercheurs, l'ère de l'interface WIMP a bien connu sa fin. Ils partent du fait que les besoins des utilisateurs ont connu un ensemble de changements qui ont influencé l'utilisation de l'interface et les finalités souhaitées.

Le paradigme WIMP a dominé la conception d'interfaces utilisateur graphiques pendant de nombreuses années. Il est remarquable de voir combien de temps il a été utilisé. Pour cette raison, dans les systèmes contemporains, comme Windows 7 à 10, OS X, GNOME et KDE, on opte pour conserver encore un grand nombre des caractéristiques clés de WIMP, y compris les fenêtres, le bureau, les navigateurs de fichiers, les barres de menus et les pointeurs. Bien que quelques innovations puissent être soulignées (amélioration de l'affichage, temps de réponse, amélioration au niveau du noyau et des performances, meilleure résolution...), la recette de base est restée la même depuis plus de trente ans, malgré des avancées majeures au niveau du matériel informatique, mais aussi des méthodes de conception de systèmes interactifs, afin que l'utilisateur ne perde pas la logique de son comportement habituel envers la machine et les acquis précédents.

Dans le cadre de cette thèse, nous étudions principalement les interfaces post-WIMP à travers l'étude des interfaces interactives à interaction tangible sur les tables interactives.

2.2.2. Les tables interactives, de leurs débuts à de nouvelles considérations en IHM

L'apparition des tables interactives a permis d'apporter une solution dans le cas où les utilisateurs ont besoin de réaliser des travaux collaboratifs ou coopératifs et de travailler sur un document ou une information en même temps, en présentiel.

En effet, les ordinateurs ordinaires ne permettent pas aux utilisateurs de travailler à plusieurs, le multi-pointage, ou l'intervention simultanée sur un document, étant difficile, voire impossible.

La première table interactive a été proposée par Pierre Wellner (Xerox) en 1991 ; celui-ci a conçu le « digital desk », dont les éléments constitutifs sont visibles en Figure 6 (Wellner 1993). De nombreuses études et recherches ont été réalisées ensuite. Dans sa thèse, Kubicki a recensé en 2011 84 types de table interactive (Kubicki 2011).

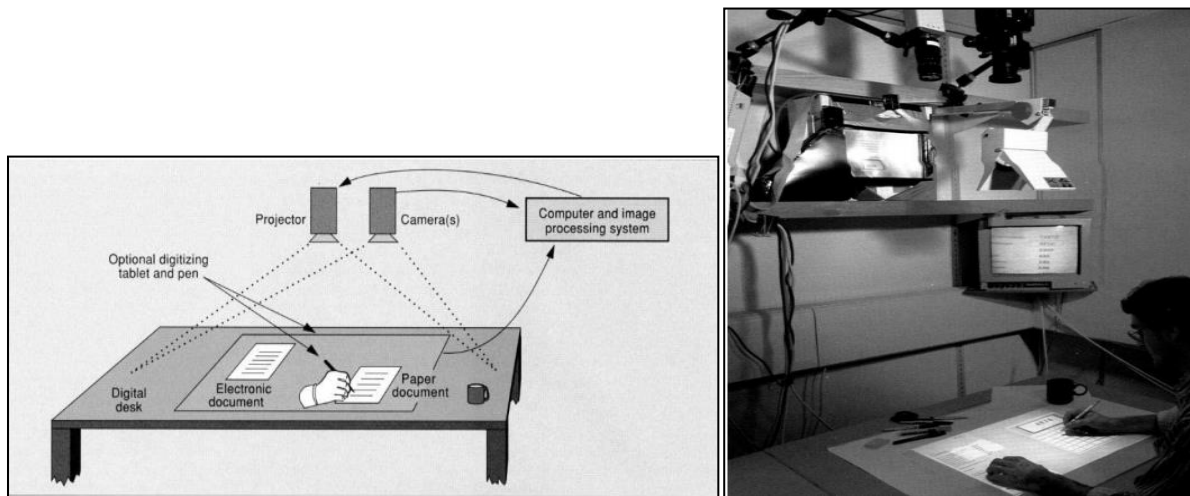


Figure 6. Illustration de la Digital Desk proposée en 1991

Plusieurs domaines commencent à intégrer les tables interactives dans leur culture technologique, afin d'offrir un environnement plus évolué et plus collaboratif pour leurs employés et/ou usagers. La facilité d'utilisation des tables interactives ainsi que les possibilités offertes en termes de modalités d'interaction ont donné une grande liberté de choix, selon un ensemble de critères liés à la table : surface, modalité(s) d'interaction, nombre de personnes pouvant intervenir en même temps, etc. (Kubicki 2011).

Un secteur très important de nos jours sur le marché technologique est le gaming. Toutes les entreprises concernées par les jeux vidéo consacrent un énorme budget pour les recherches et les études des nouvelles technologies et les dernières tendances de gaming, afin de décrocher les premières places des ventes (Tse et al. 2007).

Les capacités des tables interactives et le grand avantage de manipulation à plusieurs a séduit les chercheurs et les développeurs ; un potentiel existe pour concevoir des jeux et jeux sérieux sur tables interactives. Les recherches continuent au fur et à mesure de l'évolution des

capacités des tables interactives, afin de profiter au maximum de toute innovation dans le domaine.

Les tables interactives présentent une source d'attraction et de séduction pour ses utilisateurs. C'est pourquoi on trouve de plus en plus d'entreprises, grandes surfaces, showrooms, et même des restaurants, ayant installé ce nouveau type de plateforme dans leurs locaux et fourni des possibilités d'utilisation à leurs clients (Liu et al. 2006) (Al Mahmud et al. 2008) (Hansen et Halskov 2014) (Kirman et Rowland 2008) (Lepreux et al. 2016a) (Lepreux et al. 2016b).

En plus d'utilisations commerciales, professionnelles ou à titre de divertissement, des tables interactives, on constate de nouveaux types d'applications ou services, trois d'entre eux étant mis en avant ci-dessous.

2.2.3. Exemples d'utilisations remarquables des tables interactives

a) L'utilisation des tables interactives pour l'apprentissage :

Le potentiel d'utilisation des tables interactives a été mis en avant par plusieurs auteurs dans le domaine éducatif (Dillenbourg et Evans 2011) (Jordà 2003) (Kubicki et al. 2011). En fait, plusieurs travaux de recherche se sont focalisés sur l'adaptation d'activités à finalités d'apprentissage avec l'utilisation des tables interactives (Kharrufa et al. 2013) (Kubicki et al. 2015). La tranche d'âge visée est variée selon les travaux : elle peut aller de très jeunes enfants à des adultes. Dans le cas de jeunes enfants, le cas des applications présentées dans la Figure 7, certains travaux se basent sur des études en pédagogie et en psychologie de l'enfant avant de proposer une application ou une activité (Vandeventer et Barbour 2012) (Higgins et al. 2011).



Figure 7. Des applications conçues et développées sur des tables interactives dédiées pour l'apprentissage

b) L'utilisation des tables interactives à destination des personnes âgées :

Plusieurs études ont permis de montrer que l'utilisation des tables interactives pour les personnes âgées peut apporter plus de confort et de facilité d'utilisation que des plateformes classiques, telles que : ordinateurs de bureau, portables, tablettes, smartphones. En effet, la taille potentiellement importante des afficheurs des tables interactives rend possible une plus grande tolérance de sélection ou de pointage, ainsi que l'affichage des informations en grand format (texte, image vidéo...) (Al Mahmud et al. 2008) (Apted, Kay et al. 2006). La Figure 8 montre une application dédiée aux seniors et tournant sur la plateforme VIP ; il s'agit d'un jeu conçu se jouant en groupe (jusqu'à quatre joueurs), inspiré de jeux existants, et comprenant des règles considérées comme familières parmi les personnes âgées.



Figure 8. Utilisateur en train de tester la plateforme VIP, cas d'un jeu conçu spécialement pour les personnes âgées (Al Mahmud et al. 2008)

c) L'utilisation des tables interactives pour des personnes ayant des besoins spéciaux :

Plusieurs recherches ont été effectuées afin de trouver des solutions technologiques pour les personnes atteintes de certaines maladies et/ou ayant des besoins spéciaux, afin de leur donner les mêmes chances d'utilisation des plateformes technologiques que les personnes valides. Plusieurs problèmes peuvent empêcher les personnes d'utiliser les ordinateurs ordinaires ou les appareils dont l'écran est de taille réduite (Augstein et al. 2013) (Furumi et al. 2012). Pour cela plusieurs travaux de recherche ont visé à concevoir et étudier la faisabilité de systèmes qui fonctionnent sur des tables interactives et qui répondent à deux critères fondamentaux : l'utilisabilité et la satisfaction des besoins recherchés par les utilisateurs concernés (Guerreiro et al. 2015) (Li et al. 2008) (Marco et al. 2013).

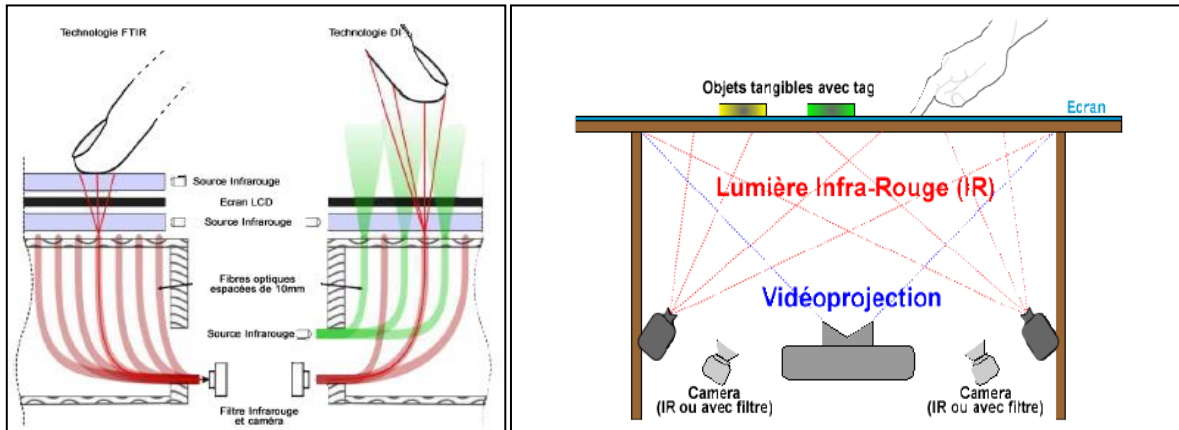
2.2.4. Classification des tables interactives

Comme précisé plus haut, la première proposition de table interactive date de 1991 avec le prototype proposé par Pierre Wellner au centre Xerox (Wellner 1993). Depuis, de nombreux laboratoires académiques et industriels se sont penchés sur ce type de plateforme interactive.

Kubicki a, dans sa thèse (Kubicki 2011), proposé un ensemble de critères permettant de caractériser et classer les tables interactives, selon quatre dimensions :

- **Identité** : cette dimension regroupe les différentes informations qui concernent l'identification de la table, telles que sa référence, son nom ainsi que le nom de son auteur ou constructeur, le cadre de construction et de conception de cette table (dans le cadre d'une recherche menée dans un laboratoire ou un produit issu d'une société industrielle) et la date de sa première annonce.
- **Caractéristiques techniques** : cette dimension regroupe les critères techniques caractérisant chaque table. On y retrouve la technologie de capture (FTIR, DSI, ID, LLP, RFID...). Dans la
- Figure 9 (provenant comme la suivante de la thèse de Kubicki), nous présentons à ce sujet deux types de capture permettant l'interaction tactile sur les interfaces ; dans la Figure 10, nous présentons la technologie de capture des objets physiques via des tags RFID (*Radio Frequency Identification*). Cette dimension regroupe aussi la technologie d'affichage (écran, afficheur, vidéo projection au-dessus ou en-dessous de la table, etc.), la surface de la table, le plus souvent de forme carrée ou rectangulaire (largeur par la longueur, ou diagonale), les communications possibles (Ethernet, Wifi, Bluetooth, RFID...) et l'Intelligence artificielle (certaines tables interactives disposent d'une intelligence artificielle, celle-ci pouvant être basée sur un système multi-agent (Badeig et al. 2015)).
- **Interaction homme-machine** : cette dimension regroupe les critères d'interaction homme-machine caractérisant chaque table. On trouve des tables sensibles au toucher (par ex. les tables MultiTouch, telle que la table interactive présentée dans la Figure 11 (a)) ; d'autres tables assurent une interaction via des objets tangibles : un objet tangible est un objet physique, réel via lequel il est possible d'interagir via l'interface utilisateur (par ex. la table interactive à interaction tangible présentée dans la Figure 11 (b)). Les interactions autour des tables interactives peuvent être collaboratives ou individuelles ; pour cela l'un des critères de cette dimension est le type d'interaction possible

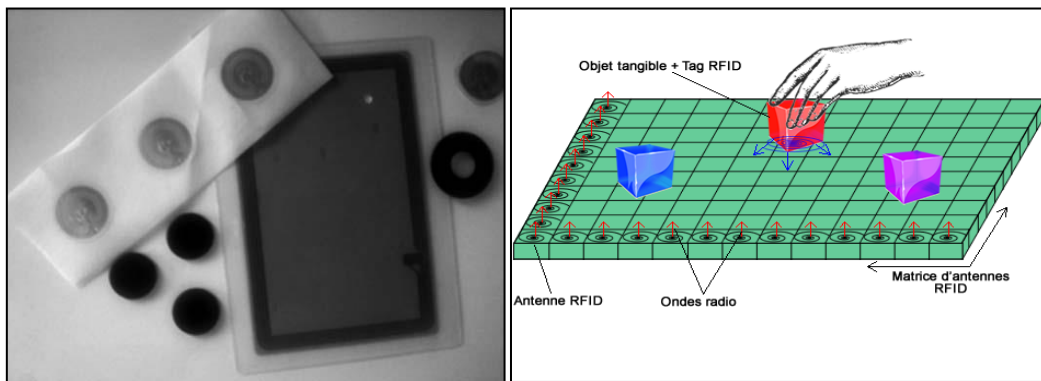
(interaction collaborative présentée dans la Figure 11 (b), interaction individuelle présentée dans la Figure 11 (a)).



(a) Schématisation de l'utilisation de la fibre optique pour le déport de la caméra et de la source lumineuse infrarouge

(b) Schématisation d'un système de capture par caméra (ici, en-dessous de la table) pouvant permettre la détection des doigts ou des objets tangibles

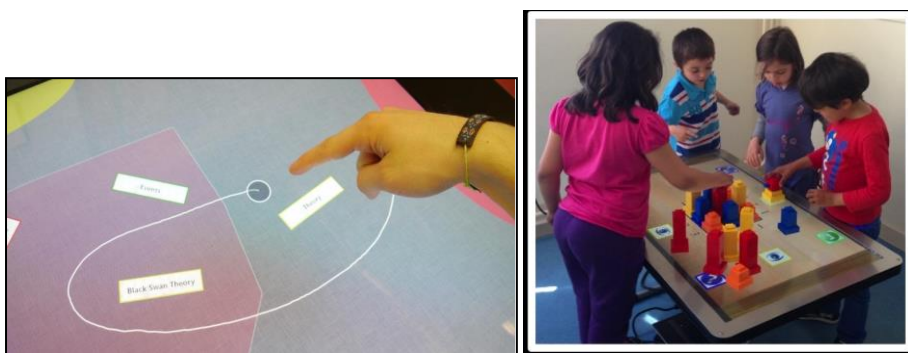
Figure 9. Exemples de technologies de capture : (a) par utilisation de la fibre optique, (b) par caméra



(a) Etiquettes RFID

(b) Schématisation de la technologie RFID (par une matrice d'antennes RFID)

Figure 10. Exemple d'étiquettes (ou tags) RFID (a) et schéma de la technologie de capture par matrice d'antennes RFID (b)



(a) Interaction tactile individuelle sur une table interactive MultiTouch (Rädle et al. 2013)

(b) Interaction collaborative par objets physiques(tangibles) sur une table interactive (Kubicki et al. 2014)

Figure 11. Exemples d'interaction homme-machine sur tables interactives : (a) interaction tactile, individuelle et (b) interaction par objets, en groupe

D'autres nouvelles technologies d'interaction sont apparues récemment. On peut citer quelques technologies que les applications sur table interactive peuvent contenir, telles que les interfaces 3D (par ex. le système interactif multi-opérateur multi-vues 3DC21 présenté dans la Figure 12) (Coppin et al. 2013), l'inclinaison de l'écran de la table est ajustée selon la position souhaitée (Leitner et al. 2009) ou le retour haptique (par exemple à destination d'utilisateurs non-voyants) (Marquardt et al. 2009).



Figure 12. Le 3DC21, un système interactif multi-opérateur multi-vues

- **Démonstrateur** : le premier démonstrateur développé était celui de Digital Desk proposé par Wellner (Wellner 1993). Et depuis, des démonstrateurs ont accompagné systématiquement les tables interactives qui apparaissent (en tant que prototypes ou produits) : la conception du démonstrateur a souvent été en lien direct avec l'utilisation prévue de la table interactive (des tables conçues initialement pour des applications musicales, pour des applications dans le domaine médical, pour la gestion de photos en famille, etc.). La
- Figure 13 présente quelques exemples de démonstrateurs utilisés dans différents domaines.

2.3. Les tables interactives à interaction tangible

L'interaction tangible a été influencée par des travaux dans diverses disciplines, notamment en informatique, plus particulièrement en Interaction Homme-Machine, et aussi de manière

générale en design de produit industriel. En Interaction Homme-Machine, la notion d'interface utilisateur tangible (comme proposé à l'origine dans les années 90) constitue une vision alternative pour les interfaces utilisateur de systèmes informatiques, cherchant à ramener l'informatique de nouveau « dans le monde réel » (Wellner et al. 1993) (Ishii et Ullmer 1997).



(a) Présentation du démonstrateur de la table DiamondTouch de Samsung

(b) Présentation du démonstrateur musical de la ReacTable (Jordà et al. 2007)

(c) Présentation du démonstrateur de gestion de trafic sur TangiSense (Lebrun et al. 2013)

Figure 13. Exemples de démonstrateurs fonctionnant sur tables interactives : (a) gestion de photos, (b) application musicale utilisée en particulier par la chanteuse islandaise Björk en concert, (c) gestion de trafic routier

L'insatisfaction relative avec les interfaces utilisateur basées sur les écrans traditionnels, mais aussi avec la réalité virtuelle (ce qui était considéré comme un éloignement des gens du « monde réel ») a motivé la proposition de premiers prototypes d'interfaces utilisateur tangibles, dont les innovations technologiques (par exemple la technologie RFID) ont permis leur construction. En parallèle, le domaine du design de produit industriel est venu pour s'engager lui aussi dans l'interaction tangible, avec de nouveaux marchés portant sur des appareils, ou des objets, contenant des composants électroniques, exploitant le numérique, et qui deviennent interactifs, communicants, voire « intelligents ». Pour les concepteurs des systèmes interactifs, cela a constitué de nouveaux défis et de nouvelles opportunités (Djajadiningrat et al. 2000) (Djajadiningrat et al. 2004).

Notons que ces champs de pratique et de recherche n'étaient pas issus initialement de groupes de travail ou de discussion (ex. les idées et les croquis de produits inspirant la notion d'interface utilisateur tangible). Ainsi, le système *Marble Answering Machine*, conçu par Durrell Bishop pendant ses études de design au *Royal College of Art*, est un exemple d'esquisse suggérant l'utilisation de billes pour représenter des messages entrants. Les billes

tombent de la machine et peuvent être lues en les plaçant dans un moule sur la machine (Poynor 2015). La généralisation de cette conception a donné naissance à l'idée de représenter des données à travers des objets physiques et de manipuler ces données via la manipulation physique des objets, voir à ce sujet le concept de « *Tangible Bits* » (Ishii et Ullmer 1997).

Depuis le début des années 2000, des nouveaux chercheurs, formés initialement au *Design*, participent de plus en plus aux conférences liées à l'Interaction Homme-Machine. A partir de la même époque, le nombre d'ateliers et de sessions dédiées portant sur les interfaces utilisateur tangibles ou l'interaction tangible (un terme qui a été proposé par des membres de la communauté du design) a augmenté régulièrement. Une communauté de recherche interdisciplinaire a adopté le terme « Interaction tangible » pour décrire son objectif partagé, et a sa propre conférence depuis 2007 : *International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI)*.

Avec l'apparition puis l'évolution rapide des nouvelles technologies de l'Information et de la Communication, ce domaine s'est diversifié. Par exemple, certains systèmes sont conçus pour une utilisation dans le domaine de la médecine (Xu et al. 2016), certains facilitent la collecte de données (Brennan et al. 2006), d'autres sont destinés à la conception des plans et des modèles (Underkoffler et Ishii 1999), etc., tout en intégrant et combinant des technologies. En parallèle, les matériaux utilisés dans ce domaine sont devenus plus faciles à fabriquer, de même que de moins en moins coûteux (voir par exemple avec les imprimantes 3D). La construction des maquettes, prototypes et systèmes fonctionnels est devenue plus répandue et moins compliquée, alors que dans les années 90, le matériel et les compétences spécialisées étaient nécessaires pour construire un prototype avec relativement de simples fonctionnalités.

2.3.1. Qu'est-ce qu'une table interactive à interaction tangible

Différentes modalités d'interaction sont possibles avec les tables interactives, telles que l'utilisation des doigts, d'un stylet électronique, voire même de feuilles de papier (si elles peuvent être identifiées automatiquement). Une utilisation des objets réels, physiques, avec les interfaces utilisateur, dites dans ce cas tangibles, est une autre modalité d'interaction qui se popularise. Elle met l'accent sur le fait de passer réellement du WIMP au post-WIMP et non pas seulement changer le plan d'affichage en transportant les interfaces WIMP sur les tables interactives (Van Dam 1997).

Les TUI (*Tangible User Interfaces*) offrent aux utilisateurs la possibilité de manipuler des données d'une manière le plus proche possible de la réalité. L'utilisateur manipule des objets physiques importés de la vie réelle et réagit d'une façon naturelle (Kubicki et al. 2014).

Lors de la conception des interfaces TUI, l'utilisateur occupe toujours le centre d'intérêt du concepteur car on part généralement de l'analyse de deux facteurs importants en lien direct avec lui : (1) ses besoins particuliers vis-à-vis de l'application et (2) sa façon de résoudre ce besoin dans la vie réelle.

En réalisant la conception de l'interface tangible, on cherche principalement à matérialiser les données, c'est-à-dire à porter attention aux actions et perceptions réalisées dans la vie réelle et à les intégrer dans une production numérique (Sugimoto 2009) (Ishii et Ullmer 1997).

2.3.2. Les TUIs : des interfaces pour des systèmes de réalité mixte

Les TUI sont des systèmes de réalité mixte qui couplent le monde physique à celui numérique. Selon Milgram, le mélange entre les deux mondes numérique et physique donne naissance à deux nouveaux concepts qui sont la réalité augmentée (RM) et la virtualité augmentée (VM) (Milgram et Kishino 1994). On présente ces concepts dans la Figure 14.

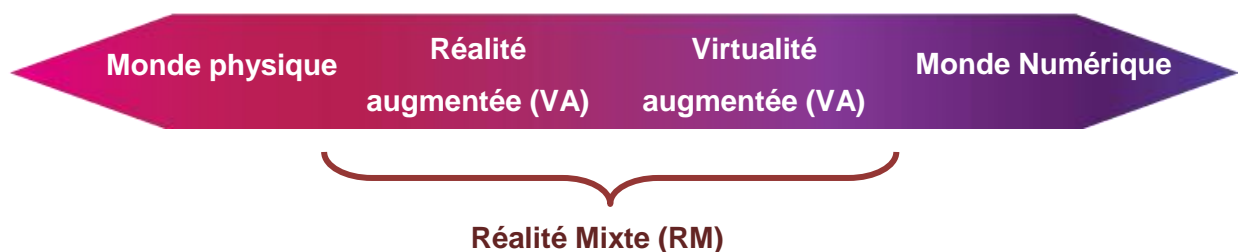


Figure 14. Le continuum réel-virtuel de Milgram

Cette représentation qu'on appelle *continuum* n'est pas suffisante si on part d'un point de vue de l'interaction de l'utilisateur avec le système tout en considérant l'objet de la tâche. Dubois confirme que les systèmes mixtes ne peuvent pas être tous décrits sur le seul et le même continuum (Dubois 2001). En effet, l'objet de la tâche peut appartenir soit au monde virtuel soit au monde réel. Pour la réalité augmentée, l'objet appartient au monde physique. On lui ajoute une « quantité » d'information numérique (ex : le miroir d'essayage de vêtement qui capture l'image en temps réel de l'utilisateur et lui ajoute des informations à propos de l'objet à essayer, déjà sélectionné).

Pour la virtualité augmentée, l'objet appartient au monde numérique. Les interfaces utilisateur tangibles (TUI) sont des exemples de la Virtualité augmentée. Ishii et Ullmer généralisent dans (Ishii et Ullmer 1997) des concepts de manipulation des objets physiques pour effectuer des actions dans le monde numérique (déplacer un objet, faire un mouvement de rotation).

2.3.2.1. Les origines des interfaces utilisateur tangible (TUI)

En 1995, Fitzmaurice et ses collègues ont introduit le concept de l'interface palpable (appelée en anglais *graspable user interface*) (Fitzmaurice et al. 1995). Ils ont proposé l'interface *GraspDraw* qui utilise des petits jetons physiques agissant comme des ancrs afin de manipuler l'information numérique.

L'idée derrière les interfaces palpables était d'avoir des fonctions palpables (par exemple comme celles d'une table de mixage de musique) plutôt que des dispositifs palpables, tel que la souris. Par fonction palpable on veut dire un dispositif d'entrée spécialisé qui est attaché à une fonction numérique et qui peut servir de contrôle. Les fonctions palpables sont généralement utilisées en parallèle de manière simultanée.

Par la suite, Ishii et Ullmer ont généralisé ces concepts dans une perspective plus générale de réalité mixte, et introduit le terme maintenant couramment employé d'interface tangible (Ishii et Ullmer 1997). Greenberg et Boyle proposent dans ce même esprit d'utiliser des contrôleurs physiques supplémentaires afin d'interagir avec les applications déjà existantes (Greenberg et Boyle 2002). Ils les ont appelés des phidgets (Contraction des mots *Physical* et *Gadget*, pour désigner un composant physique d'interface utilisateur). Ce sont les homologues physiques des *Widgets* (Contraction des mots *Window* et *Gadget*, pour désigner un élément graphique présent sur un bureau virtuel, permettant d'accéder à un service) qui structurent nos interfaces WIMP. Des boutons ou des potentiomètres électroniques peuvent être convoqués aux fonctions les plus couramment utilisées, puis arrangés sur l'espace de travail. Selon (Fitzmaurice et Buxton 1997), l'utilisation de ce type d'interface est plus efficace et plus facile, car elle met en valeur nos capacités préhensiles innées. Également, ces nouvelles interfaces permettent et même encouragent l'interaction bi-manuelle et le travail coopératif.

Une interface utilisateur tangible est constituée de deux types de représentation d'information : (1) la représentation tangible (dite aussi physique) et (2) la représentation intangible (un affichage des informations numériques) (Ullmer et Ishii 2000). Afin de définir une interface utilisateur tangible TUI, ces auteurs proposent quatre propriétés principales qui doivent être identifiées et cernées :

- ***Le couplage entre les représentations physiques et les informations numériques sous-jacentes*** : la principale caractéristique des interfaces tangibles est le couplage de la représentation physique à l'information numérique et aux modèles informatiques sous-jacents.
- ***Incarnation des mécanismes de contrôle interactifs par les représentations physiques*** : les représentations physiques des interfaces utilisateur tangibles servent aussi de contrôle physique des informations. Les objets tangibles d'interaction peuvent être physiquement inertes et ne se déplacent que s'ils sont directement et manuellement manipulés par l'utilisateur. Ils peuvent être aussi physiquement animés grâce à des systèmes informatiques (par exemple des moteurs, des plaques vibratoires...).
- ***Couplage des représentations physiques aux représentations numériques d'une manière perceptuelle*** : les interfaces tangibles reposent sur un équilibre entre les représentations physiques et numériques. Bien que les éléments physiques jouent un rôle central dans la définition et le contrôle des TUI, les représentations numériques offrent souvent une grande partie de l'information dynamique fournie par le système informatique sous-jacent.
- ***L'état physique des éléments tangibles incarne l'aspect numérique du système*** : la présentation physique du système informatique correspond à la présentation des modèles numériques intégrés dans l'interface utilisateur tangible.

La modélisation des interfaces utilisateur est une étape primordiale. Beaudouin-Lafon a énuméré dans (Beaudouin-Lafon 2004) quelques avantages de cette modélisation dont on retient ici :

- Sa capacité de décrire plusieurs versions des interfaces existantes et de les classifier.
- Sa capacité d'aider les concepteurs à créer des nouvelles interfaces.
- Sa capacité d'aider à l'évaluation de plusieurs conceptions possibles.

Pour les interfaces utilisateur tangibles, une succession de modèles a été proposée, commençant par la proposition de Ullmer et Ishii en 2000, ayant ensuite fait l'objet de plusieurs évolutions (Ullmer et Ishii 2000) (Ishii 2008), passant à d'autres propositions faites par des chercheurs du domaine qui concernent ou bien les interfaces utilisateur tangibles ou bien les interactions tangibles (Djajadiningrat et al. 2004) (Djajadiningrat et al. 2000).

2.3.2.2. Modélisation des interfaces tangibles

Par analogie au modèle MVC (**M**odèle **V**ue **C**ontrôle) pour les interfaces graphiques, Ullmer et Ishii ont proposé dans (Ullmer et Ishii 2000) le modèle MCR pd (**M**odel **C**ontrol **R**epresentation (**p**hysical and **d**igital)). Ce modèle a subi des améliorations successives qui ont touché le nom du modèle, qui est devenu MCR it (**M**odel **C**ontrol **R**epresentation (intangible and **t**angible), ainsi que son contenu. Ce modèle décrit les différentes entités physiques et numériques qui interviennent au sein d'une interface utilisateur tangible. Dans la Figure 15, ces auteurs comparent les deux modèles des interfaces utilisateur (graphique et tangible) afin de mieux expliquer le fonctionnement d'une interface utilisateur tangible.

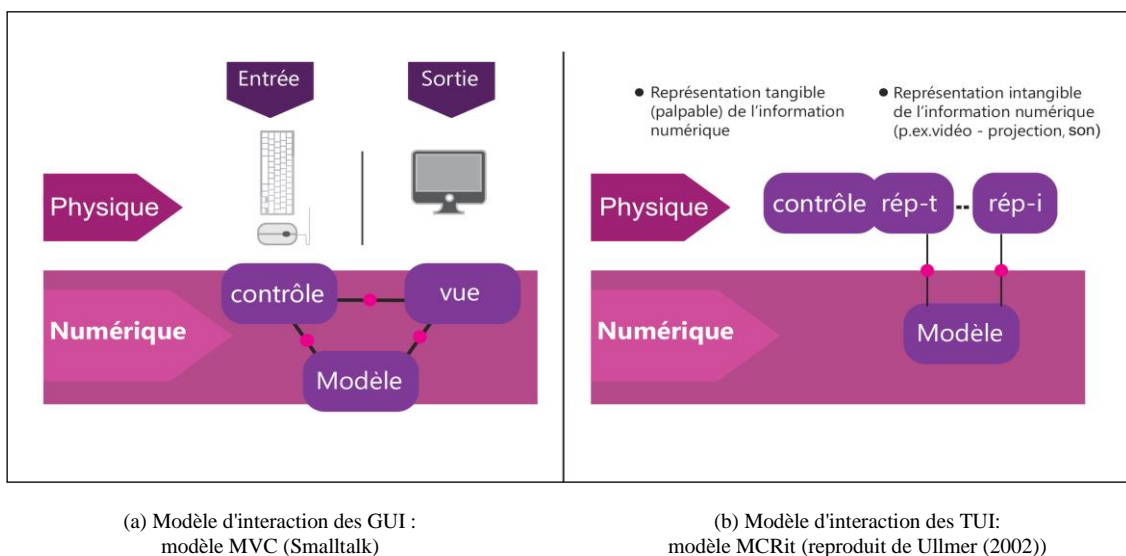
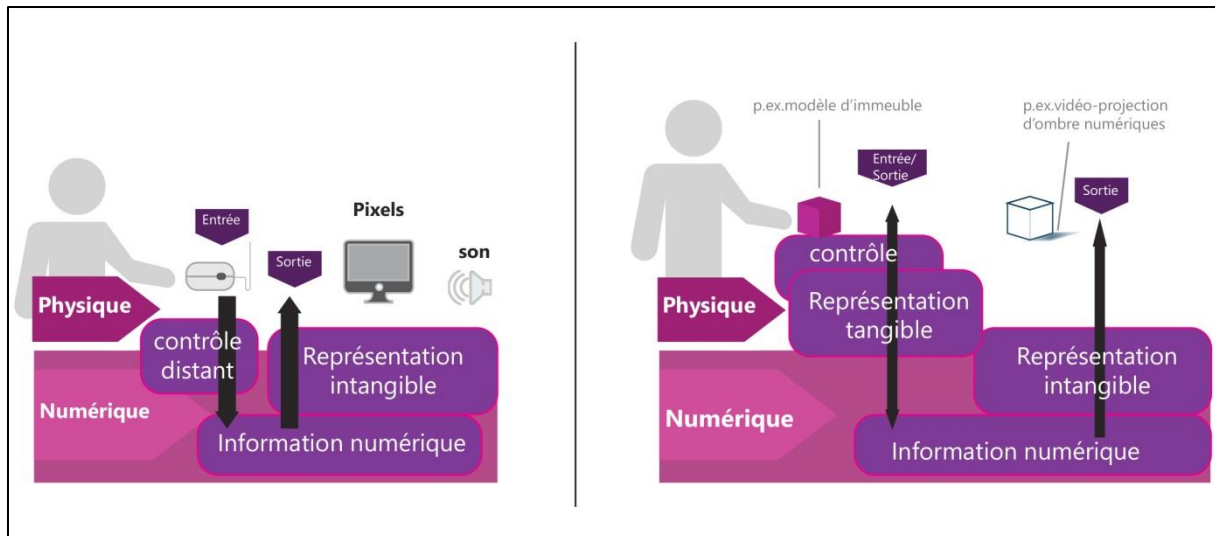


Figure 15. Modélisation des interfaces graphiques et tangibles (traduit d'Ullmer (2002))

En 2008 (cf. en Figure 16), Ishii a proposé une deuxième comparaison portant sur les unités de représentation de l'information : par analogie à la représentation dans les interfaces utilisateurs graphiques où l'information est représentée avec des pixels numériques projetés sur un afficheur bit mappé ou transformée en signal sonore, les interfaces utilisateur tangibles cherchent à rendre l'information tangible et manipulable directement. Cette manipulation est assurée aussi grâce à la rétroaction haptique, en plus des représentations tangibles, afin de fournir une information la plus complète possible aux utilisateurs (Ishii 2008).



(a) Interface utilisateur graphique

(b) Interface utilisateur tangible

Figure 16. Modélisation des interfaces graphiques et tangibles (traduit d'Ishii (2008))

2.3.3. Modélisation de l'interaction tangible

Oren Zuckerman s'est intéressé dans (Zuckerman 2005) à la schématisation des interactions tangibles et numériques. La Figure 17 montre la différence entre les deux types d'interaction. Pour l'interaction graphique, l'utilisateur se sert des dispositifs physiques d'entrée (souris, clavier...). Les rétroactions sont affichées sur des dispositifs de sortie sous une forme graphique : on l'appelle une rétroaction active. Pour l'interaction tangible, le résultat de la manipulation d'un interacteur tangible se voit à travers le système informatique ou bien directement sur l'objet lui-même d'une manière passive, d'où son appellation : rétroaction passive. La rétroaction ou feedback, avec ses deux types, passive et active, est définie dans (Hinckley et al. 2004) comme suit (Figure 18) :

- La rétroaction active est assistée par le système informatique. Elle peut se présenter sous une forme simplifiée (ex. affichage simple d'un élément du bureau sur l'écran), comme elle peut se présenter sous une forme plus évoluée (ex. des simulations complexes de résultats de couplage des éléments virtuels et des éléments tangibles).
- La rétroaction passive provient des sensations et des impressions du corps de l'utilisateur qui est influencé par les propriétés physiques du dispositif (ex. forme, couleur...).

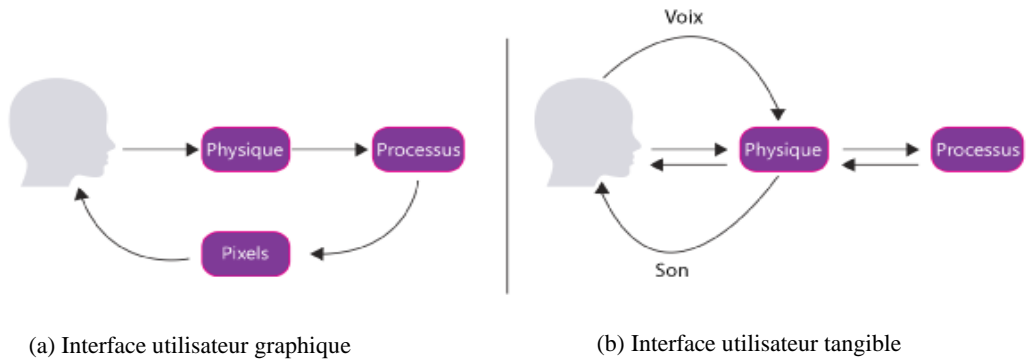


Figure 17. Modélisation des interactions graphiques et tangibles (traduit de Zuckerman (2005))

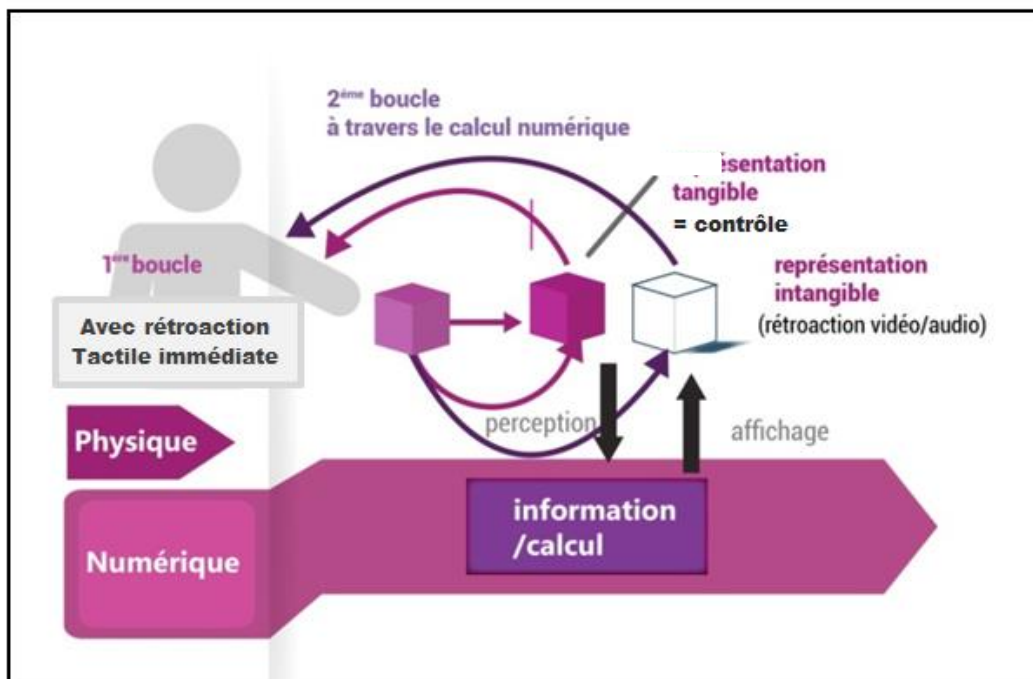


Figure 18. Les boucles de double rétroaction offertes par les TUI offrent deux boucles de rétroaction : (1) une première rétroaction tactile immédiate et (2) une deuxième rétroaction qui passe à travers le calcul numérique avec un possible temps de délai (traduit d'Ishii (2008))

Hinckey a présenté, selon le principe visible en Figure 19, l'interaction tangible en utilisant des boucles de rétroaction :

1. Une première boucle de *rétroaction haptique passive* : cette boucle fournit à l'utilisateur une confirmation en temps réel de la détection de l'objet physique qu'il a déposé ou déplacé. Cette boucle existe de manière intrinsèque dans le monde physique et elle ne requiert aucune perception ou calcul.
2. La deuxième boucle de *rétroaction numérique* nécessite trois fonctions : (1) la perception par le système informatique des mouvements des objets physiques, (2) le calcul d'une réponse à partir des données collectées et (3) l'affichage du résultat

comme une rétroaction visuelle (voire auditive). La complexité de la deuxième boucle entraîne la nécessité d'une durée du temps suffisante ; par conséquent elle dure plus longtemps que la première boucle.

3. La troisième boucle de *rétroaction physique* par actualisation permet au système informatique de fournir une rétroaction sur l'état de l'information numérique, quand le modèle change ou qu'il réagit au calcul.

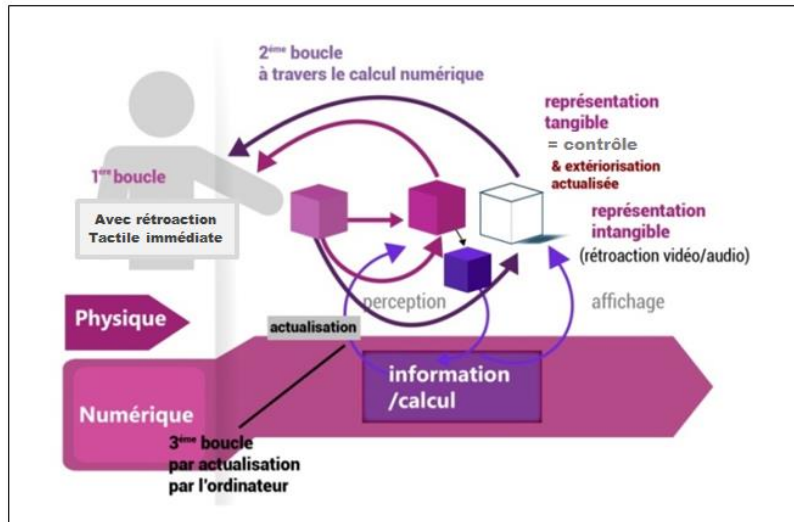


Figure 19. Les TUIs avec actuation, l'actuation numérique offre une troisième boucle de rétroaction pour le contrôle par ordinateur de la position (traduit d'Ishii (2008))

2.4. Interaction tangible sur table interactive

Selon (Ullmer et Ishii 2000), le couplage perceptuel entre les représentations tangibles et intangibles de l'information est très important. Ces auteurs mettent l'accent sur l'importance de la continuité spatiale des représentations tangibles et intangibles afin d'améliorer la perception de ce couplage. En fait, dans les TUIs la donnée est parfois représentée uniquement de manière intangible et seul le contrôle sur cette donnée est tangible. C'est souvent le cas de données générées dynamiquement par l'ordinateur, qu'aucun objet ou phénomène physique n'a permis de représenter de manière tangible.

La solution la plus populaire pour les interfaces de visualisation tangible prend la forme des tables interactives. Ce type de plateforme permet principalement de fusionner l'espace d'action et l'espace de perception. Un autre avantage des tables interactives est leur exploitation qui peut se faire en position assise, ce qui permet aux utilisateurs de passer du temps sur la table, sans ressentir de fatigue, et en plus de travailler à plusieurs autour de celle-ci (incitation à la collaboration).

Les interfaces utilisateur tangibles sur les tables interactives sont appelées de différentes manières : (Ishii 2008) propose un ensemble d'appellations, telles que : *tangible tabletop*, *tangible workbench* ou encore *tabletop TUI*. Par abus de langage, les interfaces qui permettent la manipulation d'une donnée représentée de manière intangible, qui est affichée sur le plateau d'une table interactive, et qui est contrôlée à l'aide d'interacteurs tangibles manipulés sur le plateau de la table, sont appelées des tables interactives tangibles.

Dans ce qui suit, on cite un ensemble de systèmes interactifs fonctionnant sur des tables interactives. Dans ces exemples on a essayé de sélectionner différentes applications qui touchent un ensemble d'activités et de secteurs d'application variés.

2.4.1. Exemples d'interfaces tangibles pour tables interactives

a) URP (Underkoffler et Ishii 1999) :

Un des premiers exemples développés par le *Tangible Media Group* du MIT est une carte qui était manipulée en plaçant la représentation iconique de bâtiments centraux sur elle. Plus tard, ce groupe de recherche a développé **URP (URban Planning)**, un système qui prend en charge la planification urbaine (Underkoffler et Ishii 1999) (Figure 20). URP intègre un modèle physique avec une simulation interactive des effets sur la construction, de l'orientation du soleil et de l'écoulement du vent. Les modèles tangibles des bâtiments projettent des ombres (numériques). L'écoulement du vent simulé est projeté sous forme de lignes sur la surface. Plusieurs outils sont disponibles pour sonder par exemple la vitesse du vent ou la distance entre les points dans l'espace, et modifier les propriétés des bâtiments (murs de verre ou de pierre) ou l'heure du jour, ce qui entraîne des ombres en mouvement.

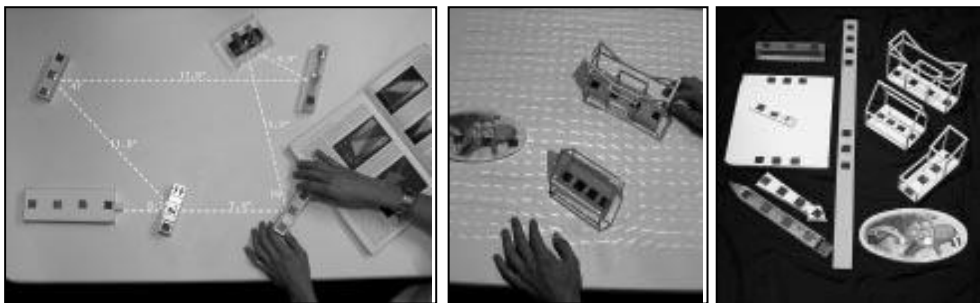


Figure 20. Les outils tangibles proposés dans (Underkoffler et Ishii 1999) pour la modélisation des plans d'urbanisme

b) BUILD_IT (Rauterberg et al. 1997) :

L'interface BUILD-IT a été conçue dans le contexte de prise en charge de la construction, et de l'aménagement et la planification des activités au sein des usines. Le principal but était de faciliter et de rendre fluides les réunions et la coopération entre ingénieurs responsables de la construction d'une usine.

Le système est composé d'une table interactive tangible et d'un écran de projection. Les interacteurs tangibles, présentés sous formes de briques, sont manipulés sur la table où le plan de l'usine est affiché en 2D (à l'aide d'un vidéoprojecteur). Sur cette table les ingénieurs peuvent faire leurs premières conceptions et les améliorer au fur et à mesure, grâce à une deuxième projection 3D du plan de l'usine sur un écran (vue plus claire et plus proche de la réalité), voir Figure 21. Cet écran constitue un deuxième espace de perception vertical. Les interacteurs tangibles sont utilisés comme des ancres physiques pour déplacer les machines dans l'usine et modifier le point de vue de la scène 3D. En raison des limites du système proposé par Rauterberg et ses collègues, d'autres travaux de recherche ont tenté d'améliorer cette version tout en remédiant aux problèmes rencontrés dans la version initiale (ex : contrôle de scène 3D avec une brique manipulée dans un plan 2D, absence d'inclinaison, de zoom...) (Fjeld et al. 1999).



Figure 21. Aperçu de l'utilisation du système interactif BUILD-IT par un ensemble d'experts

c) ReacTable (Jordà et al. 2007) :

Concevoir des interfaces utilisateur tangibles pour permettre l'expression musicale fait partie de la recherche liée aux nouvelles technologies dans le domaine musical. Les projets existants fonctionnent sur des échelles variées, allant des objets de contrôle portables pour les tables interactives, jusqu'à des installations à grande échelle si on vise un engagement multi-utilisateurs (musiciens ou compositeurs). Le plus célèbre de ces systèmes est ReacTable qui

permet aux musiciens de faire des expériences avec le son, changer sa structure et de contrôler ses paramètres à l'aide de palets physiques. ReacTable crée une musique rythmique à partir de l'agencement et la manipulation des palets. Des interacteurs tangibles manipulés sur la table permettent de contrôler l'interface selon la métaphore suivante : certains interacteurs sont des sources sonores, d'autres sont des filtres ou des mélangeurs. Ces interacteurs tangibles sont des palets de formes différentes, permettant ainsi d'identifier leur fonctionnement (générateur, filtre, contrôleur, mélangeur de son...). Le son est représenté de manière intangible par une ligne qui part depuis le palet émetteur vers le point de sortie de la musique, représenté par un rond affiché au centre de la table. Des projets similaires ont été développés, ou sont en cours de développement, tels que RadarTable¹ et Spela². Une autre application, qui ne fonctionne pas en temps réel pour la musique rythmique sur table, mais qui présente aussi une interface tangible, est NotePut³. Dans celle-ci, des blocs physiques en forme de notes sont placés sur la table pour créer une partition qui définit un rythme et de la mélodie. La mélodie est lue via un instrument. Pour en revenir à ReacTable, c'est une application permettant de rassembler un ou plusieurs musiciens autour d'une table interactive et de leur proposer une interface qui assure une grande liberté, favorisant ainsi la créativité (Figure 22).

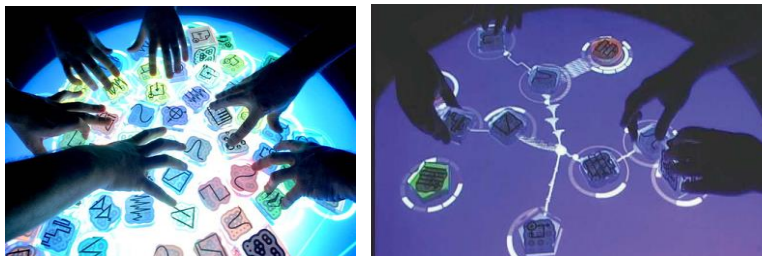


Figure 22. Réactable, un instrument de musique avec une interface utilisateur tangible sur table interactive

d) IP Network Design Workbench (Kobayashi et al. 2003) :

IP Design Network Workbench est un système qui prend en charge la conception et la simulation de réseaux collaboratifs. Il est destiné à un groupe d'experts au cours du processus de conception de réseau IP. Grâce à l'utilisation des TUI, il est devenu possible de contrôler plusieurs paramètres de simulation directement et en parallèle. Combiné à un écran GUI (*Graphical User Interface*), le workbench peut présenter immédiatement l'impact des

¹Radartable <http://cavi.au.dk/research-areas/radartable/>. [Accessed: 22-Jan-2016]

²WipSpelaWip <http://play.moveplaycreate.com/post/34583919219/interactive-music-table-spela-wip>. [Accessed: 01-Feb-2016]

³Noteput <http://www.jonasheuer.de/index.php/noteput/> [Accessed: 01-Feb-2016]

changements de paramètres sur la QoS (*Quality of Service*), ainsi que sur le coût, ce qui permet par conséquent aux utilisateurs de trouver une conception optimale qui équilibre performance et coût. Ce système utilise une plate-forme de type TUI pour suivre les positions et orientations de multiples *pucks* physiques, sans fil et en temps réel. En plaçant les *pucks* sur les composants de réseau projetés sur le plateau (par exemple les serveurs, les clients, les routeurs, les lignes) et en les déplaçant, les utilisateurs peuvent modifier la configuration du réseau (Figure 23).

En faisant tourner les palets, les utilisateurs peuvent modifier la valeur de divers paramètres (par exemple : communication bande passante, volume du trafic client, performances du serveur).

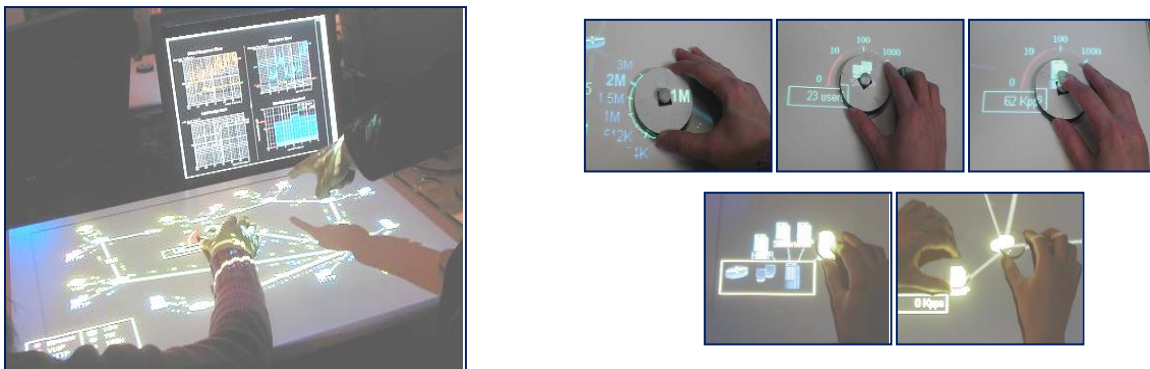


Figure 23. Manipulation des *pucks* afin de paramétrer une connexion (client, serveur routeur ...)

2.5. Les interfaces utilisateur tangibles et leur rôle dans le domaine de l'apprentissage

2.5.1. Pourquoi des applications à base d'interaction tangible pour l'apprentissage ?

Dans la section 2.4 la potentialité d'utilisation des tables interactives dans le domaine de l'apprentissage a été mentionnée. Dans cette partie on va expliquer pourquoi on opte pour leur utilisation à ce sujet, en se basant sur plusieurs études. Ainsi, parmi les avantages les plus soulignés dans la littérature, on trouve l'utilité et l'efficacité des applications à interaction tangible ; en fait, la concentration des utilisateurs est plus importante sur l'activité que sur le système en lui-même (interaction et utilisation), selon (Zaman et al. 2012). Dans (Marshall 2007), l'auteur a souligné un ensemble de points qui, en cas d'utilisation des interfaces tangibles, améliorent l'apprentissage, Figure 24.

Six facteurs mettant en avant les interfaces tangibles pour l'apprentissage sont présentés par Marshall, cf. Figure 25 (Marshall 2007). Cette étude avait été menée initialement pour décrire les avantages potentiels de celles-ci, mettre en avant la nécessité d'études empiriques comparatives pour valider l'utilité des interfaces tangibles pour les activités d'apprentissage, et pour déterminer quelles fonctionnalités de ces systèmes peuvent contribuer à une véritable amélioration de l'apprentissage. Les termes *exploratoire* et *expressif* ont aussi été introduits pour décrire les types d'activité d'apprentissage qui pourrait être engagés avec des interfaces tangibles. Les rôles que les représentations concrètes et abstraites jouent dans l'apprentissage ont ensuite été présentés comme importants pour la conception d'interfaces tangibles (Marshall 2007) (Mellar et Bliss 1994).

<p>1- Améliorer le développement cognitif, en particulier pour les enfants : en fait, les interfaces utilisateur tangibles supportent les stades identifiés par (Piaget 1976). Les opérations matérielles de l'enfant bénéficient de l'utilisation d'objets physiques réels.</p> <p>2- Utiliser du matériel physique dans l'apprentissage plutôt que des interactions virtuelles afin de changer la nature des connaissances acquises. Le matériel physique et l'activité motrice aident les apprenants à utiliser leur cartographie mentale.</p> <p>3- Encourager les activités expressives et exploratoires. On parle d'une activité expressive lorsque le tangible représente le comportement de l'apprenant et d'une activité exploratoire lorsque l'apprenant explore le modèle incorporé dans l'interface tangible fournie par le concepteur.</p>	<p>4- Faciliter l'interaction intuitive pour soutenir un apprentissage efficace et naturel.</p> <p>5- Offrir un environnement d'apprentissage ludique.</p> <p>6- Accroître l'engagement et la réflexion.</p> <p>7- Fournir plus d'accessibilité, en particulier aux enfants à jeune âge, aux personnes ayant des troubles d'apprentissage ou aux novices.</p> <p>8- Supporter un nombre plus important de participants.</p> <p>9- Favoriser une collaboration efficace.</p> <p>10- Augmenter la visibilité de l'activité des autres membres, ce qui améliore la communication, l'observation et le suivi, ainsi que l'encouragement et la motivation.</p>
---	---

Figure 24. Les 10 points susceptibles d'améliorer l'apprentissage selon (Marshall 2007)

D'autres recherches ont été effectuées, montrant l'intérêt des interfaces interactives tangibles pour le domaine de l'apprentissage. Plusieurs d'entre elles sont successivement résumées.

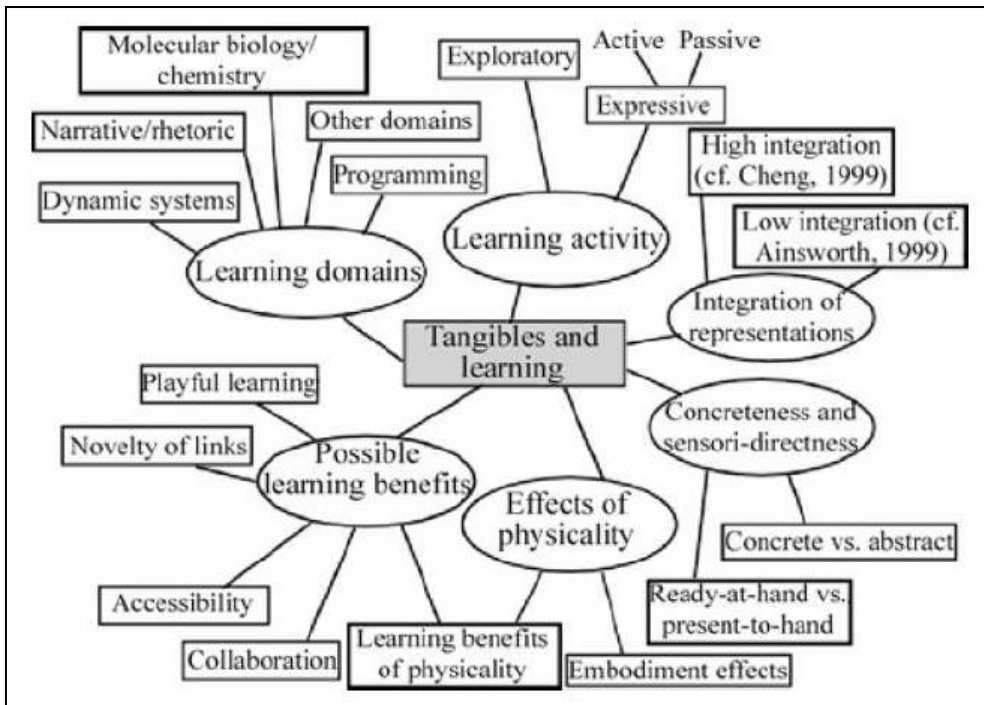


Figure 25. Cadre analytique recensant les éléments tangibles pour l'apprentissage (Marshall 2007)

Dans (Almukadi 2017) (Almukadi et Stephane 2015), les auteurs ont proposé une conception basée sur des principes et techniques de conception centrée utilisateur dans le but d'améliorer l'environnement de la classe des enfants et faciliter l'apprentissage (Figure 26). Selon les auteurs, l'amélioration de la qualité de l'approche éducative conduit à une augmentation de la productivité des enfants, à une amélioration de l'expérience d'apprentissage des enfants, et à une réduction de l'inconfort et du stress des enfants. L'application Math-Vocab a été conçue sur la base de la plateforme reactIVision implémentant trois différents exercices, et utilisée pour une étude exploratoire sur terrain dans une école primaire. Plusieurs groupes d'enfants âgés de 6 à 8 ans ont participé à ces études. Ils ont été invités à participer à une activité collaborative. Les enfants ont effectué l'activité sur papier puis sur une table interactive.

Les expériences ont été filmées et photographiées. Les enfants ont rempli un questionnaire pour évaluer le système. Les enseignants ont également rempli des questionnaires. Les observations et l'analyse de données permettent d'envisager un avenir prometteur pour ce type de technologie centrée sur l'homme. Les enfants et les enseignants étaient curieux d'utiliser la table interactive et l'ont trouvée plus efficace pour l'apprentissage dans la mesure où elle (1) permet une interaction physique, (2) incite l'échange entre les collaborateurs, et (3) offre un contexte collaboratif. Ces résultats mettent en évidence l'importance d'utiliser des interfaces post-WIMP pour améliorer l'apprentissage.



Figure 26. Enfants en train de tester l'application Math-Vocab en deux versions : la version papier classique et la version interactive (Almukadi 2017) (Almukadi et Stephane 2015)

Youtopia est une application impliquant une activité hybride (tangible et multi-touch) pour l'exploration des terres ; elle est destinée à des enfants d'âge scolaire (entre 7 et 10 ans). Youtopia a été implémentée sur la table Microsoft Pixelsense. La principale méthode d'interaction est à travers des objets de tampon physique que les enfants utilisent pour "marquer" les différents types d'utilisation des terres sur une carte interactive (voir la Figure 27). Youtopia a été développée dans le but d'étudier les problèmes liés à la conception et à l'évaluation des applications d'apprentissage collaboratif chez les enfants à l'aide de tables interactives. En particulier, elle permet à ses auteurs d'examiner la façon dont la conception de l'interface soutient en profondeur la discussion et la négociation entre les enfants concernant une difficulté ou un problème (Antle et al. 2013).

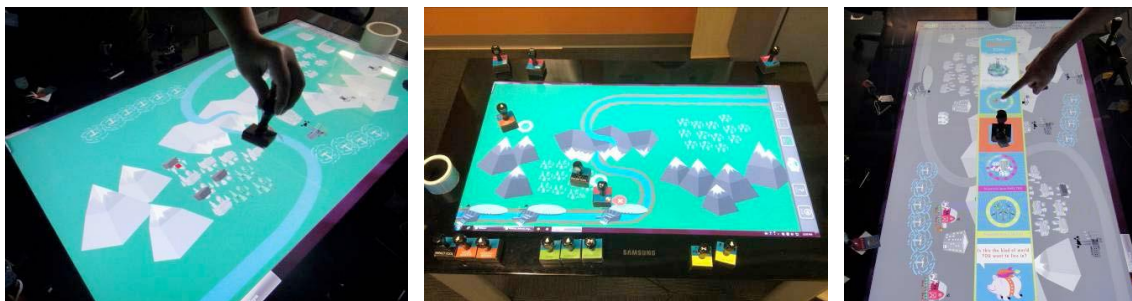


Figure 27. Exemple d'utilisation de l'application Youtopia par la manipulation des tampons.

Dans (Xie et al. 2008), une étude de différents types d'interfaces interactives utilisées dans le domaine de l'apprentissage a été réalisée. La mesure de l'impact de l'utilisation de ces interfaces

sur la procédure d'apprentissage chez des enfants était le principal but des chercheurs. Afin de pouvoir étudier un cas réel et réaliser les tests nécessaires, ces auteurs ont proposé une application interactive sur table à interaction tangible, dédiée à des jeunes enfants. Il s'agit d'un jeu de puzzle testé sur trois interfaces utilisateur différentes (graphique, tangible, physique/traditionnel) ; celles-ci sont présentées en Figure 28. Les résultats ont montré que les enfants ont pris plus de temps et ont éprouvé plus de difficulté à effectuer l'activité dans le cas de l'interface graphique. Dans le cas qualifié de traditionnel, ainsi que dans le cas de l'interface tangible, ils n'ont pas rencontré de difficulté particulière. Par contre, en manipulant l'interface tangible, les enfants ont été beaucoup plus attachés au jeu et ils s'amusaient ensemble à partager les tâches et placer les pièces de puzzle. Afin de tester le taux d'engagement envers chaque type d'interface, les auteurs ont étudié le nombre d'itérations volontaires du jeu de la part des utilisateurs (le nombre de fois où l'enfant a voulu refaire l'activité sur l'interface volontairement) ; ils ont trouvé que l'interface tangible a le taux le plus important d'engagement.

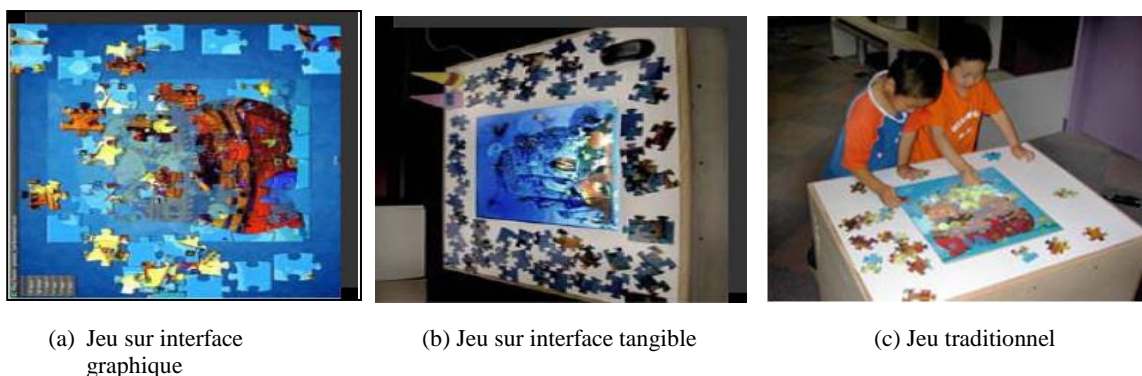


Figure 28. Etude de (Xie et al. 2008) pour comparer le comportement utilisateur envers un jeu d'apprentissage sur trois types d'interfaces différents

Un autre exemple d'application tournant sur une interface tangible est *l'Augmented Chemistry* (AC) de (Fjeld et al. 2007). Il s'agit d'une application avec interface utilisateur tangible conçue pour l'apprentissage d'un cours de chimie organique avec une présentation du modèle BSM (*Ball and Stick Model*), voir Figure 29. Les auteurs ont comparé l'ancienne méthode d'enseignement de ce cours en chimie organique avec le même concept mais en utilisant des objets tangibles. Les résultats indiquent que l'application tangible AC offre plus de visualisation, et entraîne plus de plaisir et d'efficacité pour les apprenants.



(a) Application de réalité augmentée pour l'étude de la chimie organique avec une interface interactive tangible

(b) Ancienne méthode d'enseignement, appelée BSM

Figure 29. Etude comparative du système tangible AC avec l'ancienne méthode d'enseignement BSM

2.5.2. Relation entre apprentissage chez les enfants et utilisation des interfaces tangibles

Plusieurs études ont montré que les enfants aiment jouer avec des objets physiques tangibles. On parle beaucoup de l'importance de l'interaction avec les objets physiques pour le développement cognitif, social et physique des enfants (O'Malley et Fraser 2004) (Fails et al. 2005). On considère que le mouvement (physique) peut améliorer les capacités de l'enfant à résoudre les problèmes (Montessori 1912) (Piaget 1976). Afin de faire passer l'information d'une manière implicite et positive, il ne faut pas négliger le côté émotionnel et cognitif chez l'enfant. Les interfaces tangibles offrent potentiellement un environnement d'apprentissage ludique. Aujourd'hui, des chercheurs affirment que l'apprentissage doit se baser sur la stimulation de la mémoire, l'attention, le langage, la résolution de problèmes et la planification (Ostroff 2012). Dans certains cas, les systèmes d'apprentissage et d'éducation des enfants deviennent une source de peur, de stress, de honte, de menaces et de frustration (Brand et al. 2007). Ces sentiments négatifs entraînent une dégradation du taux d'apprentissage, ainsi que des performances et des efforts moins élevés de la part des apprenants. En effet, lorsque le cerveau d'un apprenant est occupé à penser à quelque chose de non pertinent, on considère qu'il ne peut pas garder un niveau d'attention suffisant ; par contre, des émotions et sentiments positifs influent sur la motivation, l'attention et la perception, et conduisent à un apprentissage plus créatif et plus flexible (Brand et al. 2007).

Enfin, on considère que l'interaction sociale est importante entre les enfants et les responsables de l'apprentissage. A ce sujet, on considère que les TUI peuvent permettre de supporter les activités collaboratives et les interactions sociales (Ostroff 2012).

a) NIKVision, une application pour les enfants aux besoins spéciaux :

Dans (Marco et al. 2013), les auteurs proposent une application d'apprentissage collaboratif dédié aux enfants de bas âge (entre 3 et 4 ans pour les enfants valides, et entre 7 et 11 ans pour les enfants aux besoins spéciaux). Il s'agit d'un jeu basé sur une interaction tangible. Il a été créé dans le but d'engager des groupes d'enfants dans une activité récréative physique et co-localisée en manipulant des jouets conventionnels. La Figure 30 présente l'activité sur la table interactive et comment l'enfant est en train d'utiliser les objets tangibles pour jouer et déplacer les personnages du jeu sous la supervision d'une spécialiste.

Afin d'évaluer cette application, des méthodes de test d'utilisabilité ont été utilisées, telles que l'enregistrement automatique, l'enregistrement vidéo et des questionnaires visant à recueillir les observations des éducateurs. Les résultats de l'évaluation ont montré la satisfaction des utilisateurs de l'application, Les enseignants sont convaincus aussi qu'un outil comme *NIKVision* peut être très utile en tant qu'outil de formation flexible pour le renforcement des compétences communicatives chez les enfants à handicap cognitif.



Figure 30. Le système NIKVision proposé dans (Marco et al. 2013)

b) Système à interface interactive tangible "Tangram" (Quek et al. 2010) :

Le système de table Tangram, ou "TanTab" est un jeu éducatif dont le principe est de placer des objets géométriques pour former un puzzle (Figure 31). Dans TanTab, les enfants peuvent passer progressivement par trois modes : manipulation directe d'objets géométriques physiques (c'est-à-dire des pièces de tangram), manipulation d'un objet réel pour déplacer les objets virtuels et manipulation directe avec des objets virtuels. Les enfants concernés par ce type d'application sont des enfants âgés de 3 à 6 ans. Les résultats des tests effectués avec un groupe d'enfants ont

montré que la manipulation des objets tangibles sur l'interface est facile chez les enfants, contrairement à la manipulation des objets purement virtuels à l'aide des outils de pointage.



Figure 31. La configuration du système TanTab

2.6. Synthèse et discussion

Après avoir présenté individuellement des applications représentatives fonctionnant sur des tables interactives, nous présentons ci-dessous une synthèse sous forme d'un tableau (Tableau 2) faisant apparaître les caractéristiques les plus importantes de ces applications :

- La première colonne donne le nom de l'application.
- La deuxième colonne indique le domaine couvert par cette application.
- La troisième colonne résume les dispositifs d'entrées/sorties utilisés par l'application et le type de la (les) table(s) interactive(s) utilisée(s).
- La quatrième colonne précise la modalité d'interaction utilisée dans ce système.
- La cinquième colonne précise si l'application permet le travail collaboratif. Cette caractéristique est importante car nos travaux se situent dans le cadre des applications sur les interfaces interactives tangibles supportant le travail collaboratif. Selon la taxinomie de Ellis (Ellis et al., 1991), nous les distinguons selon leur catégories : CLA (collaboratif local asynchrone), CDA (collaboratif distant asynchrone), CLS (collaboratif local synchrone), CDS (collaboratif distant synchrone).
- La sixième colonne précise le taux de distribution de l'interface de point de vue de la perception par l'utilisateur.

Sur les 16 applications recensées, 11 ont utilisé les tables interactives à interaction tangible. Ceci montre que l'utilisation des interactions tangibles était un choix pour plusieurs concepteurs dans divers domaines et ce pour surmonter les problèmes rencontrés avec les interfaces à interaction tactile.

Tableau 2. Tableau de synthèse des applications développées sur les tables interactives

Nom de l'application	Domaine d'application	Dispositifs d'entrée /sortie	Modalité d'interaction	Travail collaboratif	Interface distribuée
Digital desk	Bureautique	Tabletop /Camera/ vidéo projecteur	Tangible	-	-
3DC2	Urbanisme	Tabletop/ Ordinateur/ Vidéo projecteur/ lunette/ Écran	Tactile	CLS /CLA	Oui
ReacTable	Musique	Tabletop/ Artéfacts physiques/ Hauts-parleurs/ vidéo projecteur	Tangible	CLS	-
The VIP gaming plateforme	Jeux dédié aux personnes âgées	Tabletop/ Dames tangibles/ Vidéo projecteur	Tangible	-	-
sharepic	Montage photo	Tabletop	Tactile	CLS	-
The fun.tast.tisch	Médecine	Tabletop/ Objets tangibles	Mixte	-	-
SnapRail	Bureautique	Tabletop/ Objets tangibles	Tangible	-	-
Cerebral Palsy therapy game	Médecine	Tabletop/ Objets tangibles/ Cube/ Billes/ marteau	Tangible	-	-
Nikvision	Médecine	Tabletop/ Ecran/ Objets tangibles/ Vidéo projecteur	Tangible	CLS	Oui
Haptic tabletop Puck	Bureautique	Tabletop	Tactile avec un retour haptique	CLS	-
Build It	Conception	Tabletop/Briques/ Vidéo projecteur	Tangible	CLS	-
URP	Urbanisme	Tabletop/ modèle tangible de bâtiment/ vidéo projecteur	Tangible	CLS	-
IP network Design Workbench	Conception des réseaux	Tabletop/ puck/ Vidéo projecteur	Tangible	CLS	Oui
Augmented Chemistry	Enseignement	Tabletop/ étiquette/ Camera / vidéo projecteur	Tangible	-	Oui
Tangram	Enseignement	Tabletop / objets tangibles/ vidéo projecteur	Tangible	CLS	-
Youtpia	Enseignement	Tabletop/ tampon physique	Mixte	CLS	-

Par contre, aucune application n'a été totalement conçue pour n'utiliser que les propriétés proposées par les tables interactives à interaction tangible. Nous remarquons en effet toujours une utilisation d'un périphérique de sortie (sonore, visuel) ou une caméra pour capter les mouvements des utilisateurs.

Quatre applications seulement ont choisi de faire une distribution de l'interface sur plus d'un support. Cette distribution généralement est une duplication de l'affichage de l'application sur d'autres monitors ou la modélisation en 3D des artefacts utilisés sur la table. Sur les 16 applications recensées, 10 supportent le travail collaboratif ; toutes sont conçues pour supporter les collaborations locales (synchrone généralement et parfois asynchrone). La collaboration locale n'est parfois pas un détail sur lequel les concepteurs mettent l'accent. Le fait que le dispositif est utilisable par plusieurs utilisateurs simultanément ou alternativement nous permet de dire qu'il existe une certaine forme de production collaborative, mais souvent sans la mettre dans un cadre organisé. Par contre, la collaboration distante est totalement absente dans les systèmes cités. Ceci peut être expliqué par le fait que pour concevoir un système distribué capable de supporter une collaboration distante fiable, il faut bien étudier les détails de cette collaboration, trouver les scénarii adéquats possibles via les tables interactives et adapter la conception aux propriétés des tables interactives à interaction tangible.

Enfin nous concluons cette synthèse par le constat qu'il n'y a aucune application parmi tous les systèmes recensés qui peut assurer une collaboration distante entre deux tables interactives à interaction tangible via des interfaces distribuées en utilisant seulement des objets tangibles.

2.7. Conclusion du chapitre

Les tables interactives présentent de nos jours une technologie ambitieuse. Elles permettent de surmonter certaines difficultés que nous rencontrons lors de la conception des applications WIMP. Dans la première partie du chapitre, nous avons présenté les phases de passage des interfaces WIMP aux interfaces post-WIMP, ainsi que les propriétés principales de ces dernières. Dans la seconde, nous nous sommes focalisés sur les tables interactives à interaction tangible ; nous avons introduit la différence entre ce type d'interface et les interfaces à interaction tactile, nous avons également introduit plusieurs modélisations proposées dans la littérature permettant de souligner certains principes des interfaces à interaction tangible. L'interaction autour et avec ce type d'interface a des spécificités bien déterminées ; pour cela la troisième partie était consacrée à des exemples d'interface tangible et aux modes d'interaction impliqués. Enfin ce chapitre s'est terminé par l'étude de l'impact de

l'utilisation des interfaces tangibles sur les procédures d'apprentissage via plusieurs exemples représentatifs d'applications.

Le chapitre suivant est consacré à l'importance de la notion de collaboration dans le travail humain, tout en faisant le lien avec l'apprentissage chez les enfants. Nous pensons à ce sujet que les tables interactives constituent un support favorable pour la collaboration entre plusieurs personnes et donc aussi un support favorable pour l'apprentissage collaboratif, que ce soit en co-localisé ou même à distance.

Chapitre 3 - Du travail collaboratif à la collaboration et l'apprentissage sur table interactive

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons le Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO) et plus précisément l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur (ACAO).

L'objectif est de présenter d'abord les notions génériques de l'apprentissage collaboratif, ses avantages et ses principes. Nous présentons également l'intégration des outils et plateformes numériques qui aident à la collaboration lors de l'apprentissage. Les tables interactives à interaction tangible sont positionnées comme support à la collaboration ainsi qu'un ensemble de systèmes d'apprentissage collaboratif fonctionnant sur des tables interactives à interaction tangible.

Enfin les propriétés de la collaboration sur les tables interactives, ses différentes situations de collaboration, ainsi que la différence entre une collaboration co-localisée et une collaboration distante sont introduites.

3.2. Le travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO)

L'objectif des chercheurs dans le domaine du travail collaboratif assisté par ordinateur est de proposer et évaluer des logiciels capables de supporter le travail d'un groupe de personnes. L'intérêt, aussi bien commercial qu'académique, croît de plus en plus envers ce type de logiciel. En fait, pour certaines tâches les acteurs doivent travailler ensemble pour les accomplir, afin d'obtenir un résultat satisfaisant. Les plateformes informatiques peuvent jouer un rôle très important pour faciliter le travail en groupe. Le logiciel informatique qui est conçu pour le travail de groupe est appelé un *groupware*. Ce terme a été inventé par Johnson-Lenz en 1981 (Johnson-Lenz 1981). Il correspond à l'intégration de logiciels, matériels, techniques de communication et méthodes d'organisation destinés à développer le travail en commun lors de déroulement du travail (Mintzberg 1973) (Mosvick et Nelson 1996). Selon (Ellis et al. 1991), le *groupware* est un système informatique qui assiste un groupe de personnes engagées dans une tâche commune (ou un but commun) et qui fournit une interface à un environnement partagé.

Dans un *groupware*, le but est principalement de pouvoir réunir différentes personnes éventuellement distantes géographiquement (que ce soit dans des bureaux voisins, ou dans des villes ou pays différents) et ne travaillant pas nécessairement en même temps (rythmes différents, décalages horaires, etc.). On veut donc assurer la gestion du travail collaboratif via

le système informatique. Delotte et ses collègues (Delotte et al. 2004) ont cerné les principaux objectifs d'un *groupware* : (1) obtenir des gains de performance, (2) capitaliser des connaissances, (3) améliorer des temps de réponse, (4) partager des compétences et (5) faciliter le travail à distance. Afin d'obtenir les objectifs fixés, la relation via un *groupware* doit tourner autour des facteurs suivants :

- **Groupe et acteurs** : chaque individu participant à l'activité collaborative est appelé acteur. Un groupe est un ensemble d'acteurs travaillant sur un même domaine.
- **Rôle** : dans un groupe, à un instant donné, chaque acteur joue un rôle. Ce rôle est caractérisé par un nombre de droits vis-à-vis des autres acteurs et des données partagées. Ce rôle peut évoluer au cours du temps et un acteur peut aussi avoir plusieurs rôles.
- **Vue** : il s'agit de la perception par un acteur des données partagées. Cette vue peut être publique (accessible aux autres utilisateurs), privée (accessible seulement au propriétaire), etc.
- **Informations partagées** : ce sont les données partagées à travers le système par les différents acteurs. La granularité des informations gérées par le système peut être grossière (ex : un document entier, une image, un rapport, etc.) ou très fine (ex : un mot, un tableau, une section, etc.).

Les chercheurs sont conscients que le travail en groupe est plus complexe que celui d'une seule personne. Ce type de travail étant influencé par l'environnement physique ainsi que par des facteurs sociaux, on considère que l'expérimentation dans ce domaine est plus difficile à contrôler et à enregistrer que dans des situations de travail individuel (Dix 2004) (Wilson 1991). Mais cet intérêt porté au travail de groupe a évolué naturellement suite à une volonté d'accroître la productivité et l'efficacité des acteurs de l'entreprise.

Le travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO), traduit en anglais par *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*⁴, est un domaine de recherche très connexe au travail de groupe. Il implique des facteurs de différentes disciplines et il met l'accent sur les outils et techniques pour soutenir le travail du groupe à l'aide de systèmes informatiques dédiés au travail collaboratif. Wilson définit le TCAO comme : « Un terme générique qui combine la compréhension de la façon dont les gens travaillent en groupes avec les capacités

⁴ Computer Supported Cooperative Work "is a generic term that combines the understanding of the way people work in groups with the enabling technologies of computer networking and associated hardware, software, services and techniques".

technologiques du réseau informatique associé aux matériels, logiciels, services et techniques connexes » (Wilson 1991).

Le TCAO permet aux utilisateurs de travailler ensemble de manière co-localisée ou à distance dans le but d'arriver à un but commun ou finaliser une tâche commune (Silverman 1992). Une collaboration est jugée réussie si le but du groupe du travail est atteint (ici on ne parle pas des buts individuels des membres du groupe de travail).

Puisque le but principal du TCAO est de soutenir l'efficacité du travail en groupe, on accorde une grande importance au processus du travail de groupe concerné, et à la technologie qui pourrait être utilisée pour le supporter (Olson et al. 1993).

On considère aussi que tout système de travail collaboratif devrait prendre en considération deux facteurs importants : le temps et l'emplacement de l'interaction. Ainsi, Wilson a classé la technologie TCAO selon quatre catégories :

1. En tant que *mécanisme de communication* qui permet aux personnes, de différents endroits, de voir, d'entendre et d'envoyer des messages les uns aux autres ; à titre d'exemple, citons à ce sujet la vidéoconférence et le courrier électronique.
2. En tant qu'*espace de travail partagé* qui permet aux utilisateurs de visualiser et de travailler sur le même espace électronique en même temps ; un exemple de technologie est le partage d'écran à distance.
3. En tant qu'*installation de l'information partagée* permettant aux gens de visualiser et de travailler sur les mêmes informations ; par exemple, on peut citer à ce sujet les bases de données multiutilisateurs.
4. En tant que *moyen d'appui* aux activités de groupe pour renforcer les processus de travail en groupe ; par exemple, la co-création de documents ou la génération d'idées correspondent à cette catégorie (Ellis et al. 1991).

Les domaines d'application du TCAO sont très variés et couvrent différents secteurs d'activité, tels que la conception de produits, la maintenance, l'enseignement, les relations commerciales (Mosvick et Nelson 1996) (Mintzberg 1973) (Dockterman 1991) (Connolly et Edmonds 2012), etc., sans oublier les activités plus ludiques (jeux). On doit noter que ces activités ne poursuivent pas les mêmes objectifs mais elles possèdent des caractéristiques communes qu'on doit prendre en compte lors de la conception des systèmes informatiques qui vont supporter le travail collaboratif. Ainsi, ils doivent permettre aux utilisateurs de réaliser une tâche collaborative à partir de leur poste de travail, que ce soit un ordinateur fixe, un portable

un ordinateur de poche, voire un téléphone mobile ; une notion intéressante à ce sujet est celle de « TCAO capillaire », définie dans (David et al. 2003) (Delotte et al. 2004).

3.2.1. Le Workflow

Le workflow est un processus qui fait apparaître une suite de tâches et d'opérations effectuées par une personne, ou par une entité (groupe, organisme...). Il s'agit de modéliser l'ensemble des tâches à accomplir et de mettre en évidence les différents acteurs qui y sont impliqués dans le cadre d'un processus métier (interactions sous forme d'échange d'informations entre les différents acteurs d'une entreprise). Cela décrit le circuit de validation, les tâches à accomplir entre les différents acteurs d'un processus, les délais, les modes de validation, et fournit à chacun des acteurs les informations nécessaires pour la réalisation de sa tâche. On parle de moteur de workflow pour décrire le dispositif logiciel permettant d'exécuter une ou plusieurs définitions de workflow.

3.2.2. Contextes d'utilisation

Afin de concevoir une application qui s'adapte à un ensemble de dispositifs différents, il est indispensable aux concepteurs d'applications de prendre en considération ces différentes situations de mobilité et d'intégrer explicitement le contexte du travail parmi leurs critères afin d'avoir une application capable de surmonter ces évolutions rapides du marché des dispositifs technologiques d'interaction. Deux termes liés au mot contexte sont également apparus et nous intéressent dans cette étude : *le contexte d'usage* et *le contexte collaboratif*.

Le terme *Contexte d'usage* prend de plus en plus d'importance dans les travaux des chercheurs en IHM ; il devient un terme très utilisé et lié souvent à la notion de mobilité des dispositifs. Il s'applique à l'usage d'un dispositif. Selon la définition de (Dey 2001) « Le contexte est une information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu ou un objet considéré comme pertinent pour l'interaction entre un utilisateur et une application, y compris l'utilisateur et les applications eux-mêmes. » Pour Moran et Dourish, l'interaction avec le système se fait explicitement alors que le contexte est implicite (Moran et Dourish 2001). Le contexte peut être utilisé pour interpréter des actes explicites, ce qui rend la communication beaucoup plus efficace. Ainsi, en intégrant soigneusement l'informatique dans le contexte de nos activités quotidiennes, nous pouvons gagner en termes de temps et d'effort. Il est donc important de discerner le rôle que joue le

contexte dans nos expériences quotidiennes et répétitives. En 2003, Calvary a défini le contexte d'utilisation par un triplé < Utilisateur, Plateforme, environnement > (Calvary et al. 2003). Cette modélisation a été développée par Coutaz dans (Coutaz et al. 2005) en intégrant un aspect de processus ; en effet, selon l'auteur, le contexte n'est pas simplement un état mais fait partie d'un processus. Il ne suffit pas que le système se comporte correctement à un instant donné : il doit se comporter correctement lors du processus d'implication des utilisateurs.

Dans le cadre d'un travail collaboratif, peu de travaux de recherches ont été consacrés à étudier ou à proposer un modèle de contexte adéquat. C'est pourquoi, dans (Halin et Kubicki 2005), ces auteurs ont introduit le contexte de coopération qui contient toutes les entités en interaction dans le projet : acteurs, activités, documents et objets. Ils introduisent aussi la notion de point de vue. Un utilisateur dans un système collaboratif n'a dans certains cas pas le droit de disposer de toutes les informations disponibles ou communiquées via ce système, c'est en fonction de son rôle et des tâches affectées qu'il aura une vision éventuellement étroite des informations globales. Avoir la connaissance de la situation de la personne avec laquelle nous voulons collaborer est important pour réussir le travail ou la tâche collaborative. C'est en prenant conscience du contexte de travail qu'il devient possible de répondre à cette condition.

3.2.3. L'awareness

Dourish et Bellotti définissent l'awareness ainsi : « c'est la compréhension de l'activité des autres qui engendre un contexte pour notre propre activité » (Dourish et Bellotti 1992). L'Awareness (la conscience en Français) est la connaissance intuitive et immédiate que l'être humain possède de son existence, de ses facultés. La conscience est l'aspect le plus fondamental de l'interaction dans les environnements virtuels. Sans aucune connaissance de l'état des autres utilisateurs, il est difficile d'établir et de proposer une interaction dans l'environnement. L'awareness intègre principalement les éléments suivants :

- ✓ **Conscience de l'autre (des autres)** : conscience des activités que les autres utilisateurs peuvent effectuer et de leur contexte.
- ✓ **Personne** : profil cognitif de l'utilisateur, appartenance au groupe.
- ✓ **Activité** : au sein du processus individuel et collectif.
- ✓ **Espace/temps** : gestion des distances (virtuelles) et de la synchronisation/ asynchronisation des tâches.

3.2.4. Modèles d'architecture pour les TCAO

Calvary et ses collègues définissent l'architecture d'un système informatique dans (Calvary et al. 1997) comme un ensemble de structures comprenant chacune des composants, les propriétés extérieurement visibles de ces composants et les relations qu'ils entretiennent. Les architectures ont deux principales catégories : les modèles en couche et les modèles multi-agents.

Dans notre étude, nous nous intéressons aux modèles d'architectures conçues pour le TCAO. En se basant sur un ensemble de travaux nous pouvons conclure que les modèles d'architecture des logiciels collaboratifs sont, pour la plupart, une évolution des modèles d'architectures logicielles des applications mono-utilisateur. En effet, ces modèles se basent sur des modèles de systèmes interactifs tels Arch, MVC (Model-View-Controller) et PAC-Amodeus, qui s'appuient sur une décomposition fonctionnelle séparant le code du noyau fonctionnel (logique de l'application) de celui de l'interface. Dans ce qui suit, nous présentons quelques modèles d'architectures tels que : PAC, AMF, AMF, etc.

a) Du trèfle fonctionnel des collecticiels au modèle 3C

La collaboration est définie comme étant une activité impliquant la communication, la coordination et la coopération. Elle peut être synchrone ou asynchrone, située dans un même lieu ou dans des lieux différents. Un collecticiel couvre trois fonctions de domaines spécifiques : communication, coordination et production/coopération :

- L'espace de communication : il s'agit de la communication Homme-Homme Médiatisée (via le courriel électronique, les média_spaces, etc.).
- L'espace de coordination : la production collective nécessite une bonne coordination des utilisateurs, de leurs actions et de leur production (gestion des conflits, ordonnancement des tâches, gestion des aspects temps/lieu, etc.)
- L'espace de production : comprend les artefacts partagés qui sont manipulés de façon coopérative pour réaliser les différentes tâches, comme par exemple les documents ou les données partagées.

David a proposé une extension de ce modèle en quatre espaces en ajoutant la dimension communication (David 2001). En effet, l'échange de données persistantes est obligatoirement lié à la tâche du groupe, que ce soit entre des espaces communs ou privés, Le plus important est que les données et les informations soient disponibles d'une façon permanente. De ce fait,

l'activité de communication peut être considérée comme un moyen ou un outil au service de la coordination et de la production (Figure 32).

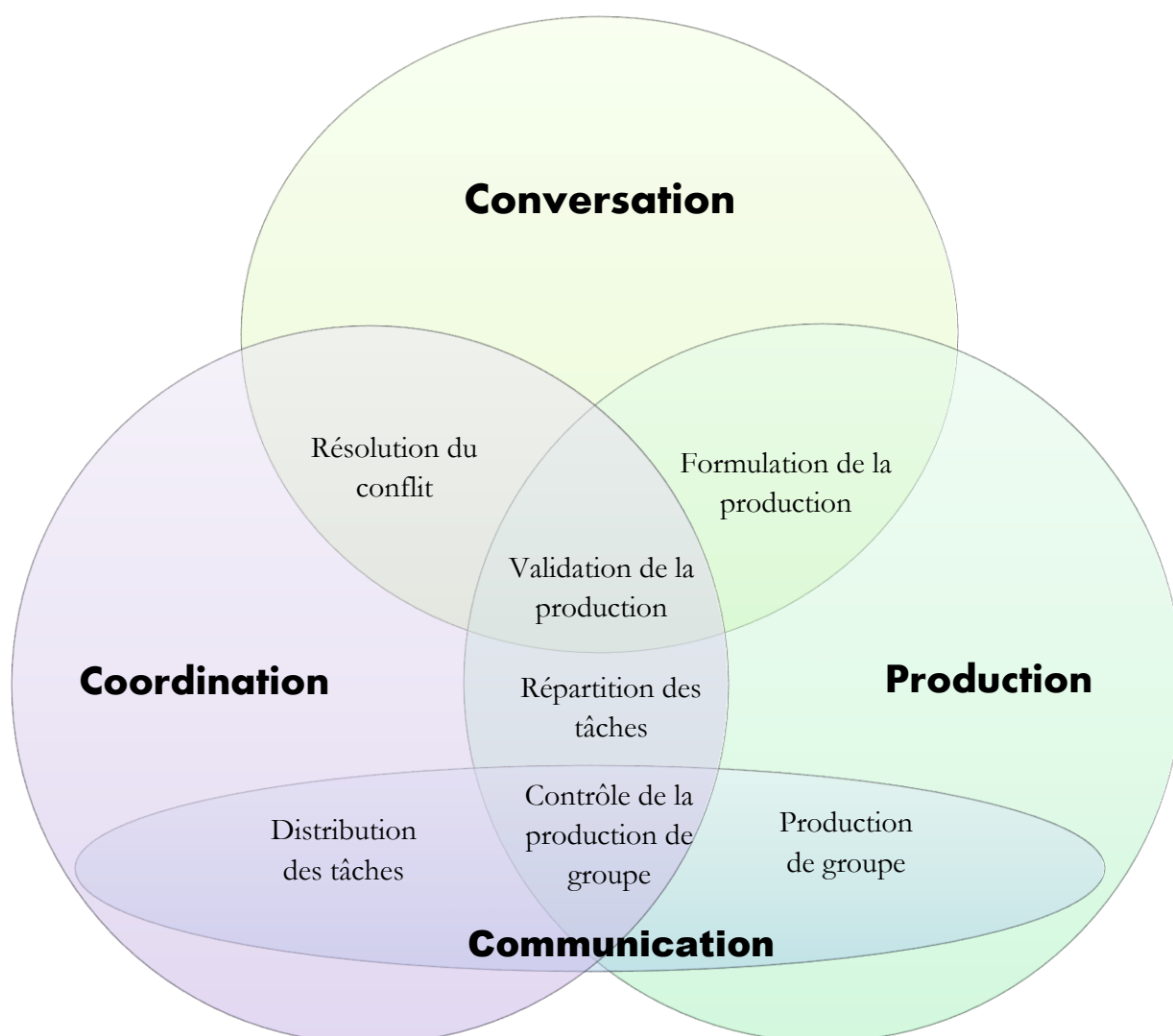


Figure 32 . Le modèle 3C et les différentes tâches (d'après (David, 2001))

b) Modèles PAC, AMF et AMF-C

Proposé par Joëlle Coutaz (Coutaz 2001), le modèle PAC modélise la structure d'un logiciel interactif sous la forme d'une hiérarchie d'agents. Chaque agent est responsable d'un aspect spécifique d'une fonctionnalité de l'application. Ce modèle est basé sur trois facettes : le comportement visible de l'agent (les entrées et les sorties), présenté par la facette Présentation P, le modèle de données sous-jacent à l'agent présenté par la facette Abstraction (A) et la facette Contrôle (C) qui a un rôle double : elle relie les facettes P et A de l'agent et assure tous les échanges entre elles ; elle gère aussi la communication avec les autres agents PAC (parents ou enfants de la hiérarchie) par l'intermédiaire de la facette C de ces agents. Partant d'une critique du modèle PAC, le modèle AMF a été développé par

Kamel Ouadou (Ouadou 1994) puis il a été complété et étendu au travail collaboratif par Franck Tarpin-Bernard (Tarpin-Bernard 1997). D'après ces chercheurs, le modèle PAC souffre de failles, telle que l'insuffisance de la décomposition des facettes Abstraction et Présentation au point de se trouver parfois mélangées dans des composants trop macroscopiques alors qu'elles relèvent de thématiques différentes. En outre, la structure de la facette joue un rôle très important dans les modèles d'architecture. Sur cette base, AMF reprend donc les mêmes facettes de base P, A, C mais permet d'en ajouter de nouvelles pour des besoins plus particuliers, ce qui permet un découpage plus fin des agents interactifs. Chaque facette se voit donc attribué un rôle précis, ce qui conduit à une meilleure modélisation. Cela permet également la constitution de « patterns » d'autant plus réutilisables qu'ils sont stéréotypés. Pour répondre à la deuxième critique, AMF propose un formalisme complet pour modéliser la facette Contrôle et représenter les échanges entre les différentes facettes de l'agent et entre les différents agents. La facette Contrôle se trouve ainsi précisément modélisée dans son comportement.

Pour passer à un autre niveau coopératif, le modèle AMF-C (AMF Coopératif) a fait son apparition. A la base, le logiciel est toujours structuré en agents AMF. Les utilisateurs interagissent avec les agents selon deux approches différentes :

- Soit ils interagissent tous avec un seul agent. Celui-ci doit être fragmenté en plusieurs morceaux répartis sur les différents postes de travail et éventuellement sur un ou plusieurs serveurs.
- Soit ils interagissent chacun avec leur propre copie de l'agent qui est donc répliqué sur chaque poste de travail.

Dans les deux cas le système doit connaître l'état et la localisation des éléments dispersés dans le réseau (fragments ou copie d'agent).

CoCSys

CoCSys (COoperative Capillary SYStems) est un modèle qui est considéré comme un cycle de vie d'applications collaboratives mobiles centrées utilisateurs. Il a été proposé par (Delotte 2006). CoCSys est utilisé dans la création des applications collaboratives ; il a comme point de départ l'identification des besoins à l'aide de scénarios appropriés (scénarios contextualisés). Le but de CoCSys est donc d'assister la construction d'applications et leurs évolutions au cours de leurs utilisations en s'appuyant sur une architecture et des mécanismes à base de modèles. Suite à une étude de la description des activités récurrentes des utilisateurs du système, CoCSys commence par l'élaboration des scénarios d'utilisation. Le processus se poursuit par l'extraction et la formalisation des informations issues de ces scénarios sous forme de modèle comportemental CAB (Contextual Application Behaviour). Les étapes de

collecte des besoins et de construction du modèle comportemental sont effectuées en exploitant l'outil CBME qui fait partie du processus CoCSys.

CBME a pour vocation la construction et l'évolution du modèle comportemental, la visualisation, la manipulation, et la sauvegarde des informations qu'il contient. Il intègre une partie Edition et Visualisation de ces éléments pour pouvoir les manipuler, mais aussi des fonctionnalités de vérification de cohérence (sémantique du modèle) et de complétude (cardinalités du modèle).

CoCSys s'appuie par la suite sur une architecture logicielle collaborative à trois niveaux sur laquelle le modèle comportemental va se projeter. Cette phase est décomposée en trois étapes qui s'appuient sur l'utilisation de patterns de conception (tâches, interactions) et sur des composants logiciels disponibles afin de construire l'application collaborative. La dernière phase de CoCSys est celle d'évolution qui, par l'intégration de nouveaux scénarios, permettra de modifier le modèle comportemental et de faire évoluer le comportement du système.

3.2.5. TCAO et cognition distribuée

En se basant sur un principe dit « d'école des idées » (*school of thinking*), Dix et ses collègues décrivent la façon dont les utilisateurs apprennent à travailler en groupe et partager les connaissances (Dix et al. 2003). Selon ce principe on dit que les idées ne passent pas seulement dans la tête, mais aussi par la fondation des relations externes avec l'entourage et les autres personnes ; c'est ce qu'on appelle la cognition distribuée (Hutchins 1990) (Lave 1988).

La cognition distribuée a des effets profonds sur la façon dont les concepteurs d'interface utilisateur regardent le travail du groupe. Elle met l'accent sur l'importance des représentations de médiation, par exemple, les dessins sur une surface commune. Ces représentations peuvent être un mode de réalisation de la connaissance du groupe en plus d'être un moyen de communication. En outre, elle nous rappelle constamment que la communication consiste non seulement à faire passer des connaissances d'une tête à l'autre, mais facilite aussi une création de nouvelles connaissances dans le groupe. Dix et ses collègues affirment dans (Dix et al. 2003) qu'il n'est pas vraiment nécessaire de comprendre le traitement cognitif de l'individu afin de concevoir des applications de travail de groupe efficaces ; par contre, on doit se concentrer sur l'analyse des situations possibles des groupes existants et la conception des représentations externes utilisées par les participants.

Différentes études menées par des chercheurs du domaine de la cognition distribuée, impliquant des interviews avec des spécialistes et des personnes intéressées par le travail collaboratif s'appuyant sur des systèmes informatiques, ont mis l'accent sur des points très importants. En effet, les chercheurs ont cerné plusieurs inconvénients des pratiques actuelles de travail collaboratif (Amershi et Morris 2008). Par exemple, la différence de vitesse de lecture entre les différents collaborateurs peut rendre le partage de l'information ennuyeux (lorsque le défilement des pages à lire se fait trop vite ou trop lentement ou lorsqu'ils se déplacent loin des pages avant que les observateurs n'aient terminé de les lire). Un autre exemple est le manque de sensibilisation lorsque les membres du groupe dominant peuvent masquer les tentatives de contribution des autres, ce qui conduit à une réduction de la connaissance des autres compétences et suggestions (Bautista et al. 2012).

3.2.6. L'apprentissage collaboratif

Le travail collaboratif est l'une des dimensions importantes de l'apprentissage collaboratif, qui est encouragé dans certaines formes d'apprentissage en ligne.

L'apprentissage collaboratif est réalisé si des élèves travaillent ensemble en groupes hétérogènes, leur but étant d'atteindre un objectif académique commun, par exemple la réalisation d'un projet, la résolution d'un exercice ou la réalisation d'un jeu éducatif (jeu sérieux⁵). Plusieurs types d'apprentissage collaboratif peuvent être alors exploités. On peut citer :

- *L'apprentissage par binôme* (Raymond et al. 2016) dans lequel les membres du groupe d'apprentissage ont presque le même niveau de connaissance, ils se complètent au niveau des idées et propositions et ils s'entre-aident en échangeant leurs expérience (en particulier professionnelles).
- *Le tutorat* (Nelson 2015) est l'activité d'un enseignant responsable d'un groupe d'étudiants qui apprennent ensemble.
- *L'apprentissage par projet* (Proulx 2004) (Warin et al. 2016) est un modèle d'enseignement / apprentissage qui est loin des pratiques de classe classique, courte, isolée, et basée sur l'apprentissage centré sur l'enseignant. Il favorise l'apprentissage

⁵ Un jeu sérieux (en anglais *Serious game*) est un logiciel combinant une intention sérieuse avec des ressorts ludiques (Abt, 1070) (Alvarez et Djaouti, 2010).

multidisciplinaire, long, centré étudiant et intégrant le monde réel comme source de questions et de pratique.

Roberts classifie les caractéristiques majeures de l'apprentissage collaboratif dans (Roberts 2003) comme suit :

- *Le partage des connaissances entre les enseignants et les apprenants* : les enseignants ont des connaissances intéressantes à propos du programme à enseigner, des capacités intellectuelles des élèves et des instructions, ils cherchent à transmettre cette information à l'étudiant. Pour la classe collaborative, les enseignants apprécient et encouragent également les connaissances, les expériences personnelles, la langue, les stratégies et la culture que les élèves apportent à la situation d'apprentissage.
- *L'encouragement des étudiants à prendre l'initiative pour l'apprentissage* : les enseignants encouragent les apprenants à utiliser leurs propres connaissances et savoirs, et veillent à ce que les élèves partagent leurs connaissances et leurs stratégies d'apprentissage. Le respect mutuel est toujours assuré. On se concentre sur un haut niveau de compréhension.
- *L'enseignant dans le rôle d'un modérateur* : la responsabilité de l'enseignant est d'adapter le niveau d'information et de soutenir l'élève de manière à maximiser sa capacité à assumer la responsabilité de son apprentissage. Une fois terminé, l'enseignant a réussi à aider les étudiants à lier ces nouvelles informations à leurs expériences et à passer à l'apprentissage dans d'autres domaines. Une telle stratégie aide également les élèves à découvrir ce qu'il faut faire quand ils sont perplexes, et les aide à apprendre la bonne méthode d'apprentissage.
- *Avoir un groupe d'apprenants hétérogène* : un groupe hétérogène est un groupe enrichissant. En effet, au sein d'une classe, le partage des idées, des perspectives et des connaissances différentes, aide à enrichir l'apprentissage et à donner plusieurs points de vue à un même point.

Des problèmes liés à l'apprentissage collaboratif dans les espaces d'apprentissage (les classes) peuvent aussi être mis en évidence. Ainsi on considère que l'apprentissage collaboratif est certes bénéfique pour les apprenants, mais qu'il n'est pas toujours appliqué, et ceci pour plusieurs raisons. A ce sujet, Dockterman a cité quelques difficultés qui peuvent influencer l'apprentissage collaboratif (Dockterman 1991) :

- Les enseignants ont une expérience le plus souvent très modeste de l'apprentissage collaboratif, ce qui rend leur recherche de mise en pratique de ce mode d'enseignement dans leurs propres classes très limitée. Si on part du principe que les enseignants suivent la même méthode que celle qu'on leur a enseigné, il n'est pas du tout surprenant que l'apprentissage collaboratif n'apparaisse que rarement dans l'école d'aujourd'hui.
- Les activités d'apprentissage collaboratives menacent apparemment le contrôle de l'enseignant en classe, ce qui gêne nombre d'entre eux. Dockterman explique que l'étude des expériences éducatives américaines montre que les enseignants ont choisi des approches pédagogiques qui ont permis de maximiser leur capacité à contrôler et à gérer leurs élèves. En fait, l'un des principaux objectifs des enseignants a longtemps été le silence de l'élève, sinon l'attention. La séparation des groupes d'étudiants en petits groupes sans surveillance dans lesquels ils sont encouragés à se parler mutuellement menace, selon eux, la gestion du comportement en classe.
- Les programmes d'enseignement sont généralement très longs et chargés. Les enseignants se trouvent généralement dans l'obligation de donner les nombreuses leçons programmées. Pour cela ils optent souvent pour le système de conférence pour présenter la plus grande quantité possible d'information dans un court laps de temps et un test standardisé pour leurs étudiants à la fin du semestre. Dans ces circonstances, les activités d'apprentissage collaboratif peuvent sembler très difficiles à appliquer.

Afin de surmonter ces problèmes, les chercheurs ont intégré les systèmes informatiques dans la procédure d'apprentissage collaboratif. (Dockterman 1991) affirme que « *bien que le système informatique ne puisse ni réécrire les objectifs du programme scolaire ni réinventer l'expérience de l'enseignant dans une classe, il peut par contre aider à rendre plus facile et moins risquée la gestion des activités d'apprentissage* » :

- Dans le rôle du modérateur de la classe, un seul système informatique dans la classe peut aider l'enseignant à diriger et suivre plusieurs équipes d'élèves en parallèle. (Dockterman 1991) affirme qu'on peut gérer jusqu'à trente élèves. En fait, par un simple clic sur un bouton, l'enseignant et les élèves peuvent savoir qui doit faire quoi et quand. Même un simple programme de base de données peut gérer cette tâche si l'enseignant prend le temps d'entrer à l'avance les rôles et les responsabilités de chaque élève/groupe d'élèves. Certaines simulations de groupe de travail ont des instructions intégrées pour rappeler aux équipes leurs objectifs et leurs horaires.

- En contrôlant le flux et la distribution de l'information, le système informatique peut aider à renforcer le niveau de collaboration entre les membres de l'équipe. Limiter l'accès aux données essentielles pour sélectionner uniquement les individus est une façon de s'assurer que tous les membres d'un groupe participent. Par exemple, chaque membre de l'équipe pourrait recevoir un code secret spécial, par analogie à un distributeur DAB ; le système ne fournirait que le montant demandé à celui qui a rentré le code spécial. Alternativement, plusieurs des données essentielles peuvent être configurées pour apparaître sur l'écran pendant quelques secondes seulement. Aucun élève ne peut recueillir toute l'information seule. L'équipe est ensuite obligée de répartir les tâches de collecte de données dans l'ensemble du groupe. Dans l'une ou l'autre approche, lorsque l'information est compilée pour une considération de groupe, les membres du groupe sont forcés de se parler. Tout le monde a quelque chose d'important à apporter.
- En tant que dispositif d'archivage de dossiers, le système informatique peut aider à augmenter les interactions intergroupes pendant l'activité et à organiser des exercices de débriefing après. Connaissant la situation de chaque groupe à un moment donné, le système peut envoyer un message concurrentiel / coopératif aux autres équipes pour améliorer les tensions et augmenter la motivation. Une telle information peut également être éclairante pour une équipe qui peut se faire une idée des expériences d'une autre personne. Cette mémoire informatisée peut également aider l'enseignant à suivre des discussions et des exercices. Dans une activité de classe multi-groupe, l'enseignant ne peut pas faire partie de chaque action de chaque équipe. Le système, cependant, peut enregistrer les situations et les actions de chaque groupe/membre de groupe. En partageant ces connaissances avec le professeur, le système peut mettre en évidence des points intéressants et des conflits pour une étude approfondie. Les discussions que l'enseignant manquait lors de l'activité peuvent être rattrapées par la suite.

En 1997, McManus a pensé à unifier les deux concepts, d'Enseignement Collaboratif (EC) et de travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO), dans un nouveau terme qui est l'Enseignement Collaboratif Assisté par Ordinateur : ACAO (McManus 1997). Pour résumer :

CL (*collaborative learning*) + **CSCW** (*Computer Supported Collaborative Work*)

= **CSCL** (*Computer Supported Collaborative Learning*)

Selon (Lipponen 2002), l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur se concentre sur la façon dont l'apprentissage collaboratif est soutenu par la technologie afin d'améliorer l'interaction entre les collaborateurs, et comment la collaboration et la technologie facilitent le partage et la distribution des connaissances et de l'expertise entre les membres de la communauté. L'ACAO a attiré de plus en plus de chercheurs et a occupé toute une sous-discipline au sein du domaine du TCAO. On peut considérer que toute application qui facilite à la fois la collaboration et l'apprentissage tombe sous le thème ACAO.

Plusieurs domaines de recherche s'intéressent à l'apprentissage collaboratif et cherchent à proposer des nouvelles méthodes et outils informatiques qui aident à améliorer et à rendre l'information partagée plus facile et plus accessible. L'environnement du travail collaboratif doit créer un contexte riche pour un apprentissage profond (Rick et al. 2011) (Panitz 1996). Différentes activités peuvent être supportées par des environnements adaptés, pour :

- *La construction des connaissances* : la construction des connaissances se concentre sur la construction collective de la compréhension du domaine d'apprentissage. Par exemple Wan et Johnson ont développé un environnement collaboratif d'apprentissage et de recherche nommé CLARE (Wan et Johnson 1994). Cet environnement est destiné à supporter la construction collaborative des connaissances à partir d'un ensemble de documents contenant l'information. CLARE se compose de deux outils : (1) un langage de représentation des connaissances appelé RESRA qui sert de langage semi-formel de présentation des données, (2) un modèle de processus appelé SECAI qui prescrit une procédure systématique pour guider les apprenants dans l'interprétation des éléments de connaissance.
- *L'apprentissage à distance* : il joue un rôle de plus en plus important dans une perspective de formation. La plupart des cours sont considérés comme des conférences diffusées en direct (ou en différé). L'interaction avec le conférencier ou avec l'établissement est limité au téléphone (ou système de visioconférence) et aux échanges de texte asynchrones (e-mails, newsgroups, ou sur le Web). Vandeventer et Barbour (Vandeventer et Barbour 2012) proposent à ce sujet une application d'apprentissage collaboratif à distance (CodeWave). Elle consiste en un environnement de développement collaboratif avec des fonctionnalités qu'on peut qualifier de traditionnelles, présentes dans les autres environnements de

développement logiciel, tout en intégrant également des nouvelles fonctionnalités. CodeWave intègre aussi des fonctionnalités partagées entre l'enseignant et l'étudiant afin de rendre l'apprentissage plus facile et plus productif. Une des fonctionnalités est la communication qui permet à l'utilisateur de spécifier un point dans le code, comme un lien dans le corps du message, et de l'envoyer à l'enseignant afin d'examiner et faire un retour là-dessus.

- *Les classes intelligentes* : ce sont des classes qui intègrent la technologie informatique pour faciliter l'apprentissage coopératif co-localisé en mode synchrone (Cuendet et al. 2013) (Evans et al. 2016). Chaque étudiant a généralement accès à une plateforme connectée en réseau dont l'affichage est contrôlé par l'enseignant pour organiser les périodes d'apprentissage (théorique et pratique). L'enseignant peut avoir par exemple la possibilité d'afficher des informations de sa machine sur un grand écran visible par l'ensemble de la classe ou bien de l'envoyer aux machines des étudiants selon des préférences (type de contenu, restriction d'accès, etc.).

Nous avons abordé dans cette section de la notion de collaboration et nous avons traité plus précisément la notion d'apprentissage collaboratif. Certes, l'utilisation des nouvelles plateformes peut avoir un effet positif sur le déroulement de la procédure d'apprentissage, mais il faut s'assurer de choisir la bonne technologie qui peut supporter toutes les exigences liées à l'apprentissage collaboratif. Il existe actuellement plusieurs travaux qui traitent cette problématique et qui proposent des environnements collaboratifs. Parmi ces nouveaux environnements informatiques facilitant la collaboration, particulièrement dans un cadre d'apprentissage, nous trouvons les tables interactives. Elles peuvent apporter de nouvelles perspectives, commentées ci-dessous.

3.3. Les tables interactives tangibles : un support favorable pour une collaboration réussie

En tant qu'interface utilisateur dans un cadre de travail collaboratif, les tables interactives font l'objet d'une recherche en Interaction Homme-Machine depuis plus d'une dizaine d'années (Müller-Tomfelde et Fjeld 2010). Plusieurs facteurs ont incité les chercheurs et les concepteurs à penser aux tables interactives en tant que plateforme de collaboration, tels qu'un affichage partagé qui permet aux utilisateurs d'interagir les uns avec les autres, en utilisant un environnement numérique potentiellement riche, avec un accès égalitaire, tout en

maintenant une communication face à face avec l'autre (Kubicki et al. 2011b). Ces avantages ont également attiré les chercheurs d'ACAO à s'intéresser à l'utilisation des tables de travail interactives dans le domaine de l'enseignement (Dillenbourg et Evans 2011). Cependant, même si les tables de travail interactives sont encore nouvelles et originales, la technologie elle-même n'a pas encore apporté un changement radical dans l'apprentissage ou l'enseignement (Dillenbourg et Evans 2011). En effet, peu de recherches ont été menées sur l'intégration réussie des tables de travail dans des environnements d'apprentissage classiques (Kharrufa et al. 2013).

3.3.1. La collaboration via les tables interactives

Avant de concevoir une application collaborative qui fonctionne sur une ou plusieurs tables interactives, on doit comprendre les différents facteurs agissant pour qu'une collaboration soit réussie, observer comment les gens collaborent, puis développer un logiciel qui traduit cette collaboration en fonction de ces observations (Kharrufa 2010) (Tang et al. 2006). L'idée dans ces applications collaboratives est de donner aux utilisateurs les outils qui sont naturellement utilisés dans les interactions en face à face. Tang et plusieurs autres chercheurs ont constaté que le partage des activités sur une table interactive a plusieurs avantages, à titre d'exemple (Tang et al. 2006) (Buisine et al. 2012) :

- améliorer l'expérience collaborative et la structuration du travail de groupe par rapport à d'autres plateformes ;
- favoriser la concentration et le rassemblement des collaborateurs grâce à la grande surface des tables et le partage d'un grand espace de travail interactif ;
- contribuer à l'expression des idées et favoriser un degré élevé de sensibilisation ;
- améliorer la coordination et permettre une interaction parallèle.

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte lors du travail de groupe sur les tables interactives (Kharrufa 2010), notamment dans la collaboration co-localisée ; les plus importants du point de vue impact sont les considérations de l'espace et de la communication. Les considérations de l'espace comprennent des problèmes liés à la surface de la table interactive et des artefacts sur la zone du travail : la taille de la table interactive, la répartition de l'espace (Kubicki et al. 2012), la localisation et l'orientation des objets et les caractéristiques et l'échelle des objets. Scott et ses collègues (Scott et al. 2004) considèrent que l'espace fourni par la table a le rôle le plus important dans la structuration des activités de

groupe dans une collaboration co-localisée. Par exemple, les collaborateurs peuvent opter pour une répartition en trois zones de l'espace de travail, Figure 33 (Kruger et al. 2004) :

- l'espace personnel : celui qui est directement devant l'utilisateur,
- l'espace partagé : la zone au milieu de la table interactive, une zone stratégique pour la collaboration et
- l'espace de stockage temporaire : le reste de la table.

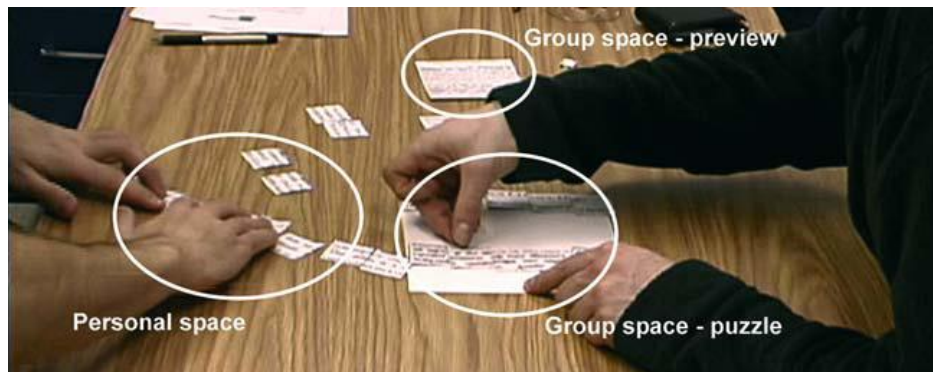


Figure 33. Exemple de l'espace personnel et l'espace partagé selon (Kruger et al. 2004)

3.3.2. Travail collaboratif sur table interactive : conscience de la présence de l'autre

Dans le cas d'un travail de groupe sur table interactive, on doit prendre en considération la possibilité pour chacun d'avoir la conscience de la présence, de l'emplacement et des actions actuelles de l'autre dans l'espace de travail partagé. Cette conscience peut permettre d'aider les acteurs de l'activité à communiquer verbalement ou par le geste, à remarquer le besoin éventuel d'aide, et de coordonner les activités en s'appuyant sur les ressources partagées (Nacenta et al. 2007). Dans le cas des tables interactives, et pour aller plus en profondeur, les collaborateurs doivent être conscients de trois points importants (Nacenta et al. 2007) :

- *Le territoire* : c'est un principe qui peut être mis en place sur table interactive, en s'appuyant sur l'étude de la réalité physique de chaque utilisateur, de ses différentes capacités/caractéristiques physiques. Pour la collaboration sur table interactive, on peut diviser l'espace de travail, comme selon l'exemple fourni plus haut et illustré en Figure 33 (Kruger et al. 2004) (Scott et al. 2004). Différentes zones peuvent permettre différents types d'activités individuelles et communes qui nécessitent des informations interprétées en fonction du territoire où elles sont localisées ou se sont produites.

- *Le feedback d'artefact* : c'est le feedback public produit par des artefacts lorsqu'ils sont manipulés par une technique d'interaction. Bien que la rétroaction soit habituellement destinée à la personne qui effectue l'action, elle peut également informer les autres qui observent ou perçoivent, consciemment ou inconsciemment, l'activité de chacun autour de la table. Un détail important dans le cas de tables interactives lors de collaboration co-localisée est l'orientation de l'artefact. Les collaborateurs peuvent utiliser l'orientation des objets sur la table pour déterminer l'utilisateur concerné, et pour faciliter la communication et la coordination avec les autres (Kruger et al. 2004).
- *La communication consécutive* : c'est l'information produite par le geste ou la posture au fur et à mesure que les personnes effectuent des actions dans un espace de travail (Pinelle et al. 2003). Ce mécanisme est très important dans la collaboration via une table interactive. Dans un premier temps, la présence autour d'une même table permet aux gens d'observer directement la position, la posture et le mouvement des têtes, des bras, des yeux et des mains. La façon dont une technique d'interaction effectue une action dans l'espace de travail aura un effet sur la quantité d'informations consécutives transmises. Plusieurs chercheurs ont constaté la valeur ajoutée du fait que les objets et les actions sont visibles. Cependant, limiter les personnes lors de l'interaction, en utilisant uniquement leur corps, peut restreindre leur liberté et leur puissance sur une table (par exemple, lorsque les objets sont lointains, leur atteinte peut être difficile) (Rogers et Lindley 2004).

3.3.3. Les situations de collaboration

Lors d'un travail collaboratif, pour accomplir une tâche ou une activité, les membres du groupe adoptent le plus souvent différentes situations de collaboration (Isenberg et al. 2010). Parfois, ils travaillent sur le même problème ; à d'autres moments, ils peuvent se séparer pour travailler sur différents problèmes. Ces différentes situations leur permettent d'étudier des solutions, tester des idées et planifier leur travail. Isenberg et ses collègues ont identifié huit situations de collaboration que les utilisateurs autour des tables interactives peuvent suivre pendant leur travail de groupe (Isenberg et al. 2010). Ils ont également catégorisé ces situations en deux catégories : collaboration co-localisée et collaboration distante. Des chercheurs ont constaté que les utilisateurs passent la plupart du temps consacré pour la tâche, dans le mode de collaboration co-localisée (Basheri et Burd 2012). Cette interprétation peut être faite dans le cadre des applications qui favorisent la collaboration co-localisée, dans la

mesure où elles peuvent être considérées comme beaucoup plus faciles à concevoir ou à développer. Notons que dans le cas de cette thèse, on vise à garder l'aspect de facilité de collaboration, mais dans un cadre de collaboration distante, en particulier en exploitant plus d'une table.

Ces situations de collaboration sont identifiées afin de comprendre quelles informations et affichages les utilisateurs peuvent partager et utiliser à un moment donné, ce qui nous permet de déduire que le principal facteur de classification de ces situations de collaboration adopté dans (Isenberg et al. 2010) est la visualisation des données des utilisateurs et leurs interactions personnelles. En Figure 34, on présente les différents situations de collaboration tels qu'elles sont présentées dans (Isenberg et al. 2010).

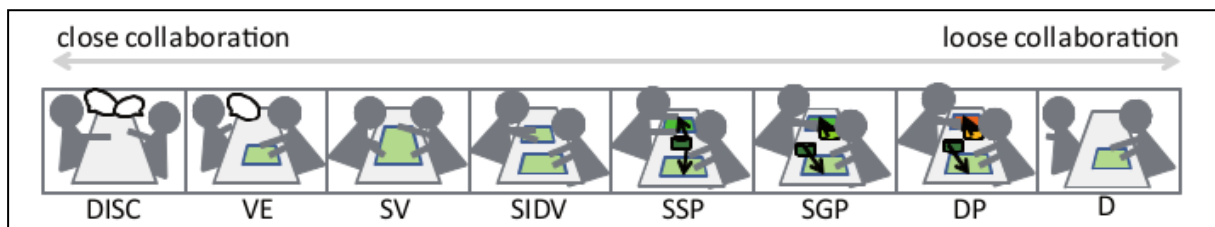


Figure 34. Les situations de collaboration identifiées par Isenberg

On retrouve dans cette figure ces huit situations :

- **DISC** (*Active DISCUSSION*) : c'est une discussion active à propos des informations ou de la tâche. Elle est généralement verbale.
- **VE** (*View Engaged*) : une personne effectue un travail ; l'autre personne la suit, s'engage dans une discussion et formule des commentaires sur le travail effectué, en temps réel, sans intervenir sur le système.
- **SV** (*Sharing of the Same View*) : cela consiste à partager la même vue d'un document ou d'un résultat de recherche. Les participants examinent simultanément le même lecteur de document ou la même liste de résultats de recherche.
- **SIDV** (*Sharing of the Same Information but using Different Views of the data*) : il s'agit de partager les mêmes informations avec des affichages différents. Les deux utilisateurs lisent différents documents d'un ensemble partagé. Par exemple, les participants ont publié une recherche relative à un « conducteur blessé », ont divisé le travail et chaque personne a lu la moitié des documents. Elles possèdent leurs propres copies (vues) du document.

- **SSP** (*Work is shared to solve the Same Specific Problem*) : le travail est partagé afin de résoudre le même problème spécifique. Par exemple, deux participants ont lancé une recherche, les deux se divisent le travail et chaque personne lit la moitié des documents.
- **SGP** (*Work on the Same General Problem but from different starting points*) : cela consiste en un travail sur le même problème général mais avec des points de départ différents. Par exemple, les deux participants lancent une recherche commune concernant un sujet, mais ils utilisent des points de départ différents (mot-clé de recherche, langue ...)
- **DP** (*Work on Different Problems*) : il s'agit de travailler sur des problèmes différents (différents aspects de la tâche). Par exemple, une personne s'intéresse à un événement spécifique, l'autre recherche des articles de journaux qui décrivent l'événement.
- **D** (*Disengaged*) : ici, une personne est active et travaille ; l'autre regarde passivement ou bien est totalement désengagée de la tâche.

Comme mentionné précédemment, ces situations sont regroupées en deux catégories : collaboration co-localisée et collaboration distante. Les cinq premières situations sont considérées comme des situations de collaboration co-localisée, tandis que les trois dernières sont considérées comme des situations de collaboration distante. Au cours des phases de collaboration distante, le partage verbal explicite de l'information et la discussion des idées sont moins fréquents dans la mesure où les membres de l'équipe travaillent sur des informations moins liées, et en général ils travaillent en parallèle (Isenberg et al. 2010).

3.3.4. Collaboration distante : quel effet sur les utilisateurs ?

Des études ont été menées au sujet de la distribution des utilisateurs dans le cas de travail collaboratif en exploitant un groupware (Olson et al. 1998) (Olson et Olson 2000) (Olson et Teasley 1996). Ces études ont permis d'identifier deux types de comportements : des comportements qui changeront dans un sens positif lorsque la technologie atteindra certaines qualités et des comportements qui ne devraient jamais changer. Ils ont identifié quatre concepts à respecter pour analyser le travail dans un environnement collaboratif :

- *Le terrain en commun* : un terrain en commun peut être vu comme une caractéristique utilisateur ; il se base sur l'hypothèse que les collaborateurs ont un certain niveau de connaissance commune. (Olson et Olson 2000) considèrent que généralement les

collaborateurs sont conscients qu'ils ont ces connaissances en commun. Cependant, le principe du terrain en commun n'est pas trivial ; il est formé par une connaissance spécifique de l'apparence et du comportement de l'autre personne (ou des autres personnes) au cours de la collaboration et de l'interaction. Généralement, les utilisateurs qui collaborent à distance ont du mal à établir un terrain en commun. Ceci est dû, en grande partie, au manque de conscience de l'utilisateur de l'état de l'autre, de sa présence-absence (à la fois) et de son état mental. Cette prise de conscience est un élément important du terrain en commun. D'après (Olson et Olson 2000), plus les personnes arrivent à établir un terrain commun, plus la communication devient facile et plus la productivité est croissante. Cela est valable en cas de collaboration co-localisée, mais devrait l'être aussi en cas de collaboration distante. L'idée d'après (Olson et Olson 2000), pour établir ce terrain en commun, dans le cas de la collaboration distante, est de laisser les utilisateurs se familiariser et discuter entre eux, par vidéoconférence par exemple.

- *Le partage du travail* : le partage du travail est une caractéristique du travail lui-même. Ce concept est utilisé pour désigner l'étendue et le type de communication requis par la tâche et la manière dont elle se décompose. Lorsque le travail est très partagé, cela signifie qu'il dépend des talents des travailleurs et que leurs décisions sont fortement interdépendantes. Ce type de travail nécessite généralement une communication fréquente et complexe entre les membres du groupe, avec de courtes boucles de rétroaction et de multiples flux d'informations. En revanche, le travail peu partagé a moins de dépendance ou est plus de l'ordre du travail routinier. Olson et Olson (2000) expliquent que le travail très partagé est très difficile à réaliser à distance dans des environnements distribués car il nécessite des canaux de communication rapides avec un haut niveau de sensibilisation et une réaction rapide dans le cas où n'importe quelle ambiguïté peut apparaître. Pour améliorer la collaboration à distance, ces auteurs suggèrent que les tâches soient conçues pour être faiblement couplées et ne nécessitent qu'une communication simple.
- *La Préparation à la collaboration* : la préparation à la collaboration fait référence au fait que tous les utilisateurs (ou communautés) sont prêts à collaborer à distance. Certains utilisateurs sont habitués à collaborer dans le cadre de leur travail, ce qui facilite la transition vers les paramètres distribués. D'autres peuvent ne pas apprécier la collaboration ; le fait d'ajouter la condition de distance augmente dans de nombreux cas leur gêne et peut conduire au refus de collaborer. Ce refus peut affecter la

performance de l'équipe ainsi que son rendement dans son ensemble. Olson et Olson (2000) suggèrent que le *groupware* et les technologies pour les interactions distantes ne soient pas introduits et imposés dans des communautés qui n'ont pas une culture de partage et de collaboration.

- *La préparation à la technologie de collaboration* : celle-ci se réfère au fait que certains utilisateurs (ou communautés) ne peuvent pas adopter rapidement de nouvelles technologies avancées qui prennent en charge le *groupware* distant. Mettre les utilisateurs dans une situation où ils doivent utiliser un *groupware* avancé pour la collaboration à distance alors qu'ils n'y sont pas habitués peut affecter négativement leur expérience et leurs performances. Olson et Olson (2000) suggèrent que les technologies avancées soient introduites par étape dans la communauté concernée.

3.3.5. Collaborer à distance via les tables interactives

La possibilité de lier deux ou plusieurs tables interactives géographiquement séparées a été étudiée, afin d'offrir aux collaborateurs distants et dans l'impossibilité de se rassembler, un espace de travail partagé (Robinson et Tuddenham 2007) (Brave et al. 1998). Chacun de ces collaborateurs distribués se trouve devant son propre afficheur. Les affichages sont ensuite reliés de sorte que les collaborateurs distants voient tous les mêmes éléments et peuvent alors interagir simultanément et voir les actions des autres, comme s'ils se trouvaient autour d'une même table.

Dans le cas d'une collaboration co-localisée, l'interface collaborative est affichée sur une seule table interactive, les interactions étant effectuées directement avec des outils de pointage (doigt, stylet, objet tangible, etc.). Certains travaux de recherche se sont inspirés à la fois du principe du papier augmenté proposé par Wellner dans (Wellner 1993) et des études effectuées sur la collaboration via des tables co-localisée (Streitz et al. 1999) (Tang 1991). D'autres auteurs se sont focalisés sur l'étude du comportement de l'utilisateur lors de l'utilisation d'une table interactive (Ryall et al. 2004) (Kruger et al. 2004) (Niu et al. 2017).

Le principe de la collaboration à distance a été posé principalement quand on s'est trouvé obligé de passer par une souris et un écran afin d'accéder à un espace de travail collectif. En effet, des problèmes ont été rencontrés en utilisant cette méthode ; par exemple, on considère qu'un moniteur traditionnel est le plus souvent insuffisant pour que les collaborateurs puissent travailler sur différentes tâches de l'activité collaborative ainsi que manipuler des parties

différentes de l'espace de travail sans que les autres perdent leur concentration (Dourish et Bellotti 1992) (Gutwin et Greenberg 1998). Un autre problème rencontré est le manque de sensibilisation des collaborateurs sur les actions des autres dans l'espace de travail, en raison de la collaboration qui en résulte. Le problème est particulièrement sensible dans les systèmes dans lesquels chaque collaborateur peut manipuler sa vue de l'espace de travail indépendamment des autres, par exemple pour se déplacer vers une région différente de l'espace de travail (Gutwin et Greenberg 2002) (Robinson et Tuddenham 2007).

De tels problèmes peuvent être surmontés grâce à la collaboration distante (Robinson et Tuddenham 2007). En fait, dans le cas d'une collaboration distante, chaque collaborateur utilise son propre afficheur (écran) associé à des outils de manipulation qui lui sont dédiés. Dans ce cas, les tables interactives sont reliées entre elles afin de fournir un espace de travail partagé visant à assurer une collaboration fiable et un partage de l'information fluide. Plusieurs systèmes ont été développés selon ce principe ; citons par exemple le *Videowhiteboard* de Tang et Minneman (Tang et Minneman 1991) qui est un système collaboratif sur tables interactives qui permet de dessiner des croquis, ou bien le *clearboard* de Ishii et Kobayashi (Ishii et Kobayashi 1992) qui permet aux collaborateurs d'établir un contact visuel à travers une interface de dessin.

Les travaux autour de la collaboration distante via les tables interactives a fait l'objet de différents travaux ces dernières années. Les chercheurs tentent de proposer et évaluer des éléments numériques ou physiques qui améliorent la collaboration et la rend plus facile et plus naturelle (Esenther et al. 2006) (Lepreux et al. 2012) (Lepreux et al. 2011) (Brave et al. 1998).

Dans (Robinson et Tuddenham 2007), les auteurs posent trois questions qu'un chercheur devrait prendre en considération lors de l'étude du domaine de la collaboration distante sur tables interactives :

- Pourquoi une interaction efficace pour des collaborateurs sur une seule table interactive devrait-elle être aussi efficace pour des collaborateurs distants sur des tables interactives différentes ?
- Quels sont les éléments/détails de la collaboration co-localisée qui s'avèrent aussi importants pour la collaboration à distance via des tables interactives ?
- Quels facteurs supplémentaires doivent être pris en considération dans la conception de systèmes fonctionnant sur des tables interactives et destinés à la collaboration distante ?

Certaines caractéristiques générales de la collaboration co-localisée sur table interactive doivent être présentes aussi dans les systèmes conçus pour la collaboration distante sur plusieurs tables interactives afin de rapprocher les deux expériences et limiter l'effet de la distance. Ces caractéristiques ont été spécifiées dans (Scott et al. 2003) et (Robinson et Tuddenham 2007) :

- Il faut une grande surface d'affichage horizontale.
- Les collaborateurs doivent pouvoir s'asseoir dans des positions différentes autour de la surface d'affichage.
- Il faut des mécanismes d'entrée directe (stylet, toucher ou objet tangible).
- Les éléments numériques doivent pouvoir être déplacés et réorientés en utilisant différentes techniques, par exemple *Rotate'N'Translate*, une application qui a un mécanisme d'interaction, ce qui permet un contrôle intégré de rotation et de translation des objets graphiques de l'interface à l'aide d'un seul point de contact comme entrée ; elle est présentée dans (Kruger et al. 2005).
- Plusieurs collaborateurs doivent avoir la possibilité d'interagir simultanément.
- Les collaborateurs doivent être conscients de l'activité de l'autre (ou des autres).
- Les collaborateurs doivent pouvoir communiquer entre eux via les tables et/ou d'autres outils de communication.

3.4. Synthèse

Le chapitre III a mis en avant la nécessité de prendre en compte les spécificités d'un travail collaboratif lors de la phase de la conception des interfaces utilisateur sur les tables interactives. Nous avons traité dans ce chapitre la notion de travail collaboratif tout en se référant à plusieurs travaux antérieurs. Trouver un environnement adéquat à la collaboration souhaitée reste toujours dépendant du type de collaboration utilisé, de la nature de l'activité collaborative et de la disponibilité des collaborateurs. Dans le cas de la collaboration pour l'apprentissage, nous nous sommes intéressés à l'utilisation des tables interactives dans le domaine de l'apprentissage chez les enfants. Cette utilisation devient de plus en plus demandée grâce aux propriétés de ce support qui favorise la collaboration et propose une utilisation pouvant se rapprocher de la réalité. Si nous cherchons une plateforme capable de réussir une collaboration entre plusieurs personnes sans avoir besoin de restreindre l'accès à chaque fois à un seul utilisateur, les tables interactives présentent une solution prometteuse qui encourage les concepteurs à libérer leur esprit afin de proposer des applications et des

systèmes collaboratifs fiables, qui respectent les caractéristiques de la collaboration et qui attirent leurs utilisateurs.

Partager des activités via les tables interactives peut aider les apprenants à :

- Améliorer l'expérience collaborative et la structuration du travail de groupe
- Favoriser la concentration et le rassemblement des collaborateurs
- Contribuer à l'expression des idées
- Améliorer la coordination.

3.5. Conclusion du chapitre

Le travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO) est un domaine important pour lequel les recherches sont nombreuses en termes de concepts, outils et méthodes.

Parmi les outils logiciels supportant le travail collaboratif, les tables interactives apportent de nouvelles perspectives. C'est cette technologie qui a été retenue dans le cadre de cette thèse.

Penser à concevoir un système collaboratif qui assure la communication entre les différents acteurs d'une façon fluide et simple est très important. Cependant différents chercheurs visent à rapprocher ces deux mécanismes de collaboration dans le but de faciliter l'activité et d'éliminer ou du moins limiter certains facteurs susceptibles de l'empêcher ou de l'entraver (distance, temps, présence...). C'est aussi notre cas dans le cadre de cette thèse. Notre contribution à ce sujet dans le cas de tables interactives connectées fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 4 - Modèle de contexte et tangigets pour la collaboration à distance sur tables interactives

4.1. Introduction

Nous avons vu dans les deux chapitres précédents, d'une part, que l'utilisation croissante des tables interactives et leur utilité potentielle dans les activités collaboratives laissent entrevoir de nouvelles perspectives (Buisine et al. 2012). D'autre part, l'interaction tangible permet d'envisager de nouvelles applications collaboratives difficiles à concevoir avec les tables interactives à interaction tactile (Africano et al. 2004).

Dans ce chapitre, deux contributions, visant l'exploitation des tables interactives à interaction tangible dans des applications collaboratives à distance, sont présentées.

Dans un premier temps, une modélisation du contexte spécifique à l'utilisation des tables interactives dans un cadre collaboratif est proposée. A ce sujet, l'utilisation d'un système informatique (une plateforme) par un utilisateur ou un ensemble d'utilisateurs (présentant des caractéristiques bien déterminées) dans un but spécifique engendre des résultats différents si on modifie le contexte d'utilisation. Les tables interactives peuvent être utilisées dans des contextes collaboratifs différents pour des finalités variées (milieu éducatif, cadre professionnel, loisirs, etc.).

Dans un deuxième temps, un ensemble d'objets génériques capables de supporter une collaboration distante entre tables interactives à interaction tangible sera proposée. Le principe de base de tels objets avait été proposé initialement dans des travaux antérieurs (Caelen et Perrot 2011) (Lepreux et al. 2012) (Lepreux et al. 2011) : ils étaient envisagés ou utilisés pour des types de communication et de gestion en local ou en distribué sans mettre l'accent sur leurs potentialités dans la communication et la collaboration distantes. Au sujet de la collaboration, il est important de souligner que plusieurs chercheurs ont essayé de cerner les situations de collaboration possibles entre différents partenaires (Cockburn et Greenberg 1996) (Scott et al. 2004) (Tang et al. 2006). Isenberg, à son tour, a étudié dans (Isenberg et al. 2010) un système prenant en charge les tâches collaboratives d'analyse visuelle⁶ sur une table interactive ; Ils ont proposé 8 situations de collaboration différents, variant de collaborations considérées comme applicables en co-localisé à d'autres applicables à distance.

Le croisement entre les différents objets génériques et les situations de collaboration possibles entre les utilisateurs des tables interactives a donné naissance à notre idée de proposer des objets

⁶ **L'analyse visuelle** (ou perception visuelle) est un processus englobant l'ensemble des multiples interactions sensorielles impliquées dans la vision, notamment les fonctions visuo-réceptives et visuo-cognitives (Schneck, 2010).

génériques capables de supporter toutes les situations de collaboration et de les rendre applicables à distance comme en co-localisé.

4.2. Motivation et présentation générale de l'approche

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles la distance persiste comme un élément important de l'expérience humaine. Travailler à deux ou en groupe à distance est une solution qui peut faciliter les activités de plusieurs personnes (Olson et Olson 2000). En outre, le travail demandé nécessite parfois une collaboration immédiate et une communication fiable afin de résoudre un ou des problèmes urgents et/ou de fournir un compte-rendu de qualité. Or être disponible à tout moment peut s'avérer difficile, voire impossible, pour différentes raisons qui peuvent se cumuler (distance, coût, nombre de personnes concernées, décalage horaire, culture, absence pour des empêchements personnels, etc.). Notre objectif est de contribuer à une solution technologique, visant à faciliter ce type de collaboration à distance, s'appuyant sur des méthodes dans la mesure du possible efficaces et des actions faciles à apprendre. Nous avons pensé à des principes et éléments de conception de systèmes capables de permettre une collaboration à distance entre plusieurs personnes en utilisant des tables interactives à interaction tangible. En effet, les tables interactives à interaction tangible jouissent d'un ensemble de caractéristiques qui les rendent potentiellement intéressantes pour établir et réussir une collaboration, en particulier :

- **La taille de l'affichage** : Elle permet de visualiser simultanément un nombre élevé d'informations et/ou de documents.
- **Le nombre de personnes pouvant collaborer en même temps** : Une seule table peut supporter entre 2 et 8 personnes en même temps (voire plus dans le cas de surfaces très larges, cf. (Jones 2013)) pour une collaboration directe, co-localisée. Connecter des tables entre elles nous donne la possibilité d'avoir des dizaines de personnes qui travaillent ensemble sur la même activité.
- **La mise à disposition d'objets tangibles génériques** : dans cette thèse, il est possible de montrer la faisabilité que les tables interactives à interaction tangible peuvent permettre une collaboration seulement en utilisant des objets, sans avoir besoin de n'utiliser aucun autre périphérique d'entrée ou de sortie.

4.3. Vers une prise en considération de la notion de collaboration dans la modélisation du contexte pour des interactions sur tables interactives

La notion de contexte a fait sa première apparition en 1994 dans (Schilit, Adams, et Want 1994). Depuis, elle a fait l'objet de nombreuses évolutions et enrichissements (Ward, Jones, et Hopper 1997) (Ryan, Pascoe, et Morse 1998) (Pascoe 1998) (Brézillon et Pomerol 1999), (Dey 2000) (Dey 2001) (Gabillon et al. 2008) (Riahi et Moussa 2015). En termes de modèle de contexte, la proposition ayant retenu notre attention pour nos travaux est celle de Calvary et ses collègues (Calvary et al. 2004), qui définit le contexte comme étant un triplet :

< Utilisateur, Plateforme, Environnement >

Le point fort de cette définition est sa capacité à présenter, d'une manière simple et générique, les facteurs les plus importants à prendre en considération dans un contexte, tout en laissant un libre choix à l'extension/définition de chaque élément, selon les conditions disponibles ou envisagées pour le système visé. Nous étudions, dans le cadre de cette thèse, la notion de collaboration via les tables interactives. Notre étude étend et adapte la modélisation proposée initialement par Sébastien Kubicki dans le cadre de sa thèse (Kubicki 2011), reprise ensuite dans (Kubicki, Lepreux, et Kolski 2013). Cet auteur a proposé de modéliser le contexte d'usage par un diagramme de classes. Il a augmenté pas à pas le modèle basique <Utilisateur, Plateforme, Environnement> tout en prenant en considération les caractéristiques d'une interaction avec une table interactive. Le résultat est présenté selon deux diagrammes de classe. Le premier contient les caractéristiques génériques d'un modèle du contexte réalisé en se basant sur une étude des travaux de recherche réalisés dans le domaine, le diagramme résultant étant présenté dans la Figure 35.

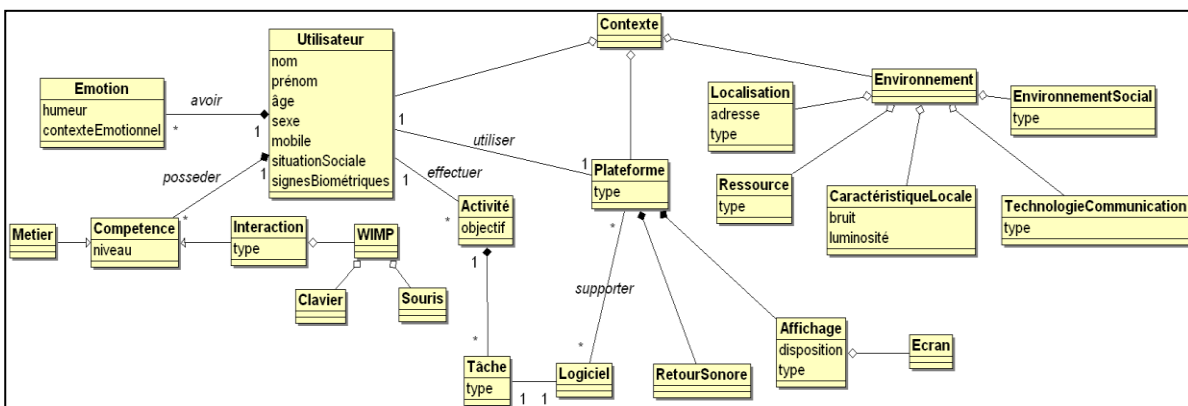


Figure 35. Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'Utilisateur, de la Plateforme et de l'Environnement proposé dans (Kubicki 2011)

L'émergence des nouvelles technologies dans notre vie quotidienne a poussé les concepteurs à prendre en considération les changements qui peuvent toucher les caractéristiques du triplet composant le modèle de contexte. C'est ainsi que Kubicki a traité particulièrement un cas où on utilise les tables interactives comme outil de travail. Il a proposé d'enrichir le modèle par des nouvelles caractéristiques et classes jugées nécessaires pour bien définir le contexte de l'interaction ; ces enrichissements ont touché les trois classes principales ainsi que les classes en relation. Dans le Tableau 3 nous avons récapitulé les principaux détails ajoutés à cette modélisation. Le diagramme de classes résultant de ces enrichissements est présenté dans la Figure 36.

Tableau 3. Spécifications prises en considération pour la modélisation du contexte du travail

Elément	Caractéristiques génériques	Attributs spécifiques
Utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> • Nom • Prénom • âge • sexe... 	<ul style="list-style-type: none"> • Compétence métier • Compétence en interaction • Emotion • Activité à réaliser (ensemble de tâches)
Plateforme	<ul style="list-style-type: none"> • Type 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'utilisateurs supporté • Affichage • Logiciel supporté • Retour sonore
Environnement	-	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation (adresse et type) • Type de ressource • Type d'environnement social • Type de technologie de communication • Caractéristique locale

Des chercheurs dans le domaine de l'interaction homme-machine affirment que l'un des points forts de l'utilisation des tables interactives est leur capacité de supporter une collaboration fiable entre différentes personnes (Buisine et al. 2012). Cette collaboration peut se dérouler sur une seule table interactive (Qin et al. 2012) (Lebrun et al. 2010) comme elle peut être faite à distance entre des tables interconnectées (Tang et Minneman 1991) (Yamashita et al. 2011) (Bouabid, Lepreux, et Kolski 2016).

Proposer un modèle de contexte qui contient tous les détails nécessaires, et qui soit en même temps générique, semble ambitieux. C'est pourquoi nous optons pour présenter le diagramme de

classe avec une visée de modèle de contexte spécifique pour les tables interactives à interaction tangible (Bouabid et al. 2014a).

Dans le diagramme proposé par Kubicki, nous étudions les propriétés de la collaboration à ajouter dans cette présentation, tout en nous focalisant sur la notion de collaboration entre les utilisateurs des tables interactives à interaction tangible. Dans ce même état d'esprit, les travaux de Lepreux et ses collègues autour de l'utilisation des objets tangibles pour la distribution des interfaces utilisateur sur des tables interactives à interaction tangible (Lepreux et al. 2012) (Lepreux et al. 2011), nous ont semblés intéressants pour notre proposition. Le résultat de notre étude a donné les modifications suivantes :

- En ce qui concerne la partie *utilisateur*, les changements les plus significatifs sont l'ajout d'une relation réflexive entre les utilisateurs et une classe Collaboration. Nous avons opté pour l'ajout d'une classe appelée *Collaboration*. Cette classe a une relation avec les trois composants du contexte. En effet, une collaboration se déroule entre au moins deux personnes qui ont une certaine liaison ou connaissance (appelée ici *lien social*). Au cours de cette collaboration chaque utilisateur jouit d'un certain nombre de *privilèges* (qui peuvent être les mêmes pour les collaborateurs, ou différents en fonction de leur rôle dans l'application). Chaque collaboration a un type bien déterminé. Elle peut être *Co-localisée* quand les collaborateurs utilisent la même plateforme, comme elle peut être considérée comme *distante* si les collaborateurs utilisent des plateformes distribuées. Pour cela on a ajouté la classe *Type de collaboration*. Une relation *interagit dans*, de cardinalité (1, 1..*), est ajoutée entre l'utilisateur et l'environnement collaboratif dans lequel il interagit. Cette relation spécifie le nombre de personnes qui collaborent en même temps dans chaque environnement collaboratif.
- En ce qui concerne la partie *environnement*, une relation nommée *réalisée dans*, de cardinalité (1..1.*), est créée entre la tâche et l'environnement collaboratif. Elle spécifie la/les tâche(s) réalisée(s) dans chaque environnement collaboratif. Une autre relation est nommée *prend place dans*, de cardinalité (1..1.*), entre la nouvelle classe *collaboration* et *environnement collaboratif* ; elle spécifie l'environnement dans lequel la collaboration est effectuée.
- En ce qui concerne la partie *plateforme*, on s'est inspiré du travail, effectué par Lepreux et al. (Lepreux et al. 2012), qui classe les objets qu'on manipule généralement sur les tables interactives à interaction tangible selon deux catégories : objets métier (spécifiques à l'application elle-même) et objet génériques (utilisés d'une façon générique pour

communiquer et collaborer sur les tables interactives). En partant du principe des widgets dans les interfaces graphiques WIMP, Caelen et ses collègues, dans (Caelen, Becker, et Pellegrin 2011), ont proposé le nom Tangiget (**tangible widget**) à ces objets génériques.

Nous avons introduit ces tangigets dans notre modèle de contexte à travers six nouvelles classes. Elles sont connectées à la classe Collaboration ou aux tâches locales. Les classes sont :

- **Control Objects of the application** : les objets de cette catégorie servent à contrôler l'exécution en cours de l'application, par exemple : lancer une activité, arrêter, lancer une tâche, enregistrer, imprimer...
- **ContextObjects of the application** : ce sont des objets qui servent à demander de l'aide/une indication pour la configuration ou le déroulement de l'application.
- **Control Objects of the UI** : les objets de cette catégorie servent à gérer l'interface de la table utilisateur afin d'atteindre des objectifs différents, par exemple : identification, zoom, focus, rotation...
- **Communication Objects** : ce sont des objets qui servent à communiquer avec tous les (ou une partie des) utilisateurs de l'application, par exemple : connecter, déconnecter, absent, occupé...
- **Coordination Objects** : ces objets servent à gérer les tâches entre les collaborateurs, par exemple : partager une tâche, envoyer un message, demander une collaboration...
- **Management Objects** : ces objets servent à associer des fonctionnalités/états aux objets physiques, par exemple : créer un objet virtuel, créer un objet physique, supprimer un élément virtuel, associer un objet tangible à un objet virtuel, dissocier un objet tangible d'un objet virtuel...

Ces six catégories de tangigets visent à supporter la communication et la coordination entre les différents utilisateurs de l'application, que ce soit sur la même table interactive ou bien à distance (deux tables interconnectées ou plus).

En résumé on peut dire que les tangigets doivent permettre de supporter la collaboration entre plusieurs personnes sur les tables interactives à interaction tangible. Afin d'intégrer ces catégories de tangigets dans notre modèle de contexte dédié aux tables interactives, 6 nouvelles classes ont été ajoutées dans le diagramme de classe. Elles sont reliées à la classe **collaboration** (cas des tangigets de collaboration directe) et à la tâche à réaliser (cas des tangigets de gestion et de contrôle de la collaboration).

Notre proposition de diagramme de classes du modèle du contexte relatif à l'utilisation des tables interactives tangibles pour la collaboration est présentée dans la Figure 37. Les spécifications générales prises en considération pour la modélisation du contexte du travail sont fournies en Tableau 2. Des spécifications plus détaillées font l'objet du Tableau 4. Notons que la colonne « Attributs spécifiques » est vide dans ce tableau car aucun attribut n'a été ajouté dans cette version. Les attributs restent identiques à la version précédente (Tableau 3).

Tableau 4. Spécifications prises en considération pour la modélisation du contexte du travail pour les tables interactives, proposé initialement par Kubicki

Élément	Caractéristiques génériques	Attributs spécifiques	Attributs en lien avec l'utilisation des tables interactives
Utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> • Nom • Prénom • Âge • Sexe 	<ul style="list-style-type: none"> • Compétence métier • Compétence en interaction • Emotion • Activité à réaliser (ensemble de tâches) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cardinalité entre utilisateur et plateforme (1-1 --> 1-*) • Lien social entre les utilisateurs de la table • Situation (position et place) de l'utilisateur par rapport à la table • Nouvelle catégorie d'interaction possible Post WIMP (que ce soit tactile ou tangible)
Plateforme	<ul style="list-style-type: none"> • Type • multi-utilisateur • hauteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'utilisateurs supporté • Affichage • Logiciel supporté • Retour sonore 	<ul style="list-style-type: none"> • Objet d'interaction (virtuel, tangible (avec tag éventuel)) • Vidéo-projection pour les objets virtuels sur la table • Propriétés de la surface de la table (taille, tactile, multi-Touch) • Propriété du système de capture sur la table (RFID, Capacitif, Caméra) • Type d'intelligence artificielle intégrée dans la table (centralisée, distribuée) • Définition des agents dans le cas d'intelligence artificielle distribuée (rôle et comportement)
Environnement	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation (adresse et type) • Type de ressource • Type environnement social • Type de technologie de communication • Caractéristique locale Critère environnement collaboratif, ainsi que son type (Distribué, Co-localisé) • Critère environnement collectif ou non (type de l'espace de travail consacré pour les utilisateurs)

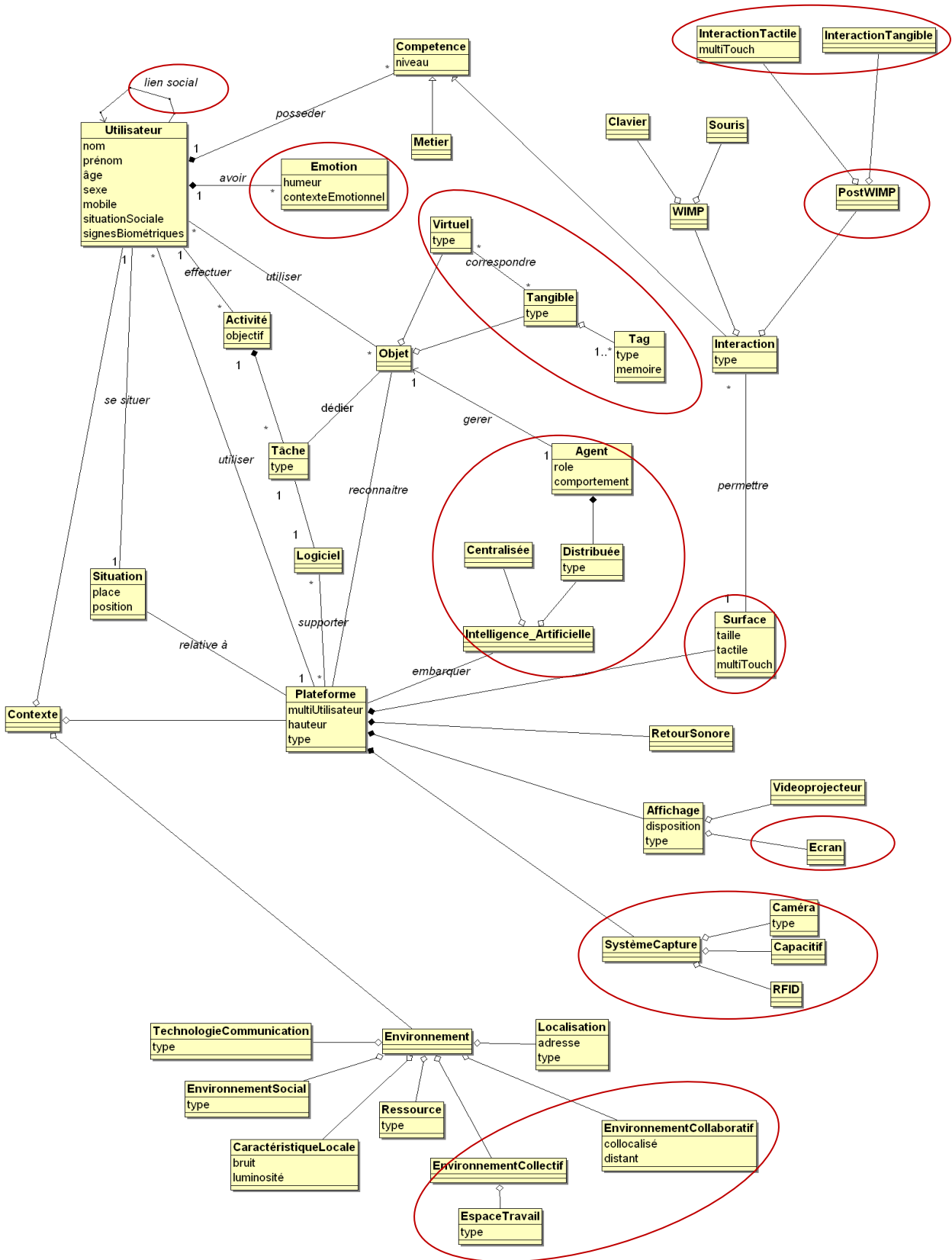


Figure 36. Modélisation globale du contexte d’usage intégrant les spécifications de l’Utilisateur, de la Plateforme et de l’Environnement, étendant l’étude menée dans (Kubicki 2011) pour l’interaction avec des tables interactives

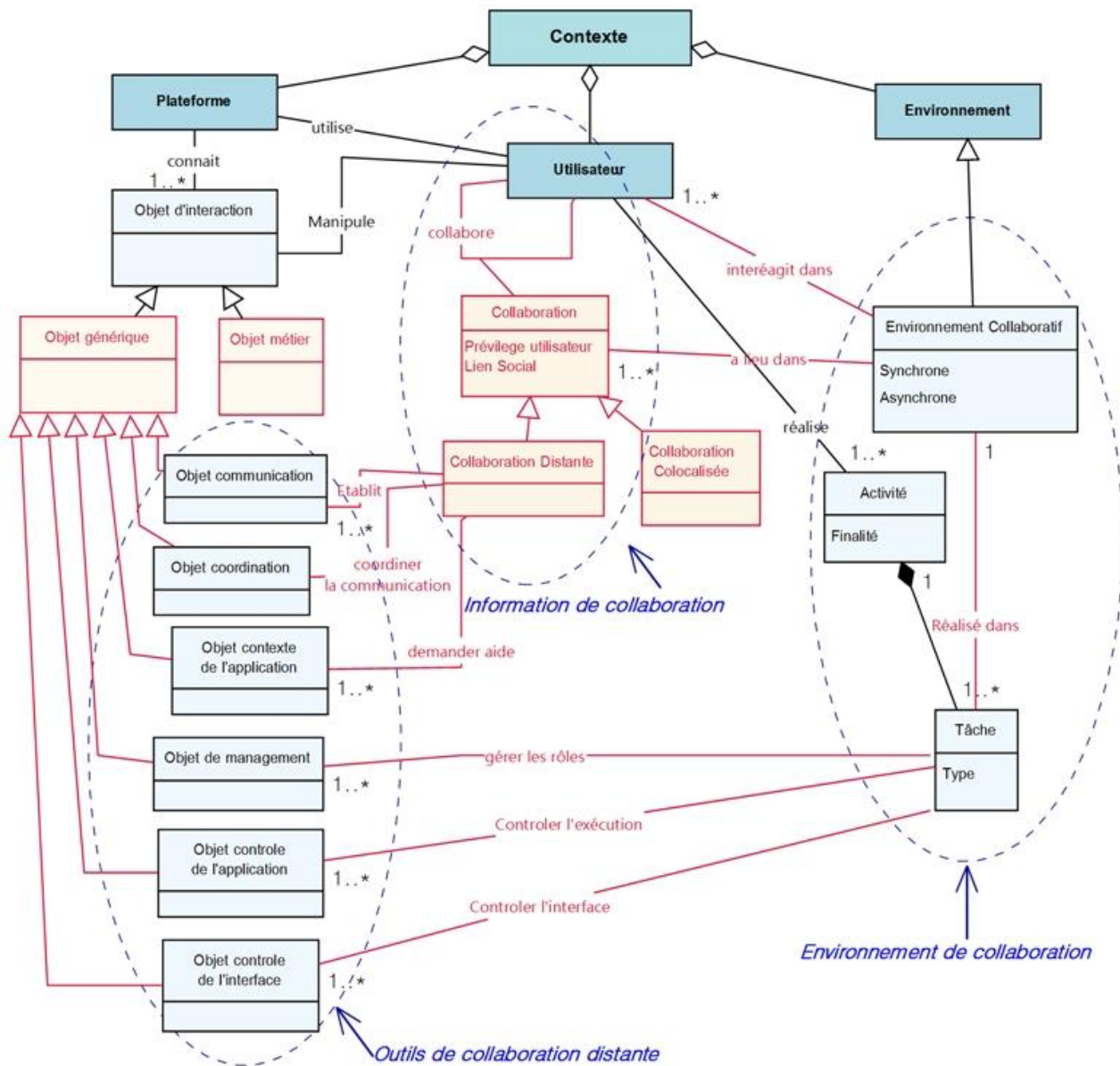


Figure 37. Diagramme de classe pour un modèle du contexte spécifique à la collaboration via les tables interactives à interaction tangible (Bouabid et al. 2014b)

Cette modélisation du contexte collaboratif du système interactif nous a aidés à mieux comprendre les spécificités de la collaboration distante via les tables interactives et de donner une importance à chaque élément du contexte afin de faire des propositions qui respectent les spécificités des tables interactives à interaction tangible. Dans ce qui suit, nous allons présenter notre proposition d'utilisation d'objets génériques afin de réussir la collaboration distante via les tables interactives.

4.4. Vers une prise en charge des situations de collaboration par les tangigets lors d'une collaboration distante sur tables interactives tangibles

Dans la littérature (cf. chapitre 3, § 3.3.3), les travaux de recherche menés pour l'énumération des situations de collaboration permettent d'envisager une première classification générique en deux grandes catégories : ou bien la collaboration est en mode *co-localisée* (même endroit), ou bien elle est à *distance*.

En outre, les 8 situations de collaboration possibles sur tables interactives, définies par Isenberg et ses collègues dans (Isenberg et al. 2010), peuvent être aussi classifiées en deux catégories : des situations de collaboration applicables dans un cadre d'une collaboration co-localisée et d'autres situations de collaboration applicables à distance. Un système collaboratif qui couvre tout type de collaboration peut être une intervention intéressante de nos jours, car l'utilisateur ne doit pas être limité dans quelques tâches collaboratives et ne pas pouvoir réussir toute son activité à distance. Dans ce qui suit, cette approche sera détaillée et des exemples de collaboration possible, entre utilisateurs sur tables interactives tangibles, via des tangigets, seront présentés.

4.4.1. Les Choix de distribution concernant les objets métiers

Nous classifions les objets en deux catégories : (1) objets virtuels et (2) objets tangibles. Nous admettons ici que les actions ne peuvent être lancées dans l'application que par des objets tangibles. Les objets virtuels correspondent à l'affichage visuel sur l'écran de la table interactive. Les choix de distribution pour un objet virtuel sont les suivants :

- L'objet virtuel est dédié à la table interactive locale ; il n'est pas affiché sur des tables distantes,
- L'objet virtuel est partagé (par duplication) entre toutes les tables interactives utilisées dans la collaboration.

En ce qui concerne les objets tangibles, les choix de conception et de distribution sont les suivants :

- **Dupliquer** les objets tangibles afin de les utiliser sur toutes les tables interactives avec un **effet local**,
- **Dupliquer** les objets tangibles afin de les utiliser sur toutes les tables interactives avec un **effet global**,
- **Dédier** des objets tangibles qui peuvent être utilisés sur une seule table interactive avec un **effet local**,

- **Dédier** des objets tangibles qui peuvent être utilisés sur une seule table interactive avec un **effet global**.

Ces choix sont effectués en fonction de la tâche à réaliser. Si la tâche est collaborative ou partagée, les objets virtuels doivent être partagés (dupliqués) entre les utilisateurs, et affichés sur toutes les tables interconnectées (effet global). Le rôle de l'objet tangible correspond à l'action utilisée pour accomplir la tâche, donc il est important de savoir qui réalise l'action et/ou où l'action doit être réalisée (dédiée ou dupliquée). Certaines tâches ne peuvent être utiles seulement en mode local sur la table interactive. Dans ce cas, l'objet est actif sur une seule table, indépendamment des autres (ex. un objet zoom qui peut être utilisé par un collaborateur, un autre n'a pas intérêt à zoomer sur la même information au même moment).

4.4.2. Les Choix de distribution concernant les objets génériques

La collaboration à distance entre les utilisateurs sur les tables interactives à interaction tangible se fait par l'utilisation d'un ensemble d'objets génériques (tangigets). Le but de ces objets génériques est de supporter un dialogue inter-utilisateur en utilisant uniquement des fonctions générées par tables interactives, ce dialogue est établi dans le cadre d'une collaboration. Nous visons dans notre contribution à présenter toutes les situations de collaboration possibles entre les utilisateurs des tables via les objets génériques. Chaque catégorie de tangiget sera porteuse d'une situation de collaboration différente :

- **Tangiget de communication** : utilisé pour identifier les personnes qui utilisent actuellement l'application collaborative et qui souhaitent entrer en collaboration avec d'autres utilisateurs. L'identification est une étape obligatoire dans le cadre de la collaboration distante, il s'agit de connaître les personnes qui sont connectées et qui prennent part à l'activité collaborative. Lorsque la collaboration s'effectue entre plusieurs personnes sur chaque table, chaque personne a son propre objet d'identification (voir Figure 38). La pose de cet objet sur une table signifie l'annonce de sa participation à l'activité collaborative, l'ensemble des participants est informé de la présence du participant. De même lorsque la personne veut se retirer de la collaboration, elle retire son objet identification. Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 39 montre le scénario de l'identification entre deux tables distantes.

Objets possibles pour représenter le tangiget de communication : tout objet spécifique à l'utilisateur et qui permet de l'identifier par rapport à d'autres utilisateurs de l'application

en même temps ou en différé, tel qu'une carte professionnelle, une carte vitale, un avatar, une carte d'étudiant, une carte bancaire, etc.

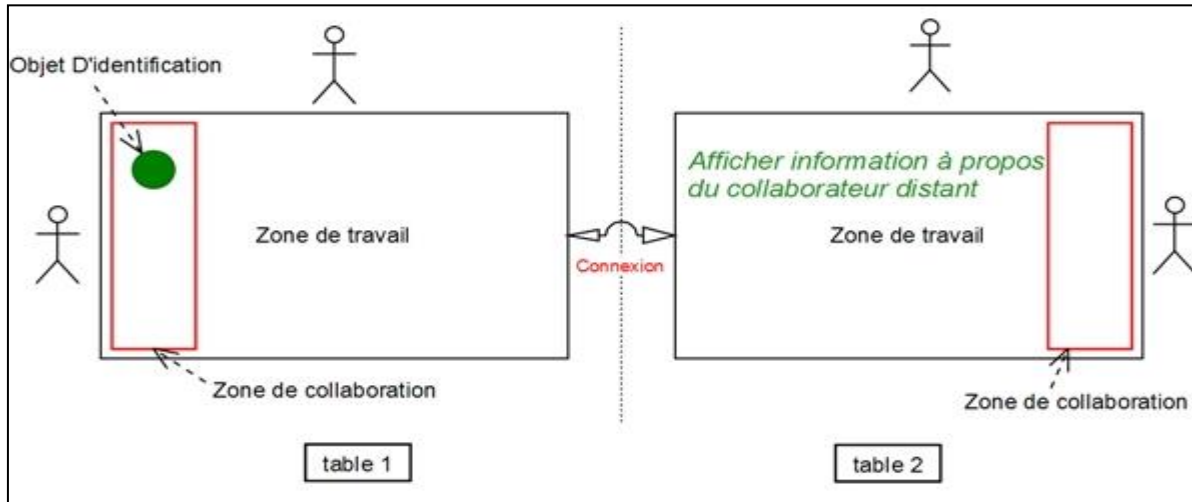


Figure 38. Tangiget "identification" pour s'identifier à distance

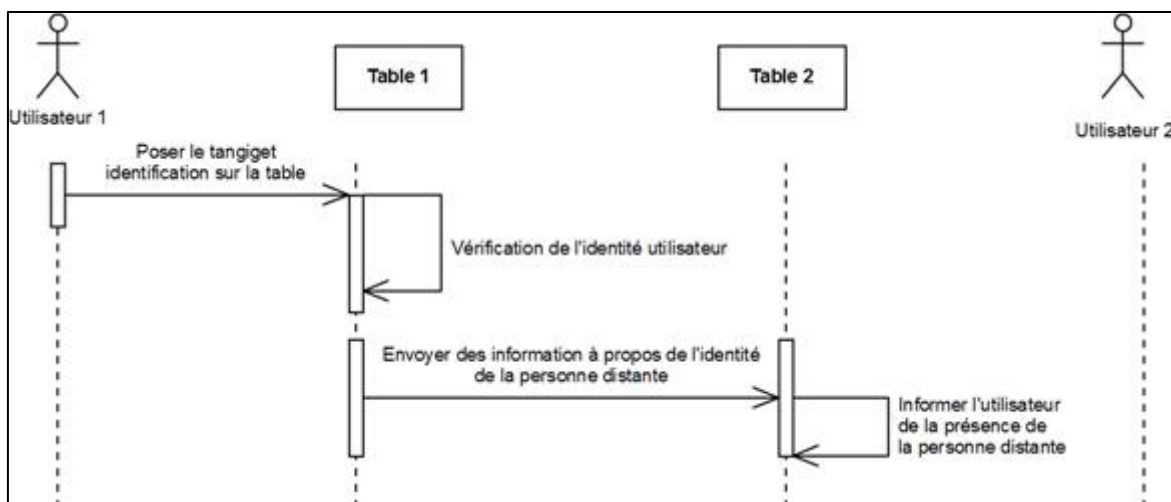


Figure 39. Diagramme de séquence pour modéliser l'identification à distance via le tangiget "identification"

- Tangiget management:** utilisé pour organiser des tâches entre les différents utilisateurs de l'application collaborative. Les activités collaboratives sont composées d'un ensemble de tâches élémentaires, chacune de ces tâches sert à satisfaire un objectif élémentaire. La réussite de ces objectifs (en totalité ou en partie) reflète la réussite de l'activité. Afin de bien évaluer la réussite de chaque tâche et d'évaluer l'effort fourni par chaque collaborateur, on affecte pour chaque collaborateur une ou plusieurs tâches à réaliser au cours de l'activité, ces tâches sont attribuées selon plusieurs critères (spécialité, âge, niveau d'expérience...). Généralement, dans chaque activité collaborative, un des participants

contrôle le déroulement de l'activité ; il est chargé d'affecter les tâches et de superviser le bon déroulement de l'activité. Chaque collaborateur identifié sur les deux tables aura des tâches à réaliser, on ne peut affecter une tâche qu'aux personnes présentes sur les tables interactives (voir Figure 40). Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 41 montre le scénario de l'affectation de tâches entre deux tables distantes.

Objets possibles pour représenter le tangiget de management : tout objet capable d'identifier la tâche à affecter ou l'utilisateur qui devrait réaliser la tâche en cours ou les deux en même temps. Par exemple : objet par personne active sur l'application, objet par tâche, combinaison d'objets pour affecter une tâche à un moment donné.

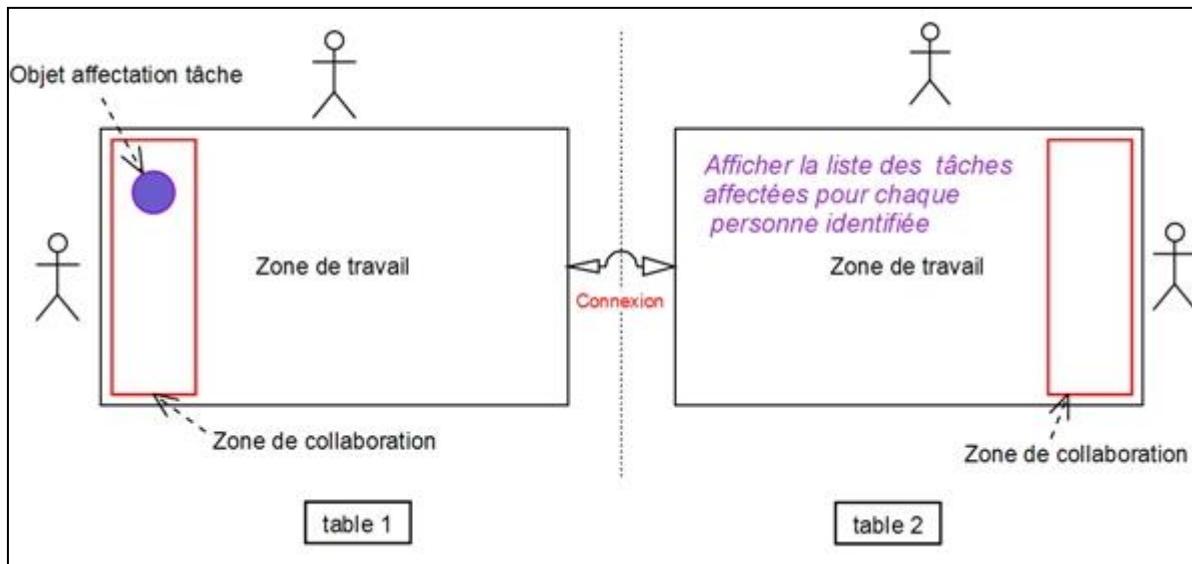


Figure 40. Tangiget affectation de tâches pour organiser le travail entre les différents collaborateurs

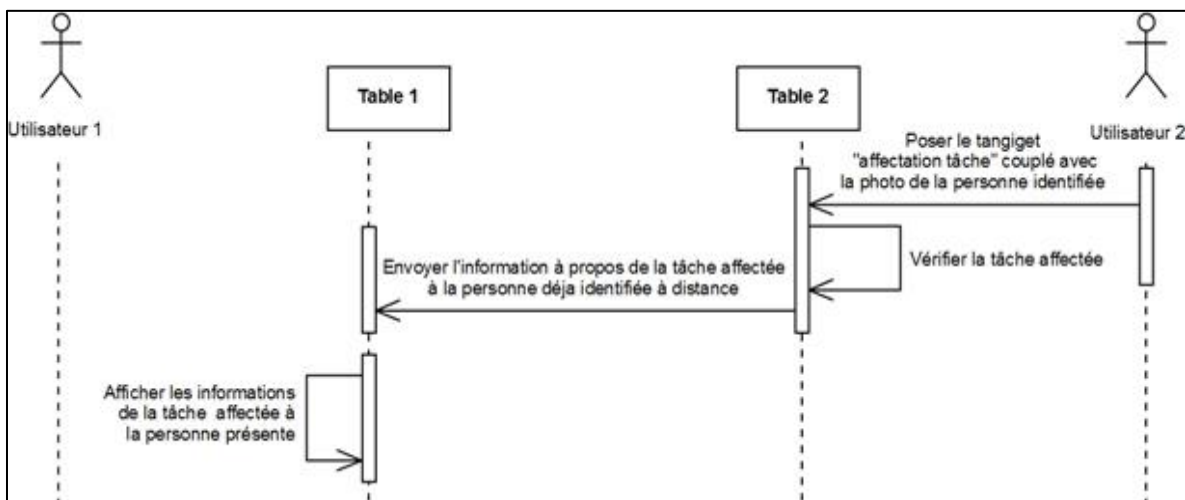


Figure 41. Diagramme de séquence pour modéliser l'affectation de tâche à distance via le tangiget "Affectation tâche"

- **Tangiget de contrôle de l'application** : utilisé pour synchroniser le début de l'activité répartie sur les tables connectées. Afin de s'assurer de l'équivalence des chances entre les différents collaborateurs, et ainsi de pouvoir avoir un contrôle sur le début et la fin de l'activité collaborative, le modérateur annonce le lancement de l'application en même temps pour toutes les personnes présentes sur les tables interactives via la pose d'un objet de synchronisation du début (voir Figure 42). Une fois cet objet posé sur la table, l'affichage principal de l'application apparaîtra dans les zones de travail des tables interactives interconnectées. Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 43 montre le scénario de la synchronisation entre deux tables distantes.

Objets possibles pour représenter le tangiget contrôle de l'application: tout objet capable de définir le début, les phases ou la fin de l'activité ou de ses différentes tâches. Par exemple : objet début d'examen, début du jeu, objet identification durée projet, minuteur, objet fin phase, etc.

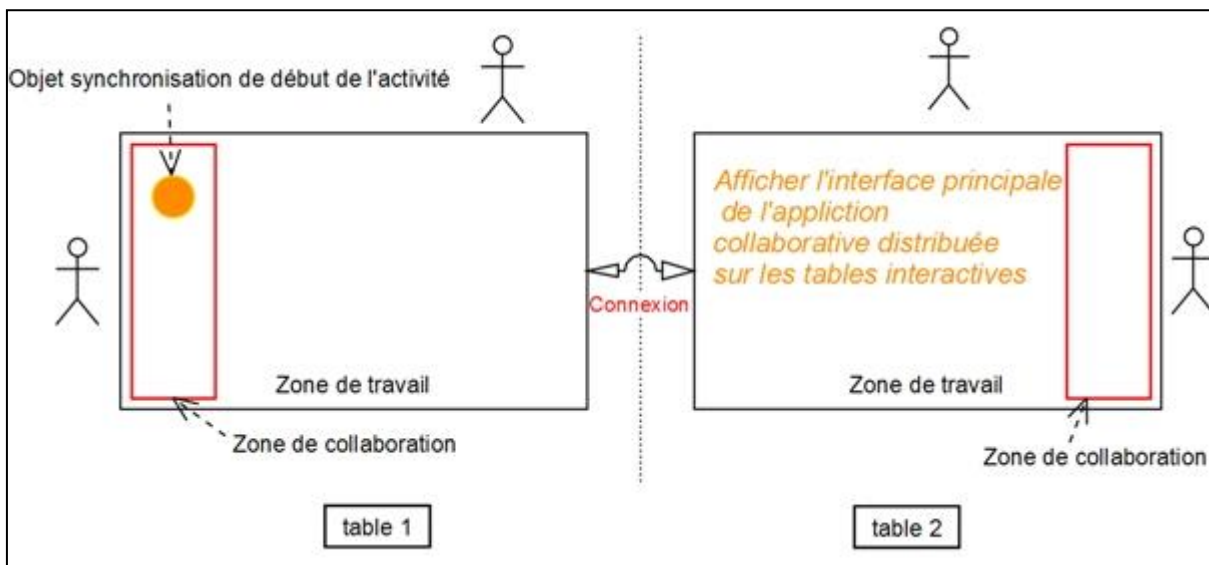


Figure 42. Tangiget synchronisation de début de l'activité pour organiser le lancement de l'activité collaborative entre les différents collaborateurs

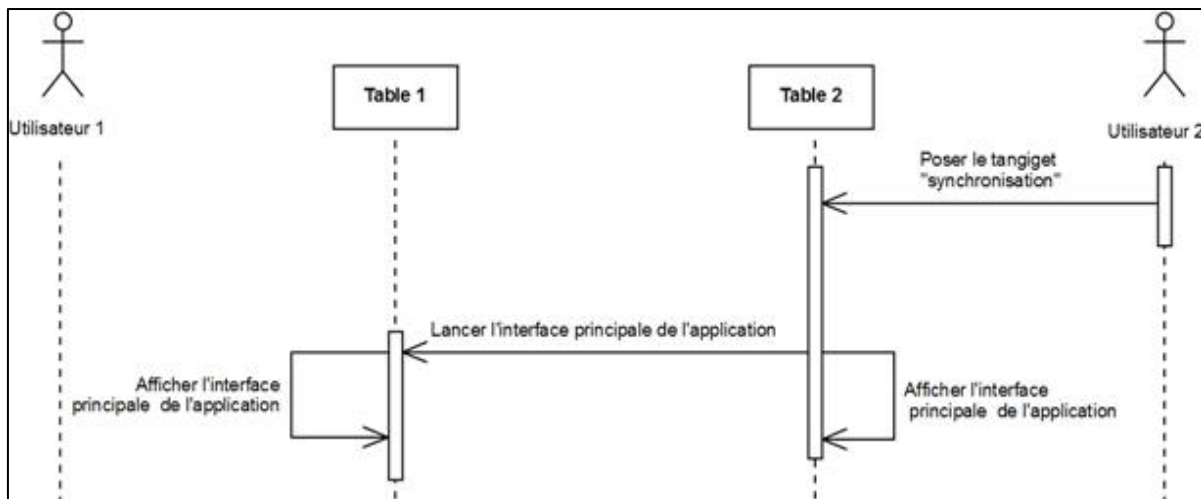


Figure 43. Diagramme de séquence pour modéliser la synchronisation du début de l'activité sur les deux tables connectées via le tangiget "synchronisation"

- Tangiget de contrôle de l'interface** : Permet de modifier l'affichage de l'interface principale en fonction des besoins de l'utilisateur. Chaque collaborateur a la possibilité de changer le mode d'affichage de la zone de travail de l'application collaborative distribuée selon le besoin (laisser un espace plus important pour une tâche, changer le mode de lecture d'information disponible à distance, etc.) (Voir Figure 44). Un objet "mode affichage" est alors proposé pour l'une des tables interconnectées ou pour chaque table en cas de besoin. Plusieurs modes d'affichage peuvent être proposés par le même objet, dans ce cas, il suffit de changer l'orientation et/ou faire un mouvement de rotation et/ou changer l'emplacement sur l'écran, etc. Afin de ne pas déranger le travail des autres collaborateurs, cet objet n'agit qu'en local sur la table de la personne qui veut changer le mode d'affichage, les autres collaborateurs distants ne seront pas influencés par ce comportement. Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 45 montre le scénario du changement du mode d'affichage sur la table interactive en cas de besoin.

Objets possibles pour représenter le tangiget contrôle de l'affichage : tout objet permettant de modifier l'affichage de l'application en total ou en partie, dans un but bien déterminé. Par exemple : affichage par un expert d'un plan général d'un bâtiment (plan électricité, plan fluide, plan urbaniste), objet résultat d'examen (nombre de bonnes réponses, de mauvaises réponses, etc.).

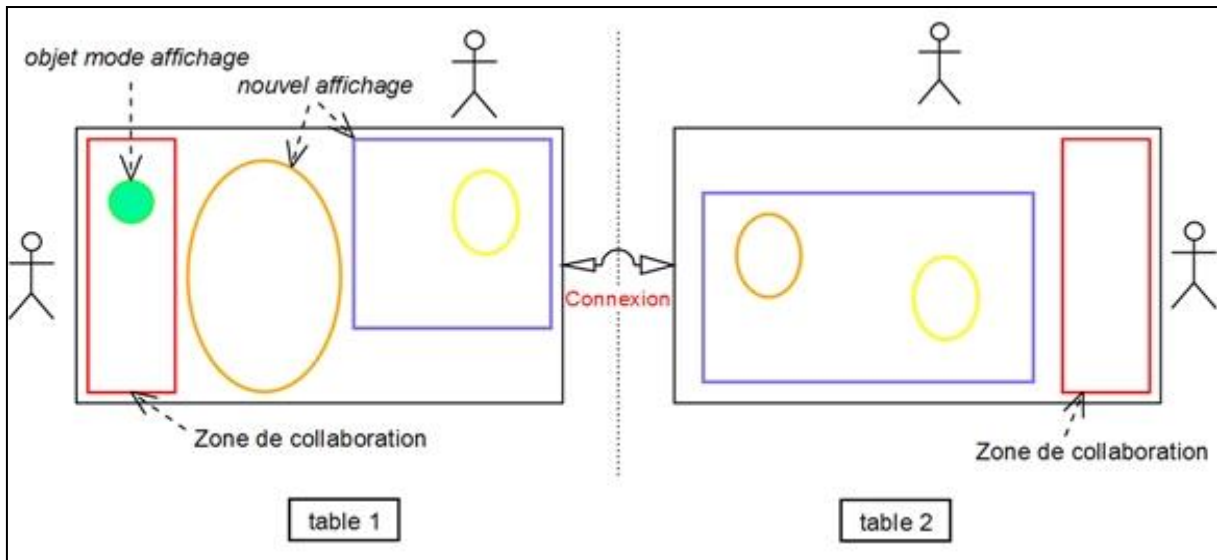


Figure 44. Tangiget "mode affichage" permettant de changer le mode d'affichage

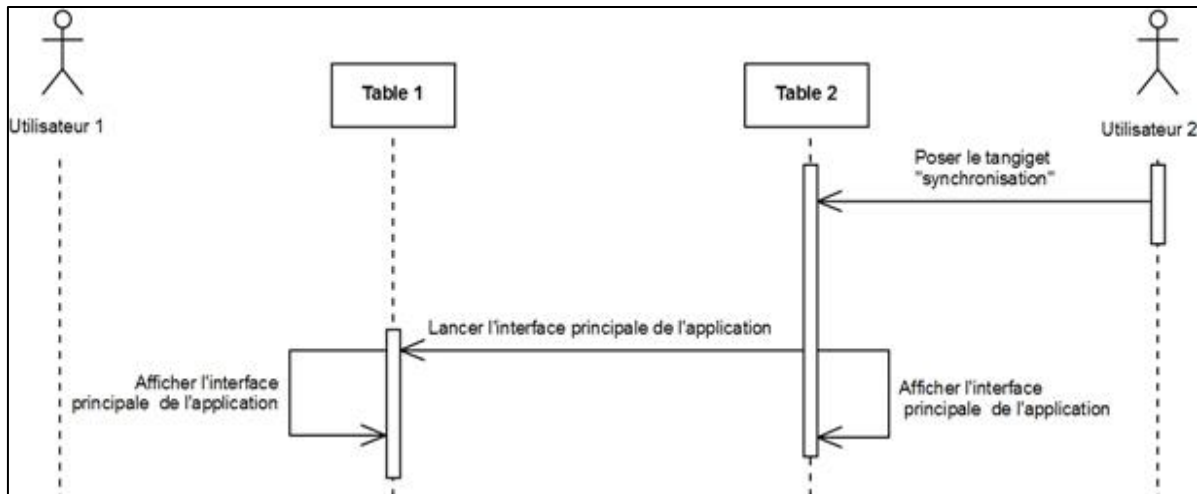


Figure 45. Diagramme de séquence pour modéliser le changement du mode d'affichage via le tangiget "mode affichage"

- Tangiget contexte de l'application** : utilisé pour demander de l'aide ou poser une question sur une étape ou un détail de l'activité collaborative. Au cours de toute activité collaborative, on cherche toujours à avoir un échange d'idées et d'avis entre les différents collaborateurs, que ce soit en local ou à distance. C'est pourquoi une procédure de demande d'aide et d'offre d'aide pour chaque système collaboratif distribué sur tables interactives tangibles a été proposée. En cas de besoin, l'utilisateur de la table locale peut demander l'aide à ses partenaires de collaboration sur la table distante. Si l'échange porte sur un objet tangible, il suffit de le placer dans la zone réservée pour les collaborations. Si c'est un objet virtuel qui est visé, il suffit de placer l'objet "demande aide" sur l'objet virtuel, une

demande d'aide accompagnée de l'image de l'objet en question est affichée sur la table distante dans la zone de collaboration (voir Figure 46). Cette demande reste affichée jusqu'au déplacement de l'objet en question de la zone de collaboration (ce qui signifie que l'aide a été fournie ou que l'utilisateur a trouvé la réponse tout seul et il n'a plus besoin d'aide). Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 47 montre le scénario de la demande d'aide à distance.

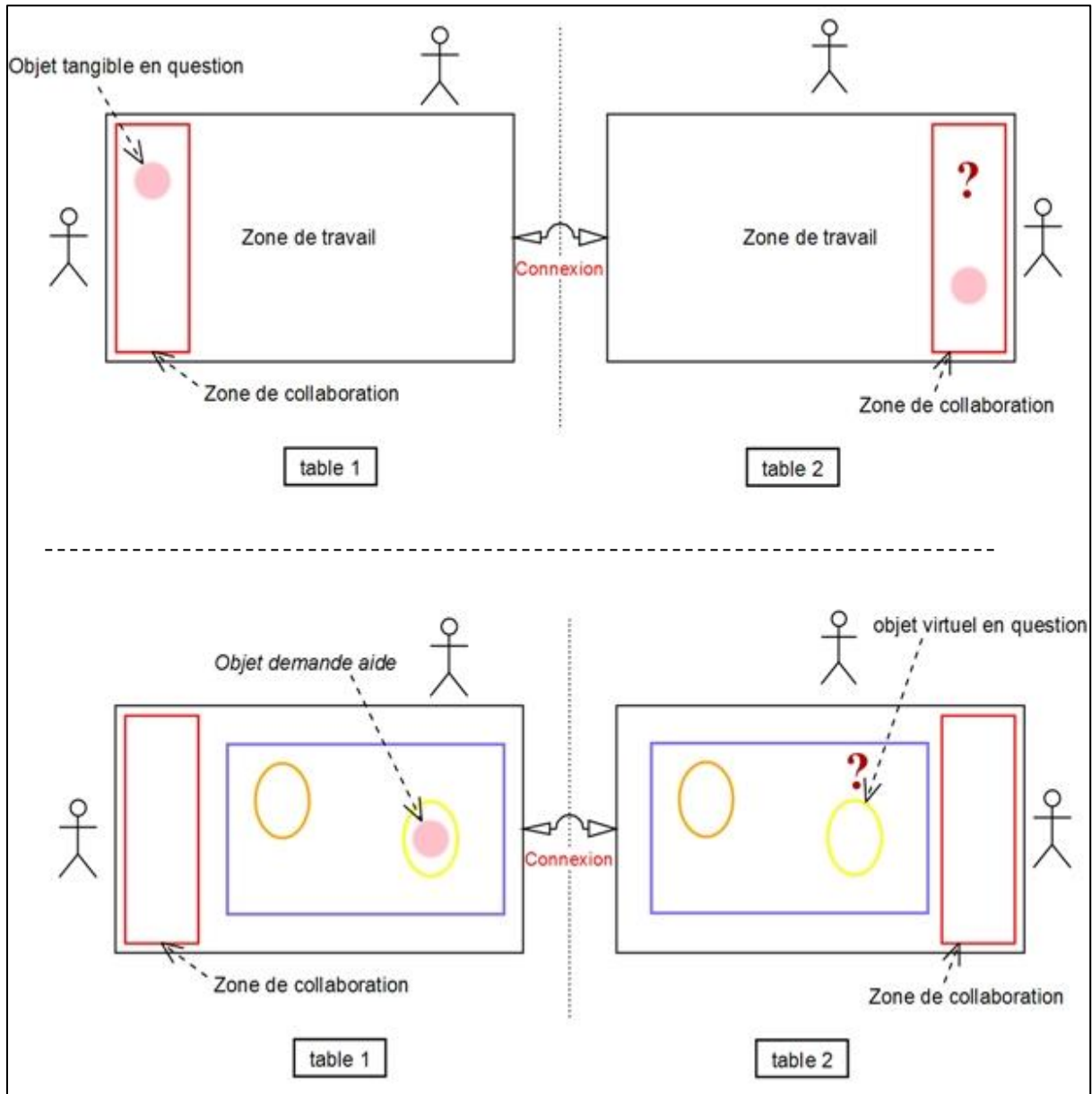


Figure 46. Tangiget "demande aide" afin de demander l'aide du collaborateur distant

Objets possibles pour représenter le tangiget contexte de l'application : tout objet permettant de demander de l'aide, poser une question ou une interrogation, partager un

avis à propos d'un élément de l'application, etc. Nous pouvons alors utiliser un objet spécifique d'interrogation pour tous les affichages de l'application ou bien aussi un objet spécifique à chaque partie de l'application ou à chaque étape. Nous pouvons aussi utiliser une combinaison d'objets afin de faciliter la coordination à distance, par exemple, poser un objet dans une zone de collaboration afin de demander une information à son propos ou aussi superposer deux objets (un objet question à poser sur l'information ou l'objet en question).

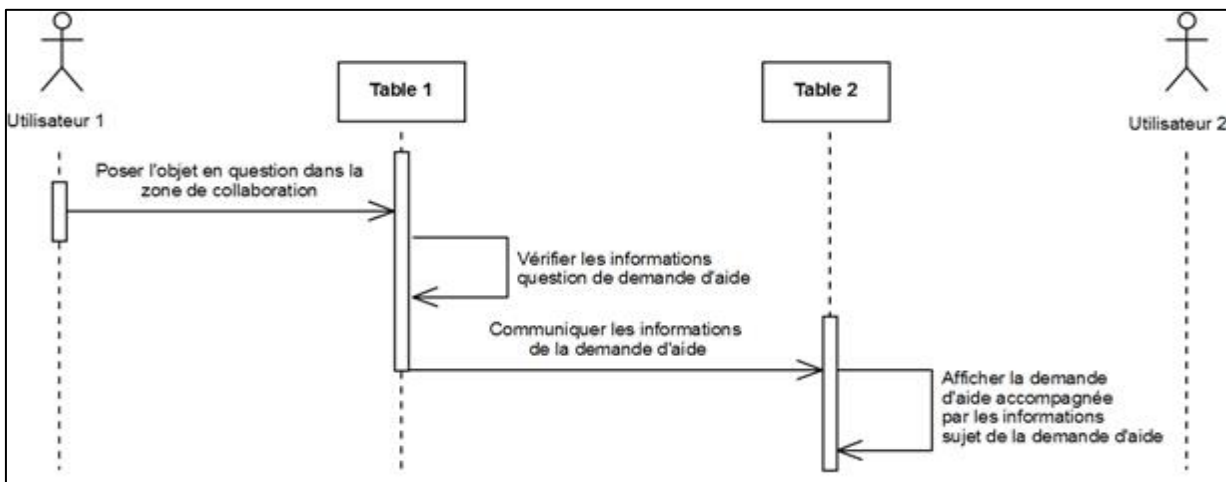


Figure 47. Diagramme de séquence pour modéliser la demande d'aide à distance via le tangiget "demande aide"

- Tangiget de coordination** : Utilisé pour offrir une aide sur une étape ou un détail suite à une demande. Après avoir reçu une demande d'aide de la part d'un collaborateur distant, l'utilisateur de la table locale a le choix de l'aider ou non. En fait, plusieurs types d'aide peuvent être conçus ; une aide peut dépendre de la nature de l'application ainsi que des détails de chaque tâche. Principalement, si le collaborateur a un ensemble de choix et qu'il ne peut pas prendre une décision seule, le collaborateur distant peut utiliser un objet offre d'aide qui permet de barrer / éliminer les réponses jugées fausses ou inadéquates. Sinon, on peut avoir plusieurs scénarii possibles pour cette collaboration (ajouter un élément, déplacer un élément, changer l'orientation, etc.). La Figure 48 présente une proposition d'une offre d'aide basée sur l'élimination des éléments jugés inadéquats. Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 49 montre le scénario de l'offre d'aide à distance.

Objets possibles pour représenter le tangiget contexte coordination : tout objet permettant d'offrir de l'aide, de proposer une solution à un problème précis, de partager un avis à

propos d'un élément de l'application, etc. Pour ce faire, nous pouvons utiliser un objet pour offrir de l'aide globale ou de l'aide partielle (pour une partie de l'application), l'utilisation de cet objet peut générer une explication textuelle, graphique ou sonore.

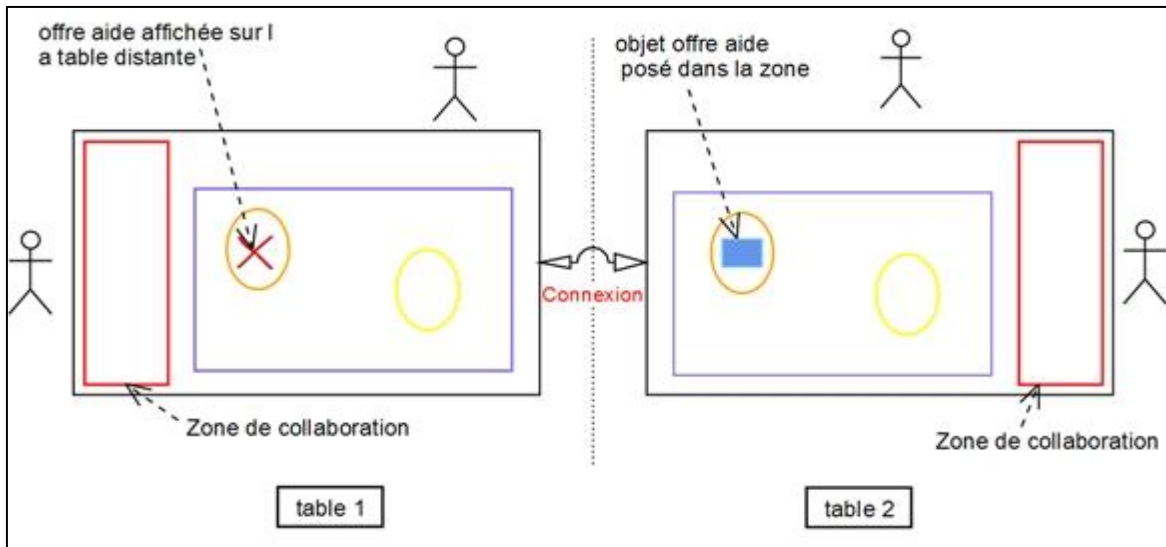


Figure 48. Tangiget "offre aide" afin d'aider la personne distante qui a demandé de l'aide

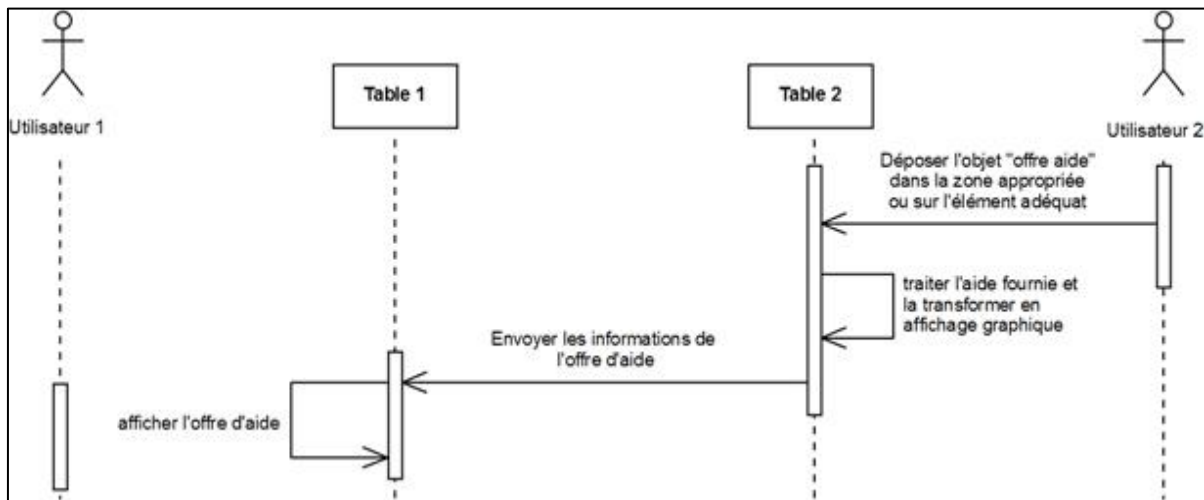


Figure 49. Diagramme de séquence pour aider le collaborateur à distance via le tangiget "offre aide"

- Tangiget contrôle de l'application** : Permet de marquer la fin d'une tâche et /ou de passer à une autre tâche. Après avoir fini sa tâche affectée, chaque utilisateur doit informer les collaborateurs distants. Pour cela on propose un objet fin de tâche, personnalisé pour chaque collaborateur. Lorsqu'il pose le tangiget dans la zone de collaboration, la fin de sa tâche est annoncée aux différents collaborateurs sur les tables distantes (voir Figure 50), si plusieurs tâches sont affectées à la même personne, des tangigets fin de l'exercice par

étape lui sont attribués. La fin de toutes les tâches affectées annonce la fin de l'activité et le début de la phase de correction/rectification /évaluation (selon le type de l'activité). Le diagramme de séquence présenté dans la Figure 51 montre le scénario de l'annonce de la fin de la tâche affectée.

Objets possibles pour représenter le tangiget contrôle de l'application: tout objet permettant d'annoncer la fin d'une tâche ou d'une activité. Pour ce faire, nous pouvons utiliser un objet fin d'exercice, un objet fin de tâche, un objet pour lancer un signal sonore, etc.

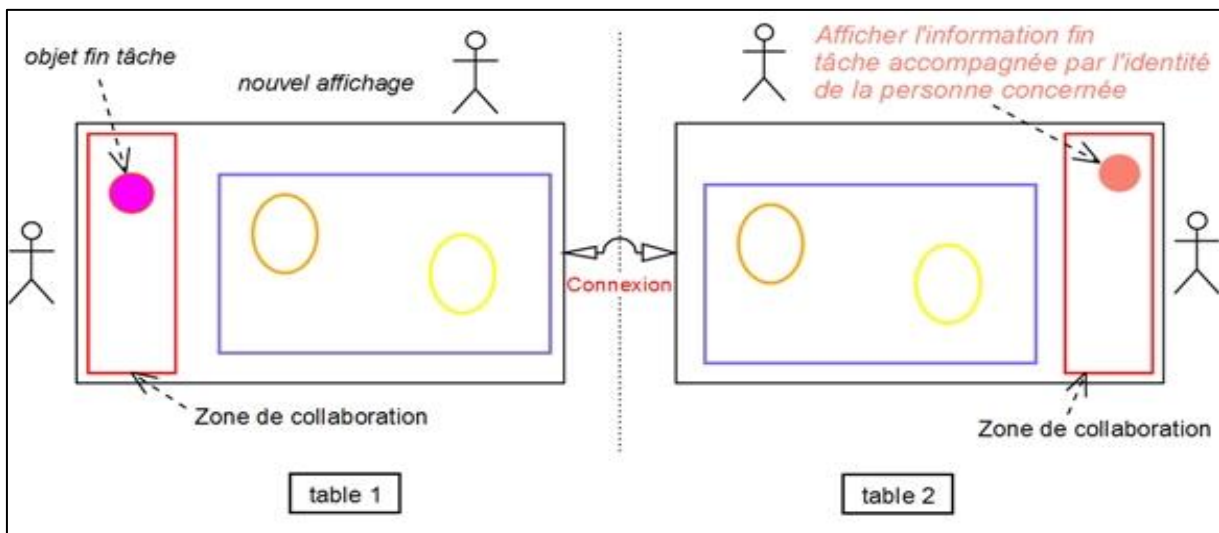


Figure 50. Tangiget "fin de tâche" permettant d'annoncer la fin de la tâche à chaque collaborateur

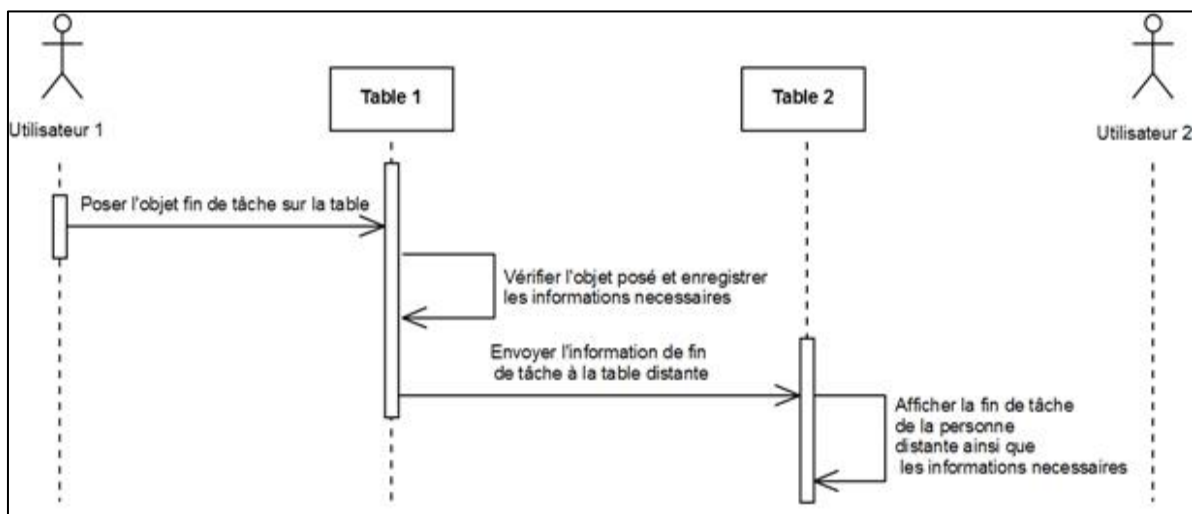


Figure 51. Diagramme de séquence pour modéliser l'annonce de la fin de la tâche affectée à distance via le tangiget "fin tâche"

Dans notre proposition, nous avons essayé de concrétiser des situations de collaboration via des objets réels qui peuvent faciliter l'échange de l'information via les tables interactives et minimiser les outils à utiliser afin de réussir une collaboration distante fiable. Le Tableau 5 présente une liste non exhaustive des objets à utiliser pour une application qui se base sur la communication distante via les objets et les tables interactives. Un croisement entre les différentes situations de collaboration (cf. chapitre 3, § 1.3.3) et les catégories de tangigets a été établi, à la suite duquel nous avons pu extraire les différents tangigets proposés.

4.5. Synthèse

Plusieurs recherches s'intéressent à étudier les différences et les complémentarités entre différentes modalités d'interaction (tangible, tactile ou hybride) en les appliquant dans divers domaines et pour plusieurs finalités distinctes (Antle et al. 2013) (Xie et al. 2008) (Besançon et al. 2017). Néanmoins, ces différentes modalités ne sont pas identiques dans leurs caractéristiques des points de vue de l'efficacité et de l'efficience : leurs avantages et inconvénients dépendent de l'objectif d'interaction et du domaine d'application concerné. A titre d'exemple, alors que l'on peut utiliser un dispositif d'entrée tangible pour interagir dans un jeu, on pourrait s'attendre à une préférence d'un outil tactile ou une entrée de type WIMP (souris, clavier, etc.) dans le domaine scientifique ou littéraire afin d'avoir un rendu plus précis et un gain du temps.

Afin de pouvoir évaluer ces différentes modalités ainsi que leur efficacité dans divers domaines, les chercheurs ont pris en considération plusieurs facteurs à mettre en question : la précision des mouvements (rotation, déplacement, pointage, zoom, etc.), la charge du travail à effectuer afin de réaliser la tâche et la fatigue résultante, la satisfaction de l'utilisateur et la compréhension de différentes utilisations de l'outil (Fernaes, Tholander, et Jonsson 2008).

Les résultats de ces études varient généralement selon le domaine d'application, l'activité à réaliser et les propriétés des utilisateurs de l'application. Dans quelques travaux nous trouvons que les chercheurs n'ont pas constaté une grande différence entre l'utilisation du tactile ou du tangible (Besançon et al. 2017) (Buisine et al. 2012), tandis que dans d'autres, les résultats révèlent une préférence remarquable d'une modalité par rapport à l'autre (Cuendet et Dillenbourg 2013) (Jackson et al. 2013).

Tableau 5. Croisement entre les différentes situations de collaboration et les catégories de tangigets

	DISC	VE	SV	SIDV	SSP	SGP	DP	D
Tangiget context de l'application	Tangiget demander aide	-	-	-	-	-	-	-
Tangiget management	-	Tangiget affectation tâche	-	-	-	-	-	-
Tangiget communication	-	-	Tangiget synchronisation début du jeu	Tangiget identification joueur	-	-	-	-
Tangiget coordination	-	-	-	-	Tangiget offre aide	-	-	-
Tangiget contrôle de l'interface	-	-	-	-	-	Tangiget correction exercice	Tangiget mode affichage	-
Tangiget contrôle de application	-	-	-	-	-	-	-	Tangiget fin tâche

Dans notre étude, nous sommes convaincus que, pour chaque application, nous pouvons choisir une ou plusieurs modalités d'interaction, et ceci en liaison directe avec un ensemble de facteurs que nous devons prendre en considération tel que l'âge de l'utilisateur, ses capacités (motrice, intellectuelle, visuelle, sensorielle, etc.) et la finalité recherchée derrière l'application. Nous ne nous intéressons pas à évaluer toutes ces modalités d'interaction mais faisons le choix de nous concentrer sur une seule, l'interaction tangible, afin de pouvoir l'examiner et tirer des conclusions ciblées.

La Figure 52 illustre les choix conceptuels effectués dans le cadre de cette contribution. La classification des objets virtuels et tangibles est effectuée selon l'effet de leurs utilisations (effet local vs. effet global).

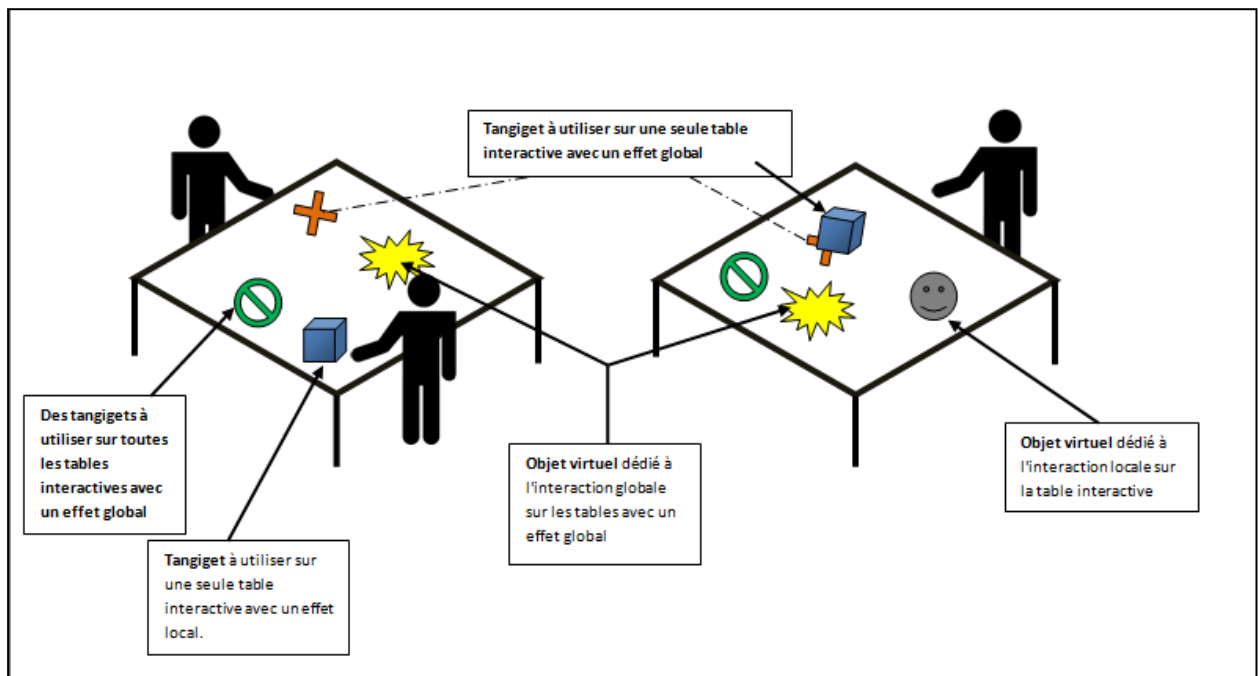


Figure 52 . Une illustration des différents choix conceptuels pour une interaction tangible distribuée

4.6. Conclusion du chapitre

Nous avons proposé dans ce chapitre de prendre en considération la notion de contexte collaboratif pour les tables interactives. En effet, malgré l'effervescence actuelle pour les tables interactives et des nouvelles surfaces, très peu de recherches sont effectuées concernant la modélisation d'une collaboration purement distante entre les utilisateurs des tables interactives à interaction tangible ou l'adaptation des capacités des tables interactives en

fonction des critères d'une communication fiable, des besoins des utilisateurs dispersés géographiquement, etc.

Nous avons proposé dans un premier temps de manière générique, une extension d'une modélisation du contexte adaptée aux tables interactives en nous basant sur la définition du contexte proposé par (Kubicki 2011). A partir de cette modélisation où les spécificités des tables interactives et de l'interaction post WIMP sont prises en considération, nous avons proposé un ensemble de nouveaux critères à prendre en considération lors de l'utilisation de plateformes telles que les tables interactives. Nous avons donc proposé une modélisation du contexte d'usage augmenté pour les tables interactives à interaction tangible qui met l'accent sur l'utilisation des objets génériques tangibles pour réussir la collaboration distante entre plusieurs tables interconnectées. Nous avons ensuite proposé la définition d'un ensemble d'objets génériques appelés "tangigets". Cet ensemble d'objets constitue l'outil disponible sur les tables interactives à interaction tangible, assurant toute collaboration distante souhaitée. Alors que nous avons proposé une modélisation des objets génériques porteurs de la collaboration distante entre les utilisateurs des tables interactives, nous proposons dans le chapitre suivant de mettre en application notre proposition et de travailler en utilisant deux tables interactives TangiSense v2, supports de nos recherches. De ce fait, les adaptations au contexte d'usage collaboratif seront proposées dans le cas de l'utilisation de ces tables interactives. Nous proposons ensuite dans le dernier chapitre d'établir un ensemble d'évaluations de cette application afin de déterminer l'impact de nos recherches sur l'utilisation des tables interactives et de la prise en considération du travail collaboratif pour ces nouvelles plateformes d'interactions.

Chapitre 5 - Mise en place d'une application collaborative distribuée sur des tables interactives à interaction tangible

5.1. Introduction

Nous proposons dans ce chapitre de mettre en application notre proposition présentée dans le chapitre précédent. Pour cela, nous proposons d'utiliser deux tables interactives de type TangiSense v2, supports de nos recherches. Cette table a la particularité d'intégrer la technologie RFID permettant de détecter la position d'objets munis de Tags ; elle donne la possibilité de travailler de manière collaborative autour de celle-ci.

Nous proposons par conséquent de présenter dans un premier temps les projets ANR TTT (2007-2010) et ANR IMAGIT (2011-2013) qui sont le contexte de nos recherches et à l'origine de la table TangiSense. Nous listons les principes traités dans ces projets, ainsi que les acteurs impliqués. Les aspects aussi bien matériels (le système de dalles, les LEDs, etc.) que logiciels (les interfaces de contrôle, le traitement des signaux émis par les antennes) seront décrits pour cette table tout en explicitant les aspects techniques. Nous mettons en avant ensuite les concepts et les innovations utilisés pour cette table, notamment les nouvelles formes d'interactions entre le tangible et le virtuel, ainsi que la collaboration entre utilisateurs. L'intérêt que nous avons porté pour la technologie RFID est également explicité dans cette section en comparaison avec les technologies existantes.

Dans un second temps, nous nous focalisons sur la présentation de l'application collaborative distribuée qui met en application les tables interactive TangiSense v2. Nous présentons premièrement notre application "Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode distribué" , inspirée de l'application "Apprentissage et reconnaissance de couleurs en mode co-localisé" proposée dans (Kubicki 2011). Il s'agit d'une application liée au domaine éducatif, illustrant les concepts évoqués tout au long de ce mémoire, aussi bien sous l'angle de la conception que du développement. Nous présentons l'application d'un point de vue général ainsi que les motivations qui nous ont poussés à proposer une application collaborative à distance pour l'éducation des enfants. Nous poursuivons avec la présentation puis la conception des objets tangibles liés à cette application tout en mettant l'accent sur les objets génériques porteurs de la collaboration distante. Nous terminons cette section avec la description du développement de l'application. Finalement, nous terminons ce chapitre avec une conclusion générale sur celui-ci.

5.2. La table interactive TangiSense

5.2.1. Présentation de la table

La table TangiSense a été conçue et développée par la société RFIdées dans le cadre des projets ANR TTT puis IMAGIT (présentés plus loin). Sa première version est décrite dans (Kubicki et al. 2009). Elle a la particularité de proposer uniquement des interactions tangibles, contrairement à la majorité des tables interactives, proposant des interactions tactiles. Par une interaction tangible, nous entendons qu'un ensemble d'objets tangibles peuvent/doivent être posés sur sa surface. La technologie RFID (*Radio Frequency IDentification*), employée par la table, permet la détection de ces objets. Cette technologie fonctionne selon le principe d'un lecteur et d'un émetteur (Finkenzeller 2003). Les étiquettes RFID (ou tags RFID) sont composées d'une puce pouvant contenir une mémoire, reliée à une antenne réagissant aux ondes radio (voir Figure 53). Ces tags sont généralement lus par un lecteur connecté à un ordinateur. La communication entre le composant électronique et le lecteur s'établit par radiofréquence et non par lecture optique (comme par exemple pour la lecture de code barre). La différence majeure entre un code barre et un tag RFID est que le premier permet d'identifier une famille de produits tandis que l'étiquette RFID permet l'identification unique d'un objet possédant une étiquette. Remarquons également que les étiquettes RFID peuvent être lues à distance et en parallèle ; plusieurs étiquettes pouvant être lues en même temps sur un seul lecteur. La table dans sa nouvelle version TangiSense v2 a toutes les caractéristiques de la TangiSense v1. Elle est composée de 24 dalles contenant chacune 16 antennes RFID (4 x 4) de 3,75 cm de côté sur une surface de 90cm*60m. La taille possible de la table dépend principalement du nombre de dalles à ajouter ou à enlever. Notons que la plus petite surface de la table est la dalle elle-même.

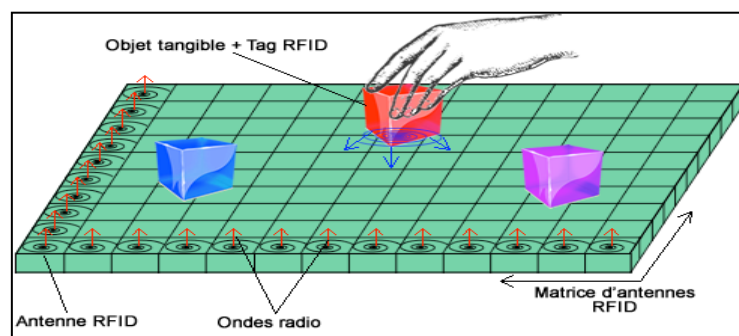
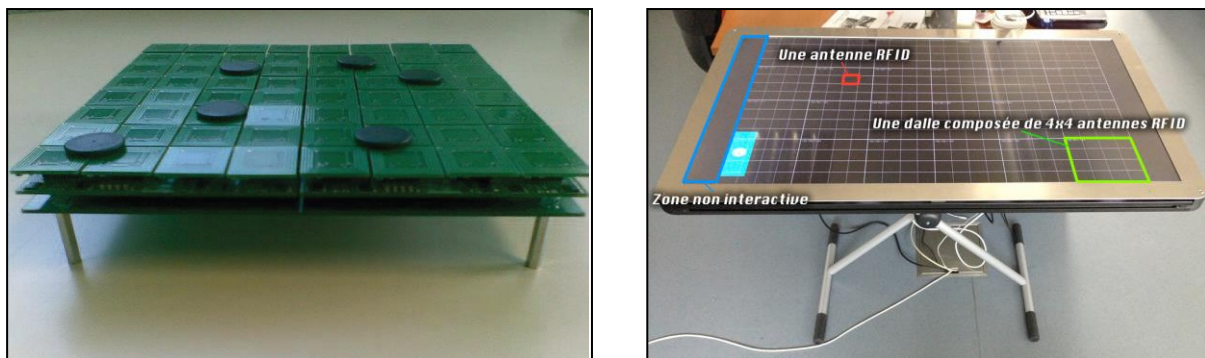


Figure 53 . Schématisation de la technologie RFID employée par la table interactive TangiSense (Kubicki 2011)

Chaque dalle contient son processeur DSP (*Digital Signal Processor*) de traitement des lectures d'antennes RFID, son multiplexeur d'antennes et son processeur de communication. Les stratégies de lecture sont hiérarchisées et le code est réparti entre le processeur de lecture d'antennes, le processeur en charge du multiplexage et l'ordinateur hôte. Les dalles sont associées entre elles par une interface de contrôle reliée à l'ordinateur hôte par un bus Ethernet. Le temps de réponse obtenu grâce à la communication Ethernet et la lecture RFID offre de bonnes performances de vitesse. Une dalle et la table sont illustrées en Figure 54.



(a) Dalle avec Tags RFID, cas de la table TangiSense v1

(b) Aspect externe de la table interactive TangiSense v2

Figure 54. Présentation du principe de composition d'une table interactive TangiSense

La table TangiSense, dans sa seconde version, possède un écran LCD de 47 pouces permettant ainsi un affichage de très haute qualité des objets virtuels ainsi qu'une précision visuelle beaucoup plus importante qu'avec la version 1, exploitant uniquement des leds. Cette surface intègre de chaque côté de la table une zone non interactive, non munie de capteurs, d'environ 7 cm, permettant de poser les objets sur la table sans qu'ils ne soient détectés (Figure 54 (b)). Aussi, la table interactive TangiSense repose sur un Système Multi-Agents permettant de définir les règles d'interaction entre les agents (objets tangibles/objets virtuels) ; celui-ci est décrit dans (Lebrun et al. 2010) et (Lebrun et al. 2013).

5.2.2. Présentation des projets ANR TTT et ANR IMAGIT

5.2.2.1. Présentation du projet ANR TTT

Le projet ANR TTT (**T**able d'interaction avec des objets **T**angibles et **T**raçables), qui s'est déroulé de 2007 à 2010, avait en particulier pour objectifs d'étudier et apporter une solution

visant à augmenter la perception de la réalité à travers la manipulation d'objets tangibles sur la surface d'une table interactive. Il a permis d'explorer les capacités de la table interactive TangiSense, conçue et fabriquée durant le projet. Cette table est munie de la technologie RFID à travers la conception de logiciels adaptés pour la manipulation d'objets tangibles, voir la Figure 55.

Figure 55 Figure 55. (a) Une dalle de la table, comportant 8*8 antennes RFID, (b) association d'une LED par antenne, (c) la table interactive TangiSense affichant une application qui utilise les LEDs

L'objectif de ce projet était que les utilisateurs puissent interagir et travailler de manière individuelle ou collaborative lors de la manipulation des objets tangibles posés sur la surface de la table interactive. Quatre partenaires étaient impliqués dans le projet TTT :

- **Les laboratoires** : LIG⁷ et LAMIH⁸ dont le rôle est de concevoir les couches logicielles (enfouies, traçabilités, et applicatives) permettant de rendre la table portable à des champs d'applications généraux.
- **CEA⁹**: le CEA-Leti, qui a conçu et réalisé une maquette interactive appelée à changer les usages de présentation de projets urbains.
- **La société RFIdées¹⁰** : celle-ci était chargée de l'analyse, la conception et la réalisation de solutions permettant le suivi de déplacements d'objets équipés de Tags RFID à la surface d'une table interactive.

5.2.2.2. Présentation du projet ANR IMAGIT

Ce projet s'est déroulé de 2010 à 2013 ; il a impliqué les laboratoires LAMIH et LIG, ainsi que les sociétés RFIdées et Supertec. Il consistait à concevoir, réaliser et tester un environnement permettant à un ensemble d'utilisateurs, isolés ou en groupe(s), d'interagir de manière distribuée à l'aide d'un ensemble de tables interactives permettant d'exploiter des objets aussi bien tangibles que virtuels ; mais les situations devaient aussi permettre la connexion de différents autres dispositifs à la table (ou aux tables) (cf. Figure 56). Les situations à étudier et mettre en œuvre concernaient aussi bien des objets tangibles embarquant de l'information (avec ou sans écriture durant les contextes d'usage) que des objets pour lesquels l'information était déportée dans des agents d'une plate-forme multi-

⁷ <http://www.liglab.fr>

⁸ <http://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH>

⁹ <http://www.cea.fr>

¹⁰ <http://www.rfidees.fr>

agents. Cette plate-forme devait permettre en œuvre des interactions entre acteurs, aussi bien humains que virtuels, selon le principe visible en Figure 56.

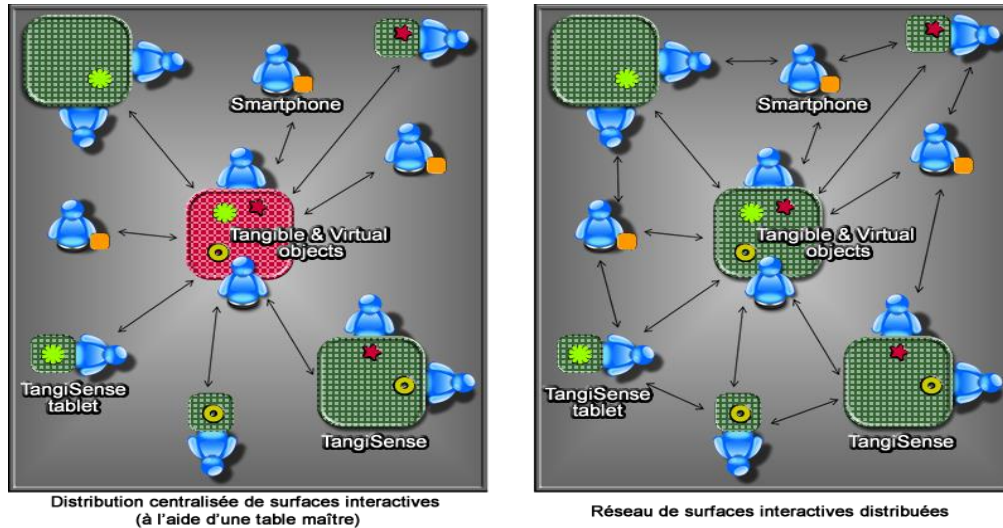


Figure 56. Architectures de connexion entre tables proposées dans (Lepreux et al. 2011)

Ce projet s'appuyait sur les résultats obtenus dans le cadre du projet ANR TTT. Ce projet IMAGIT visait à permettre ainsi, non seulement de solidifier les couches logicielles déjà développées, mais d'étendre le dispositif à la manipulation d'objets virtuels et tangibles, et ceci sur plusieurs dispositifs distants, permettant ainsi une plus grande mobilité et une distributivité des tâches entre les groupes d'utilisateurs distants. Les verrous à surmonter dans le cadre du projet IMAGIT étaient liés à la gestion de tables distribuées, à l'adaptation des interfaces homme-machine et la représentation de l'information sur les tables, à la conduite de l'activité collaborative et à la nécessité de disposer d'objets tangibles adaptés.

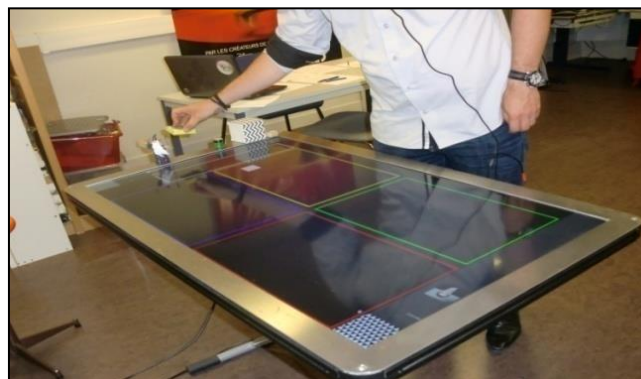


Figure 57. Utilisation des objets tangibles pour collaborer à distance

5.2.3. Description des objets

Les objets utilisés sur la table TangiSense v2 peuvent être virtuels (affichage sur l'écran de la table) ou tangibles (physiquement accessibles et manipulables par l'utilisateur) (Figure 57). Rappelons que nous appelons objets virtuels des objets visuels affichés sur la table. La table étant munie d'antennes RFID, celle-ci peut détecter les objets tangibles initialement munis de puces RFID. Avec cette technologie, il devient possible de reconnaître des objets superposés les uns sur les autres (à condition que le tag soit placé à une hauteur maximum de 3 cm des antennes RFID). Il est en effet possible, dans ces puces, de stocker des informations telles qu'un historique des déplacements du tag ou des consultations de ce tag, les informations d'authentification de la personne associée ou d'un objet de manière unique et sécurisé, les tags RFID étant uniques. Avec ces objets tangibles, les participants autour de la table peuvent interagir et travailler de manière collective ou collaborative autour d'applications faisant intervenir des objets physiques.

5.2.4. Présentation de l'architecture

D'un point de vue logiciel, les projets ont adopté une architecture comprenant différentes couches. Tous les composants des couches supérieures dépendent fonctionnellement des composants des couches inférieures (Kubicki et al. 2009a) (Lebrun 2012) (Lebrun et al. 2013). L'architecture comprend donc des couches différentes (citées dans l'ordre du plus bas au plus haut niveau) comme le montre la Figure 58 :

- la couche *Capture et Interface* détecte des objets tangibles munis chacun d'un ou plusieurs tags et remonte l'information à la couche *Traçabilité*.
- la couche *Traçabilité* manipule des événements associés aux objets et communique à la couche *Applicative* les modifications de position des objets.
- la couche *Applicative* gère les spécificités des applications associées à la table. Elle sert d'interface avec l'utilisateur. La couche applicative est décomposée en deux parties :
 - La partie intégrant le Système Multi-Agents (SMA) amène une puissance de calcul et de raisonnement. Le SMA de la table interactive TangiSense a été développé avec la plateforme multi-agents Jade (Bellifemine et Rimassa 2001). Il gère le comportement des objets tangibles manipulés par les utilisateurs ainsi que les objets virtuels qui sont utilisés durant l'utilisation de la table. A chaque objet

tangible et/ou virtuel est associé un agent (Lebrun et al. 2010). Les informations provenant des lecteurs RFID sont transmises par le middleware (couches *Capture et interface*, et *Traçabilité*). Ces informations sont utilisées par les agents pour construire la vision de leur environnement. L'organisation hiérarchique entre les agents permet une gestion intelligente des objets, mais également de leur attribuer des rôles. Afin de concevoir un Système Multi-Agents qui contrôle le comportement des objets tangibles ou virtuels pour une application donnée, il est impératif de définir les relations entre les différents types d'agents ainsi que les rôles fonctionnels qu'ils vont jouer en fonction de l'application.

- La partie Interaction Homme-Machine (IHM) se charge de communiquer avec les utilisateurs. Elle permet de transmettre les informations liées aux interactions des utilisateurs aux autres couches plus basses (par exemple, la création et le déplacement d'un objet virtuel sous un objet tangible manipulé par un utilisateur). La partie Interaction Homme-Machine contient l'intégralité des méthodes rendant la table utilisable par les utilisateurs. C'est elle qui va contenir l'interface (le visuel) de la table et se charger de l'afficher. Notre travail, dans le cadre de cette thèse, se focalise sur la couche IHM dans laquelle nous exploitons la technologie RFID pour proposer des objets génériques facilitant une collaboration distante entre les utilisateurs des tables interactives à interaction tangible.

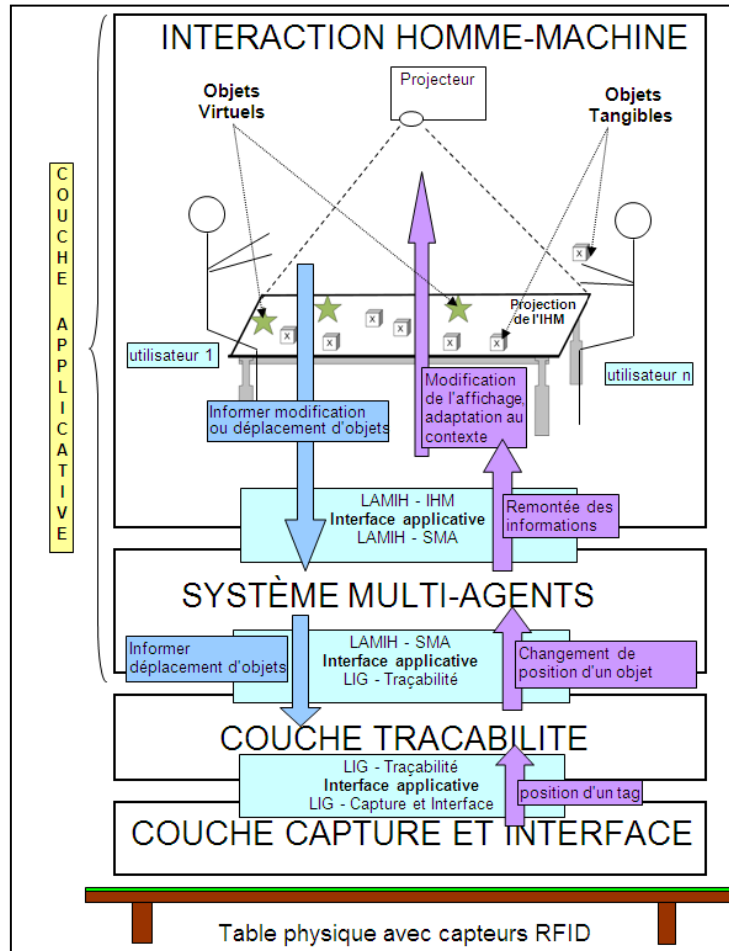


Figure 58. Modélisation de l'architecture en couches (Kubicki et al. 2009)

5.2.5. Une interaction distribuée grâce au système multi-agent

Lepreux et ses collègues traitent dans (Lepreux et al. 2011) les différents scénarios possibles d'une interaction via des interfaces distribuées ; cette recherche énumère plusieurs types d'interaction. Nous allons nous intéresser à un type parmi ceux-ci, qui est « l'interaction mixte ». Cette dernière implique deux utilisateurs (utilisateur1 et utilisateur2) qui travaillent sur deux plates-formes mixtes (MP) nommées respectivement Table1 et Table2, selon une stratégie centralisée. La distribution est complète et synchrone. Le diagramme de séquence (Figure 59) suivant illustre l'interaction entre les deux tables :

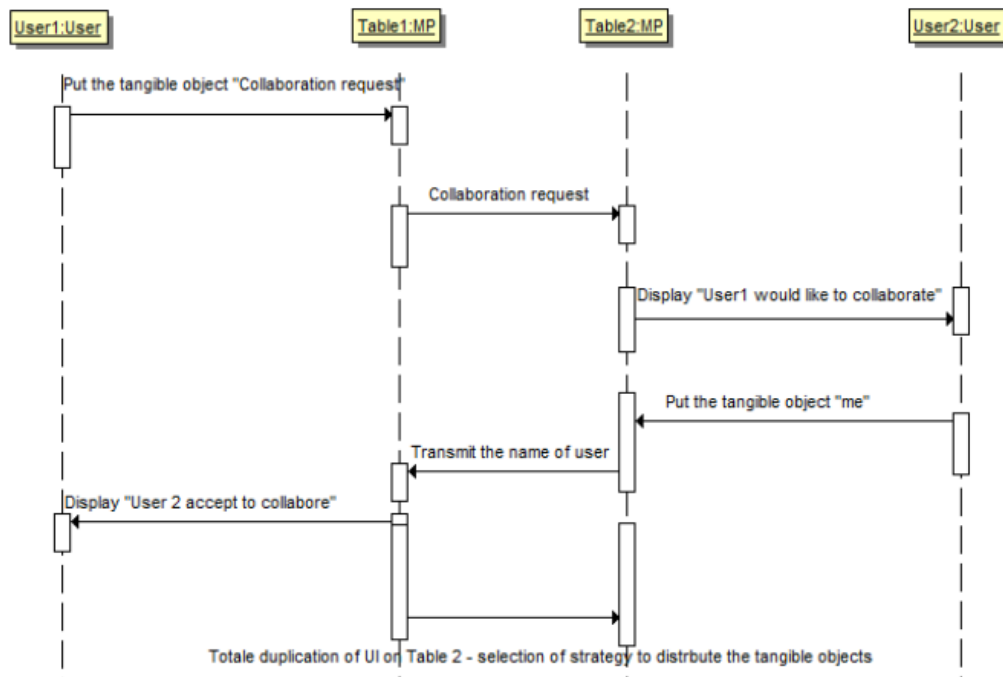


Figure 59. Diagramme de séquence illustrant l'interaction mixte via les tables interactives

Nous avons vu plus haut dans ce chapitre (§5.2.4) que le Système Multi-Agents était en charge de chaque objet (tangible ou virtuel) affiché ou posé sur les tables interactives *TangiSense*. Dans notre cadre d'interaction, les différents agents qui peuvent être créés lors de la manipulation des tables sont :

1- lorsqu'un objet virtuel local est affiché sur la table, un agent dit *virtuel* est automatiquement créé et associé à cet objet virtuel.

2- Lorsqu'on pose un objet tangible local sur la table *TangiSense*, un agent dit *tangible* sera créé et associé à l'objet tangible. Généralement tous les objets tangibles sont présentés aussi par un objet virtuel afin que l'utilisateur soit informé par la détection de l'objet sur la table locale. En cas de besoin, une présentation virtuelle est affichée aussi sur la table distante afin de faciliter l'échange de l'information. Dans ce cas trois agents (un agent virtuel local, un agent virtuel distant et un agent tangible) sont en charge d'un seul et même objet tangible.

Comme nous savons que les informations de la table distante lors d'une collaboration seront exploitables par l'autre table, les deux tables ont le droit d'envoyer et de demander l'information ; par contre au niveau de la connexion au réseau, une table est considérée comme table maître car c'est à elle de lancer la connexion distante et de la terminer. Bien évidemment, les objets (tangibles et/ou virtuels) doivent être au préalable prévus lors de la conception de l'application

afin de définir par exemple le nom, la forme, le rôle de l'objet, la table d'appartenance, voire le(s) comportement(s) de l'objet. Lors de l'affichage ou de la pose d'un objet, l'agent créé en charge de cet objet possède alors toutes ces informations et contient les caractéristiques liées à l'objet. L'agent sera capable de jouer son (ou ses) rôles ainsi que son (ou ses) comportement(s) durant l'utilisation de l'application par le (ou les) utilisateurs. Un exemple d'architecture multi-agent pour tables interactives est présenté à l'aide de la Figure 60. Cette figure montre une architecture possible pour la connexion entre les tables interactives. La communication entre ces plateformes différentes, qu'elles soient locales et/ou distantes est illustrée à l'aide des mécanismes de la plateforme JADE (Java Agent DEvelopment Framework) , les travaux de (Lebrun 2012), (Lebrun et al. 2015), (Garbay, Badeig, et Caelen 2012) , (Lepreux et al. 2012) donnent plus de détails à ce propos.

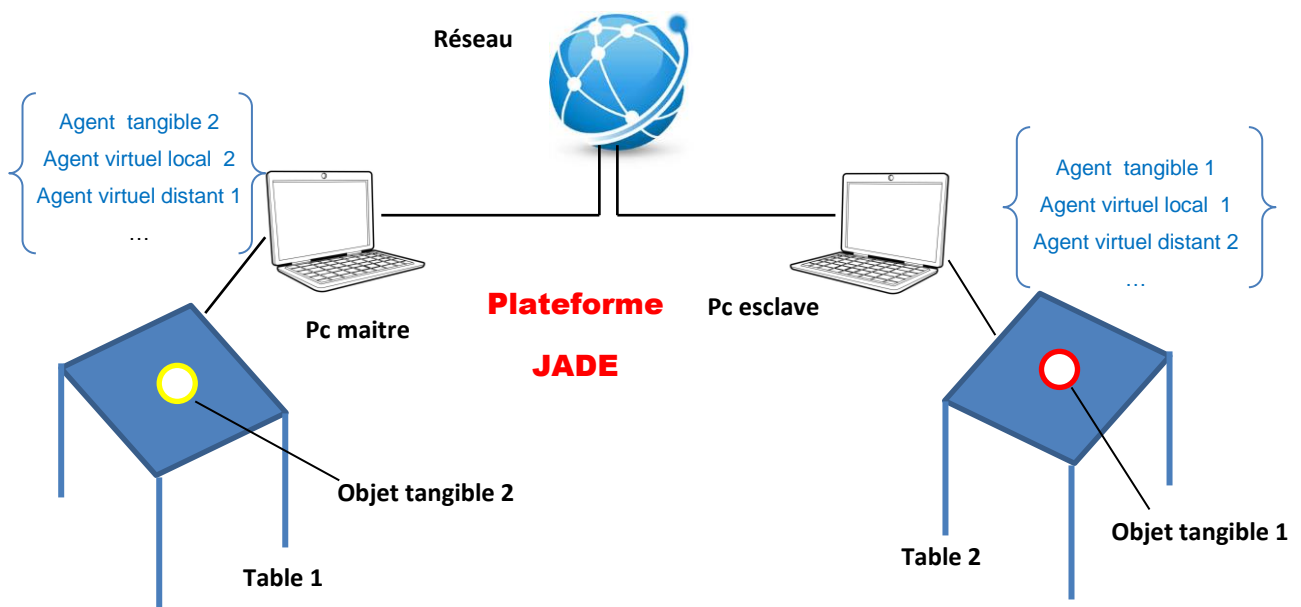


Figure 60. Modélisation de l'architecture multi agent utilisée pour la communication entre les tables TangiSense

5.3 Présentation de l'application Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode collaboratif sur tables interactives TangiSense

Plusieurs propositions d'intégration des tables interactives dans le domaine de l'éducation ont été faites (Tse et al. 2010) (Tse et al. 2011) (Kubicki et al. 2015) ; cette intégration vise à permettre aux élèves une nouvelle méthode d'interaction, de réflexion et de collaboration.

Selon nous, ils doivent pouvoir travailler en même temps sur la même table ou collaborer à distance via les tables interactives. L'enseignant doit avoir aussi la possibilité de superviser le

déroulement de l'exercice ou de l'activité collaborative, une tâche qui n'est généralement pas facile pour les enseignants, vu qu'ils ne peuvent pas être à côté de tous les groupes d'élèves en même temps ; de ce fait, l'évaluation se fait souvent seulement sur le rendu final sans avoir une idée des difficultés rencontrées lors de la réalisation de l'exercice ni des taux de participation de chaque élève pour la résolution d'un exercice collectif.

Cette hypothèse nous a incités à penser à une application collaborative dédiée à l'apprentissage, destinée à de très jeunes enfants. L'idée est de se baser sur une application existante, développée et testée dans un cadre d'une école maternelle ; cette application avait été proposée dans (Kubicki 2011) suite à une étude effectuée sur le terrain : il avait été demandé à des professeurs des écoles en quoi une table interactive et des objets tangibles pourraient les aider dans leurs enseignements. Il est vite ressorti que les tables interactives avec leur côté ludique pourraient faciliter l'apprentissage des enfants dans bon nombre de domaines (gestion des erreurs, travail en groupe, mise en situation réelle avec objets...). Nous avons donc pensé à concevoir et développer une nouvelle version de cette application qui prend en considération le travail collaboratif à distance sur les tables interactives à interaction tangible et qui tire profit des nouvelles caractéristiques de la table TangiSense dans sa deuxième version.

Nous proposons dans cette section de présenter la conception et la réalisation de notre application appelée "Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode distribué via les tables interactives TangiSense".

5.3.1 Présentation générale

Avec cette application pour les tables interactives TangiSense v2, nous proposons une application permettant la reconnaissance et l'apprentissage des couleurs aux enfants (de 2 à 6 ans selon la difficulté), de même qu'une collaboration entre les enfants et les adultes qui supervisent le déroulement de l'activité d'apprentissage (parent(s)/enseignant(s)). Lors de son étude du système, Kubicki a demandé à un professeur des écoles d'imaginer un ou plusieurs scénarii en utilisant une table interactive et un ensemble d'objets, sans se donner de limite ou de contrainte (Kubicki 2011) (Kubicki, Lepreux, et Kolski 2011a). Il en est ressorti une application simple où les enfants doivent replacer un ensemble d'objets ayant "perdu leur couleur", dans le cadre de la couleur appropriée (par exemple, un soleil en "noir et blanc" à

placer dans le cadre de couleur jaune). Pour cela, l'enfant dispose d'un ensemble d'objets (petits cubes portant chacun une image en noir et blanc). L'enfant doit ensuite déterminer ce que représente l'image, y associer la couleur appropriée et venir placer l'objet dans le cadre coloré sur la table interactive. Une fois les objets placés, l'enfant est invité par le professeur à vérifier ses choix à l'aide d'un personnage représentant un magicien (objet tangible) qu'il vient de poser sur la table. La table lance alors la procédure de vérification, et annonce à l'enfant les éventuelles erreurs ou bonnes réponses (voir Figure 61.). Le professeur des écoles quant à lui obtient les résultats de chaque enfant (feuille de résultats individuels) lui permettant de connaître rapidement les difficultés des enfants et d'adapter ses enseignements en fonction des difficultés des enfants. L'application initialement proposée utilisait une seule table dans un cadre bien déterminé (la classe, une salle, un centre d'éducation). La version que nous proposons pour cette application traite davantage d'autres problèmes que l'enseignant ou le responsable d'apprentissage sont susceptibles de rencontrer dans un cadre distribué.

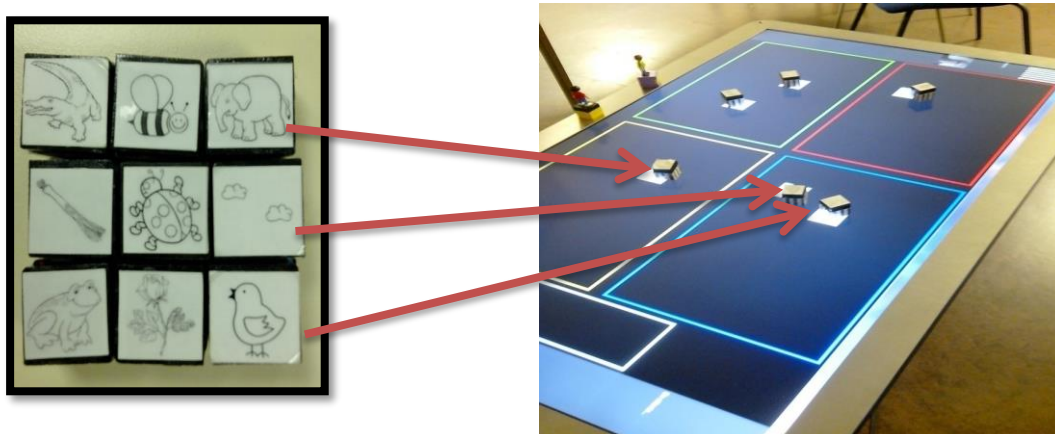


Figure 61. Exemple d'objets incolores utilisés dans l'application apprentissage de couleurs en mode distribué

Afin d'éviter les bousculades et de permettre à chaque enfant d'avoir un accès à l'interaction, nous supposons que 4 élèves par table est un nombre suffisant. Dans les observations des interactions, dans le cadre de l'étude avec une seule table, le ou la professeur restait toujours à proximité de la table pour analyser les erreurs et guider les élèves en difficulté. Il ou elle avait parfois recours aux autres élèves, en autonomie sur un autre travail pour aider les plus petits dans leur choix afin de les aider sans donner directement la réponse. On peut alors supposer que gérer plusieurs tables en parallèle ne donne pas l'occasion à l'enseignant de bien évaluer le niveau de chaque élève, le taux d'engagement dans la collaboration co-localisée pour réaliser

l'exercice ou la vitesse de réponse de chaque élève. Pour aller plus loin, un autre scénario serait de placer l'enseignement et l'apprentissage à distance, par exemple un parent qui voudrait suivre l'apprentissage (par exemple celui des couleurs) de son enfant en ayant la possibilité de communiquer et superviser le travail à distance (par exemple, d'une autre pièce du logement, de son bureau, en étant en voyage, etc.). Dans ces scénarios, le parent occupe une table et le ou les enfants interagissent sur une autre table distante (dans la suite du mémoire, afin de simplifier la rédaction, nous nommerons **table enfant** la table où les enfants interagissent et **table adulte** la table adulte qui est dédiée au superviseur). Le parent peut entrer en collaboration avec l'enfant pour le guider et l'aider à trouver les bonnes réponses. Pour cela nous proposons des outils permettant la supervision sur cette table interactive du déroulement de chaque activité effectuée sur les tables interactives distantes.

5.3.2 Présentation et conception des objets de l'application

Lorsqu'une interface utilisateur tangible est conçue, les concepteurs doivent répondre aux questions : « Qu'est-ce qui est/sera tangible ? » et « Qu'est-ce qui est/sera virtuel ? ». Dans le cadre de cette application, nous considérons que ces choix sont faits.

La question est maintenant : « Comment distribuer les objets tangibles et virtuels ? ». Une application tangible est composée d'objets tangibles et virtuels qui gèrent l'affichage. Un objet tangible peut être associé à un objet virtuel afin de fournir un retour d'information à l'utilisateur. Les autres objets virtuels sont indépendants des objets tangibles. Dans notre application, nous distinguons ces deux types d'objets : un ensemble d'objets métier qui servent à réaliser l'exercice d'apprentissage des couleurs. Il s'agit d'un ensemble d'objets propres à cette application :

- Les objets incolores : (aussi appelés objets qui ont perdu leurs couleurs) sont utilisés pour l'application dans sa version initiale locale ; ils sont aussi utilisés dans cette version distribuée. Cependant nous avons modifié la classification de ces objets dans des catégories identifiées par des formes géométriques plutôt que des couleurs afin d'éviter toute confusion possible entre la couleur de l'objet et la couleur du support. Chaque catégorie (rayé verticalement, pointillé, rayé horizontalement, triangle) est donc représentée par huit objets. La Figure 62 montre les objets conçus pour l'application Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode distribué et adaptés aux enfants de classe maternelle.



- Les zones de couleur : l'interface principale de la table contient 4 zones de couleur (rouge, jaune, bleu et vert), l'objectif des enfants étant de classer leurs objets de chaque catégorie dans ces zones de couleur. Le niveau de difficulté de la reconnaissance des objets dans chaque catégorie est varié (Kubicki 2011) et chaque catégorie est diversifiée entre les quatre couleurs (voir Figure 63). Il n'y a pas eu de modifications faites à ce sujet depuis la version proposée en local, testée dans la classe et validée.



Figure 63 . Les zones de couleur de l'interface principale

- **L'objet Magicien** : afin de corriger l'exercice à distance, l'adulte (professeur, parent, superviseur, etc.) pose l'objet magicien sur la table adulte (Figure 64), un carré est allumé sous les objets bien placés, une croix est affichée sous les objets mal placés sur la table enfant.

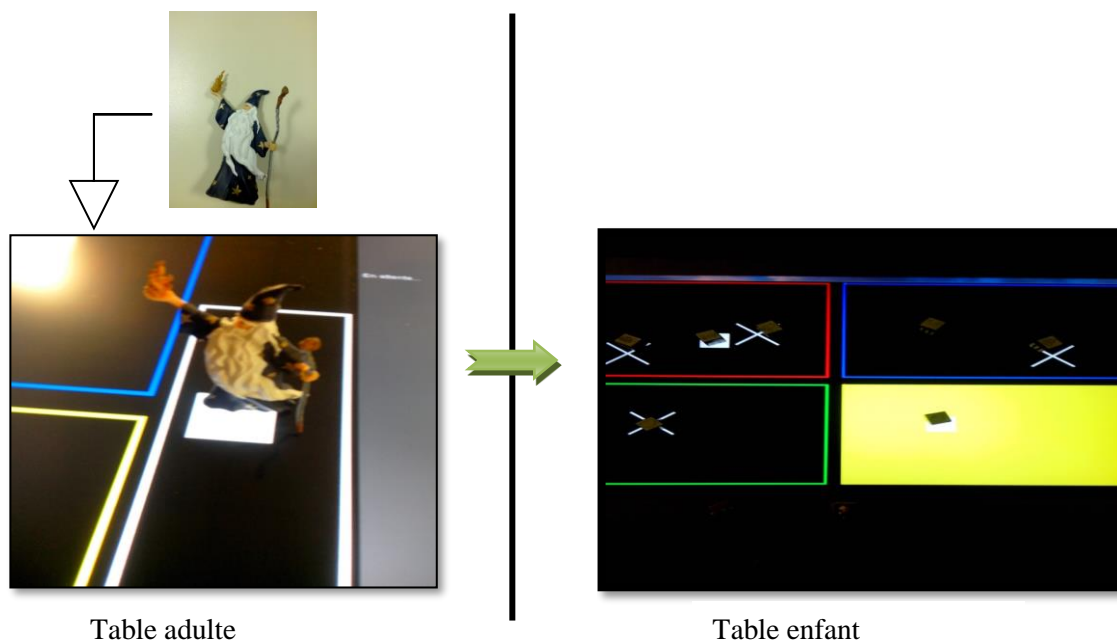


Figure 64. L'objet magique permettant de corriger l'exercice

Le Tableau 6 récapitule les objets métiers utilisés dans cette application.

Tableau 6. Les objets métiers de l'application apprentissage de couleurs en mode distribué

Objets Métiers	Virtuel vs. Tangible	Utilisateur
Les objets incolores	Tangible	Enfant
Les zones de couleur	Virtuel	Adulte/enfant
Le Magicien	Tangible	Adulte

L'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode distribué* utilise également un ensemble d'objets génériques, appelés tangigets, permettant la collaboration entre les tables interactives distantes. Ces objets, contrairement aux autres objets dits métiers, influent directement sur la collaboration distante et assurent donc la communication entre les utilisateurs de l'application tout au long de l'exercice. Les objets que nous présentons ci-dessous sont des instances des catégories de tangiget que nous avons introduits dans le chapitre 4 (cf chapitre 4, § 4.4.3) :

- **Tangiget "identification"** : pour s'identifier sur la table, l'enfant est invité à poser son objet d'identification. C'est un objet propre à lui ou une carte personnelle qui exprime l'identité du titulaire. Dans le cas de l'application, un avatar (un enfant issu du jeu Playmobil®) est affecté à chaque enfant. Un agent "identification" est créé ; il a pour rôle de communiquer l'information vers la table adulte. La photo de l'utilisateur "enfant" est affichée (Figure 65) sur la table adulte. Le diagramme de collaboration, visible en Figure 66, présente le fonctionnement du tangiget "identification" ainsi que les messages échangés entre les différents acteurs de l'application. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "identification" est alors une instantiation de la catégorie "tangiget de communication".
- **Tangiget "Affectation Catégorie"** : Une série de 8 objets incolores est distinguée par une catégorie. Quatre catégories sont disponibles : pointillé, rayé verticalement, rayé horizontalement et triangle. Une fois qu'un enfant s'est identifié, l'adulte pose l'objet catégorie sur sa table. Afin de faire une sélection d'une catégorie parmi les quatre possibles, un objet de type cube (permettant de faire un choix d'un parmi un ensemble de 6 puisque c'est un cube à 6 faces) est posé sur la table. Comme pour les dés (cube utilisé couramment dans les jeux de plateaux), c'est l'image visible sur le dessus qui annonce la catégorie sélectionnée. L'adulte peut ainsi attribuer une catégorie à chaque enfant identifié (Figure 67). Le diagramme de collaboration, visible en Figure 68, présente le fonctionnement du tangiget « affectation catégorie » ainsi que les messages échangés entre les différents acteurs suite à son utilisation. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "affectation catégorie" est alors une instantiation de la catégorie « tangiget coordination d'objets ». Par ailleurs, en cours d'exercice, l'objet catégorie peut également être utilisé pour la supervision des objets de l'enfant affectés à cette catégorie. Pour afficher les objets posés sur la table enfant par catégorie, il faut placer l'objet dans la zone de collaboration. Les objets appartenant à la catégorie sélectionnée sont les seuls à être apparents.

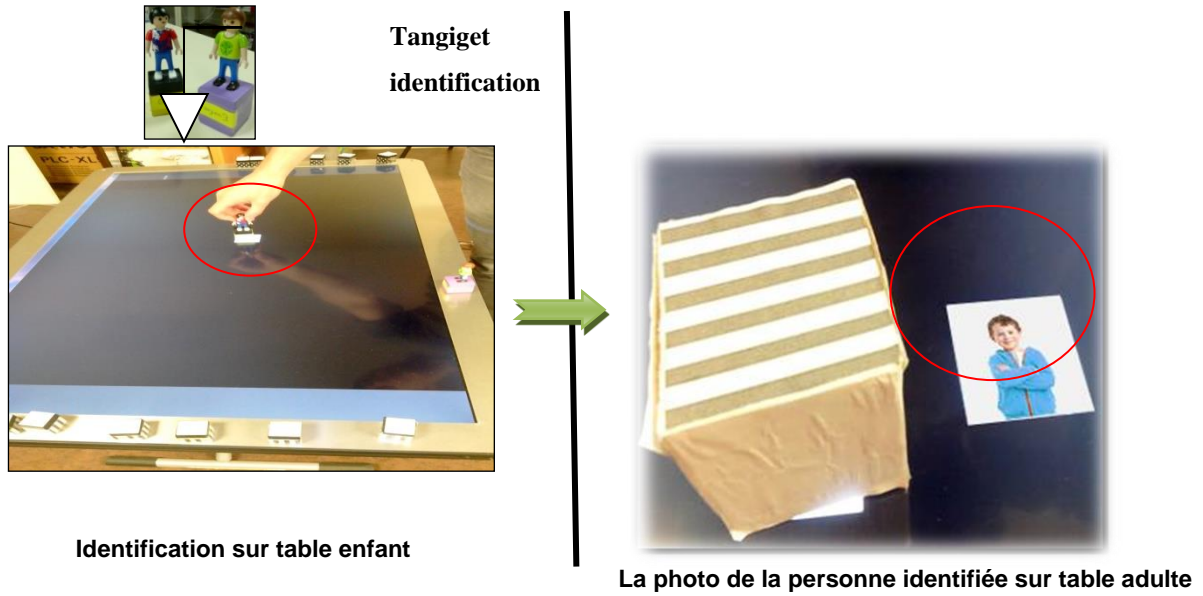


Figure 65. Le tangiget "identification" posé sur la table pour identifier la personne présente

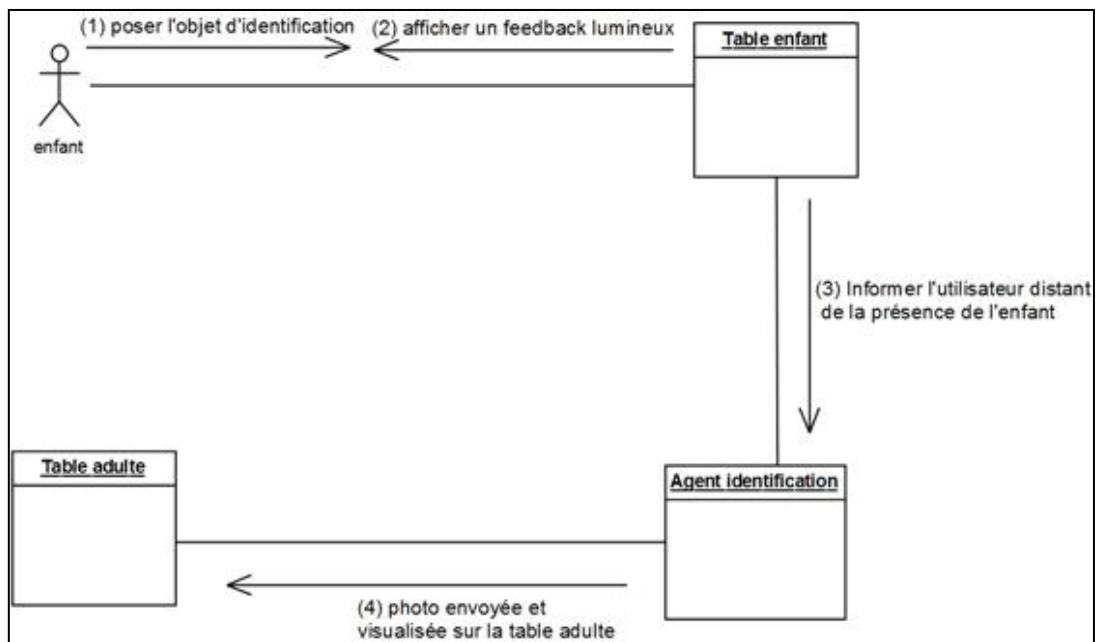


Figure 66. Diagramme de collaboration présentant la procédure de l'identification sur la table enfant

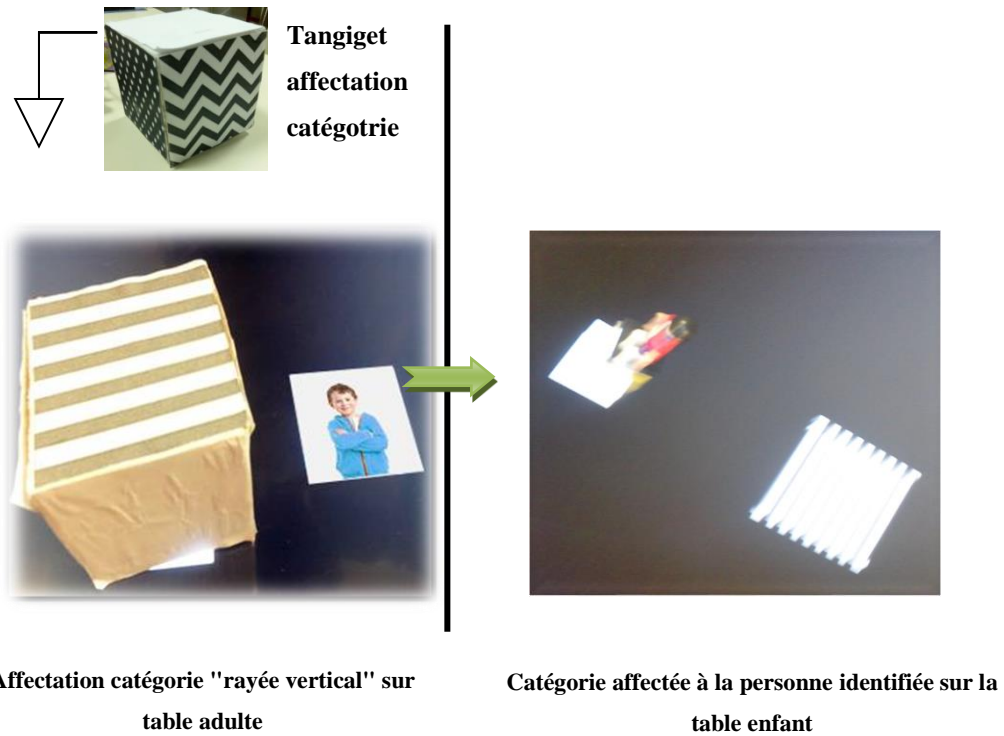


Figure 67. Le tangiget "affectation catégorie" posé sur la table adulte et affectation de la catégorie "rayé verticale" à l'enfant identifié

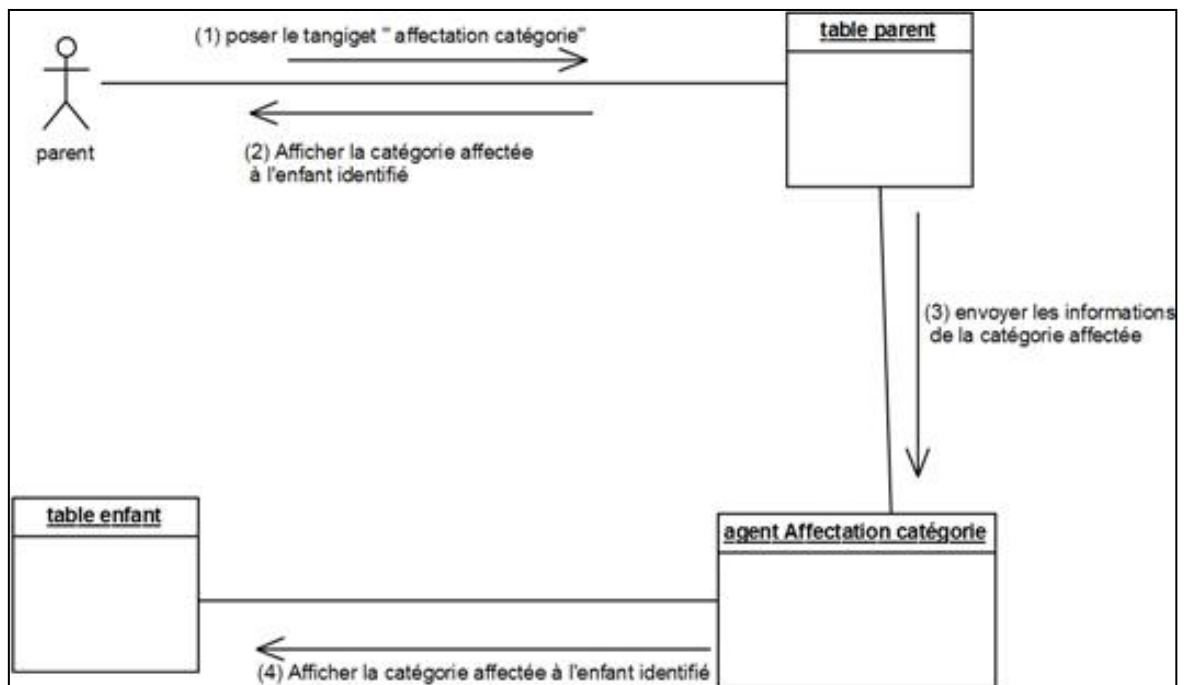


Figure 68. Diagramme de collaboration présentant la procédure de l'affectation d'une catégorie d'objet à l'enfant identifié

- **Tangiget "Start"** : Pour synchroniser le lancement de l'application sur les deux tables, l'adulte pose l'objet "Start" dans la zone de collaboration. L'interface de l'application est affichée en même temps pour les utilisateurs sur des tables interconnectés (Figure 69). Le diagramme de collaboration, visible en Figure 70 présente le fonctionnement du tangiget "Start" ainsi que son impact sur la synchronisation du lancement de l'activité sur les deux tables en parallèle. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "Start" est alors une instanciation de la catégorie " tangiget contrôle de l'application ".
- **Tangiget "Focus"** : c'est un tangiget dédié aux tâches de supervision (donc utilisable uniquement sur la table adulte dans le cas de l'application décrite). En plaçant le tangiget "Focus" dans la zone de collaboration, le contenu de la table enfant est affiché sous la forme d'une description textuelle détaillée par zone de couleur. Ce tangiget aide les utilisateurs de tables adultes à identifier les objets mal placés ainsi que de cerner le nombre d'objets posés par zone (Figure 71). Le diagramme de collaboration, visible en Figure 72, présente le fonctionnement du tangiget "Focus" ainsi que son impact sur l'affichage des informations échangées à distance. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "Focus" est alors une instanciation de la catégorie " tangiget contrôle de l'interface utilisateur ".
- **Tangiget "Zone de collaboration"** : Dans la version proposée, c'est le seul tangiget qui est purement virtuel et non tangible (Figure 73). Son rôle est d'identifier les objets placés dans cette zone et d'afficher les résultats souhaités en fonction de leurs rôles et en fonction du stade de l'exercice. Cet objet est dupliqué sur toutes les tables. Il est utilisé pour partager des informations (effet global). Le diagramme de communication, visible en Figure 74, présente le fonctionnement du tangiget "zone de collaboration" ainsi que les messages de collaboration échangés après la pose d'un objet incolore dans cette zone. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "zone de collaboration" est alors une instanciation de la catégorie " tangiget de contrôle ".

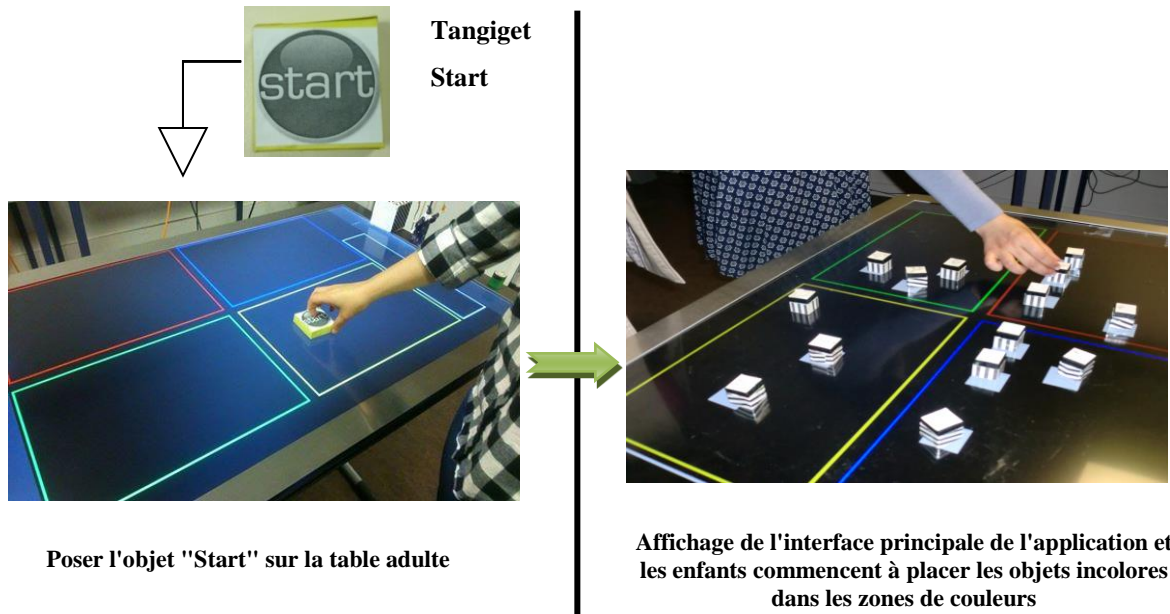


Figure 69. Le tangiget "Start " posé sur la table adulte et synchronisation de l'affichage de l'interface principale de l'application

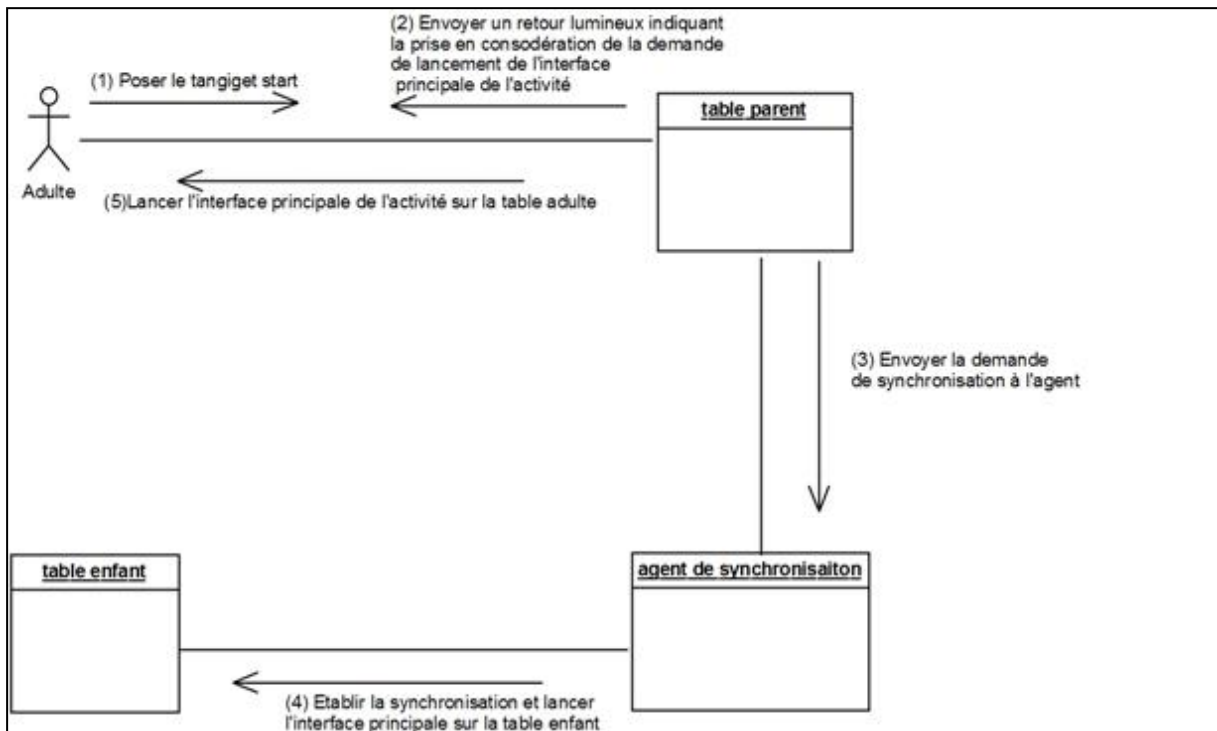


Figure 70. Diagramme de collaboration présentant la procédure de la synchronisation du début de l'activité collaborative

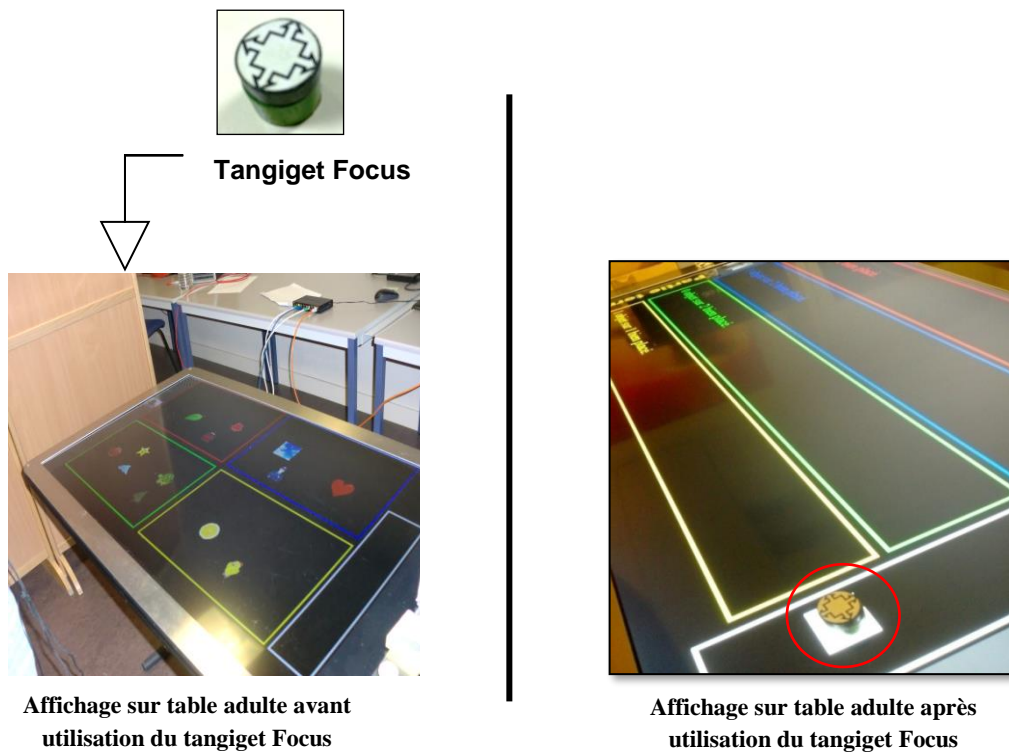


Figure 71. Tangiget Focus sur la table adulte et changement du mode d'affichage

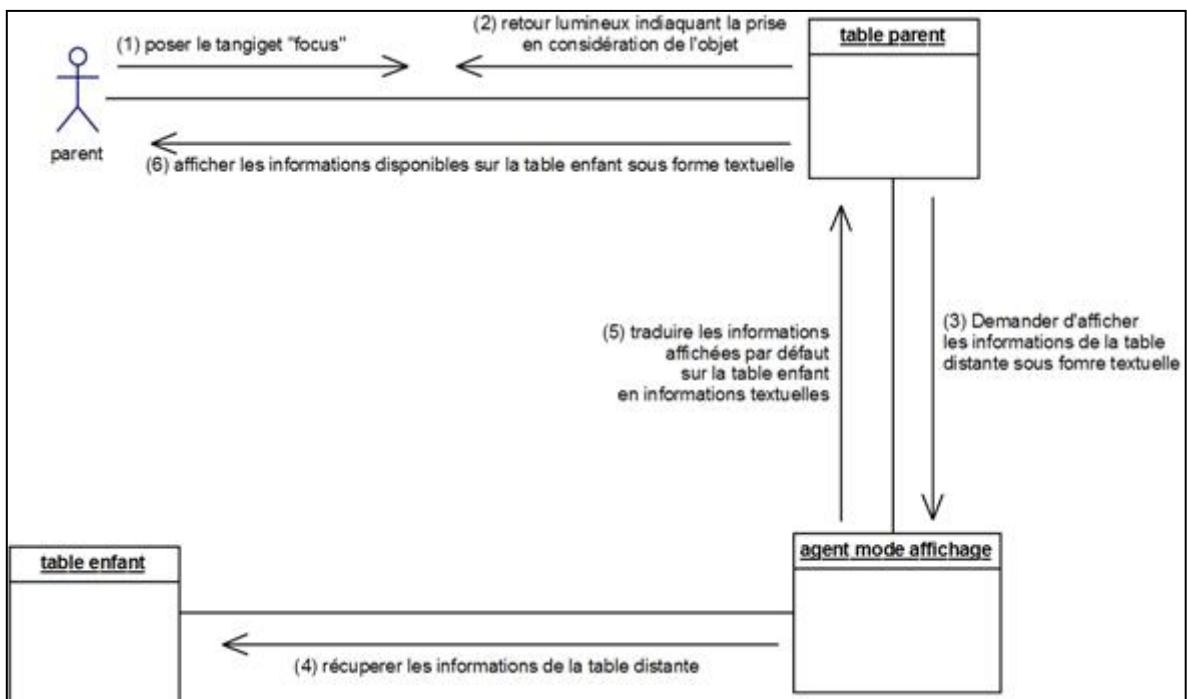


Figure 72. Diagramme de collaboration présentant la procédure du changement du mode d'affichage des informations de la table adulte à l'aide du tangiget " focus"

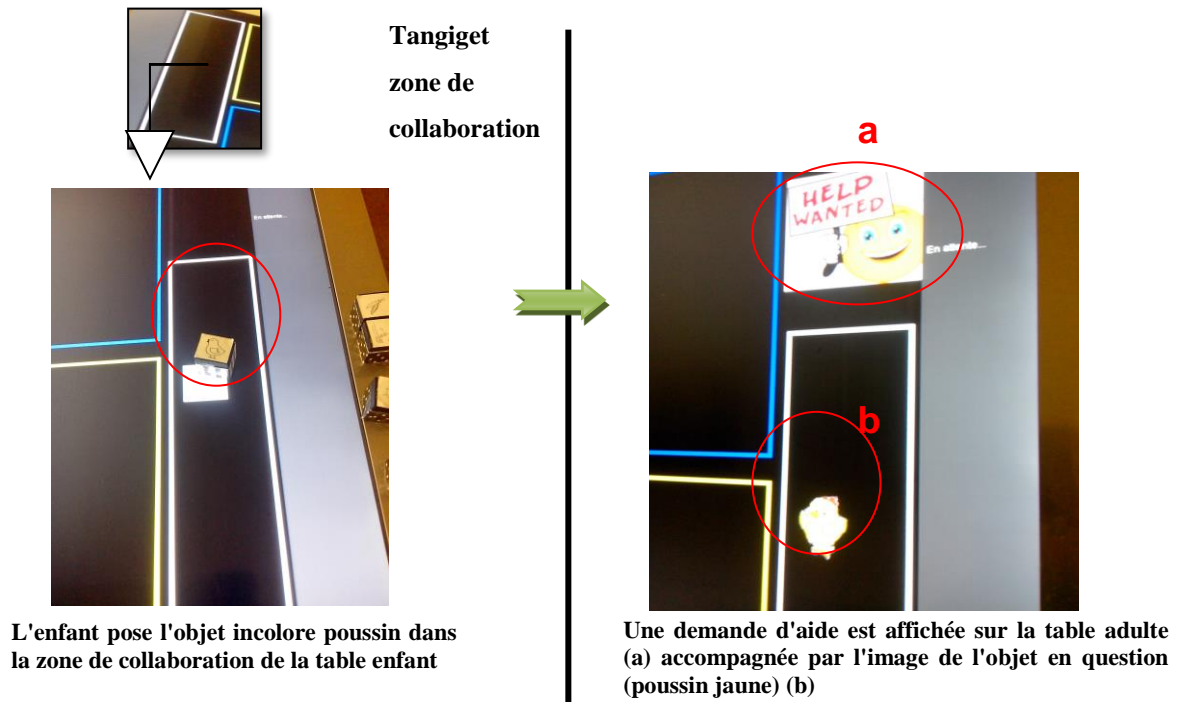


Figure 73. Tangiget zone de collaboration pour une demande d'aide

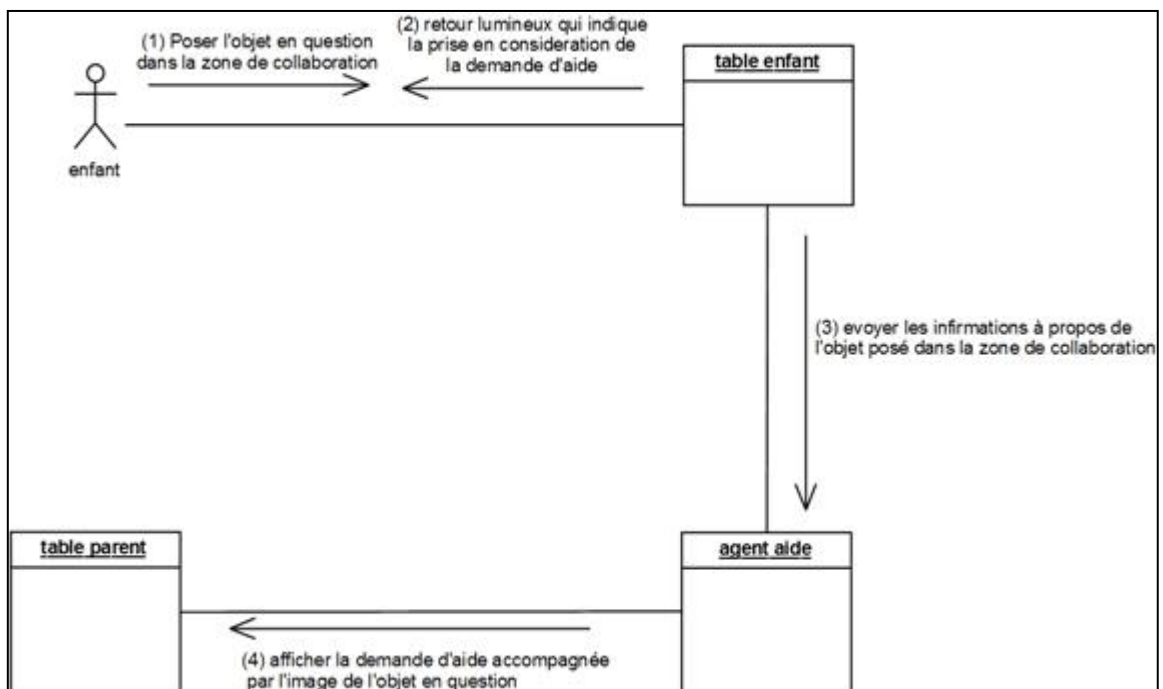


Figure 74. Diagramme de communication illustrant le tangiget zone de collaboration pour une demande d'aide à distance

- **Tangiget "Gomme"** : Comme nous l'avons vu avec le tangiget « zone de collaboration », si l'enfant rencontre une difficulté lors de la reconnaissance de la couleur d'un objet, il le place dans la zone de collaboration. La demande d'aide est

affichée sur la table à distance avec l'image de l'objet en question. Si l'adulte décide de l'aider, il peut éliminer les zones de couleur inappropriées à la couleur de l'objet en question. Il place le tangiget "gomme" dans la zone de couleur à éliminer ; celle-ci est alors barrée sur les tables enfants et adultes (Figure 75). Le diagramme de communication, visible en Figure 76, présente le fonctionnement du tangiget "gomme" ainsi que le type d'aide fourni par l'adulte. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "Gomme" est alors une instantiation de la catégorie "tangiget de coordination".

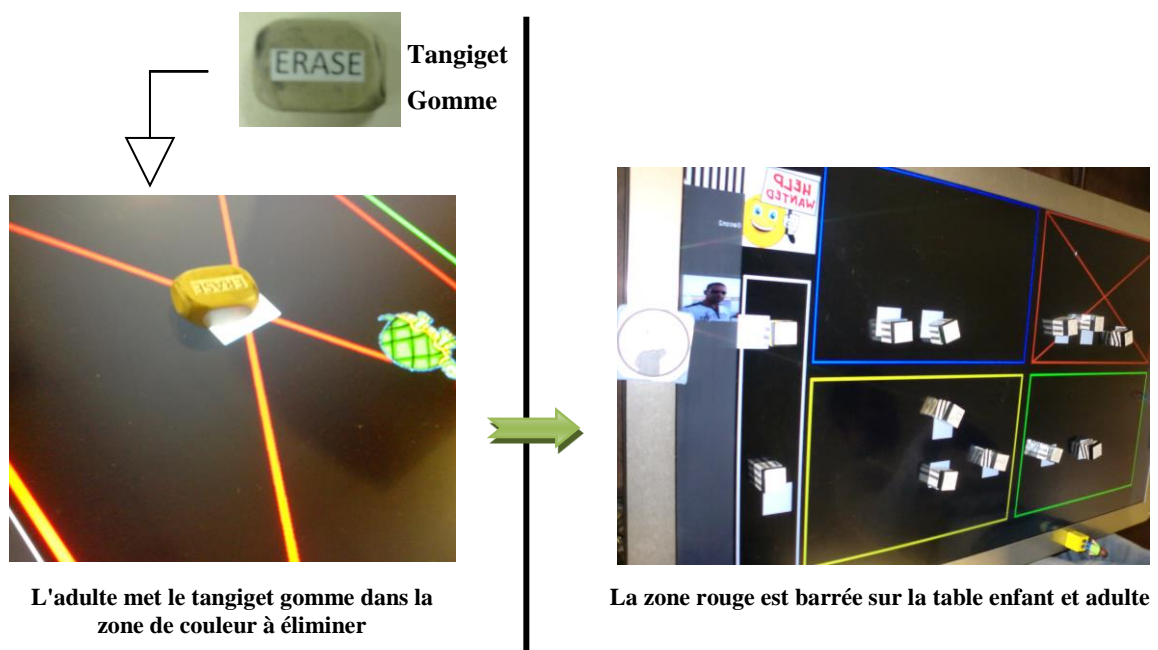


Figure 75. Le tangiget "gomme" pour une offre d'aide

- **Tangiget « Fin de l'exercice »** : Une fois que tous ses objets incolores sont placés sur les zones de couleur, l'enfant pose sa carte fine d'exercice dans la zone de collaboration, une notification est affichée sur la table adulte pour que ce dernier puisse commencer la correction à distance de l'exercice (Figure 77). Le diagramme de communication présenté dans la Figure 78 présente le fonctionnement du tangiget "fin de l'exercice" ainsi que le type d'information échangée. Selon le principe de son fonctionnement, l'objet "Fin de l'exercice" est alors une instantiation de la catégorie "tangiget contrôle de l'application".

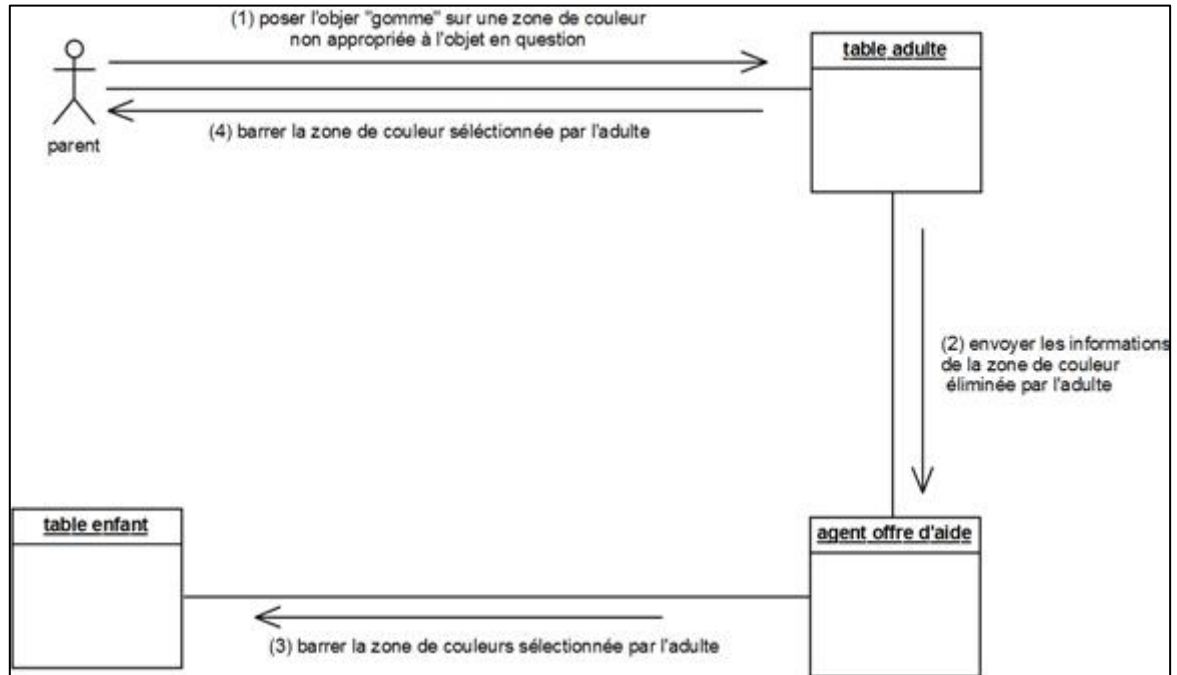


Figure 76. Diagramme de communication illustrant l'offre d'aide provenant de l'adulte

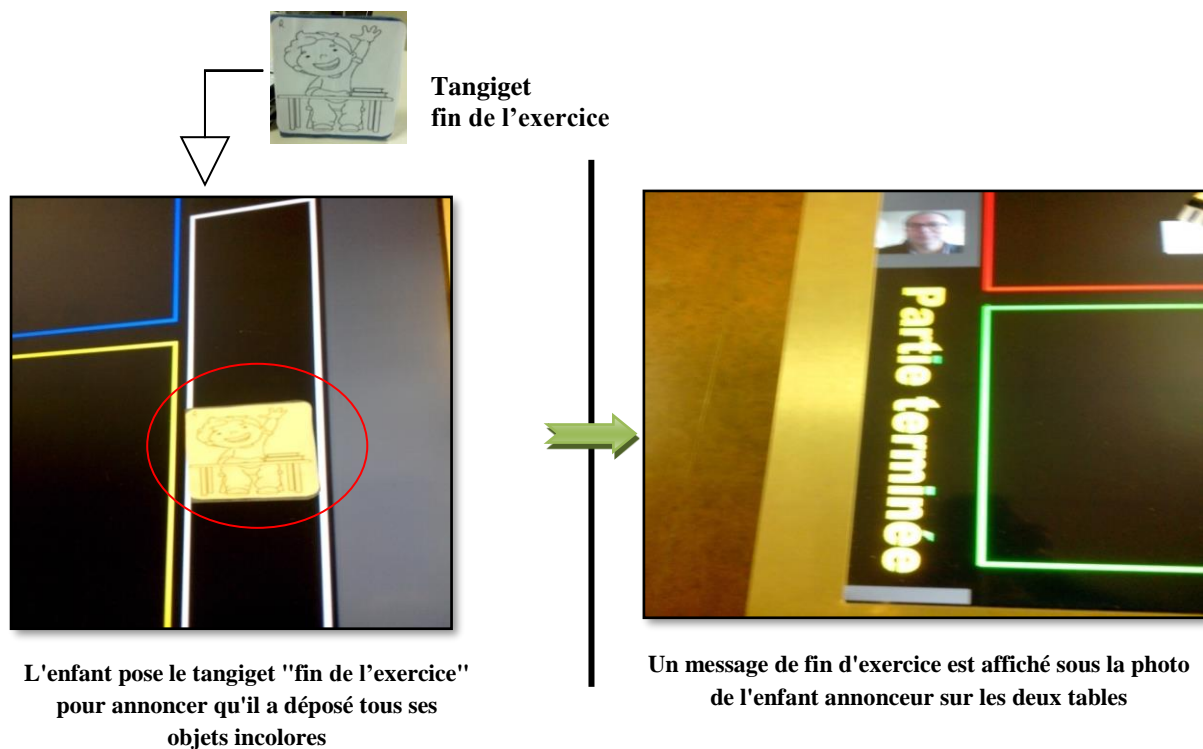


Figure 77. Le tangiget "fin de l'exercice" annonce la fin de la tâche



Figure 78. Diagramme de communication illustrant l'annonce de la fin de l'exercice.

Pour conclure avec l'application, on peut remarquer qu'afin de supporter la distribution d'applications partagées à distance, les tangigets sont utilisés avec différentes combinaisons dans les choix. Le Tableau 7 donne le résumé des choix effectués afin de fournir des tangigets à une telle application distribuée. Si un objet est utilisé sur une seule table par les utilisateurs de cette dernière, nous l'appelons un objet dédié, contrairement aux objets dupliqués que nous trouvons sur toutes les tables interconnectées. Un objet a un effet local, si le résultat de son utilisation n'apparaît que sur la table locale, par contre un objet a un effet global si le résultat de son utilisation apparaît sur les interfaces de toutes les tables interconnectées.

Tableau 7. Tangigets : les choix de distribution

Nom du tangiget	Dédié/dupliqué	Une/ toutes les tables	Effet Local/global
Carte personnelle d'identification	Dédié	Une seule table	Effet global
Catégorie	Dédié	Une seule table	Effet global
Start	Dédié	Une seule table	Effet global
Focus	Dédié	Une seule table	Effect local
Zone de collaboration	Dupliqué	Toutes les tables	Effet global
Gomme	Dédié	Une seule table	Effet global
Fin de l'exercice	Dédié	Une seule table	Effet global

5.4. Conclusion du chapitre

Après avoir présenté en début de ce chapitre, la table interactive TangiSense v2 support de nos recherches, nous avons décrit l'application distribuée que nous avons développée pour les tables interactives TangiSense. Cette application liée à l'apprentissage via un support collaboratif des enfants en école maternelle a permis de mettre en application l'ensemble des éléments que nous avons pu proposer tout au long de ce mémoire comme la prise en charge des tangigets (cf. chapitre 4, §4.4.3), l'apport de ces objets pour réussir les situations de collaboration à distance (cf. chapitre 4, §4.4). La mise en application a visé à utiliser notre proposition de modélisation de la collaboration distante et à l'adapter dans le cadre de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode distribué* décrite auparavant. Nous avons alors vu qu'il était possible, après avoir défini et implémenté les objets tangibles génériques, de prendre en considération les situations de collaboration pour les tables interactives et d'adapter les interactions distantes de celles-ci en fonction des situations de collaboration possibles.

La collaboration distante entre des tables interconnectées étant possible, il est indispensable d'évaluer notre proposition. Nous proposons donc dans le chapitre suivant de décrire l'évaluation qui a été effectuée. Celle-ci implique l'utilisation des tables interactives à interaction tangible dans un cadre collaboratif distant dans un environnement de recherche (en laboratoire).

Chapitre 6 - Evaluation de l'application collaborative distribuée et de ses tangigets

6.1. Introduction

Nous proposons dans ce chapitre de décrire une évaluation mettant en œuvre deux tables interactives TangiSense dans un contexte collaboratif. Cette évaluation vise à évaluer notre proposition d'utilisation des tables interactives dans un cadre collaboratif distant sur l'application d'apprentissage et reconnaissance des couleurs en mode distribué, décrite dans le chapitre 5, §5.3.

Notons que l'objectif de cette étude n'est pas d'évaluer l'application en soi, mais d'évaluer l'impact de l'utilisation des objets génériques tangigets sur la collaboration distante entre les utilisateurs du système, ainsi que l'utilité perçue du système et la satisfaction des utilisateurs et ceci selon la mise en application proposée dans le chapitre 5, §5.4.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord le protocole expérimental associé, ainsi que le déroulement de l'expérimentation, puis les résultats obtenus. Nous continuons cette étude avec une analyse des résultats. Finalement, nous terminons ce chapitre par une conclusion.

6.2. Méthodologie d'observation pour l'approche de collaboration distante entre les utilisateurs des tables interactives tangibles

Nous proposons dans cette section de décrire l'évaluation de notre proposition d'utilisation des tables interactives à interaction tangible, ainsi que d'un ensemble d'objets génériques, dans un cadre d'activité collaborative distribuée dans laquelle agissent plusieurs personnes en même temps. Cette évaluation est basée sur l'application développée dans le cadre de cette thèse, qui est l'application « Apprentissage et reconnaissance de couleurs en mode distribué » (Bouabid et al. 2017).

Pour cette étude, il s'agit pour trois utilisateurs adultes, placés devant les deux tables distantes (deux autour de la table nommée *table enfant* et un autre autour de celle nommée *table adulte*), de réaliser une activité collaborative composée d'un ensemble de tâches élémentaires ; ces tâches sont également collaboratives, chaque tâche correspondant à une situation de collaboration différente entre un utilisateur de la table enfant et un utilisateur de la table adulte (selon la situation). Cette activité consiste principalement à placer des objets dans des zones correspondantes (ayant un lien avec l'objet concerné, par exemple un objet ayant « perdu » sa couleur rouge dans la zone rouge) ; en réalisant cette activité, plusieurs étapes (telles que l'identification à distance, l'affectation de tâche, la demande et l'offre d'aide...) sont

à réaliser. Rappelons que l'objectif de cette étude n'est pas d'évaluer l'application en elle-même, mais l'adaptation des utilisateurs avec le principe de collaboration à distance via des tables interactives à interaction tangible et l'impact de l'utilisation des objets génériques sur le déroulement et la réalisation d'une tâche collaborative. Les principaux objectifs de cette évaluation sont :

- D'étudier la faisabilité et l'efficacité de la collaboration distante via des tables interactives à interaction tangible.
- De respecter un ensemble de principes qui cadrent la notion de collaboration, que ce soit en co-localisé ou à distance.
- D'étudier le taux d'acceptation et de familiarisation des utilisateurs avec une nouvelle méthode de communication, ainsi que leur compréhension de la méthode de communication et des messages échangés.
- D'étudier le comportement utilisateur, aussi bien envers les tables interactives tangibles dans le cas de partage d'information entre plusieurs tables, que relativement à l'utilisation des objets tangibles, dédiés d'une part à la communication, et d'autre part à l'application elle-même.

De ces points découlent plusieurs questions de recherche ; ces questions se basent principalement sur le trio cœur de cette recherche, visible en Figure 79:

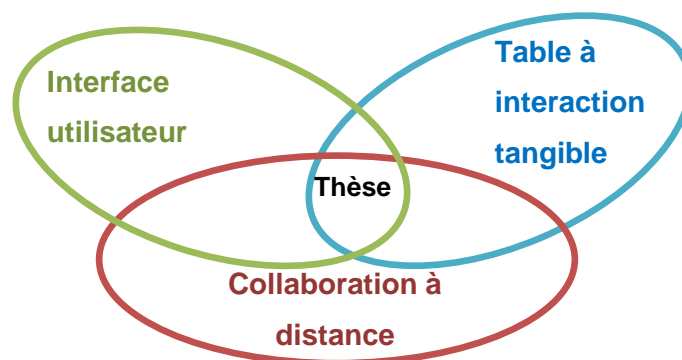


Figure 79. Illustration des domaines de recherche croisés dans cette thèse

QRI : Est-ce que l'utilisation des tables interactives tangibles permet d'assurer une communication et une collaboration à distance ?

- **QR 1.1** : est-ce que l'interaction via des objets tangibles pose des problèmes pour les utilisateurs de la table interactive ?

- **QR 1.2** : est-ce qu'une table à interaction tangible présente un support efficace pour une collaboration à distance ?
- **QR 1.3** : est-ce qu'une interface utilisateur partagée entre deux tables interactives tangibles est interprétée de la même façon par les différents collaborateurs ?
- **QR 1.4** : Le temps qu'un utilisateur de la table interactive a passé pour réussir la tâche demandée est-il variable ?

QR2 : Est-ce que la distribution des interfaces interactives tangibles peut être un avantage pour la collaboration distante entre plusieurs collaborateurs ?

- **QR 2.1** : est-ce que le partage de la même information sur plusieurs tables interactives est interprétable de la même manière ?
- **QR 2.2** : est-ce que l'affichage d'informations complémentaires sur plusieurs tables interactives peut favoriser la communication et la collaboration entre les différents utilisateurs distants ?
- **QR 2.3** : les différents affichages de l'information sur une interface utilisateur distribuée sont-ils interprétables de la même manière ?

QR3 : Est-ce qu'une activité collaborative peut être réussie à distance en utilisant une interface utilisateur distribuée sur des tables interactives tangibles ?

- **QR 3.1** : les situations de collaboration distantes peuvent-elles être applicables via les objets tangibles génériques (tangigets) entre plusieurs tables interactives ?
- **QR 3.2** : une activité collaborative composée de plusieurs tâches différentes peut-elle être réussie en utilisant seulement des tables interactives tangibles affichant des interfaces utilisateur distribuées ?
- **QR 3.3** : les différentes interactions collaboratives entre les utilisateurs des tables interactives sont-elles compréhensibles par les deux partenaires ?

6.3. Elaborer un plan d'expérimentation pour recueillir les informations

Afin de pouvoir répondre aux questions posées précédemment, nous basons nos travaux sur une application collaborative distribuée qui peut être classée dans le domaine des nouvelles technologies pour la formation. Cette application peut être vue de manière générique, puisqu'elle consiste avant tout en une tâche de classification sur une première table

interactive. Un aspect de supervision apparaît aussi dans la mesure où la tâche peut être supervisée à distance sur une seconde table interactive.

Sur la première table interactive est exploité un jeu éducatif d'apprentissage et reconnaissance de couleurs (pouvant être considéré comme un jeu sérieux), qui a été présenté dans le chapitre précédent, et dont la version centralisée provient de (Kubicki 2011). Rappelons que ce jeu sérieux s'adresse à des enfants de 3 à 5 ans. Les enfants sont invités à classer un ensemble d'objets ou d'images qui ont perdu leurs couleurs, dans quatre zones de couleur sur la table. Un tel exercice demande de l'enfant un certain niveau de connaissance.

6.3.1. Protocole

Le protocole utilise les éléments suivants : **(1)** deux tables interactives TangiSense v2 ; **(2)** quatre catégories d'objets tangibles passifs (une catégorie par sujet) à replacer dans les zones de couleurs appropriées (quatre zones de couleur) ; sur la table nommée table enfant **(3)**, deux objets génériques tangibles tangigets ayant les rôles d'authentification et annonce de la fin d'exercice (deux par utilisateur) et **(4)** un autre objet générique graphique commun servant pour les demandes d'aide à distance (une zone de collaboration) ; sur la table nommée table adulte **(5)**, quatre objets génériques tangibles tangigets ayant les rôles d'affectation de catégorie, de lancement du jeu sur les tables interconnectées, de changement du mode d'affichage des informations communiquées et d'offre aide, et **(6)** un autre objet générique graphique servant pour afficher les demandes d'aide des enfants à distance (une zone de collaboration, Figure 80), **(7)** un paravent séparant les deux tables interconnectées afin d'éliminer toute sorte de communication verbale ou physique entre les participants des deux tables, **(8)** un casque audio utilisé par le sujet sur la table adulte afin de ne rien écouter de la conversation qui se déroule à distance entre les utilisateurs de la table enfant (Figure 81 (a)), **(9)** deux caméras destinées à filmer la zone centrale des deux tables et capturant les réactions et dialogues des participants, **(10)** un appareil photo fournissant une vue globale de la scène (Figure 81 (b)) ; et **(11)** des questionnaires destinés aux participants (Figure 81 (c)).

6.3.2. Participants

Douze groupes composés chacun de trois adultes (36 participants au total dont 19 Hommes et 17 Femmes) ont participé à cette étude. Leur moyenne d'âge est de 29,5 ans, l'ensemble des

participants ayant entre 23 et 50 ans. Rappelons que nous considérons qu'il peut y avoir jusqu'à quatre utilisateurs autour de chaque table TangiSense, mais notre but derrière cette évaluation n'est pas vraiment l'évaluation de la collaboration co-localisée ou le comportement utilisateur autour d'un support collectif. Pour cela nous avons limité le nombre à deux utilisateurs sur la table enfant et un seul sur la table adulte.

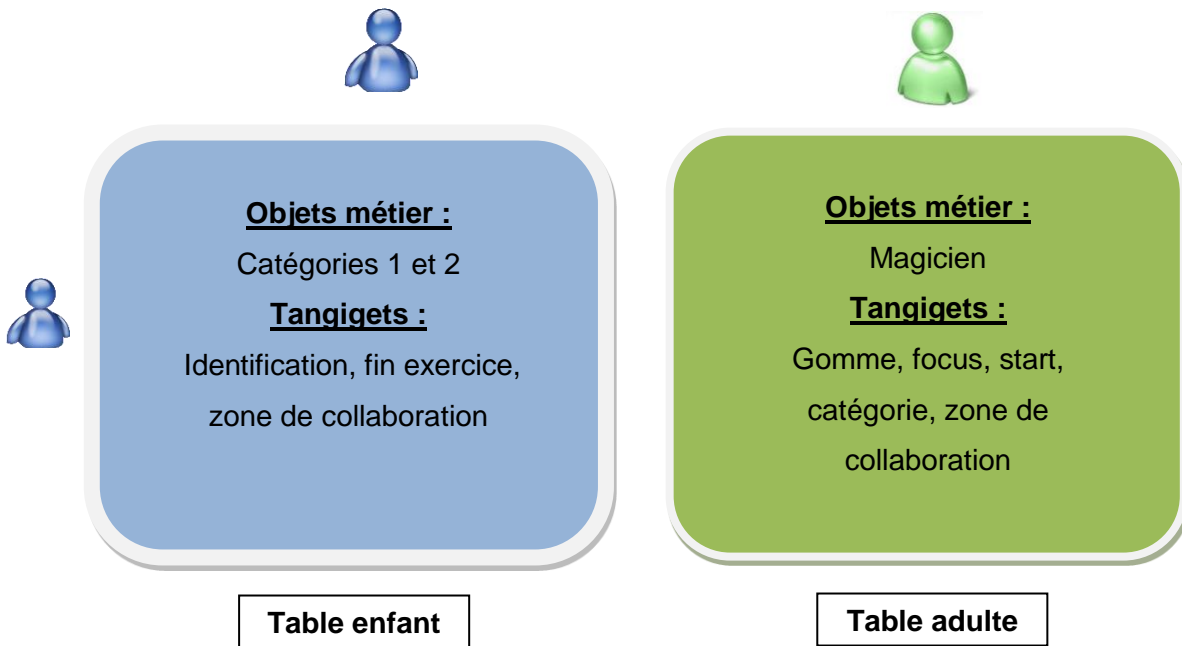


Figure 80. Classification des objets métier et des tangigets sur les deux tables



(a) séparation entre les tables par paravent, le sujet de la table adulte portant un casque audio

(b) enregistrement du déroulement des tests via des caméras installées devant chaque table interactive

(c) Remplissage des questionnaires par les participants

Figure 81. Environnement en laboratoire de l'expérimentation

6.3.3. Déroulement global pour l'ensemble des groupes

Avant de commencer les tests d'évaluation, nous avons fait une présentation de l'application pour chaque groupe. Cette présentation porte principalement sur le principe de collaboration à distance en utilisant les tables interactives ; elle explique l'interface principale de l'application ainsi que la manière dont on utilise les objets passifs ou les tangigets.

Arrive ensuite une phase de familiarisation au cours de laquelle les participants de chaque groupe (de G1 à G12) découvrent la table, les objets incolores, ainsi que les différents objets génériques fournis pour chaque sujet. Toute question peut être posée à ce stade et aucune directive n'est donnée aux participants afin de guider leurs comportements envers la table et les objets. Trois Scénarii sont ensuite proposés aux groupes afin de tester un ensemble de situations de collaboration possibles :

- Le premier Scénario est appelé « Scénario libre ». Au cours de celui-ci, les participants du groupe réalisent l'activité collaborative en toute liberté. Ils peuvent utiliser n'importe quel objet générique disponible, ils peuvent aussi ne pas les utiliser tous. Cette itération nous permet d'évaluer tout d'abord le taux de compréhension de la forme et de la signification de chaque objet tangiget utilisé ; elle permet ensuite de tester l'utilité de l'objet en question au cours de l'activité collaborative qui est composée d'un ensemble de tâches élémentaires collaboratives différentes.
- Le deuxième scénario est appelé : « Demande aide ». Au cours de celui-ci, il est demandé à chaque sujet devant la table enfant d'effectuer deux demandes d'aide différentes. Le but de ce scénario est d'évaluer la collaboration distante pour résoudre un problème commun entre les collaborateurs distants. La réalisation du reste de l'activité reste libre et sans aucune influence de la part du superviseur.
- Le troisième scénario est appelé : « Objets mal placés ». Au cours de celui-ci, les participants devant la table enfant sont invités à placer deux objets incolores dans des zones de couleurs non appropriées.

Il est important de souligner que l'adulte, sur l'autre table, n'est pas au courant des différents scénarios. Il est donc possible d'évaluer dans chaque cas son comportement envers une information erronée, qu'il a découverte à distance, comment il va réagir pour la corriger ou guider le collaborateur distant à trouver la bonne réponse. Les 12 groupes de test suivent le même protocole mais en permutant les trois situations de passage :

- G1 et G2 font le « scénario libre », puis le scénario « demande aide » à la fin le scénario « objets mal placés ».
- G3 et G4 font le « scénario libre », puis le scénario « objets mal placés » et à la fin le scénario « demande aide ».
- G5 et G6 font le scénario « demande aide », puis le « scénario libre » et à la fin le scénario « objets mal placés ».
- G7 et G8 font le scénario « demande aide », puis le scénario « objets mal placés » et à la fin le « scénario libre ».
- G9 et G10 font le « scénario objets mal placés », puis le « scénario libre » et à la fin le scénario « demande aide ».
- G11 et G12 font le scénario « objets mal placés », puis le scénario « demande aide » et à la fin le « scénario libre ».

On propose donc un plan d'expérience 2 x 3. Le facteur « rôle » peut avoir les valeurs enfants ou adulte, il est inter-sujets. Le facteur « scénario » ayant pour valeur les trois scénarios définis ci-dessus étant en carré latin contre-balancé. L'évaluation de cette application respecte une démarche prédéfinie, facilitant la capture des données. Afin de récupérer toutes les données et les informations concernant les tests déroulés, trois méthodes de récupération d'information sont utilisées : (1) les questionnaires (2) l'enregistrement automatique de l'évaluation et des mouvements réalisés sur la table grâce à une application « Replay » développée spécialement pour cette application et (3) l'enregistrement vidéo / photo des évaluations effectuées sur les tables interactives. La Figure 82 présente les différentes étapes de la procédure suivie pour l'évaluation.

6.3.4 Déroulement pour chacun des groupes G1 à G12

A l'arrivée, les participants remplissent un premier questionnaire (Q1) concernant leurs connaissances sur les tables et les nouveaux supports interactifs, ainsi que sur leur familiarisation avec des activités collaboratives. Les consignes leur sont données. Ils connaissent leur objectif (placer les objets dans les zones colorées et collaborer à distance avec la personne devant la table interactive distante, et ceci seulement via sa propre table interactive et les objets disponibles), Figure 83.

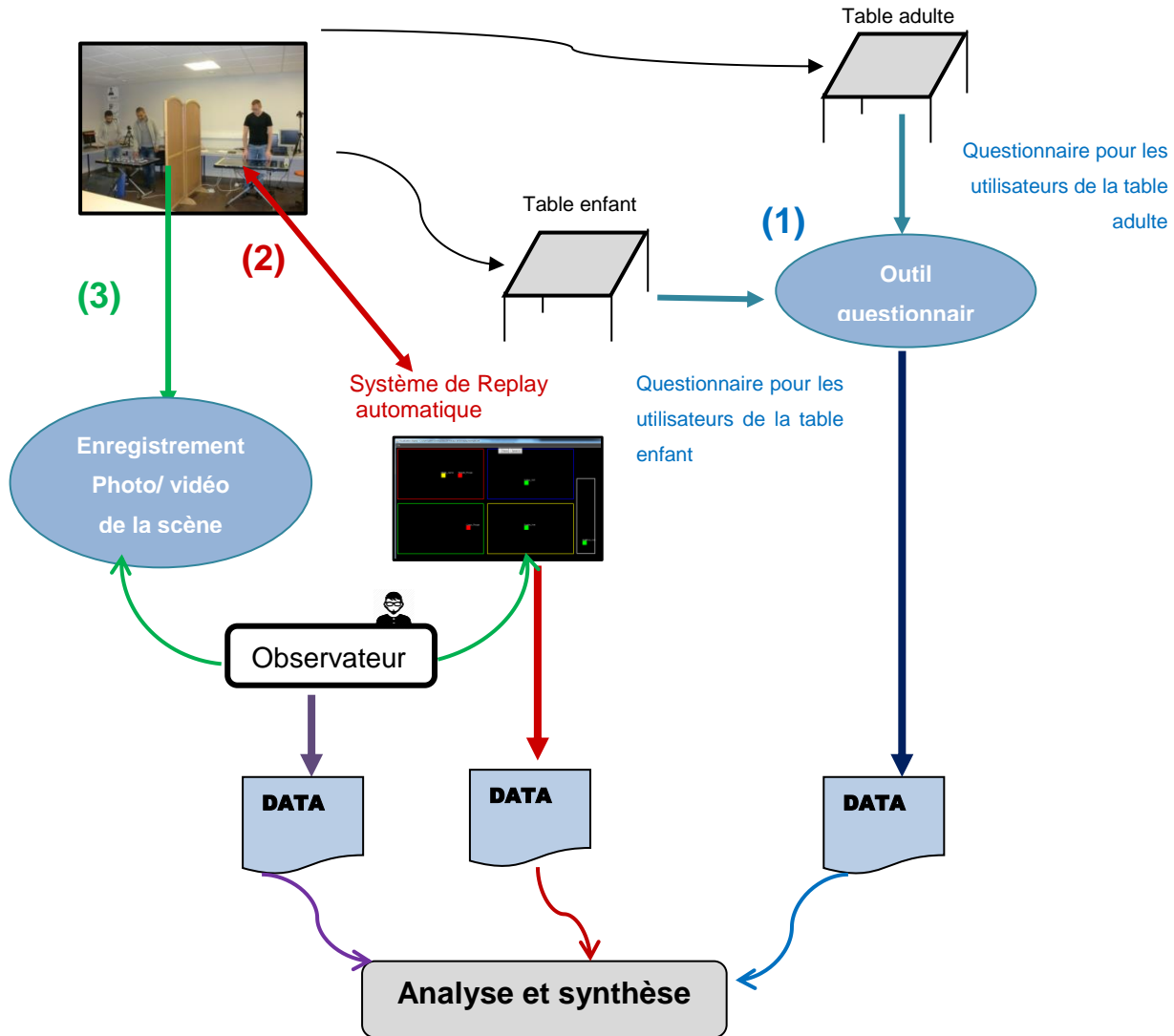


Figure 82. Les procédures de l'évaluation système

Chaque groupe se place devant les tables et fait une première itération de familiarisation, puis effectue ces 3 itérations de l'application dans l'ordre fixé par le superviseur. A la fin de cette expérimentation, les utilisateurs de la table enfant et celui de la table adulte remplissent deux questionnaires différents selon leur rôle (Q2 enfant) et (Q2 adulte), permettant d'estimer leur ressenti sur l'utilisation de la table pour réaliser des applications collaboratives à distance, sur chaque tangiget utilisé (sa signification par rapport à son rôle dans l'activité et la facilité de son utilisation), et sur l'information communiquée par l'autre table distante suite à l'utilisation d'un tangiget par le collaborateur distant (la compréhension de l'information communiquée et sa clarté).

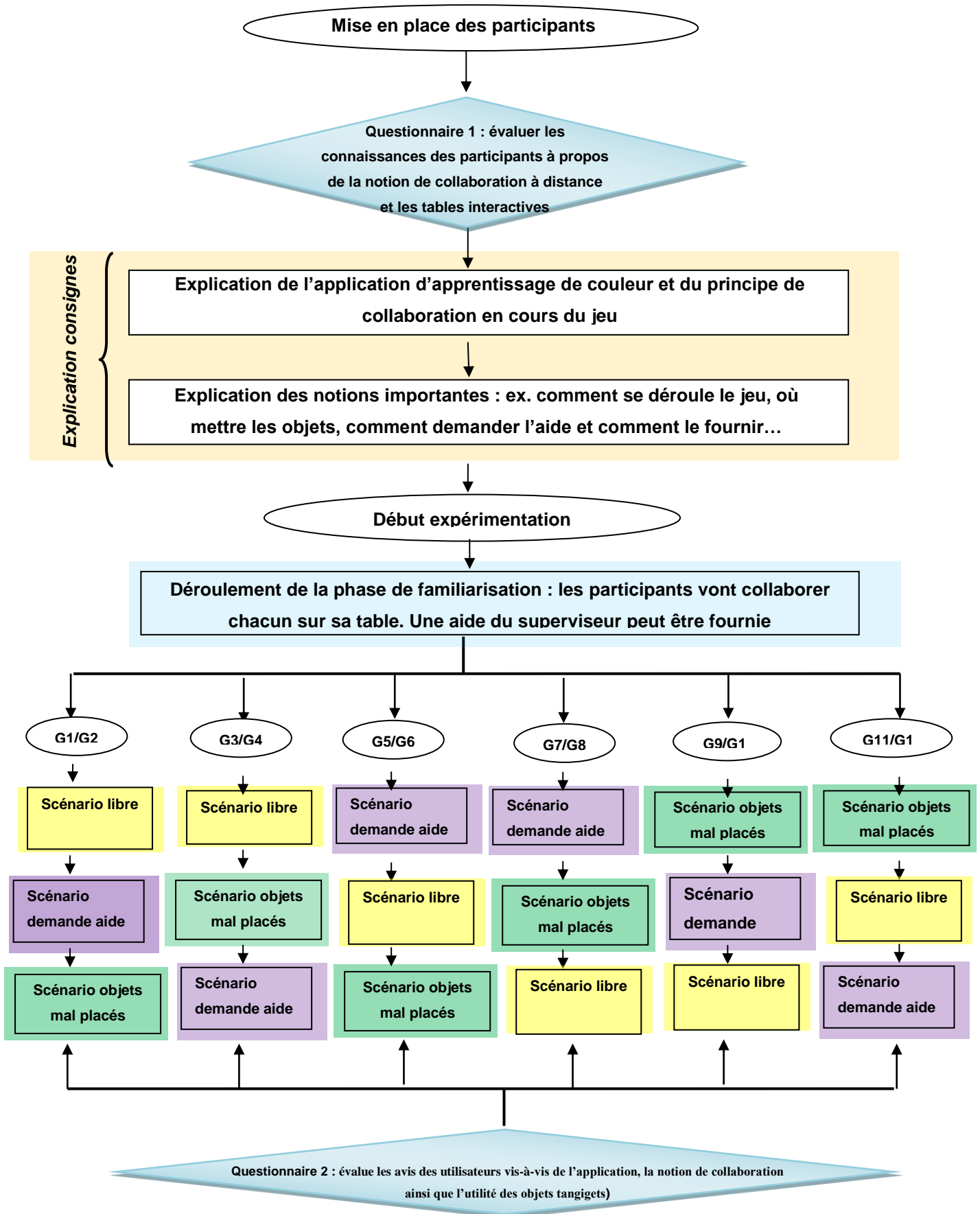


Figure 83. Progression des six groupes

Un dernier questionnaire commun (Q3) est rempli ; il concerne la satisfaction des utilisateurs de l'application « apprentissage des couleurs en mode distribué ».

Ce sont ces questionnaires que nous avons analysés afin de fournir les résultats de la section suivante (en nous appuyant également sur les vidéos et les fichiers traces enregistrés tout au long des itérations effectuées), voir Figure 84.

6.4. Résultats

Notre analyse se focalise sur les données issues des itérations, selon plusieurs situations, impliquant les groupes G1 à G12.

Grâce au déroulement prévu par le protocole, les questionnaires sont remplis individuellement à deux reprises : avant utilisation des tables, après l'utilisation. Précisons toutefois que les résultats sont interprétés d'une manière individuelle, et non par groupe de test. La Figure 84 (a) se réfère à la présentation de la question « Avez-vous l'habitude d'utiliser les grandes surfaces intelligentes (tableau interactif, mur interactif, sol interactif, table interactive ...) ? », alors que la Figure 84 (b) se réfère à la question « Avez-vous besoin de travailler en groupe (avec des collègues, dans le cadre d'une association ...) ? ». Les résultats montrent que, malgré leurs besoins de communiquer et de collaborer à plusieurs, les participants n'ont pas l'habitude d'utiliser des nouvelles technologies facilitant leur collaboration dans le cadre du travail ou dans d'autres contextes. Par contre, relativement à l'utilisation des applications collaboratives en ligne (Figure 84 (c)) ou des outils de communication à distance (Figure 84 (d)), la majorité a affirmé qu'elle a l'habitude d'en utiliser, ce qui facilite leur acceptation d'un outil qui facilite et couvre le besoin en communication et en collaboration distante.

Au vu des premières observations, les participants ont dans un premier temps été impressionnés par la table interactive. Ils se sont rapidement familiarisés avec celle-ci et ont bien compris le principe d'interaction avec des objets tangibles et virtuels, et à leurs fonctions associées. Après l'utilisation des tables interactives et l'exploitation de l'application collaborative (que ce soit pour les participants qui ont passés le test sur la table enfant ou sur la table adulte), la majorité des sujets a exprimé sa satisfaction de l'application ainsi de la nouvelle manière de collaborer à distance : le questionnaire SUS de satisfaction, rempli par les 36 participants, a donné les résultats suivants (présentés dans la Figure 85).

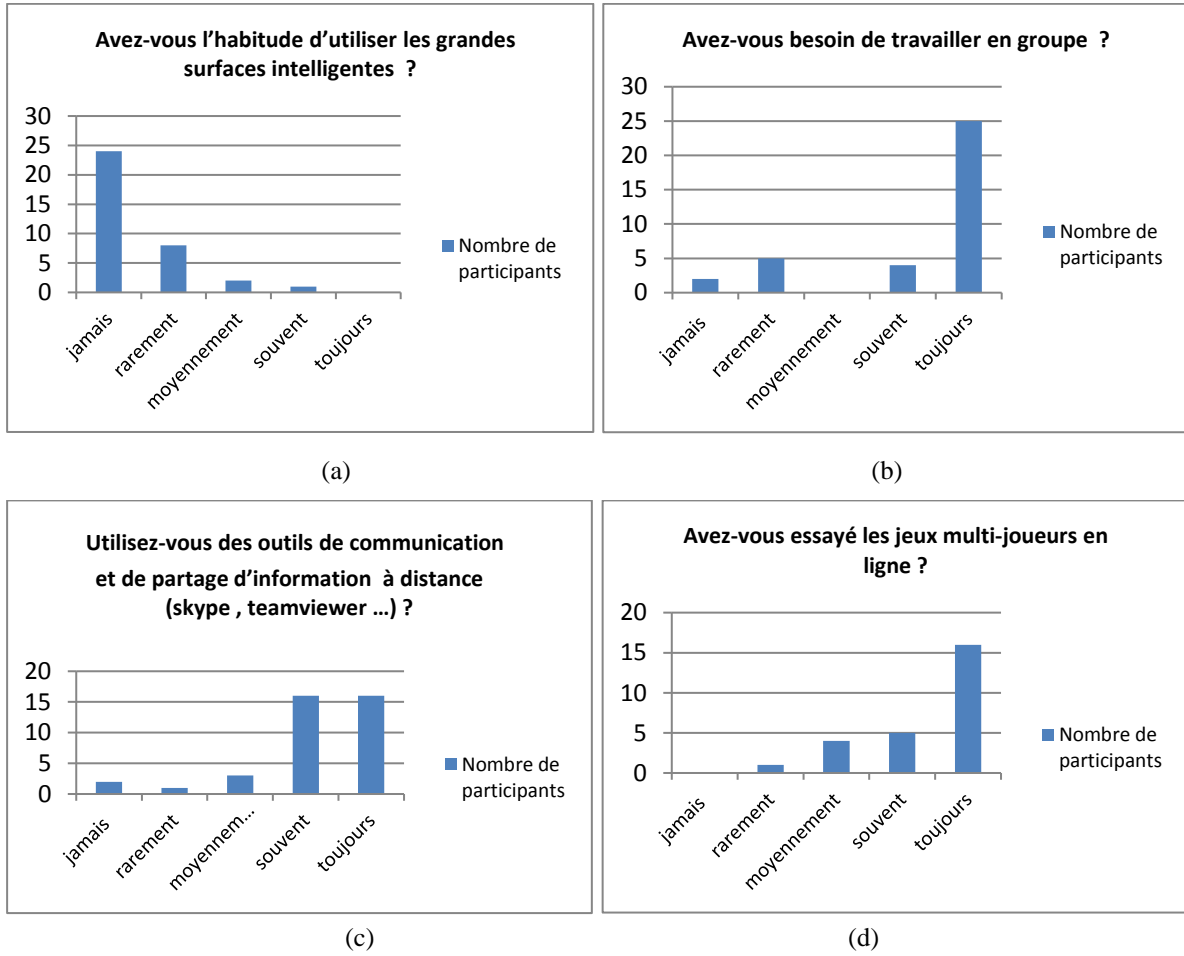


Figure 84. Résultats des questionnaires remplis par les participants

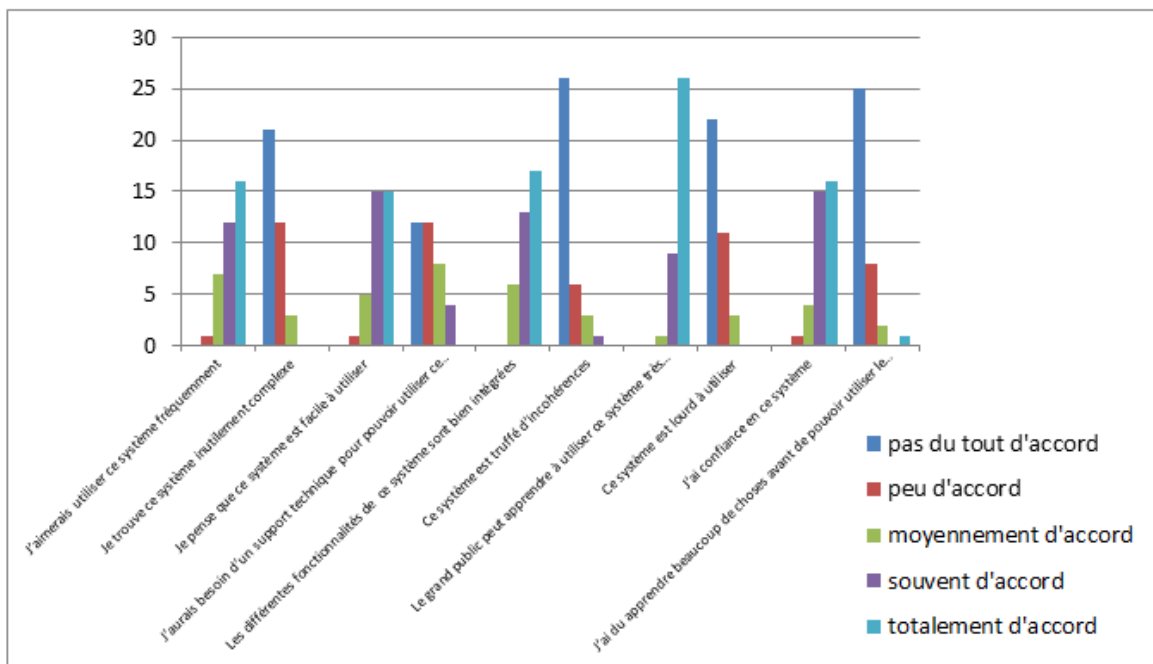


Figure 85. Présentation des résultats du questionnaire SUS

Le rôle des tangigets a également bien été compris. Les observations montrent que les participants commencent généralement par toucher et observer la forme des tangigets afin de déduire leurs fonctions dans l'application. Puis suite au placement du tangiget *identification* sur la table, le participant devant la table adulte reçoit une information à propos de l'identité de la personne identifiée, et il choisit, parmi les tangigets disponibles sur sa table, de réagir à cette information communiquée ; ce principe d'action/réaction pousse cette collaboration distante à évoluer au fur et à mesure, et à l'exploitation progressive des fonctionnalités offertes par la table et les différents tangigets. Les participants essaient d'utiliser tous les tangigets disponibles et exploitent les différentes manières de les utiliser (emplacement, couplage avec d'autres objets...). Notamment, lors de la demande d'aide, l'adulte utilise parfois le tangiget *gomme* pour barrer les zones de couleurs inappropriées et utilise ensuite l'objet *magicien* afin de fournir une aide globale pour les collaborateurs distants (voir Figure 86).

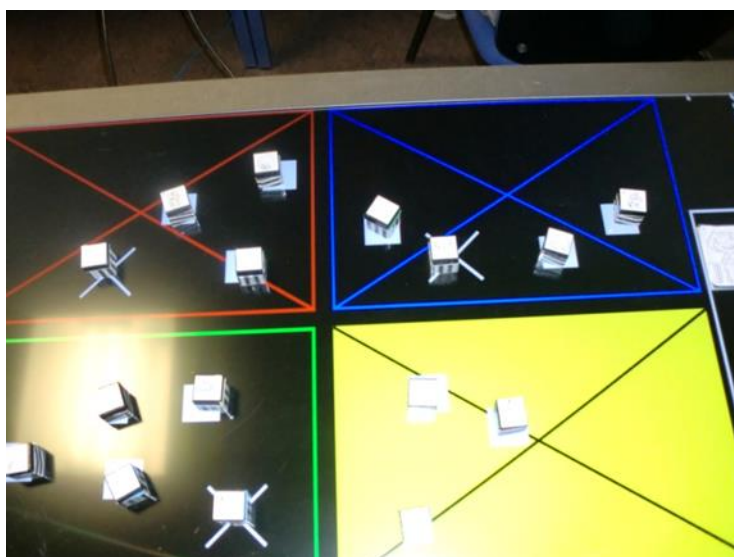


Figure 86. Utilisation du tangiget *gomme* couplé avec l'objet *magicien* afin de fournir une aide globale aux utilisateurs de la table enfant

Les résultats des questionnaires remplis par les utilisateurs de la table enfant, concernant les objets génériques utilisés et manipulés sur leur table, sont fournis en Figure 87. La Figure 87 (a) confirme le fait que les utilisateurs de la table enfant se sont bien familiarisés avec l'application collaborative et la communication distante via la table ; cela correspond à la réponse à la question « Vous semble-t-il pertinent de travailler à distance à plusieurs sur l'espace distribué offert par les tables interactives connectées ? ».

Tableau 8. Le score obtenu pour chaque sujet suite au calcul des résultats du questionnaire SUS

Sujet	Score 1	Score 2	Total SUS
1	19	17	90
2	20	17	92,5
3	18	17	87,5
4	17	17	85
5	19	19	95
6	17	18	87,5
7	18	19	92,5
8	17	19	90
9	17	19	90
10	16	16	80
11	16	18	85
12	17	16	82,5
13	13	17	75
14	17	14	77,5
15	20	18	95
16	14	13	67,5
17	13	17	75
18	16	15	77,5
19	17	18	87,5
20	18	20	95
21	17	17	85
22	16	11	67,5
23	14	14	70
24	19	19	95
25	17	18	87,5
26	18	20	95,5
27	15	16	77,5
28	15	16	77,5
29	12	15	67,5
30	10	15	62,5
31	19	20	97,5
32	19	19	95
33	20	19	97,5
34	17	15	80
35	14	16	75
36	20	20	100

Le comportement des utilisateurs de la table enfant envers chaque tangiget était par la suite évalué (un tangiget après l'autre). A la question « L'objet *identification* vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ? » (Figure 87 (b)), les résultats montrent que le tangiget a été significatif et que son utilisation n'a pas été compliquée pour les utilisateurs. Les résultats de la réponse à la question « Pouvez-vous manipuler l'objet *Identification* facilement ? » sont présentés dans la Figure 87 (c).

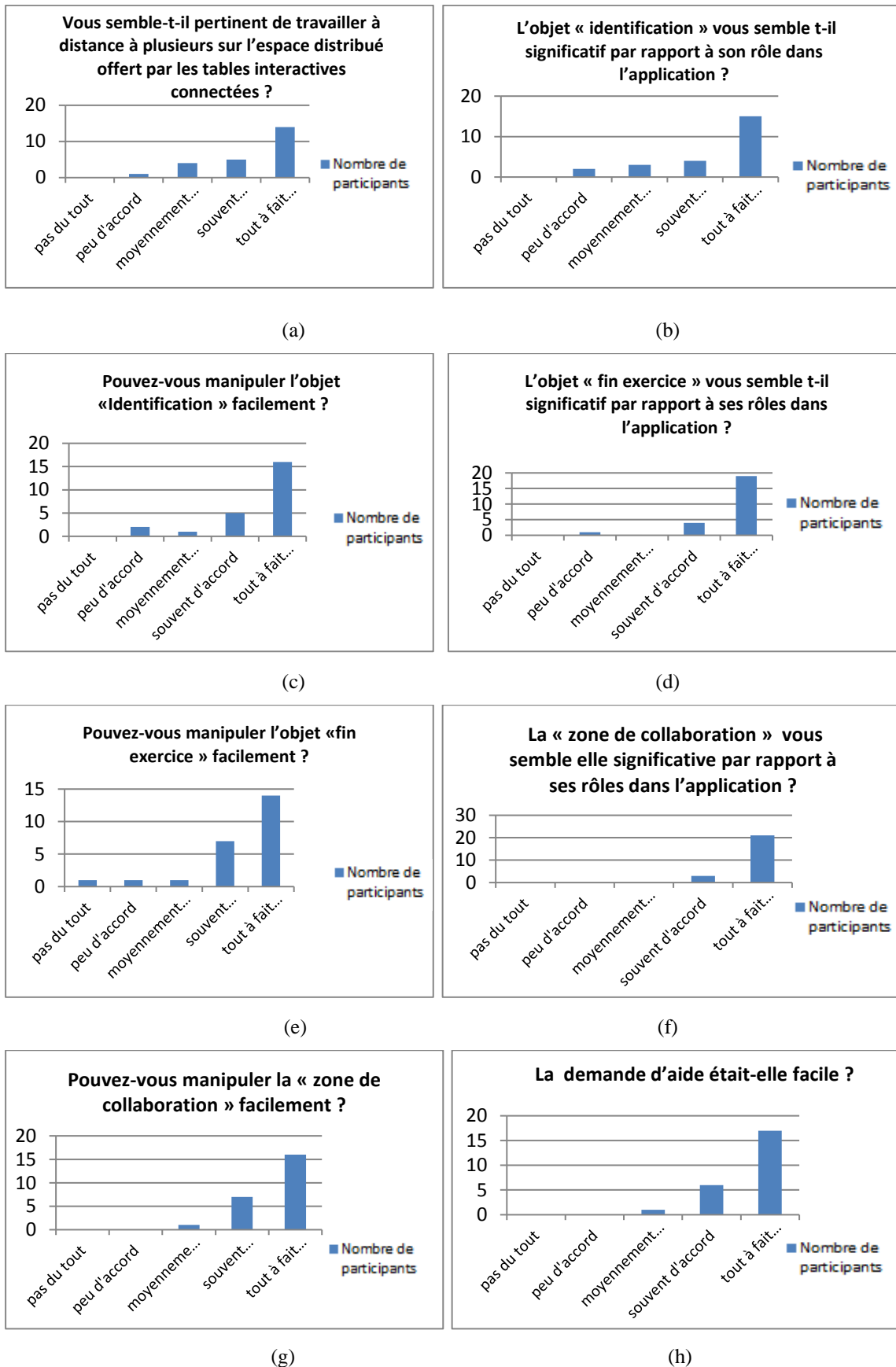


Figure 87. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table enfant à propos des tangigets utilisés directement

Si on se réfère à la Figure 87 (d) et la Figure 87 (e), on constate que les utilisateurs ont perçu le tangiget *fin exercice* comme un tangiget significatif et facile à utiliser ; une seule remarque a été formulée de la part des participants concernant la pose de l'objet à la fin de la tâche individuelle ou bien à la fin des tâches à réaliser par les deux utilisateurs de la table enfant. Finalement, la réponse à la question « La demande d'aide était-elle facile ? » est présentée dans la Figure 87 (f) : la majorité des participants affirme que l'utilisation combinée des objets incolores et la zone de collaboration afin de demander l'aide est facile à réaliser.

Les résultats des questionnaires remplis par les utilisateurs de la table enfant suite à l'utilisation des tangigets sur la table distante par le collaborateur sont fournis en Figure 88.

La Figure 88 (a) confirme le fait que la collaboration à distance, afin de résoudre un problème commun, peut être réussie via l'utilisation des tables interactives et les objets dédiés à cette collaboration ; la majorité des participants acceptent cette nouvelle méthode (pour eux selon le questionnaire Q1) de collaboration distante et encourage son utilisation. Le comportement des utilisateurs de la table enfant envers les tangigets est par la suite évalué (un tangiget après l'autre). A la question « La correction de l'exercice était-elle assez claire pour pouvoir corriger les erreurs ? » (Figure 88 (b)), les résultats montrent que l'aide a été significative dans la plupart des cas. Cependant, nous avons remarqué à ce propos une utilisation secondaire ou non identifié par les concepteurs de l'objet métier « magicien ». En effet, à un stade de l'exercice, l'utilisateur de la table adulte préfère parfois offrir une aide globale à propos de tous les objets posés sur la table et c'est en utilisant l'objet « magicien », cette utilisation peut être considérée comme une deuxième fonctionnalité de l'objet « magicien » et elle nous pousse à réfléchir à propos de la classification de ce dernier, est ce qu'il est vraiment un objet métier qui n'a pas de rôle significatif/ direct dans la collaboration distante ou bien pouvons-nous le considérer comme un tangiget de type tangiget de communication qui présente la situation de collaboration (**SGP** (*Work on the Same General Problem but from different starting points*)). Les résultats de la réponse à la question « L'étape de l'affectation de la catégorie était-elle claire ? » sont présentés dans la Figure 88 (c). Nous avons remarqué une affirmation de la part d'une majorité des participants à propos de la clarté de l'affectation et la compréhension de l'information communiquée à propos de la catégorie de chaque utilisateur. La seule remarque que l'observateur a notée est que les motifs utilisés pour différencier les catégories causent parfois une confusion chez les utilisateurs. Dans l'application centralisée, les catégories étaient différenciées par des couleurs et cela avait apporté une confusion entre

la couleur de la catégorie et la couleur de l'objet à placer. Cela pourra donc encore faire preuve d'amélioration pour une version suivante. Cependant, cette confusion n'a pas semblé perturber le déroulement de la partie.

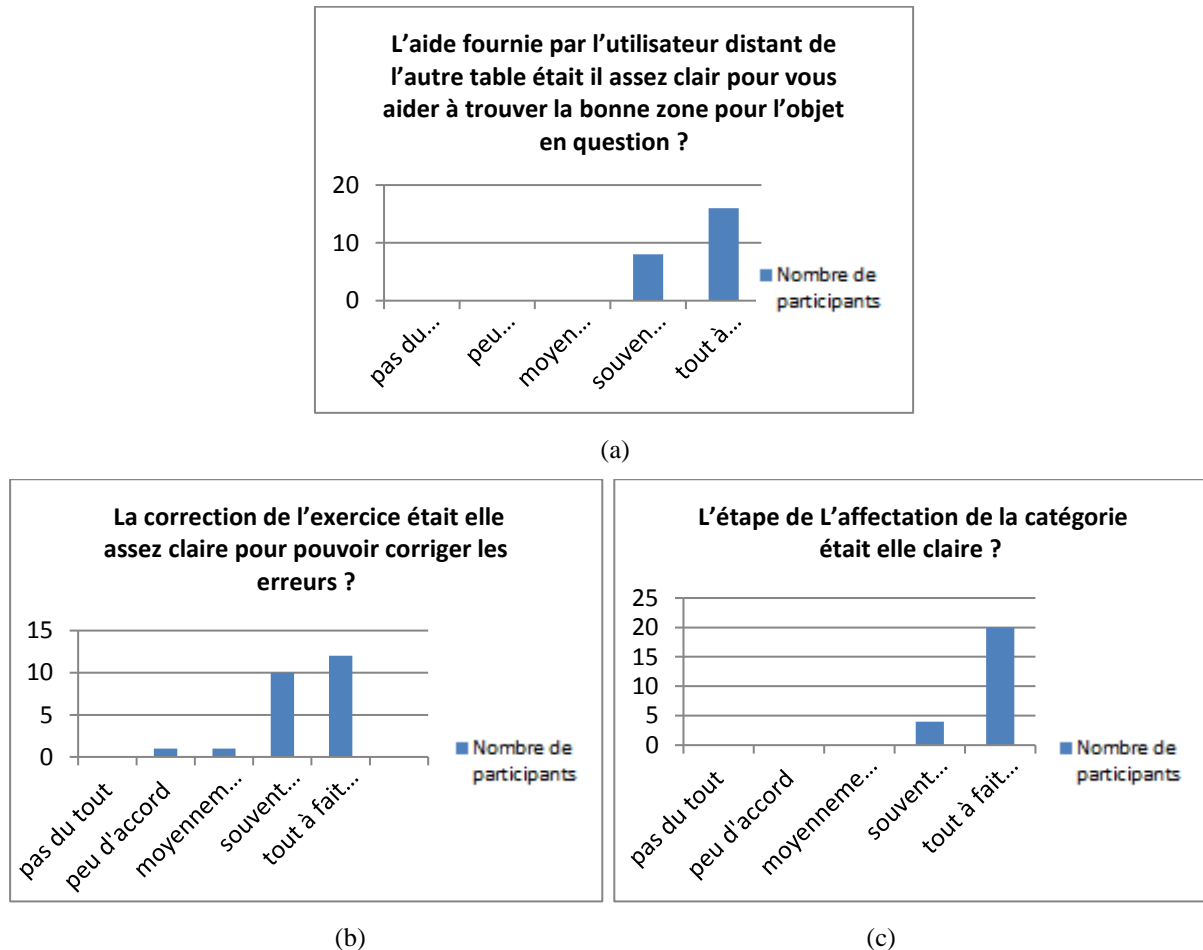


Figure 88. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table enfant à propos des informations communiquées suite à l'utilisation des tangigets sur la table adulte

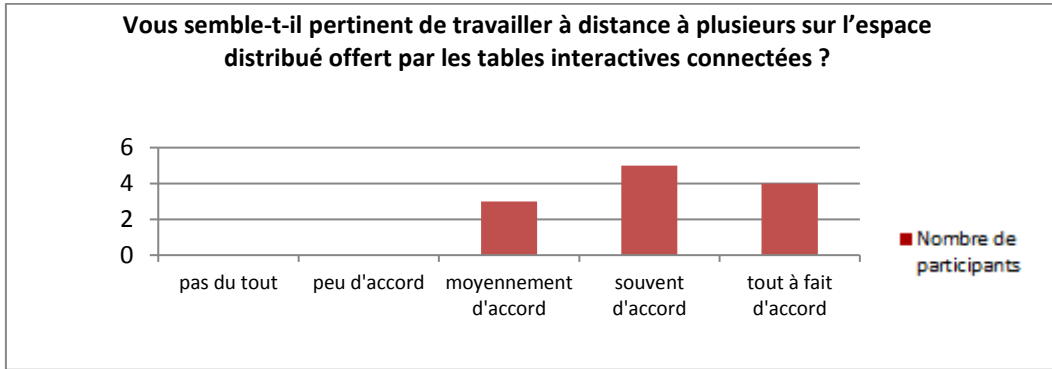
Les résultats des questionnaires remplis par les utilisateurs de la table adulte (correspondant au second facteur) concernant les objets génériques utilisés et manipulés sur leur table sont fournis en Figure 89. La Figure 89 (a) confirme le fait que les utilisateurs de la table adulte se sont bien familiarisés avec l'application collaborative et la communication distante via la table ; voir à ce sujet la réponse à la question « Vous semble-t-il pertinent de travailler à distance à plusieurs sur l'espace distribué offert par les tables interactives connectées ? ». Le comportement des utilisateurs de la table adulte envers les tangigets était par la suite évalué (un tangiget à la fois). Toutefois, à la question « l'objet catégorie vous semble-t-il significatif par rapport à ses rôles dans l'application ? » (Figure 89 (b)), les résultats montrent que le tangiget a été significatif et que son utilisation n'a pas été compliquée pour l'utilisateur. Les

résultats de la réponse à la question « Pouvez-vous manipuler l'objet « catégorie » facilement ? » sont présentés dans la Figure 89 (c) ; les participants affirment que l'objet est majoritairement facile à manipuler et à utiliser tout au long du jeu. Si on se réfère à la Figure 89 (d) et la Figure 89 (e), les utilisateurs ont perçu le tangiget « start » comme un tangiget significatif et facile à utiliser.

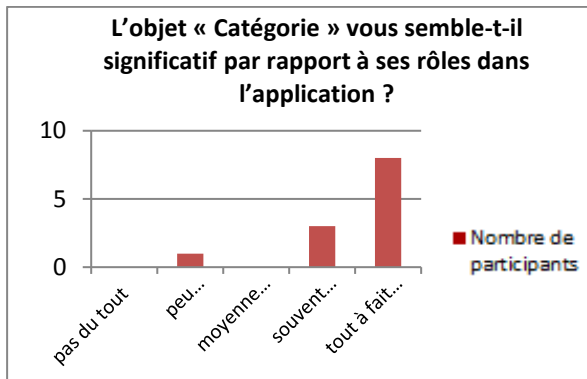
La réponse à la question « L'objet *gomme* vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ? » est présentée dans la Figure 89 (f) ; celle à la question « Pouvez-vous manipuler l'objet « gomme » facilement ? » est visible en Figure 89 (g). La majorité des participants affirme que l'utilisation de l'objet *gomme* en tant qu'outil d'« offre aide » a été facile et significative.

Le tangiget « focus » a été celui le plus critiqué lors de cette évaluation. En effet, son rôle dans cette application n'a pas été très significatif ou vu comme obligatoire ; ceci est dû à la rapidité des échanges de collaboration entre les différents utilisateurs, à l'attractivité des images affichées sur la table et à la non-complexité des informations affichées (on peut les interpréter directement sans besoin de changer l'affichage). C'est pourquoi nous trouvons comme réponse à la question « L'objet « focus » vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ? » (Figure 89 (h)) des réponses qui varient entre ceux qui sont d'accord et d'autres qui ne sont pas totalement d'accord. Par contre à la question « Pouvez-vous manipuler l'objet *focus* facilement ? » (Figure 89 (i)), les réponses sont divisées entre une satisfaction totale et une satisfaction partielle de la part des utilisateurs.

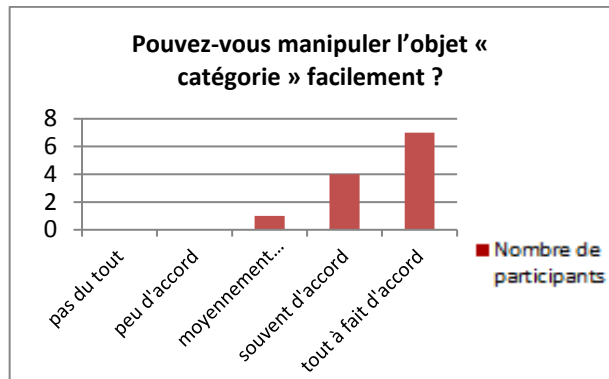
Enfin la réponse aux questions « La « zone de collaboration » vous semble-elle significative par rapport à ses rôles dans l'application ? » (Figure 89 (j)) et « Pouvez-vous manipuler la « zone de collaboration » facilement ? » (Figure 89 (k)) montrent que la zone de collaboration est un tangiget important et significatif aux utilisateurs de la table adulte ; cette zone permet de communiquer le message d'une façon organisée et cohérente. Les résultats des questionnaires remplis par les utilisateurs de la table adulte concernant les informations communiquées suite à l'utilisation des tangigets sur la table distante par le collaborateur sont fournis en Figure 90.



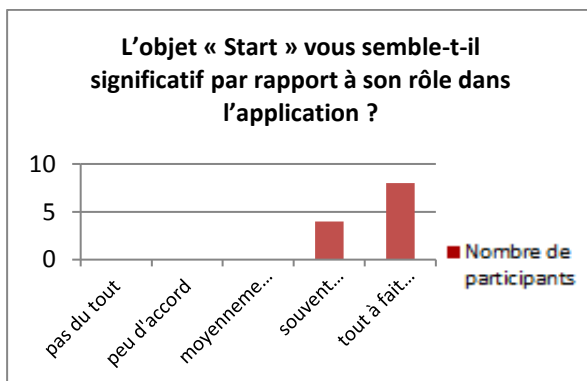
(a)



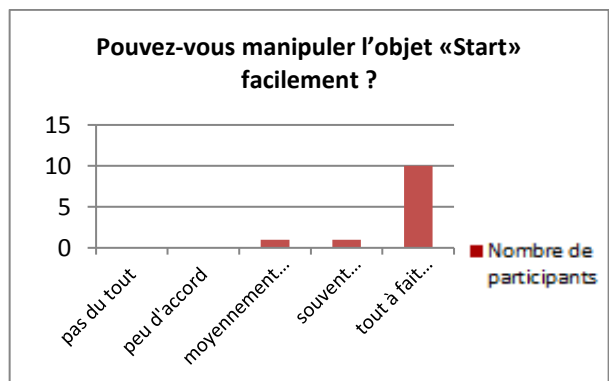
(b)



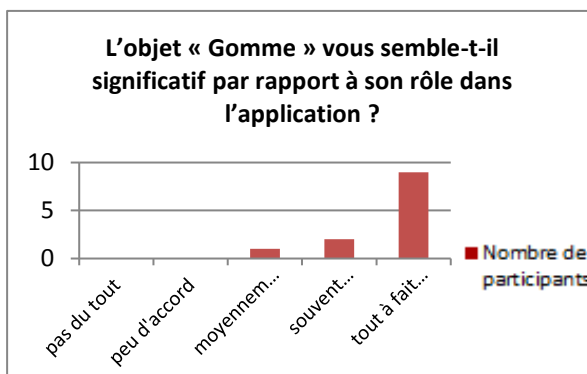
(c)



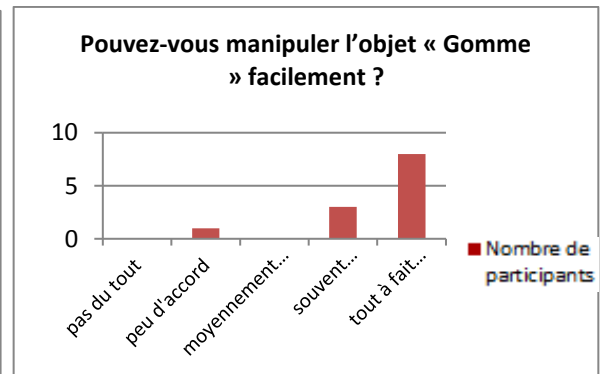
(d)



(e)



(f)



(g)

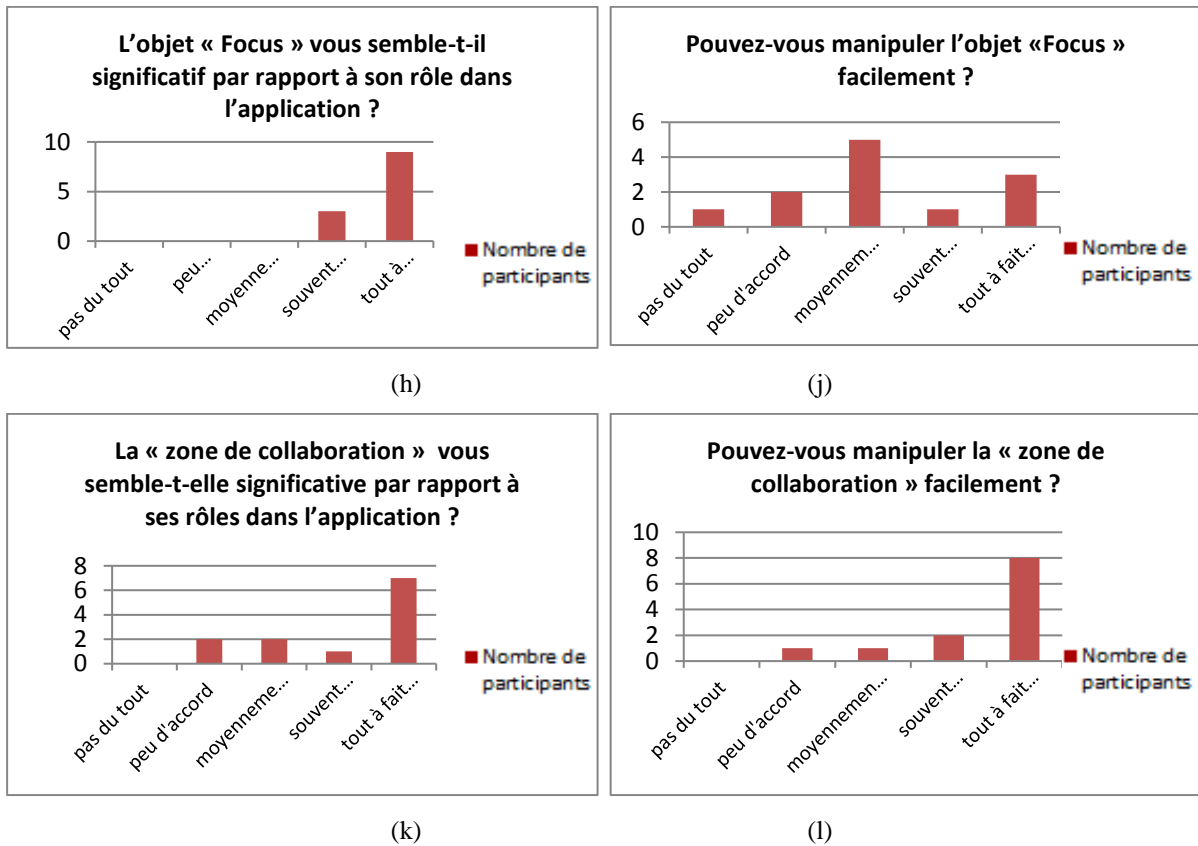


Figure 89. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table adulte à propos des tangigets utilisés directement

La Figure 90 (a) présente la réponse des utilisateurs de la table adulte à la question « Arrivez-vous à comprendre l'identification des utilisateurs de la table enfant ? ». La majorité des participants a confirmé que l'identification distante a été réussie et que l'identification des utilisateurs n'était pas compliquée. En outre, la réponse à la question « la demande d'aide était-elle claire ? » a reçu comme réponse un accord majoritaire (Figure 90 (b)). Par contre, la réponse à la question « les objets sujets d'une demande d'aide étaient-ils clairs ? » (Figure 90 (c)) a reçu des réponses majoritairement de type d'accord et tout à fait d'accord. Cette incertitude parfois est due à la photo de l'objet affichée : en fait il y a des photos insuffisamment claires qui ont poussé le sujet à poser la question au superviseur « de quoi s'agit-il dans cette image ? ». Finalement, la réponse à la question « La déclaration de la fin d'exercice était-elle claire ? » est présentée dans la Figure 90 (d). Elle est majoritairement acceptable avec quelques remarques de la part des participants suite à la pose et au retrait successifs du tangible « fin exercice » de la part des utilisateurs de la table enfant.

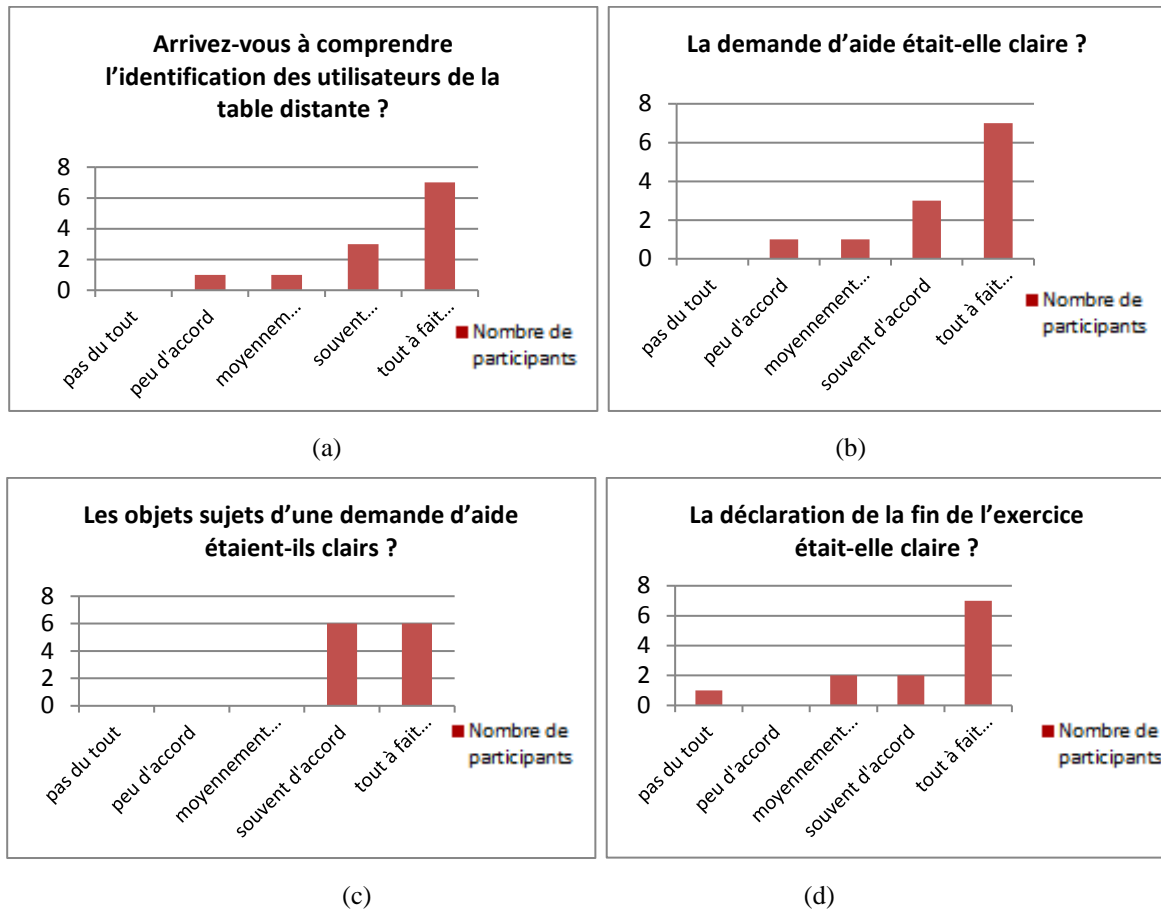


Figure 90. Résultats aux questionnaires remplis par les participants sur la table adulte à propos des informations communiquées suite à l'utilisation des tangigets sur la table enfant

6.5. Conclusion du chapitre

Nous avons proposé dans ce chapitre de décrire l'évaluation de la collaboration distante entre les tables interactives. Nous avons présenté une évaluation de nos travaux d'adaptation des tables interactives tangibles ainsi que nos objets génériques tangigets aux situations de collaboration dans un environnement de recherche en laboratoire. L'expérimentation réalisée a impliqué 36 participants ; ceux-ci ont pu tester et évaluer différentes situations d'utilisation, en particulier avec des scénarii de collaboration distante. Les premiers résultats ont montré que les tables et l'application concernée ont été largement acceptées par les participants après avoir vu et travaillé avec les tables et les objets tangigets, et ils ont même proposé de nouvelles applications qui peuvent être utiles dans le cadre de leurs domaines d'expertise. Cette évaluation nous a permis de valider nos hypothèses, ainsi que notre proposition de généralisation des objets tangigets pour les applications collaboratives présentés dans le chapitre 4.

Ces premiers résultats sont donc encourageants et laissent ainsi envisager un ensemble de perspectives de recherche, que nous allons présenter par la suite, concernant non seulement le développement de nouvelles applications collaboratives mais aussi celui de leur adaptation dans des domaines plus compliqués et avec des tâches collaboratives plus complexes. De nombreuses évaluations peuvent donc être encore menées quant à l'utilisation des tables interactives et des objets génériques tangigets, quels que soient les utilisateurs potentiels, que ce soit en laboratoire ou en situation naturelle, incluant ou non des activités professionnelles.

Conclusion générale et perspectives

Nous avons proposé dans ce mémoire de prendre en considération les capacités de communication des tables interactives à interaction tangible dans un contexte collaboratif, une collaboration distribuée qui peut être utile dans plusieurs cas d'utilisation ou situations pour lesquelles une présence physique ne peut pas être possible pour l'ensemble des acteurs concernés. L'objectif de cette thèse est à ce sujet de contribuer à la prise en compte du contexte en proposant d'exploiter les tables interactives, dans des applications collaboratives, que ce soit en mode co-localisé ou en mode distribué. Dans le cas où les tables interactives sont vues comme des plateformes multi-utilisateurs, tout en possédant des capacités de communication à distance via un réseau, l'environnement de travail peut devenir collaboratif. C'est en particulier sur ce type de critères constitutifs du contexte d'utilisation, que nos travaux se focalisent.

Notre contribution

Les tables interactives ont de plus en plus le potentiel de faire partie intégrante de notre vie quotidienne, leur utilisation pouvant s'avérer intéressante dans différents secteurs d'activité professionnelle, voire même pour une utilisation personnelle, en fonction des besoins et de l'évolution des technologies. Elles sont très différentes de l'ordinateur personnel, associé à ses périphériques, que l'on utilise généralement. Parmi les caractéristiques pouvant encourager les utilisateurs à passer de l'utilisation des ordinateurs vers une utilisation des tables interactives, nous trouvons la possibilité de travailler à plusieurs en même temps et de collaborer facilement afin de réaliser une activité tout en manipulant un ensemble d'objets virtuels ou/et tangibles. C'est donc face à ce constat et à l'intérêt porté à ces nouvelles plateformes que nous avons proposé d'exploiter des capacités communicatives des tables interactives, en proposant un modèle permettant d'intégrer les éléments nécessaires pour concevoir un système collaboratif tournant sur les tables interactives à interaction tangible et supportant la collaboration distante.

Nous avons ensuite présenté notre contribution qui se manifeste dans une exploitation d'un ensemble de catégorie d'objets génériques, appelés tangigets, supportant différentes situations de collaboration, initialement proposés dans le cadre des travaux de Isenberg et ses collègues (Isenberg et al. 2010), visant à couvrir toute interaction possible entre des collaborateurs via des tables interactives à interaction tangible. L'objectif principal de notre contribution est de faciliter à des utilisateurs de travailler à plusieurs, en temps réel et à distance, pour pouvoir

résoudre un problème ou d'effectuer une activité nécessitant la contribution de plusieurs collaborateurs à la fois, et ceci tout en exploitant des objets tangibles. Bien sûr, il est nécessaire de suivre les recherches dans le domaine de la collaboration, aussi bien distribuée que co-localisée, afin d'étudier si toute situation de collaboration possible peut être présentée/supportée via les tangigets. C'est d'ailleurs un des points que nous listons plus loin dans nos perspectives de recherches.

Notre proposition se base donc sur la mise en valeur des capacités des tables interactives dans la réalisation d'activité collaboratives. Pour cela, nous avons dans un premier temps choisi de modéliser le contexte de collaboration pour les tables interactives à interaction tangible. Dans un second temps, nous avons croisé toutes les situations de collaboration proposées par Isenberg et ses collègues avec les catégories d'objets tangibles génériques proposées dans (Lepreux et al. 2012). Ceci nous a permis de proposer un ensemble d'objets génériques tangigets capables de supporter différentes activités de collaboration entre les utilisateurs de deux tables interactives tangibles distantes et interconnectées. Nous avons alors mis en application notre proposition en utilisant deux tables interactives TangiSense v2, un des résultats des projets ANR TTT (2007-2010) et ANR IMAGIT (2011-2013), permettant d'interagir à la fois avec des objets virtuels et tangibles. Pour cela nous avons utilisé et implémenté nos objets proposés afin de permettre aux tables interactives TangiSense d'entrer en communication distante et de contribuer à une collaboration entre les utilisateurs distants. Nous avons donc décrit notre système interactif, s'appuyant sur un Système Multi-Agents développé initialement dans (Lebrun 2012), ce choix technologique étant directement lié à la structure logicielle des projets ANR TTT et ANR IMAGIT. L'adaptation dans un cadre distribué, de la première version de l'application de reconnaissance et d'apprentissage des couleurs, qui avait été développée initialement pour une seule table et avec des fonctionnalités basiques dans le cadre de la thèse de Kubicki (Kubicki 2011), a été expliquée. Finalement, les objets génériques, au-delà d'être implémentés pour réussir la collaboration distante sur tables interactives, visent à apporter et proposer de nouvelles manières d'apprendre et de travailler à plusieurs au contact d'enfants.

Finalement, nous avons mené une étude en laboratoire afin d'évaluer l'ensemble des éléments proposés dans ce mémoire. Les résultats se sont avérés prometteurs, particulièrement en termes d'utilisabilité des objets génériques, de l'application distribuée et des principes de collaboration, et nous ont amenés à proposer un ensemble de perspectives que nous pourrions prendre en considération à plus ou moins court terme.

Originalité de nos travaux

Nos travaux s'inscrivent dans les recherches menées actuellement au niveau international sur les nouvelles interactions et/ou les nouvelles plateformes tangibles. L'originalité de nos travaux réside particulièrement dans l'utilisation des tables interactives, en prenant en considération leurs capacités communicatives. Nous pensons en effet que les tables interactives pourraient à l'avenir faire partie des plateformes de travail collaboratif du futur. L'intersection entre les deux pistes de recherche, que sont le travail collaboratif et les nouvelles plateformes de communication, mène à la proposition des tables interactives tangibles comme outils prometteurs pour la collaboration. Les différentes conférences dans lesquelles les interactions tangibles, au sens large, s'inscrivent, ainsi que les nombreuses recherches actuelles sur ces technologies, semblent conforter nos idées.

La nature de l'interaction proposée par les tables interactives à interaction tangible attire de plus en plus les gens pour les exploiter. En effet, le fait d'utiliser des objets tangibles à la place du tactile afin d'interagir à distance peut contribuer à assurer des interactions plus naturelles en interaction distribuée, comme cela a déjà été montré par de nombreux auteurs dans le cas d'interactions centralisées (autour d'une seule table). Cette considération est directement liée à l'utilisation de nos tables interactives TangiSense v2, support de nos recherches. La technologie RFID, utilisée dans notre cas, nous ouvre des pistes pour concevoir des applications qui ne limitent pas l'utilisateur dans ses mouvements sur la table, par exemple, ne pas poser leurs mains sur la table (cas de l'interaction tactile). C'est en étudiant les principes de base de systèmes fonctionnant sur des surfaces tactiles et les difficultés rencontrées afin de prendre en considération chaque mouvement sur l'interface et le traduire en action, que nous avons découvert les points forts à ce sujet de l'interaction tangible.

L'originalité de nos travaux réside également dans la prise en considération du contexte collaboratif pour modéliser l'interaction sur les tables interactives. Les plateformes étant relativement innovantes, les interactions également nouvelles, puisque distribuées, nous estimons qu'il est alors pertinent de prendre en compte le contexte d'usage et d'adapter l'interface de celle-ci en fonction des situations d'utilisation.

Finalement, le dernier point fort de nos travaux réside dans les évaluations que nous avons menées et les premiers résultats obtenus. L'évaluation avec 12 groupes de 3 participants nous a permis de démontrer l'intérêt de l'utilisation des tables interactives ainsi que les objets génériques proposés pour réussir une activité collaborative à distance. Une familiarisation

rapide a été notée avec l'utilisation de ce type d'interface de la part des utilisateurs malgré le fait que la majorité de ceux-ci n'avait pas l'habitude de manipuler des interfaces de grande taille ; aucun d'entre eux n'avait eu l'opportunité d'essayer une interface à interaction tangible avant. Les résultats laissent supposer que les applications collaboratives via les tables interactives pourraient s'intégrer dans le milieu professionnel. Notons à ce sujet que chacun des participants a commencé, dans le cadre de l'évaluation, à faire une projection de l'utilisation des tables interactives sur son domaine de travail / d'intérêt (via les questionnaires). Bien sûr, de nombreuses autres études devront être menées pour montrer les potentialités d'intégration des tables tangibles et distribuées dans différents domaines d'application. D'autres perspectives sont listées ci-dessous.

Perspectives de recherche

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'exploitation des capacités des tables interactives à interaction tangible, ainsi qu'à celle d'un ensemble d'objets tangibles génériques, pour la modélisation d'un contexte collaboratif à distance et l'interaction distribuée dans celui-ci. Nous proposons dans cette section de retracer l'évolution de notre mémoire et de présenter un ensemble de perspectives de recherche.

Dans le travail que nous avons présenté, nous avons vu que les systèmes collaboratifs intéressent plusieurs secteurs d'activité ; ils peuvent être implémentés de façon à être utilisés sur différents supports interactifs et notamment celui de la table interactive TangiSense v2 équipée de la technologie RFID. Pour aller plus loin sur la validation de notre approche (effectuée sur deux tables de ce type), il serait intéressant de pouvoir mettre en place cette modélisation sur plusieurs types de tables interactives interconnectées, et aussi de la généraliser avec un plus grand nombre de tables. Cette piste de recherche est d'une certaine complexité, mais elle peut nous assurer une solution générique pour la collaboration distante via des tables interactives.

Par ailleurs, il serait intéressant d'étudier plus en détail les interactions entre les collaborateurs, celles-ci pouvant évoluer en fonction des technologies employées et de leurs expériences avec les objets génériques. Une évaluation simultanée de plusieurs applications collaboratives sur des tables interactives paraît indispensable afin de tester l'approche des objets génériques dans des contextes différents et des utilisations diversifiées.

Dans notre proposition, nous avons considéré uniquement des objets tangibles statiques, c'est-à-dire des objets pouvant être déplacés uniquement lorsqu'une force extérieure s'exerce sur eux. Il serait également intéressant de prendre en considération les objets mécanisés (par exemple des robots), afin de faire émerger de nouvelles formes d'interaction.

Une autre perspective de recherche repose sur l'utilisation de plateformes combinant interactions tangible et tactile dans le cadre de la collaboration distante. Pour cela, nous devons proposer une modélisation impliquant des interactions, que l'on pourrait qualifier de transmissibles (ou traduisibles), de l'environnement tangible à l'environnement tactile, et vice versa.

Une dernière perspective portera sur les situations de collaboration possibles entre les différents utilisateurs, plusieurs recherches s'intéressant déjà à ce sujet. Pour cela une étude approfondie des situations de collaboration et de leurs domaines éventuels d'application s'avère nécessaire, suite à laquelle il s'agirait de procéder à une projection sur des catégories d'objets génériques (tangigets). Il serait alors certainement possible de proposer d'autres catégories, susceptibles de s'avérer indispensables ou en tout cas efficace dans d'autres situations de collaboration complexes.

Références

- Africano, Diana, Sara Berg, Kent Lindbergh, Peter Lundholm, Fredrik Nilbrink, et Anna Persson. 2004. « Designing Tangible Interfaces for Children's Collaboration ». P. 853–868 in *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '04*. New York, NY, USA: ACM.
- Ahlers, Klaus H., André Kramer, David E. Breen, Pierre-Yves Chevalier, Chris Crampton, Eric Rose, Mihran Tuceryan, Ross T. Whitaker, et Douglas Greer. 1995. « Distributed Augmented Reality for Collaborative Design Applications ». *Computer Graphics Forum* 14(3):3-14.
- Al Mahmud, Abdullah, Omar Mubin, Suleman Shahid, et Jean-Bernard Martens. 2008. « Designing and Evaluating the Tabletop Game Experience for Senior Citizens ». P. 403–406 in *Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-computer Interaction: Building Bridges, NordiCHI '08*. New York, NY, USA: ACM.
- Almukadi, Wafa Sulaiman. 2017. « A Human-centered Design Approach to Enhance Children's Collaboration and Facilitate Learning Using Tangible User Interface ». PhD thesis, Florida Institute of Technology, Florida USA.
- Almukadi, Wafa Sulaiman, et A. L. Stephane. 2015. « Tangible Interactive System for Children to Learn 3-Letter Words and Basic Math ». P. 421-424 in. Funchal, Portugal: ACM.
- Amershi, Saleema, et Meredith Ringel Morris. 2008. « CoSearch: A System for Co-located Collaborative Web Search ». P. 1647–1656 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08*. New York, NY, USA: ACM.
- Anon. s. d. « History of Computers and Computing, Birth of the modern computer, Personal computer, Xerox Alto ». Consulté 14 juillet 2016 (<http://history-computer.com/ModernComputer/Personal/Alto.html>).
- Antle, Alissa N., Alyssa F. Wise, Amanda Hall, Saba Nowroozi, Perry Tan, Jillian Warren, Rachael Eckersley, et Michelle Fan. 2013. « Youtopia ». *ACM International Conference Proceeding Series* 565.
- Apted, Trent, Judy Kay, et Aaron Quigley. 2006. « Tabletop Sharing of Digital Photographs for the Elderly ». P. 781–790 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '06*. New York, NY, USA: ACM.
- Ardaiz, Oscar, Ernesto Arroyo, Valeria Righi, Oriol Galimany, et Josep Blat. 2010. « Virtual Collaborative Environments with Distributed Multitouch Support ». P. 235–240 in *Proceedings of the 2Nd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, EICS '10*. New York, NY, USA: ACM.
- Ashley, George Taylor. 1997. *WIMP Interfaces. technical report*. Georgia, USA,: College of Computing, Georgia Institute of Technology.
- Augstein, Mirjam, Thomas Neumayr, Renate Ruckser-Scherb, Isabel Karlhuber, et Josef Altmann. 2013. « The Fun.Tast.Tisch. Project: Interactive Tabletops in Neuro-rehabilitation ». P. 313–316 in *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '13*. New York, NY, USA: ACM.

- Badeig, Fabien, Emmanuel Adam, René Mandiau, et Catherine Garbay. 2015. « Analyzing multi-agent approaches for the design of advanced interactive and collaborative systems ». *Journal of ambient intelligence and smart environments*, DOI: 10.3233/AIS-160380.
- Baecker, Ronald M. 1995. *Readings in Human-Computer Interaction : Toward the Year 2000*. Vol. Second edition. San Francisco, Calif: Morgan Kaufmann.
- Bannon, Liam J., et Kjeld Schmidt. 1989. « CSCW-four characters in search of a context ». *DAIMI Report Series* 18(289).
- Basheri, M., et L. Burd. 2012. « Exploring the significance of multi-touch tables in enhancing collaborative software design using UML ». P. 1-5 in *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings*.
- Bautista, Marie, Jared Crane, Jeff Largent, Jingya Yu, et Shaowen Bardzell. 2012. « Understanding Designer Brainstorms: The Effect of Analog and Digital Interfaces on Dominance ». P. 1481–1486 in *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '12*. New York, NY, USA: ACM.
- Beaudouin-Lafon, Michel. 2004. « Designing Interaction, Not Interfaces ». P. 15–22 in *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '04*. New York, NY, USA: ACM.
- Beaudouin-Lafon, Michel, et Henry Michael Lassen. 2000. « The Architecture and Implementation of CPN2000, a post-WIMP Graphical Application ». P. 181–190 in *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '00*. New York, NY, USA: ACM.
- Bellifemine, Fabio, et Giovanni Rimassa. 2001. « Developing Multi-agent Systems with a FIPA-compliant Agent Framework » édité par A. Poggi. *Softw. Pract. Exper.* 31(2):103–128.
- Bellotti, Victoria, et Sara Bly. 1996. « Walking Away from the Desktop Computer: Distributed Collaboration and Mobility in a Product Design Team ». P. 209–218 in *Proceedings of the 1996 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '96*. New York, NY, USA: ACM.
- Besançon, Lonni, Paul Issartel, Mehdi Ammi, et Tobias Isenberg. 2017. « Mouse, Tactile, and Tangible Input for 3D Manipulation ». P. 4727–40 in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17*. Denver, Colorado, USA: ACM Press.
- Biström, J., A. Cogliati, et K. Rouhiainen. 2005. « Post-wimp user interface model for 3d web applications. » Helsinki, Finland.
- Bouabid, A., S. Lepreux, C. Kolski, et MS. Bouhlel. 2014. « Modèle du contexte et applications collaboratives sur tables interactives ». Workshop Interaction Homme-Machine et Imagerie (3-6 mai), Hammamet-Tunisie.
- Bouabid, Amira, Sophie Lepreux, et Christophe Kolski. 2016. « Distributed tabletops: Study involving two RFID tabletops with generic tangible objects ». P. 167–173 in *International Conference on Web Engineering*. Springer International Publishing.
- Bouabid, Amira, Sophie Lepreux, et Christophe Kolski. 2017. « Design and evaluation of Distributed User Interfaces between tangible tabletops ». *Universal Access in the Information Society*, DOI:10.1007/s10209-017-0602-4.
- Bouabid, Amira, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, et Clémentine Havrez. 2014. « Context-sensitive and Collaborative Application for Distributed User Interfaces on Tabletops ». P. 23–26 in

- Proceedings of the 2014 Workshop on Distributed User Interfaces and Multimodal Interaction, DUI '14*. New York, NY, USA: ACM.
- Brand, Serge, Torsten Reimer, et Klaus Opwis. 2007. « How do we learn in a negative mood? Effects of a negative mood on transfer and learning ». *Learning & Instruction* 17(1):1-16.
- Brave, Scott, Hiroshi Ishii, et Andrew Dahley. 1998. « Tangible interfaces for remote collaboration and communication ». P. 169–178 in *Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work*. ACM.
- Brennan, S. E., K. Mueller, G. Zelinsky, I. Ramakrishnan, D. S. Warren, et A. Kaufman. 2006. « Toward a Multi-Analyst, Collaborative Framework for Visual Analytics ». P. 129- 36 in *2006 IEEE Symposium On Visual Analytics Science And Technology*.
- Brézillon, Patrick, et Jean-Charles Pomerol. 1999. « Contextual knowledge sharing and cooperation in intelligent assistant systems ». *Le travail humain* 62(3):223-246.
- Buisine, Stéphanie, Guillaume Besacier, Améziiane Aoussat, et Frédéric Vernier. 2012. « How do interactive tabletop systems influence collaboration? » *Computers in Human Behavior* 28:49-59.
- Caelen, J., M. Becker, et A. Pellegrin. 2011. « Tangibility and human–computer interaction: An alternative approach to affordance ». P. 355–359 in. *Proceedings of the IADIS Conference on Interfaces and Human–Computer Interaction*.
- Caelen, Jean, et Christian Perrot. 2011. *Bibliothèque d'objets. Deliverable, IMAGIT ANR project*. 1. Grenoble: LIG.
- Calvary, Gaëlle, Joëlle Coutaz, et Laurence Nigay. 1997. « From Single-User Architectural Design to PAC*: a Generic Software Architecture Model for CSCW », *Human Factors in Computing Systems, CHI '97 Conference Proceedings, Atlanta, Georgia, USA, March 22-27, ACM/Addison-Wesley*.
- Calvary, Gaëlle, Joëlle Coutaz, David Thevenin, Quentin Limbourg, Laurent Bouillon, et Jean Vanderdonckt. 2003. « A Unifying Reference Framework for Multi-Target User Interfaces ». *Interacting with Computers* 15(3):289-308.
- Calvary, Gaëlle, Alexandre Demeure, Joëlle Coutaz, et Olfa D'assi. 2004. « Adaptation des interfaces homme-machine? leur contexte d'usage Plasticité des IHM ». *Revue d'intelligence artificielle* 18(4):577-606.
- Cockburn, Andy, et Saul Greenberg. 1996. « Children's Collaboration Styles in a Newtonian Microworld ». P. 181–182 in *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, CHI '96*. New York, NY, USA: ACM.
- Connolly, John H., et Ernest A. Edmonds. 2012. *CSCW and Artificial Intelligence*. Springer Science & Business Media.
- Coppin, Gilles, Jean-Louis De Bougrenet de La Tocnaye, Jean-Baptiste De La Rivière, et T. De Bougrenet. 2013. « 3DC2 : A Multiple View Interactive Platform ». 25ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'13, Novembre, Bordeaux.
- Cord, B. 2003. « Thème : apprentissage collaboratif à distance ». P. 441-444. in *Distances et savoirs*. Vol. 1. Paris.
- Coutaz, Joelle. 2001. « Architecture logicielle conceptuelle des systèmes interactifs ». P. 256 in *Analyse et conception de l'IHM: interaction homme-machine pour les SI (Kolski éditeur)*. Vol. volume 1. Hermès.

Références

- Coutaz, Joëlle, James L. Crowley, Simon Dobson, et David Garlan. 2005. « Context is Key ». *Commun. ACM* 48(3):49–53.
- Cuendet, S., et P. Dillenbourg. 2013. « The benefits and limitations of distributing a tangible interface in a classroom ». *Computer-Supported Collaborative Learning Conference, CSCL* 1:137-144.
- Cuendet, Sébastien, Quentin Bonnard, Son Do-Lenh, et Pierre Dillenbourg. 2013. « Designing augmented reality for the classroom ». *Computers & Education* 68:557-569.
- van Dam, Andries. 1997. « Post-WIMP User Interfaces ». *Commun. ACM* 40(2):63–67.
- Danis, Catalina. 2006. « Forms of Collaboration in High Performance Computing: Exploring Implications for Learning ». P. 501–504 in *Proceedings of the 2006 20th Anniversary Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '06*. New York, NY, USA: ACM.
- David, B. 2001. « Ihm pour les collecticiels ». P. 169–206 in *Réseaux et Systèmes Répartis*. Vol. 13, Hermès.
- David, B., R. Chalon, G. Vaisman, et O. Delotte. 2003. « Capillary CSCW ». P. 879-883 in *HCI International, Stephanidis C., Jacko J.* LEA, London.
- Delotte, Olivier. 2006. « CoCSys: une approche basée sur la construction d'un modèle comportemental pour la conception de systèmes collaboratifs mobiles ». Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon.
- Delotte, Olivier, Bertrand David, et René Chalon. 2004. « Task Modelling for Capillary Collaborative Systems based on Scenarios ». In *Proceedings TAMODIA 2004*, Prague, November.
- Dey, Anind K. 2001. « Understanding and Using Context ». *Personal Ubiquitous Comput.* 5(1):4–7.
- Dey, Anind Kumar. 2000. « Providing Architectural Support for Building Context-aware Applications ». Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.
- Dillenbourg, Pierre. 1999. « What do you mean by collaborative learning ». *Collaborative learning: Cognitive and computational approaches* 1:1–15.
- Dillenbourg, Pierre, et Michael Evans. 2011. « Interactive tabletops in education ». *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 6(4):491-514.
- Dix, Alan, éd. 2004. *Human-computer interaction*. 3rd ed. Harlow: Pearson Prentice Hall.
- Dix, Alan, Janet E. Finlay, Gregory D. Abowd, et Russell Beale. 2003. *Human-Computer Interaction (3rd Edition)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc.
- Djajadiningrat, Tom, C. J. Overbeeke, et S. A. G. Wensveen. 2000. « Augmenting fun and beauty: a pamphlet ». P. 131–134 in *Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments*. ACM.
- Djajadiningrat, Tom, Stephan Wensveen, Joep Frens, et Kees Overbeeke. 2004. « Tangible products: redressing the balance between appearance and action ». *Personal and Ubiquitous Computing* 8(5):294–309.
- Dockterman, David A. 1991. « Cooperative Learning and Computers ». *SIGCUE Outlook* 21(2):39–43.

- Dourish, Paul, et Victoria Bellotti. 1992. « Awareness and Coordination in Shared Workspaces ». P. 107–114 in *Proceedings of the 1992 ACM Conference on Computer-supported Cooperative Work, CSCW '92*. New York, NY, USA: ACM.
- Dubois, Emmanuel. 2001. « Chirurgie augmentée : un cas de réalité augmentée ; Conception et réalisation centrées sur l'utilisateur ». Thèse de Doctorat, Université Joseph-Fourier - Grenoble I.
- Ellis, Clarence A., Simon J. Gibbs, et Gail Rein. 1991. « Groupware: Some Issues and Experiences ». *Commun. ACM* 34(1):39–58.
- Esenether, Alan, Kathy Ryall, Alan Esenether, et Kathy Ryall. 2006. « RemoteDT: Support for Multi-Site Table Collaboration ». in *Proceeding of International Conference of Collaboration Technologies*.
- Evans, Abigail C., Jacob O. Wobbrock, et Katie Davis. 2016. « Modeling Collaboration Patterns on an Interactive Tabletop in a Classroom Setting ». P. 860–871 in *Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing, CSCW '16*. New York, NY, USA: ACM.
- Fernaesus, Ylva, Jakob Tholander, et Martin Jonsson. 2008. « Beyond representations: towards an action-centric perspective on tangible interaction ». *International Journal of Arts and Technology* 1(3- 4):249-267.
- Finkenzeller, Klaus. 2003. *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. 2nd éd. Wiley Publishing.
- Fitzmaurice, George W., et William Buxton. 1997. « An Empirical Evaluation of Graspable User Interfaces: Towards Specialized, Space-multiplexed Input ». P. 43–50 in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '97*. New York, NY, USA: ACM.
- Fitzmaurice, George W., Hiroshi Ishii, et William AS Buxton. 1995. « Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces ». P. 442–449 in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- Fjeld, Morten, Jonas Fredriksson, Martin Ejdestig, Florin Duca, Kristina Bötschi, Benedikt Voegtli, et Patrick Juchli. 2007. « Tangible User Interface for Chemistry Education: Comparative Evaluation and Re-design ». P. 805–808 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07*. New York, NY, USA: ACM.
- Fjeld, Morten, Fred Voorhorst, Martin Bichsel, Kristina Lauche, Matthias Rauterberg, et Helmut Krueger. 1999. « Exploring Brick-Based Navigation and Composition in an Augmented Reality ». P. 102-116 in *Handheld and Ubiquitous Computing, Lecture Notes in Computer Science*, édité par H.-W. Gellersen. Springer Berlin Heidelberg.
- Furumi, Genki, Daisuke Sakamoto, et Takeo Igarashi. 2012. « SnapRail: A Tabletop User Interface Widget for Addressing Occlusion by Physical Objects ». P. 193–196 in *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '12*. New York, NY, USA: ACM.
- Garbay, Catherine, Fabien Badeig, et Jean Caelen. 2012. « Normative multi-agent approach to support collaborative work in distributed tangible environments ». P. 83–86 in *Proceedings of the ACM 2012 conference on Computer Supported Cooperative Work Companion, CSCW '12*. Seattle, Washington, USA: Association for Computing Machinery.

- Greenbaum, Joan, et Morten Kyng, éd. 1992. *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc.
- Greenberg, Saul, et Michael Boyle. 2002. « Customizable Physical Interfaces for Interacting with Conventional Applications ». P. 31–40 in *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '02*. New York, NY, USA: ACM.
- Guerreiro, Tiago, Kyle Montague, João Guerreiro, Rafael Nunes, Hugo Nicolau, et Daniel J. V. Gonçalves. 2015. « Blind People Interacting with Large Touch Surfaces: Strategies for One-handed and Two-handed Exploration ». P. 25–34 in *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces, ITS '15*. New York, NY, USA: ACM.
- Gutwin, Carl, et Saul Greenberg. 1998. « Design for Individuals, Design for Groups: Tradeoffs Between Power and Workspace Awareness ». P. 207–216 in *Proceedings of the 1998 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '98*. New York, NY, USA: ACM.
- Gutwin, Carl, et Saul Greenberg. 2002. « A Descriptive Framework of Workspace Awareness for RealTime Groupware ». *Computer Supported Cooperative Work* 411–446.
- Halin, Gilles, et Sylvain Kubicki. 2005. « Architecture Dirigée Par Les Modèles Pour Une Représentation Multi-vues Du Contexte De Coopération ». P. 211–214 in *Proceedings of the 17th Conference on L'Interaction Homme-Machine, IHM '05*. New York, NY, USA: ACM.
- Hansen, Nicolai Brodersen, et Kim Halskov. 2014. « Material Interactions with Tangible Tabletops: A Pragmatist Perspective ». P. 441–450 in *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational, NordiCHI '14*. New York, NY, USA: ACM.
- Higgins, Steven E., Emma Mercier, Elizabeth Burd, et Andrew Hatch. 2011. « Multi-touch tables and the relationship with collaborative classroom pedagogies: A synthetic review ». *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 6(4):515–538.
- Hinckley, K., Robert J. K. Jacob, et C. Ware. 2004. « input/output devices and interaction techniques ». *the computer Science Handbook* 2:20.1-20.32.
- Hutchins, Edwin. 1990. « Intellectual Teamwork ». P. 191–220 in, édité par J. Galegher, R. E. Kraut, et C. Egido. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc.
- Isenberg, P., D. Fisher, M. r. Morris, K. Inkpen, M. Czerwinski, A. MacEachren, et S. Miksch. 2010. « An exploratory study of co-located collaborative visual analytics around a tabletop display ». édité par A. MacEachren et S. Miksch. IEEE Computer Society.
- Ishii, Hiroshi. 2008. « The Tangible User Interface and Its Evolution ». *Commun. ACM* 51(6):32–36.
- Ishii, Hiroshi, et Minoru Kobayashi. 1992. « ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact ». P. 525–532 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '92*. New York, NY, USA: ACM.
- Ishii, Hiroshi, et Brygg Ullmer. 1997. « Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms ». P. 234–241 in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*. ACM.
- Jackson, Alexander T., Bradley J. Brummel, Cody L. Pollet, et David D. Greer. 2013. « An Evaluation of Interactive Tabletops in Elementary Mathematics Education ». *Educational Technology Research and Development* 61(2):311-332.

- Jacob, Robert J. K., Audrey Girouard, Leanne M. Hirshfield, Michael S. Horn, Orit Shaer, Erin Treacy Solovey, et Jamie Zigelbaum. 2008. « Reality-based Interaction: A Framework for post-WIMP Interfaces ». P. 201–210 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08*. New York, NY, USA: ACM.
- Johansen, Robert. 1988. *GroupWare: Computer Support for Business Teams*. New York, NY, USA: The Free Press.
- Johnson-Lenz, Peter. 1981. *The Evolution of a Tailored Communications Structure: The TOPICS System*. Computer & Information Science Dept., New Jersey Institute of Technology.
- Jones, Alistair. 2013. *Co-located collaboration in interactive spaces for preliminary design*. Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Compiègne.
- Kharrufa, Ahmed. 2010. « Digital Tabletops and Collaborative Learning ». Newcastle University, Newcastle, UK.
- Kharrufa, Ahmed, Madeline Balaam, Phil Heslop, David Leat, Paul Dolan, et Patrick Olivier. 2013. « Tables in the Wild: Lessons Learned from a Large-scale Multi-tabletop Deployment ». P. 1021–1030 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*. New York, NY, USA: ACM.
- Kirman, Ben, et Duncan Rowland. 2008. « Socially Respectful Enjoyment Tracking for Tabletop Games ». P. 3393–3398 in *CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '08*. New York, NY, USA: ACM.
- Kruger, Russell, Sheelagh Carpendale, Stacey D. Scott, et Saul Greenberg. 2004. « Roles of Orientation in Tabletop Collaboration: Comprehension, Coordination and Communication ». *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 13(5- 6):501-537.
- Kruger, Russell, Sheelagh Carpendale, Stacey D. Scott, et Anthony Tang. 2005. « Fluid Integration of Rotation and Translation ». P. 601–610 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '05*. New York, NY, USA: ACM.
- Kubicki, S. 2011. « Contribution à la prise en considération du contexte dans la conception de tables interactives sous l'angle de l'IHM, application à des contextes impliquant table interactive RFID et objets tangibles ». Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.
- Kubicki, Sébastien, Katarzyna Borgiel, Sophie Lepreux, Marion Wolff, et Ch Kolski. 2012. « Réflexions autour des tables interactives: expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation ». *Le travail humain* 75(3):229–252.
- Kubicki, Sébastien, Sophie Lepreux, et Christophe Kolski. 2011a. « Evaluation of an interactive table with tangible objects: Application with children in a classroom ». *Proceedings of the 2nd Workshop on Child Computer Interaction " UI Technologies and Educational Pedagogy", In Conjunction with CHI 2011 Conference*.
- Kubicki, Sébastien, Sophie Lepreux, et Christophe Kolski. 2011b. « RFID-Driven Situation Awareness on TangiSense, a Table Interacting with Tangible Objects ». *Personal and Ubiquitous Computing* 16(8):1079-1094.
- Kubicki, Sébastien, Sophie Lepreux, et Christophe Kolski. 2013. « Distributed UI on Interactive tabletops: issues and context model ». P. 27–38 in *Distributed User Interfaces: Usability and Collaboration*. Springer London.

- Kubicki, Sébastien, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, Christian Perrot, et Jean Caelen. 2009. « TangiSense: présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables ». IHM 2009, 21ème Conférence de l'Association Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Grenoble, France, 13-16 octobre, ACM.
- Kubicki, Sébastien, Denis Pasco, et Ingrid Arnaud. 2014. « Utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles pour favoriser l'activité des élèves: une évaluation comparative en cours préparatoire ». *STICEF - Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation 21*(Évaluation dans les jeux sérieux).
- Kubicki, Sébastien, Marion Wolff, Sophie Lepreux, et Christophe Kolski. 2015. « RFID interactive tabletop application with tangible objects: exploratory study to observe young children's behaviors ». *Personal and Ubiquitous Computing* 19(8):1259–1274.
- Lave, Jean. 1988. *Cognition in Practice: Mind, Mathematics and Culture in Everyday Life*. Cambridge University Press.
- LDAOeng. 2014. « La collaboration des professionnels de l'enseignement et la réussite des élèves ayant des troubles d'apprentissage : Un examen de la recherche ». *TA@l'école*. Consulté 22 juillet 2017 (<https://www.taalecole.ca/impact-de-la-collaboration-entre-enseignants-sur-le-rendement-scolaire-et-le-developpement-social-des-eleves-ayant-des-troubles-dapprentissage-examen-des-etudes-publiees/>).
- Lebrun, Yoann. 2012. *Architecture multi-agent pour la gestion d'objets tangibles et virtuels sur Table Interactive*. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
- Lebrun, Yoann, Emmanuel Adam, Sébastien Kubicki, et René Mandiau. 2010. « A Multi-Agent System Approach for Interactive Table Using RFID ». P. 125- 34 in *Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, Advances in Intelligent and Soft Computing*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lebrun, Yoann, Emmanuel Adam, René Mandiau, et Christophe Kolski. 2015. « A model for managing interactions between tangible and virtual agents on an RFID interactive tabletop: Case study in traffic simulation ». *Journal of Computer and System Sciences* 81:585-598.
- Lebrun, Yoann, Emmanuel Adam, René Mandiau, et Christophe Kolski. 2013. « Interaction Between Tangible and Virtual Agents on Interactive Tables: Principles and Case Study ». *Procedia Computer Science* 19:32-39.
- Leitner, Jakob, James Powell, Peter Brandl, Thomas Seifried, Michael Haller, Bernard Dorray, et Paul To. 2009. « Flux: A Tilting Multi-touch and Pen Based Surface ». P. 3211–3216 in *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '09*. New York, NY, USA: ACM.
- Lepreux, Sophie, Julien Castet, Nadine Couture, Emmanuel Dubois, Christophe Kolski, Sébastien Kubicki, Valérie Maquil, et Guillaume Riviere. 2016a. « Interaction Tangible sur Table, définitions et modèles ». *Journal d'Interaction Personne-Système* Volume 5, Numéro 1: 1-21.
- Lepreux, Sophie, Julien Castet, Nadine Couture, Emmanuel Dubois, Christophe Kolski, Sébastien Kubicki, Valérie Maquil, et Guillaume Riviere. 2016b. « Interaction Tangible sur Table, un cadre fédérateur illustré ». *Journal d'Interaction Personne-Système* Volume 5, Numéro 1: 23-59.
- Lepreux, Sophie, Sébastien Kubicki, Christophe Kolski, et Jean Caelen. 2011. « Distributed Interactive Surfaces: A Step Towards the Distribution of Tangible and Virtual Objects ». P. 133-143

- in *Distributed User Interfaces, Human-Computer Interaction Series*, édité par J. A. Gallud, R. Tesoriero, et V. M. R. Penichet. Springer London.
- Lepreux, Sophie, Sébastien Kubicki, Christophe Kolski, et Jean Caelen. 2012. « From Centralized Interactive Tabletops to Distributed Surfaces: The Tangiget Concept ». *International Journal of Human-Computer Interaction* 28(11):709-721.
- Li, Ying, Willem Fontijn, et Panos Markopoulos. 2008. « A Tangible Tabletop Game Supporting Therapy of Children with Cerebral Palsy ». P. 182–193 in *Proceedings of the 2Nd International Conference on Fun and Games*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lipponen, Lasse. 2002. « Exploring Foundations for Computer-supported Collaborative Learning ». P. 72–81 in *Proceedings of the Conference on Computer Support for Collaborative Learning: Foundations for a CSCL Community, CSCL '02*. Boulder, Colorado: International Society of the Learning Sciences.
- Liu, Wei, Adrian David Cheok, Sim Hwee, et Ang Ivone. 2006. « Mixed Reality for Fun Learning in Primary School ». in *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '06*. New York, NY, USA: ACM.
- Marco, Javier, Eva Cerezo, et Sandra Baldassarri. 2013. « Bringing Tabletop Technology to All: Evaluating a Tangible Farm Game with Kindergarten and Special Needs Children ». *Personal Ubiquitous Comput.* 17(8):1577–1591.
- Mark- Shane E. Scale. 2009. « Cloud computing and collaboration ». *Library Hi Tech News* 26(9):10- 13.
- Marquardt, Nicolai, Miguel A. Nacenta, James E. Young, Sheelagh Carpendale, Saul Greenberg, et Ehud Sharlin. 2009. « The Haptic Tabletop Puck: Tactile Feedback for Interactive Tabletops ». P. 85–92 in *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '09*. New York, NY, USA: ACM.
- Marshall, Paul. 2007. « Do Tangible Interfaces Enhance Learning? » P. 163–170 in *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI '07*. New York, NY, USA: ACM.
- McManus, Margaret M. 1997. « Computer Supported Collaborative Learning ». *SIGGROUP Bull.* 18(1):7–9.
- Mellar, H., et J. Bliss. 1994. « Introduction: modelling and education ». P. 1-7 in *Learning with artificial worlds:computer-based modelling in the curriculum*. London: The Falmer Press.
- Milgram, Paul, et Fumio Kishino. 1994. « A taxonomy of mixed reality visual displays ». *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 77(12):1321–1329.
- Mintzberg, Henry. 1973. *The Nature of Managerial Work*. New York, NY: Harpercollins College Div.
- Montessori, Maria. 1912. *The Montessori Method : Scientific Pedagogy as Applied to Child Education in « the Children's Houses » with Additions and Revisions*. New York : Stokes.
- Moran, Thomas P., et Paul Dourish. 2001. « Introduction to this special issue on context-aware computing ». *Human-Computer Interaction* 16(2):87-95.
- Mosvick, Roger K., et Robert B. Nelson. 1996. *We've Got to Start Meeting Like This: A Guide to Successful Meeting Management*. Park Avenue.

- Müller-Tomfelde, Christian, et Morten Fjeld. 2010. « Introduction: A Short History of Tabletop Research, Technologies, and Products ». P. 1-24 in *Tabletops - Horizontal Interactive Displays, Human-Computer Interaction Series*, édité par C. Müller-Tomfelde. Springer London.
- Nacenta, Miguel A., David Pinelle, Dane Stuckel, et Carl Gutwin. 2007. « The Effects of Interaction Technique on Coordination in Tabletop Groupware ». P. 191–198 in *Proceedings of Graphics Interface 2007, GI '07*. New York, NY, USA: ACM.
- Nelson-Royes, Andrea M. 2015. *Why Tutoring? : A Way to Achieve Success in School*. Lanham, Maryland: Rowman & Littlefield Publishers.
- Niu, Shuo, D. Scott McCrickard, et Steve Harrison. 2017. « An Observational Study of Simultaneous and Sequential Interactions in Co-Located Collaboration ». P. 163-183 in *Human-Computer Interaction – INTERACT 2017, Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Cham.
- Olson, Gary M., et Judith S. Olson. 2000. « Distance Matters ». *Hum.-Comput. Interact.* 15(2):139–178.
- Olson, J. s., S. k. Card, T. k. Landauer, G. m. Olson, T. Malone, et J. Leggett. 1993. « Computer-supported co-operative work: research issues for the 90s ». *Behaviour and Information Technology* 12(2):115-129.
- Olson, Judith S., Lisa Covi, Elena Rocco, William J. Miller, et Paul Allie. 1998. « A Room of Your Own: What Would It Take to Help Remote Groups Work As Well As Collocated Groups? » P. 279–280 in *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems, CHI '98*. New York, NY, USA: ACM.
- Olson, Judith S., et Stephanie Teasley. 1996. « Groupware in the Wild: Lessons Learned from a Year of Virtual Collocation ». P. 419–427 in *Proceedings of the 1996 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '96*. New York, NY, USA: ACM.
- Ostroff, Wendy L. 2012. *Understanding How Young Children Learn: Bringing the Science of Child Development to the Classroom*. ASCD.
- Ouadou, Kamel Eddine. 1994. « Amf: Un modèle d'architecture multi-Agents Multi-Facettes pour interfaces homme-machine et les outils associés ». Thèse de Doctorat, Ecully, Ecole centrale de Lyon.
- Panitz, Ted. 1996. « A Definition of Collaborative vs Cooperative Learning ». Retrieved 5 Nov. 2011.
- Panitz, Ted. 1999. « Cooperative versus collaborative learning: A comparison of two concepts which will help us understand the underlying nature of interactive learning ».
- Pascoe, J. 1998. « Adding generic contextual capabilities to wearable computers ». P. 92- 99 in *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215)*.
- Piaget, Jean (1896-1980). 1976. *La représentation du monde chez l'enfant / par Jean Piaget*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pinelle, David, Carl Gutwin, et Saul Greenberg. 2003. « Task Analysis for Groupware Usability Evaluation: Modeling Shared-workspace Tasks with the Mechanics of Collaboration ». *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 10(4):281–311.
- Poynor, R. 2015. « The Hand That Rock the Cradle ». juin, *The International Design Magazine*, pp, 60-65.

- Proulx, Jean. 2004. *L'apprentissage par projet*. Sainte-Foy: Presses de l'Université du Québec.
- Qin, Yongqiang, Jie Liu, Chenjun Wu, et Yuanchun Shi. 2012. « uEmergency: A Collaborative System for Emergency Management on Very Large Tabletop ». P. 399–402 in *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '12*. New York, NY, USA: ACM.
- Rauterberg, M., M. Fjeld, H. Krueger, M. Bichsel, U. Leonhardt, et M. Meier. 1997. « BUILD-IT: A Computer Vision-Based Interaction Technique for a Planning Tool ». P. 303-314 in *People and Computers XII*, édité par H. Thimbleby, B. O'Conaill, et P. J. Thomas. Springer London.
- Raymond, Anita, Elisabeth Jacob, Darren Jacob, et Judith Lyons. 2016. « Peer learning a pedagogical approach to enhance online learning: A qualitative exploration ». *Nurse Education Today* 44:165-169.
- Riahi, Ines, et Faouzi Moussa. 2015. « A formal approach for modeling context-aware human-computer system ». *Computers & Electrical Engineering* 44: 241-261.
- Rick, Jochen, Paul Marshall, et Nicola Yuill. 2011. « Beyond One-size-fits-all: How Interactive Tabletops Support Collaborative Learning ». P. 109–117 in *Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children, IDC '11*. New York, NY, USA: ACM.
- Rittenbruch, Markus. 2015. « Supporting Collaboration on Very Large-Scale Interactive Wall Surfaces ». *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 24(2-3):121-147.
- Roberts, Tim S. 2003. *Online collaborative learning : theory and practice / Tim S. Roberts, editor*. Hershey PA : Information Science Pub., 2003.
- Robinson, P., et P. Tuddenham. 2007. « Distributed Tabletops: Supporting Remote and Mixed-Presence Tabletop Collaboration ». P. 19-26 in *Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2007. TABLETOP '07*.
- Rogers, Yvonne, et Siân Lindley. 2004. « Collaborating around large interactive displays: which way is best to meet? » *Interacting with Computers* 16(6):1133-1152.
- Roschelle, Jeremy, et Stephanie D. Teasley. 1995. « The Construction of Shared Knowledge in Collaborative Problem Solving ». P. 69-97 in *Computer Supported Collaborative Learning, NATO ASI Series*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ryall, Kathy, Clifton Forlines, Chia Shen, et Meredith Ringel Morris. 2004. « Exploring the Effects of Group Size and Table Size on Interactions with Tabletop Shared-display Groupware ». P. 284–293 in *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '04*. New York, NY, USA: ACM.
- Ryan, NS, J. Pascoe, et DR Morse. 1998. « Enhanced Reality Fieldwork: the Context-aware Archaeological Assistant ». édité par V. Gaffney, M. van Leusen, et S. Exxon. Tempus Reparatum.
- Schilit, B., N. Adams, et R. Want. 1994. « Context-Aware Computing Applications ». P. 85–90 in *Proceedings of the 1994 First Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, WMCSA '94*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
- Schneck, C. M. 2010. « Visual Perception Occupational Therapy for Children » (6 ed., p. 373-403). Maryland Heights: Mosby Elsevier.

- Scott, Stacey D., M. Sheelagh T. Carpendale, et Kori M. Inkpen. 2004. « Territoriality in Collaborative Tabletop Workspaces ». P. 294–303 in *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '04*. New York, NY, USA: ACM.
- Scott, Stacey D., Karen D. Grant, et Regan L. Mandryk. 2003. « System Guidelines for Co-Located, Collaborative Work on a Tabletop Display ». P. 159–78 in *ECSCW 2003*. Springer, Dordrecht.
- Silverman, Barry G. 1992. « Human-Computer Collaboration ». *Human-Computer Interaction* 7(2):165.
- Streitz, Norbert A., Jörg Geißler, Torsten Holmer, Shin'ichi Konomi, Christian Müller-Tomfelde, Wolfgang Reischl, Petra Rexroth, Peter Seitz, et Ralf Steinmetz. 1999. « i-LAND: An Interactive Landscape for Creativity and Innovation ». P. 120–127 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '99*. New York, NY, USA: ACM.
- Sugimoto, Masanori. 2009. « Design of Systems for Supporting Collaborative Learning Augmented with Physical Artefacts ». P. 1-20 in *Interactive Artifacts and Furniture Supporting Collaborative Work and Learning, Computer-Supported Collaborative Learning Series*, édité par P. Dillenbourg, J. Huang, et M. Cherubini. Springer US.
- Tang, Anthony, Melanie Tory, Barry Po, Petra Neumann, et Sheelagh Carpendale. 2006. « Collaborative Coupling over Tabletop Displays ». P. 1181–1190 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '06*. New York, NY, USA: ACM.
- Tang, John C. 1991. « Findings from Observational Studies of Collaborative Work ». *Int. J. Man-Mach. Stud.* 34(2):143–160.
- Tang, John C., et Scott Minneman. 1991. « VideoWhiteboard: Video Shadows to Support Remote Collaboration ». P. 315–322 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '91*. New York, NY, USA: ACM.
- Tarpin-Bernard, Franck. 1997. « Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : Approche AMF-C ». Thèse de Doctorat, Ecully, Ecole centrale de Lyon.
- Tse, Edward, Saul Greenberg, Chia Shen, et Clifton Forlines. 2007. « Multimodal Multiplayer Tabletop Gaming ». *Comput. Entertain.* 5(2).
- Tse, Edward, Johannes Schöning, Jochen Huber, Lynn Marentette, Richard Beckwith, Yvonne Rogers, et Max Mühlhäuser. 2011. « Child Computer Interaction: Workshop on UI Technologies and Educational Pedagogy ». P. 2445–2448 in *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '11*. New York, NY, USA: ACM.
- Tse, Edward, Johannes Schöning, Yvonne Rogers, Chia Shen, et Gerald Morrison. 2010. « Next Generation of HCI and Education: Workshop on UI Technologies and Educational Pedagogy ». P. 4509–4512 in *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '10*. New York, NY, USA: ACM.
- Ullmer, Brygg, et Hiroshi Ishii. 2000a. « Emerging frameworks for tangible user interfaces ». *IBM systems journal* 39(3.4):915–931.
- Ullmer, Brygg, et Hiroshi Ishii. 2000b. « Emerging frameworks for tangible user interfaces ». *IBM systems journal* 39(3.4):915–931.

- Underkoffler, John, et Hiroshi Ishii. 1999. « Urp: A Luminous-tangible Workbench for Urban Planning and Design ». P. 386–393 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '99*. New York, NY, USA: ACM.
- Vandeventer, Jason, et Benjamin Barbour. 2012. « CodeWave: A Real-time, Collaborative IDE for Enhanced Learning in Computer Science ». P. 75–80 in *Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE '12*. New York, NY, USA: ACM.
- Wan, Dadong, et Philip M. Johnson. 1994. « Experiences with CLARE: a computer-supported collaborative learning environment ». *International Journal of Human-Computer Studies* 41(6):851-879.
- Ward, A., A. Jones, et A. Hopper. 1997. « A new location technique for the active office ». *IEEE Personal Communications* 4(5):42-47.
- Warin, B., O. Talbi, C. Kolski, et F. Hoogstoel. 2016. « Multi-Role Project (MRP): A New Project-Based Learning Method for STEM ». *IEEE Transactions on Education* 59(2):137-146.
- Wellner, Pierre. 1993. « Interacting with Paper on the DigitalDesk ». *Commun. ACM* 36(7):87–96.
- Wellner, Pierre, Wendy Mackay, et Rich Gold. 1993. « Back to the Real World ». *Commun. ACM* 36(7):24–26.
- Wilson, Paul. 1991. *Computer supported cooperative work : an introduction*. Intellect.
- Xie, Lesley, Alissa N. Antle, et Nima Motamedi. 2008. « Are Tangibles More Fun?: Comparing Children's Enjoyment and Engagement Using Physical, Graphical and Tangible User Interfaces ». P. 191–198 in *Proceedings of the 2Nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI '08*. New York, NY, USA: ACM.
- Xu, Xuexin, Yin-Leng Theng, Jinhui Li, et Pham Tan Phat. 2016. « Investigating Effects of Exergames on Exercise Intentions Among Young-Old and Old-Old ». P. 2961–2968 in *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '16*. New York, NY, USA: ACM.
- Yamashita, Naomi, Hideaki Kuzuoka, Keiji Hirata, Shigemi Aoyagi, et Yoshinari Shirai. 2011. « Supporting Fluid Tabletop Collaboration Across Distances ». P. 2827–2836 in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*. New York, NY, USA: ACM.

Annexes

Annexe A

Exemple

Questionnaire Pré utilisation de la table interactive (A remplir par chaque utilisateur)

Ce questionnaire va permettre d'obtenir un retour utilisateur après utilisation de la table interactive. Il vous invite à répondre à un ensemble de questions et également à évaluer le degré de certitude de la réponse fournie.

NOM : **Bond**

PRENOM : **James**

AGE : **45 ans**

SEXE : Masculin Féminin

Problème visuel (non corrigé) : **aucun**

Droitier Gaucher

EXEMPLE D'UTILISATION : Achetez-vous des bonbons ?

Réponse : « rarement » et « je suis presque certain »

Pas du tout	1			4	5	Tout à fait
						
Pas du tout certain	2	3	4			Totalement certain
						

Remarques : je n'achète des bonbons que si j'amène les enfants avec moi

Annexe B

Questionnaire 1 d'utilisation de la table interactive (A remplir par chaque utilisateur)

Ce questionnaire va permettre d'obtenir un retour utilisateur avant utilisation de la table interactive. Il vous invite à répondre à un ensemble de questions et également à évaluer le degré de certitude de la réponse fournie.

AGE :

SEXE : Masculin Féminin

Problème visuel (non corrigé) :

Droitier Gaucher

1. Avez-vous l'habitude d'utiliser les grandes surfaces intelligentes (tableau interactif, mur interactif, sol interactif, table interactive ...) ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait					
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>										
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalelement certain					
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>										
<i>Remarques :</i>										

2. Avez-vous besoin de travailler en groupe (avec des collègues, dans le cadre d'une association...) ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait					
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>										
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalelement certain					
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>										
<i>Remarques :</i>										

3. Avez-vous essayé les jeux multi-joueurs en ligne ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

4. Utilisez-vous des outils de communication et de partage d'information à distance (skype, teamviewer ...) ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

Annexe C

Questionnaire SUS : satisfaction des utilisateurs de l'application apprentissage de couleurs en mode distribué (A remplir par chaque utilisateur)

	Pas du tout d'accord				Tout à fait d'accord
1. J'aimerais utiliser ce système fréquemment	1	2	3	4	5
2. Je trouve ce système inutilement complexe	1	2	3	4	5
3. Je pense que ce système est facile à utiliser	1	2	3	4	5
4. J'aurais besoin d'un support technique pour pouvoir utiliser ce système	1	2	3	4	5
5. Les différentes fonctionnalités de ce système sont bien intégrées	1	2	3	4	5
6. Ce système est truffé d'incohérences	1	2	3	4	5
7. Le grand public peut apprendre à utiliser ce système très rapidement	1	2	3	4	5
8. Ce système est lourd à utiliser	1	2	3	4	5
9. J'ai confiance en ce système	1	2	3	4	5
10. J'ai dû apprendre beaucoup de choses avant de pouvoir utiliser le système	1	2	3	4	5

Annexe D

Questionnaire 2 : évaluation de l'utilité des tangigets utilisés pour collaborer à distance via les tables interactives tangibles (A remplir par les utilisateurs table adulte)

1. Vous semble-t-il pertinent de travailler à distance à plusieurs sur l'espace distribué offert par les tables interactives connectées Pour réaliser l'apprentissage des couleurs ou pour d'autres applications ? si oui vous les citez dans un commentaire ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Remarques :</i>					



2. L'objet « Catégorie » vous semble-t-il significatif par rapport à ses rôles dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Remarques :</i>					



3. Pouvez-vous manipuler l'objet « catégorie » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<i>Remarques :</i>					



4. L'objet « Start » vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<i>Remarques :</i>					



5. Pouvez-vous manipuler l'objet « Start » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<i>Remarques :</i>					



6. L'objet magicien vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					



7. Pouvez-vous manipuler l'objet « magicien » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					



8. L'objet « Gomme » vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					



9. Pouvez-vous manipuler l'objet « Gomme » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
<i>Remarques :</i>											



10. L'objet « Focus » vous semble-t-il significatif par rapport à son rôle dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
<i>Remarques :</i>											



11. Pouvez-vous manipuler l'objet « Focus » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
<i>Remarques :</i>											

12. La « zone de collaboration » vous semble-t-elle significative par rapport à ses rôles dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					

13. Pouvez-vous manipuler la « zone de collaboration » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					

14. Arrivez-vous à comprendre l'identification des utilisateurs de la table distante ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					

15. La demande d'aide était-elle claire ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

16. Les objets sujets d'une demande d'aide étaient-ils clairs ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

17. La déclaration de la fin de l'exercice était-elle claire ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

Annexe E

Questionnaire 2 : évaluation de l'utilité des tangigets utilisés pour collaborer à distance via les tables interactives tangibles (A remplir par les utilisateurs table enfant)

1. Vous semble-t-il pertinent de travailler à distance à plusieurs sur l'espace distribué offert par les tables interactives connectées Pour réaliser l'apprentissage des couleurs ou pour d'autres applications ? si oui vous les citez dans un commentaire ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					



2. L'objet « identification » vous semble-t-il significatif par rapport à ses rôles dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					



3. Pouvez-vous manipuler l'objet « Identification » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
<i>Remarques :</i>											



4. L'objet « fin exercice » vous semble-t-il significatif par rapport à ses rôles dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
<i>Remarques :</i>											



5. Pouvez-vous manipuler l'objet « fin exercice » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain						
	1	2	3	4	5						
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>											
<i>Remarques :</i>											

6. La « zone de collaboration » vous semble-t-elle significative par rapport à ses rôles dans l'application ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					

7. Pouvez-vous manipuler la « zone de collaboration » facilement ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					

8. La demande d'aide était-elle facile ?

Pas du tout	1	2	3	4	Tout à fait
	1	2	3	4	5
Pas du tout certain	1	2	3	4	Totalement certain
	1	2	3	4	5
<i>Remarques :</i>					

Annexes

9. L'aide fournie par l'utilisateur distant de l'autre table était-il assez clair pour vous aider à trouver la bonne zone pour l'objet en question ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

10. La correction de l'exercice était-elle assez claire pour pouvoir corriger les erreurs ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						

11. L'étape de L'affectation de la catégorie était-elle claire ?

Pas du tout					Tout à fait	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Pas du tout certain					Totalement certain	
1	2	3	4	5		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
<i>Remarques :</i>						