



HAL
open science

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

Sébastien Kubicki

► **To cite this version:**

Sébastien Kubicki. 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. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2011. Français. NNT: . tel-00681891

HAL Id: tel-00681891

<https://theses.hal.science/tel-00681891>

Submitted on 22 Mar 2012

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.

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

présentée et soutenue publiquement le 02 décembre 2011

pour l'obtention du

Doctorat de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Sciences et Technologie, Mention : Informatique

par

Sébastien Kubicki

Composition du jury

Ahmed Seffah, Professeur, Université de Concordia, Montréal, Canada, Président
Nadine Couture, Enseignant-Chercheur HDR, ESTIA, Bidart, Rapporteur
Franck Poirier, Professeur, Université de Bretagne-Sud, Vannes, Rapporteur
Jean Caelen, Directeur de recherche CNRS, Université de Grenoble, Examineur
Christophe Kolski, Professeur, UVHC, Directeur de thèse
Sophie Lepreux, Maître de Conférences, UVHC, Co-encadrante
Hervé Schultz, Société RFidées, Voiron, Invité

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

présentée et soutenue publiquement le 02 décembre 2011

pour l'obtention du

Doctorat de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Sciences et Technologie, Mention : Informatique

par

Sébastien Kubicki

Composition du jury

Ahmed Seffah, Professeur, Université de Concordia, Montréal, Canada, Président
Nadine Couture, Enseignant-Chercheur HDR, ESTIA, Bidart, Rapporteur
Franck Poirier, Professeur, Université de Bretagne-Sud, Vannes, Rapporteur
Jean Caelen, Directeur de recherche CNRS, Université de Grenoble, Examineur
Christophe Kolski, Professeur, UVHC, Directeur de thèse
Sophie Lepreux, Maître de Conférences, UVHC, Co-encadrante
Hervé Schultz, Société RFidées, Voiron, Invité

Remerciements

Je me souviendrai sans doute très longtemps de cette journée où tout a commencé...

- Sébastien nous avons un projet à te proposer.
- Ha...?!? Quel genre de projet?
- Disons, un projet un peu particulier (/ * ça sent l'embuscade... */)
- Ha! Et ça parle de quoi votre projet?
- De table interactive, de RFID, d'objets tangibles, et d'IHM...
- Table interactives! RFID? Objets tangibles??? Mouais, c'est un peu flou pour moi. Et puis j'ai déjà trouvé plusieurs stages pour la fin de mon Master.
- Oui, mais notre sujet est sans aucun doute beaucoup mieux (/ * ils disent tous ça */), c'est novateur et en plus c'est plutôt bien payé (/ * ils ne m'avaient pas dit qu'il fallait enlever 43% à ce chiffre Brut ;o) /*).
- Bon ok, admettons et ça consiste en quoi votre projet?
- Heu... En fait, disons que (/ * ils finissent par se lancer */), c'est un projet de recherche.
- Un projet de recherche?!? Mais je suis en Master Pro...
- Ce n'est pas grave, tu commenceras par un stage de fin d'étude et tu obtiendras une équivalence.
- Ha d'accord. Bon et sinon elle est où la petite étoile cachée comme sur les contrats d'assurance?
- Disons que, tu vas te lancer pour 3 ans d'études (/ * pfiuuu encore!!! /*) et... faire une thèse.

[...]

Une semaine plus tard : "Papa, je vais faire un Doctorat!" ;o)

Je tiens premièrement à remercier ces quatre personnes qui ont sans aucun doute modifié l'avenir vers lequel je me tournais : *Christophe, Emmanuel, René* et *Sophie*. Thanks!

Un grand merci à *Christophe Kolski*, mon directeur de thèse, à qui je lève mon chapeau pour sa disponibilité déconcertante (le samedi, le dimanche et jours fériés, ou même la nuit), pour son aide précieuse à la rédaction de mes articles ou de ma thèse, pour tout ce qu'il a pu m'apporter durant ces 3 années de doctorat et pour ce qu'il m'apporte encore d'ailleurs. Merci également de m'avoir permis de présenter ce premier papier international et d'aller sur place ;o). Finalement, merci d'avoir tout simplement eu confiance en moi.

Un grand merci également à *Sophie Lepreux* ma co-encadrante de thèse qui a su me lancer directement sur les bonnes pistes, qui a parfaitement réussi à m'encadrer durant ces 3 années en parallèle des biberons et des p'tits pots (j'aime bien ceux à la vanille, moi), et qui a réussi à supporter mon côté *légèrement* têtu (bien qu'elle arrivait toujours à me faire changer d'avis, hein Sophie?). Merci également pour son soutien et son aide dans les périodes de doute ou de baisse de régime.

Je remercie tout particulièrement mes rapporteurs *Nadine Couture* et *Franck Poirier* pour tout l'intérêt qu'ils ont pu porter à mes travaux de thèse et pour l'évaluation qu'ils en ont faite; ainsi que mes examinateurs *Jean Caelen* et *Ahmed Seffah*, ce dernier ayant accepté de présider ma soutenance.

Je tiens également à remercier *René Mandiau* pour ses conseils et pour son aide apportée de bon matin sur la validation de mes formulations mathématiques (je te dois encore une bonne bière belge), pour sa confiance, sa disponibilité et son soutien sur tous les points.

Un merci aux différents collègues de *l'équipe RAIHM*, ou plus généralement aux différents collègues du *laboratoire*.

Je remercie également les partenaires avec qui j'ai travaillé sur le projet ANR TTT et avec qui je travaille encore sur le projet ANR IMAGIT (ANR-10-CORD-017) : nos *collègues du LIG*, la société *RFIdées* (bravo *Hervé* de nous avoir "pondu" cette table), le *CEA*, la société *Supertec* mais également l'*ANR* qui a permis de financer cette thèse.

Un merci également à mes anciens collègues et amis de bureau : *David, Stéphanie B.* (merci *Stef* pour ton bisounours "GrosVeinard" qui, jusqu'à maintenant, m'a plutôt porté chance et qui va sans doute rester posé sur mon bureau encore quelques années).

Un spécial thanks également à tous mes amis : *Moumouille, Toufik, Yoyo* chers collègues et amis du bureau pour tous les bons moments passés ensemble durant la thèse. En particulier pour les nombreux barbecues que nous avons pu faire les jours de grand beau (oui il fait beau temps même dans le Nord, au-dessus de Paris) faisant un peu oublier le dur travail d'un thésard ;o). *Tchoulow* et son frangin *Rémy, Emilie, Ber'*, mes chers potos du lycée Wallon de Valenciennes pour leur soutien permanent, pour les bières qu'ils m'ont payées, pour les bières qu'ils m'ont fait payer, pour toutes ces années passées ensemble et toutes celles que nous passerons sans doute encore. En parlant de bières (qui sont en quelque sorte un peu mes amies aussi), merci aux moines des différentes abbayes Belges de nous proposer cette si bonne boisson houblonnée. *Alex* et *Eve, Julio* et *Popo, Julie* et *Yoyo* encore (pour respecter les couples), mes chers potos de promo UVHC avec qui je passe toujours d'excellentes soirées surtout quand Julio pète le feu (c'est-à-dire tout le temps) :o). *Kevin, Eve* et la petite *Rose*, ("*les Boliviens*") pour ces bons moments passés ensemble, généralement face à une délicieuse frite Belge. Bon, ok je pense que je peux remercier nos amis et voisins Belges en général pour leurs bières et... leurs mitraillettes puisqu'ils ont largement contribué à cette thèse ;o). Spécial double thanks à *Ma Poule*, mon poto d'enfance avec qui j'ai fait les pires bêtises mais sans doute également avec qui j'ai passé les meilleurs moments de mon jeune âge (non, je ne suis pas vieux pour autant). Enfin spécial thanks à tout le reste de mes amis qu'il n'est pas possible de tous nommer dans ces deux pages.

Je termine avec ma petite famille, *mon Père, mes Soeurs, mes Neveux* et *Nièces*, ma *Grand-Mère* qui m'ont toujours soutenu et cru en moi durant toutes ces années depuis un certain 31 mai. Ma belle-famille : *Claudine, Jean-François, Perrine* et *Mamie* qui m'ont également soutenu durant ces 3 ans de thèse. A eux tous, je leur dit un grand "MERCI".

Et enfin tout en fredonnant quelques paroles de *Renaud* "*Pour celle qui tous les jours, partage mon cassoulet. Ma gonzesse, celle que j'suis avec. Ma princesse, celle que j'suis son mec. Oh oh oh*". Ma petite *Coco* qui me supporte depuis 11 ans maintenant, malgré mes côtés râleurs et bougons, qui a su me reconforter et me faire rire durant les périodes difficiles de la thèse, qui m'a très largement soutenu et encouragé dans tout ce que j'ai pu entreprendre et finalement qui a été compréhensive et indulgente durant ces quelques mois où je me suis enfermé dans mon bureau, à la maison, du matin jusqu'au soir pour rédiger ce mémoire. A toi, je te dis un GROS MERCI!

... à mon Grand-Père.

On ne surfe pas sur la vague, on la crée.

*"The best way to predict the future is to invent it."¹
Alan Kay*

1. Le meilleur moyen de prédire le futur est de l'inventer.

Table des matières

Liste des figures	5
Liste des tableaux	9
Introduction générale	11
1 Les tables interactives : nouvelles plateformes d'interaction	11
2 Le contexte d'usage	11
3 Vers une prise en considération du contexte pour les tables interactives . .	12
4 Les apports de cette thèse	12
5 Organisation de la thèse	13
Chapitre 1 Les tables interactives : présentation, recensement et état de l'art	17
1.1 Introduction	17
1.2 Proposition de dimensions pour le recensement de tables interactives	18
1.3 Description détaillée des dimensions et critères	19
1.3.1 Dimension D1 : Identité	20
1.3.2 Dimension D2 : Caractéristiques Techniques	21
1.3.3 Dimension D3 : Interactions Homme-Machine	26
1.3.4 Dimension D4 : Démonstrateurs	30
1.4 Recensement des tables interactives selon les quatre dimensions	31
1.5 Synthèse	39
1.6 Conclusion	46
Chapitre 2 Les tables interactives : nouvelles problématiques en Interaction Homme-Machine	49
2.1 Introduction	49
2.2 De l'ordinateur personnel aux tables interactives	51

2.3	Evolution des tables interactives : du virtuel au tangible	53
2.3.1	Evolution et classification des interfaces des tables	53
2.3.2	Apport du tactile et du tangible pour les tables interactives	55
2.4	Intérêt du contexte pour les tables interactives	57
2.4.1	Définition du contexte	57
2.4.2	Motivations	59
2.5	Le contexte en Interaction Homme-Machine	59
2.5.1	Etat de l'art	59
2.5.2	Synthèse de l'état de l'art sur le contexte en IHM	65
2.6	Conclusion	67

Chapitre 3 Vers une prise en considération du contexte d'usage pour les tables interactives **69**

3.1	Introduction	69
3.2	Proposition d'un modèle du contexte d'usage adapté aux tables interactives	70
3.2.1	Modélisation du contexte d'usage : caractéristiques génériques	71
3.2.2	Prise en compte de nouveaux critères, adaptation aux tables interactives	74
3.3	Définitions et modélisation du contexte d'usage et des situations d'utilisation	78
3.3.1	Définitions générales	80
3.3.2	Informations du contexte d'usage spécifiques aux tables interactives	83
3.4	Proposition d'un système d'adaptation au contexte d'usage pour les tables interactives	85
3.4.1	Capture du contexte d'usage	87
3.4.2	Transformation et interprétation des données du contexte d'usage grâce aux objets	90
3.4.3	Règles d'adaptation au contexte d'usage	92
3.5	Conclusion	98

Chapitre 4 Prise en considération du contexte : mise en application sur table interactive **101**

4.1	Introduction	101
4.2	La table interactive <i>TangiSense</i>	102
4.2.1	Présentation du projet ANR TTT	102
4.2.2	Description de la table interactive	103

4.2.3	Description des objets	104
4.2.4	Présentation de l'architecture	105
4.3	Moteur d'adaptation au contexte d'usage	107
4.3.1	Choix technologique lié au projet TTT	107
4.3.2	Principe adopté : conception d'un moteur d'adaptation via un Système Multi-Agents	109
4.3.3	Conclusion sur le moteur d'adaptation	111
4.4	Présentation de l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i>	113
4.4.1	Présentation générale	114
4.4.2	Présentation et conception des objets	114
4.4.3	Développement de l'application	116
4.4.4	Fiche individuelle de résultats	117
4.4.5	Autres applications basées sur l' <i>Apprentissage et la reconnaissance des couleurs</i> et liées à l'éducation	117
4.4.6	Conclusion	120
4.5	Mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage	120
4.5.1	Utilisation du moteur d'adaptation à base d'agents et intégration des règles d'adaptation	121
4.5.2	Prise en compte des utilisateurs	121
4.5.3	Développement et prise en compte des situations d'utilisation	122
4.5.4	Conclusion sur la mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage	126
4.6	Conclusion	127

Chapitre 5 Evaluations et perspectives de recherche **131**

5.1	Introduction	131
5.2	Première évaluation menée en laboratoire	132
5.2.1	Introduction	132
5.2.2	Protocole	132
5.2.3	Déroulement global pour l'ensemble des groupes	133
5.2.4	Déroulement pour chacun des groupes S3 à S6	134
5.2.5	Résultats	135
5.2.6	Conclusion sur la première évaluation en laboratoire	138
5.3	Seconde évaluation menée en école maternelle	138
5.3.1	Introduction	138

5.3.2	Evaluation de l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i> en école maternelle	139
5.3.3	Protocole d'évaluation	139
5.3.4	Résultats préliminaires	142
5.3.5	Conclusion	145
5.4	Perspectives de recherche	146
5.4.1	Recensement et caractérisation des tables interactives	146
5.4.2	Prise en compte du contexte pour les tables interactives	146
5.4.3	Vers des contextes multi-tables	147
5.4.4	Evaluations centrées IHM et ergonomie	147
5.5	Conclusion	148
	Conclusion générale	151
	Annexe A Système Multi-Agents : définition simple	155
	Annexe B Exemple d'utilisation des questionnaires utilisés lors des évaluations	157
	Annexe C Questionnaires utilisé lors de l'évaluation de l'adaptation au contexte d'usage de la table interactive <i>TangiSense</i>	159
	Annexe D Questionnaire utilisé lors de l'évaluation de l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i> en école maternelle	167
	Bibliographie	171

Liste des figures

1.1	Premier prototype du Digital Desk proposé par Pierre Wellner [188]	18
1.2	Modèle de caractérisation des tables interactives en dimensions et critères .	19
1.3	Schématisation générale d'un système de capture par caméra	21
1.4	Schéma de deux technologies de captures par caméra : FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) (a) et DI (Diffused Illumination) (b)	22
1.5	Schéma de deux technologies de captures par caméra : DSI (Diffused Surface Illumination) (a) et LLP (Laser Light Plane) (b)	23
1.6	Exemple d'étiquettes (ou tags) RFID (a) et schéma de la technologie de capture par matrice d'antennes RFID (b)	24
1.7	Schéma de la technologie de capture par fibre optique et caméra (a) et par capacité électrique (b)	25
1.8	Présentation du démonstrateur musical de la ReacTable	31
1.9	Evolution du nombre de prototypes différents de tables interactives issus des données cumulées depuis 1999 à 2011	40
1.10	Pourcentage d'utilisation des systèmes de capture	41
1.11	Répartition des technologies employées dans le cas de l'utilisation de la caméra comme système de capture	42
1.12	Récapitulatif des interactions possibles {Utilisateur-Table interactive} ou {Utilisateur-Objets-Table}	45
1.13	Pourcentage des domaines d'utilisation des différents démonstrateurs . . .	46
2.1	La redirection d'applications vue par Wellner en 1993 : du PC au bureau interactif	50
2.2	Evolution des interfaces par l'exploitation de tables interactives : distinction des utilisateurs dans des situations collectives (a) ; utilisation d'objets tangibles (b)	52
2.3	Modélisation des interfaces associées aux tables interactives	54
2.4	Du GUI (Graphical User Interface) au TUI (Tangible User Interface) vu par Ishii et Ullmer en 1997 [85]	56
2.5	Tentative de modélisation taxonomique des définitions du contexte issues des dictionnaires Larousse [102] et Petit Robert [104]	58
2.6	Exemple d'un système adaptatif au contexte (ParcTab [155]). Chaque utilisateur peut, grâce à un appareil mobile, déterminer où est le périphérique le plus proche dont il a besoin.	60

2.7	Différents types de processus d'adaptation : de l'adaptabilité à l'adaptativité [47]	62
2.8	Exemple de configuration du <i>Context Toolkit</i> proposé par Dey <i>et al.</i> [43]	63
2.9	Représentations des entités, des rôles joués par ces entités ainsi que des relations entre les entités proposés par Rey [146]. Ici, l'entité <i>EcranLCD</i> , représentée par le groupement d'observables ($O1, O2, On$), joue le rôle de <i>surface</i> et l'entité <i>souris</i> , représentée par le groupement d'observables (Or, Om, Ok), joue le rôle de <i>pointeur</i> . Les deux entités entretiennent une relation : la souris est <i>couplée</i> à l'écran.	65
3.1	Base de notre modélisation du contexte d'usage issue de la définition du contexte par Calvary <i>et al.</i> [31]	71
3.2	Modélisation du contexte intégrant les spécifications de l'Utilisateur	72
3.3	Modélisation du contexte intégrant les spécifications de la Plateforme	72
3.4	Modélisation du contexte intégrant les spécifications de l'Environnement	73
3.5	Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'Utilisateur, de la Plateforme et de l'Environnement issu de l'état de l'art	73
3.6	Modélisation du contexte intégrant les spécifications de l'Utilisateur augmentée pour l'interaction avec des tables interactives	75
3.7	Modélisation du contexte intégrant les spécifications de la Plateforme augmentée pour l'interaction avec des tables interactives	76
3.8	Modélisation du contexte intégrant les spécifications de l'Environnement augmentée pour l'interaction avec des tables interactives	77
3.9	Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l' Utilisateur , de la Plateforme et de l' Environnement issu de l'état de l'art augmentée pour l'interaction avec des tables interactives	79
3.10	Modélisation d'un changement de situation d'utilisation s à la situation s' suite à une modification d'un des critères de $cu_s \in CU_S$	82
3.11	Modélisation du changement de situation d'utilisation s issu de la modification au niveau d'un des critères associé à l'élément u	83
3.12	Modélisation d'un contexte d'usage avec table interactive	84
3.13	Modélisation de quatre situations d'utilisation de table interactive : $s_{attente}$, s_{seul} , $s_{collectif.EspaceIndividuel}$, $s_{collectif.EspaceCommun}$	86
3.14	Modélisation d'une architecture supportant l'adaptation au contexte d'usage pour les tables interactives	87
3.15	Représentation de la table comme étant une grille de 10x10; deux utilisateurs sont considérés dans une situation d'utilisation $s_{collectif.EspaceIndividuel}$	90
3.16	Représentation de la table comme étant une grille de 10x10; dans une situation d'utilisation s_{seul} (a) et $s_{collectif.EspaceCommun}$ (b)	91
3.17	Adaptation de la plateforme selon la position utilisateur en utilisant sa carte d'identification	93
3.18	Exemple de situation d'utilisation s_{seul} puis $s_{collectif.EspaceCommun}$ et d'adaptation des informations en fonction de la situation des utilisateurs relative à la table	94

3.19	Adaptation de la plateforme selon le nombre d'utilisateurs en travail individuel	95
4.1	Utilisation de la table <i>TangiSense</i> pour la gestion de trafic routier de manière collaborative, avec un ensemble d'objets	102
4.2	Dalle avec 8x8 antennes RFID et LED (en (a) éteintes, en (b) allumées) . .	103
4.3	Présentation d'objets tangibles et virtuels sur <i>TangiSense</i>	104
4.4	Architecture logicielle de la table interactive <i>TangiSense</i> [98, 99]	105
4.5	Modèle de séquence montrant les échanges engendrés entre les couches suite à la détection d'un objet tangible et la création d'un objet virtuel [97] . . .	107
4.6	Modélisation d'une application sur la table interactive <i>TangiSense</i> , mêlant objets virtuels et tangibles et les agents associés aux objets	108
4.7	Modélisation du moteur d'adaptation composé du Système Multi-Agents intégrant les règles d'adaptation	110
4.8	Page-écran de la classe JAVA gérant les rôles du <i>Génie</i> du SMA et intégrant l'ensemble des services définissant notre moteur d'adaptation et permettant l'adaptation de la table interactive <i>TangiSense</i> au contexte d'usage	112
4.9	Utilisation du papier, de la colle et des gommettes colorées pour l'apprentissage des couleurs en école maternelle	113
4.10	Liste des images proposées par le professeur des écoles et représentatives de la couleur bleu, jaune, rouge et verte	115
4.11	Exemple de deux objets conçus pour l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i>	115
4.12	Procédure de vérification du choix des enfants suite à la pose du magicien sur la table interactive	116
4.13	Page-écran d'une feuille de résultats d'un enfant suite à l'utilisation de l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i> , à destination du professeur des écoles. L'ensemble des objets ont été ici utilisé.	118
4.14	Différentes applications liées à l'apprentissage des chiffres et des nombres sur la table interactive <i>TangiSense</i>	119
4.15	Prise en compte de la cardinalité côté utilisateur de notre modélisation du contexte	121
4.16	Définition XML d'une carte d'identification (carteID)	122
4.17	Exemple d'utilisation d'une carte d'identification (carteID) sur la table interactive <i>TangiSense</i> pour l'identification des utilisateurs et le lancement des applications (ici dans la situation S_{seul})	123
4.18	Prise en compte du critère de l'environnement collectif et de l'espace de travail de notre modélisation du contexte	124
4.19	Prise en compte du critère de l'environnement collectif, de l'espace de travail commun et de la collaboration collocalisée de notre modélisation du contexte	124
4.20	Extrait de la définition XML des lignes virtuelles séparant les espaces de travail des 4 utilisateurs potentiels de l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i>	125

4.21	Prise en compte du critère de l'environnement collectif et de l'espace de travail individuel de notre modélisation du contexte	125
4.22	Partage de l'espace de travail	127
4.23	Page-écran de la classe JAVA principale de l'application <i>Apprentissage et reconnaissance des couleurs</i> . Extrait de code de la prise en considération du nombre d'utilisateurs (grâce aux cartes d'identification) et de l'affichage des espaces de travail virtuels séparés par les lignes blanches.	129
5.1	Environnement en laboratoire de l'expérimentation	132
5.2	Progression des six groupes	134
5.3	Situation avec a) un utilisateur sur un espace commun, b) et c) deux et trois utilisateurs sur un espace individuel, d) quatre utilisateurs sur un espace commun	135
5.4	Résultats des questionnaires remplis par les sujets	136
5.5	Deux vues de l'application Apprentissage des Couleurs sur la table interactive TangiSense	139
5.6	Intégration de la table interactive <i>TangiSense</i> en école maternelle	140
5.7	Evaluation de l'application "apprentissage de couleurs" (a, b, c) avec la table interactive TangiSense et (d) avec papier/colle/gommettes en école maternelle	142
5.8	Résultats aux questionnaires remplis par le professeur des écoles	144
5.9	Exemples de contextes d'interaction distribuée multi-acteurs et multi-tables interactives étudiées et mis oeuvre lors du projet ANR IMAGIT	148
A.1	Modélisation simpliste d'un Système Multi-Agents	155

Liste des tableaux

1.1	Identité des tables interactives	32
1.2	Caractéristiques Techniques	33
1.3	Interactions Homme-Machine : (Sensibles au toucher, avec Objets)	35
1.4	Interactions Homme-Machine : (Collaboratives, Nouveaux Types)	37
1.5	Démonstrateurs	38
1.6	Captures	43
2.1	Comparaison globale de l'utilisation de l'ordinateur personnel avec les tables interactives	51
2.2	Tableau récapitulatif et comparatif de la notion de contexte en IHM	66
3.1	Moyens de capture du contexte	88
5.1	Niveau de difficulté associé à chaque objet	141

Introduction générale

1 Les tables interactives : nouvelles plateformes d'interaction

En 1965, Gordon Moore annonçait au monde que "la quantité de transistors doublerait tous les ans". Même si d'un point de vue technique les processeurs finiront par atteindre leurs limites, les appareils électroniques et informatiques ne cesseront d'être présents dans notre vie courante et d'évoluer au fil des années. En informatique notamment l'évolution est considérable ; celle-ci s'est introduite peu à peu dans la vie de tous les jours et est devenue une informatique dite ambiante s'insérant dans notre environnement. A ce titre, Mark Weiser en 1999 [183] définissait l'informatique "ubiquitaire" (*i.e.* une informatique toujours présente, rendant service mais "invisible"). Il est facile de se rendre compte que le constat effectué à cette époque par Mark Weiser devient une réalité. Les ordinateurs sont devenus de plus en plus petits, laissant place aux netbooks, PDA, tablettes, ou téléphones multifonctions dont bon nombre de personnes ne saurait maintenant se passer. L'utilisateur, même nomade, peut désormais interagir sur différentes plates-formes d'interaction tout en restant connecté au reste du monde et ce, grâce aux avancées des réseaux sans fil. Nous entrons ainsi dans l'ère du tactile, de la 3D voire même de l'objet communiquant où l'utilisateur n'interagit plus simplement avec un clavier et une souris mais avec les doigts, son téléphone, ou des objets de tous les jours. Ces nouvelles Interactions Homme-Machine sont permises grâce à l'évolution des plateformes. Pour contrer les limites du triplet <écran, clavier, souris> reliés à l'Unité Centrale, une solution a été apportée proposant l'écran comme support de travail permettant non seulement un très grand affichage mais des interactions nouvelles sans périphériques. L'UC et ses périphériques laissent donc place à la table ou au bureau lui-même et ce grâce à de nouvelles plateformes qui apparaissent peu à peu : les tables interactives. C'est sur ces nouvelles plateformes que nous focaliserons nos recherches. Nous proposons de recenser, de présenter puis de caractériser selon différentes dimensions les tables interactives. Nous proposons ensuite de prendre en compte le contexte d'usage pour les tables interactives.

2 Le contexte d'usage

Le *contexte* est une notion utilisée depuis longtemps dans des conceptions d'applications interactives. Les dictionnaires le définissent, par exemple, comme étant un "ensemble d'informations dans lequel se situe" quelque chose, ou encore en tant qu' "ensemble qui

entoure". Ces définitions restent cependant relativement abstraites face aux nombreuses utilisations de ce terme dans les diverses disciplines scientifiques ou littéraires - ce qui rend donc la formalisation du contexte relativement difficile, ou spécifique à un domaine particulier. Les recherches en Interaction Homme-Machine (IHM) ont précisé ces définitions apportant divers éléments permettant de le qualifier de manière plus approfondie. C'est le cas de Calvary *et al.* [31] en 2004, qui ont défini le contexte d'usage selon le triplet <utilisateur, plateforme, environnement>. C'est sur cette définition que nous fonderons nos recherches en adaptant cette notion de contexte aux tables interactives.

3 Vers une prise en considération du contexte pour les tables interactives

Les avancées technologiques laissent imaginer un futur où tout type d'interaction serait possible mêlant le tactile et le tangible. L'Humain interagit donc avec la machine, mais surtout avec l'ensemble des personnes ou objets qui l'entourent qui peuvent intervenir dans des interfaces utilisateurs qui s'adaptent selon le contexte d'usage. Le contexte <utilisateur, plate-forme, environnement> peut ainsi changer avec le temps, les IHM s'adaptant en fonction de la position de l'utilisateur, des ressources qui lui sont proches, ou encore des personnes qui l'entourent. Nous proposons donc, au même titre que les PDA, ou appareils mobiles qui ont fait l'objet de nombreuses recherches de prendre en considération le contexte d'usage pour les tables interactives. Ces nouvelles plateformes étant relativement différentes des ordinateurs actuels, il semble pertinent de dire que les interactions, les modèles ou les définitions doivent être adaptés pour les rendre compatibles à l'utilisation que l'on va pouvoir faire des tables interactives. Plateformes qui pourraient à terme devenir les futures plateformes de tous les jours.

4 Les apports de cette thèse

Cette thèse présente nos travaux de recherche sur les tables interactives et plus particulièrement la prise en compte du contexte d'usage des tables interactives. Ce mémoire vise dans un premier temps à recenser et à caractériser l'ensemble des tables interactives pouvant être utilisée aussi bien dans un environnement de recherche en laboratoire que dans un environnement industriel. L'objectif serait de faciliter les travaux des futurs chercheurs sur les tables interactives en proposant une caractérisation possibles des tables interactives, des technologies employées, ainsi qu'une analyse de ces éléments permettant et facilitant les éventuels choix technologiques pour leurs futures recherches.

Notre proposition de prendre en compte le contexte d'usage pour les tables interactives vise à soulever les nouvelles problématiques liées à l'utilisation des nouvelles plateformes interactives qui font de plus en plus leur apparition par opposition à l'ordinateur classique que nous avons l'habitude d'utiliser. Ces nouvelles problématiques sont directement liées aux interactions permises par ces plateformes qui cassent nos habitudes concernant l'utilisation du triplet <clavier, écran, souris>. Notre proposition vise donc à montrer qu'il est pertinent, au même titre que les recherches qui ont pu être effectuées sur les

PDA ou appareils mobiles, de prendre en considération le contexte d'usage pour les tables interactives.

Finalement, nous avons mené deux études : la première dans un contexte de recherches en laboratoire, la seconde dans une école maternelle afin d'évaluer l'ensemble des éléments proposés dans ce mémoire. Les résultats relativement positifs de ces évaluations sont très encourageants pour la poursuite de nos recherches et laissent donc envisager de nombreuses perspectives tant dans l'utilisation des tables interactives, de l'adaptation au contexte d'usage de ces plateformes que dans l'évaluation de celles-ci.

5 Organisation de la thèse

Le présent mémoire est organisé de la manière suivante :

Nous proposons dans le premier chapitre de recenser, de présenter puis de caractériser les tables interactives. Nous avons, pour cela, proposé un modèle permettant de caractériser les tables interactives selon quatre dimensions : *Identité, Caractéristiques Techniques, Interactions Homme-Machine, Démonstrateurs*. Après avoir présenté en détail chaque dimension et les critères qui les composent, nous avons proposé le recensement des tables interactives faisant l'objet de recherches passées ou actuelles, en nous basant sur notre modèle. Finalement, nous terminons ce premier chapitre avec une synthèse portant sur l'ensemble des dimensions proposées et du recensement des tables interactives.

Le second chapitre de ce mémoire invite dans un premier temps à établir une comparaison entre l'utilisation de l'ordinateur personnel et les tables interactives. Nous remarquerons alors que les tables interactives sont en effet relativement différentes des ordinateurs que nous pouvons utiliser quotidiennement. Nous montrerons ensuite l'évolution au sein des tables interactives et de leurs interfaces. Nous constaterons alors une évolution des interfaces que nous classerons selon trois types (tactile, tangible et mixte). Cette classification nous permettra alors de définir les apports du tactile et du tangible pour les tables interactives en nous basant sur l'état de l'art. Nous proposerons ensuite de prendre en compte la notion de contexte pour les tables interactives et nous montrerons l'intérêt d'intégrer le contexte pour les tables interactives. Nous aboutirons alors aux définitions du contexte puis à un état de l'art de la notion de contexte en Interaction Homme-Machine. Nous terminerons ce chapitre avec une synthèse de l'état de l'art puis par une conclusion de ce chapitre.

Nous proposons dans le troisième chapitre de ce mémoire de prendre en considération le contexte d'usage pour les tables interactives. Pour cela, nous modéliserons dans un premier temps le contexte d'usage tel qu'il peut être défini dans la littérature.

Dans un second temps, nous adapterons cette modélisation du contexte d'usage afin de l'adapter à l'utilisation des tables interactives. Le contexte d'usage étant alors modélisé, nous proposerons un ensemble de formalismes permettant de définir ce qu'est un contexte et une situation d'utilisation des tables interactives. Nous profiterons de ces définitions pour définir plusieurs exemples de situations d'utilisation des tables interactives

qui seront obtenus en faisant varier les critères issus de notre modèle du contexte pour les tables interactives. Ces définitions nous amèneront à proposer un système d'adaptation du contexte formé des tables interactives, de capteurs du contexte, d'un moteur d'adaptation et d'un ensemble de règles. Nous terminerons alors ce chapitre en proposant un ensemble de règles d'adaptation permettant aux tables interactives de s'adapter, par exemple, en fonction des situations proposées précédemment. Enfin, une conclusion viendra rappeler les points abordés et nos apports proposés dans ce chapitre quant à la prise en considération du contexte pour les tables interactives.

Le quatrième chapitre vise à mettre en application l'intégralité des éléments que nous avons pu présenter tout au long de ce mémoire. Nous proposons dans un premier temps de présenter notre table interactive *TangiSense*, support de nos recherches. Nous présentons donc le projet ANR TTT, aussi bien d'un point de vue matériel que logiciel dont la table interactive *TangiSense* est un des résultats. Nous proposons ensuite de mettre en application notre proposition du chapitre 3 en présentant dans un premier temps notre moteur d'adaptation (lié au système d'adaptation proposé) qui se compose d'un Système Multi-Agents². Nous proposons ensuite de partager ce chapitre en deux parties, chacune d'elle mettant en application les éléments de ce mémoire de manière différente.

Dans la première partie, nous proposons une application à destination des enfants, utilisant la table interactive *TangiSense*, pour l'apprentissage et la reconnaissance des couleurs. Nous présentons premièrement l'application de manière générale ainsi que les motivations liées au développement de celle-ci. Nous continuons avec la présentation et la conception des objets tangibles associés à cette application puis avec le développement de celle-ci. Nous terminons avec la présentation d'autres applications liées à l'éducation puis une conclusion.

La seconde partie vise à mettre en application notre proposition d'adaptation au contexte d'usage directement lié au chapitre 3, en utilisant l'application proposée auparavant. Nous présentons alors l'intégration de nos règles ainsi que l'utilisation du moteur d'adaptation. Le moteur étant défini, nous prenons en considération certains critères issus de notre modélisation du contexte proposée dans le chapitre 3 puis nous les faisons varier afin de permettre à la table interactive de s'adapter en fonction du contexte et des situations d'utilisation. Nous présentons en détails le développement de ces situations puis nous concluons sur cette partie.

Ce chapitre se termine finalement avec une conclusion générale.

Le dernier chapitre de ce mémoire propose deux évaluations que nous avons menées avec la table interactive *TangiSense*. Pour cela, nous avons établi deux protocoles expérimentaux, permettant dans un premier temps d'évaluer notre proposition d'adaptation au contexte d'usage des tables interactives proposée dans le troisième chapitre. Pour cela, une étude a été menée en laboratoire sur un ensemble de sujets adultes. Dans un second temps, une évaluation de notre application liée à l'éducation des enfants proposée dans

2. Il est important de noter ici que les Systèmes Multi-Agents ne sont pas notre domaine de recherche mais que nous avons fait des choix technologiques directement liés au projet ANR TTT et à sa structure logicielle.

le chapitre 4 a été menée; l'objectif étant d'évaluer la table interactive TangiSense et ses objets associés dans un milieu naturel (hors laboratoire). Chaque évaluation possède ses propres résultats dont nous tirons une conclusion.

Nous terminons ce dernier chapitre avec une conclusion.

Finalement, notre mémoire se termine avec une conclusion générale visant à rappeler l'ensemble de nos travaux et recherches menées et présentées tout au long de notre thèse; ainsi qu'un ensemble de perspectives de recherche visant à présenter nos pistes de recherches pour les années futures.

Chapitre 1

Les tables interactives : présentation, recensement et état de l'art

1.1 Introduction

Les tables interactives sont très différentes de l'ordinateur personnel que l'on utilise actuellement. En effet, par la notion de table interactive, on laisse supposer un espace de travail collaboratif et co-localisé permettant de faire intervenir plusieurs utilisateurs en même temps. De nos jours, rares sont les applications et plates-formes permettant de faire intervenir une collaboration simultanée des utilisateurs (tels que le multi-pointage ou le partage de documents en temps réel). Les tables interactives commencent à être dévoilées au public alors que celles-ci font l'objet de recherches depuis de nombreuses années. Déjà en 1991, l'idée de "bureau digital" (voir Figure 1.1) était proposée par Pierre Wellner au centre Xerox [187]. Depuis 1991, de nombreux laboratoires se sont penchés sur ce qui pourrait être l'ordinateur ou la plateforme interactive de demain. L'engouement pour ces tables "high-tech", plateformes d'un nouveau genre se confirme d'année en année. De nombreux forums ou workshops présentant les tables interactives font leur apparition, les sites web (personnels, industriels ou de recherche) ainsi que les référenceurs de vidéos (i.e : Youtube) n'échappent pas à cette technologie, des conférences dédiées (IEEE Tabletop [168], ACM Interactive Tabletops and Surfaces [86]) permettent de présenter de nouvelles recherches sur ces surfaces interactives.

A ce jour, nous avons recensé 84 tables interactives, chacune possédant une référence bibliographique ou un site internet dédié (disponible en 2011). Nous proposons dans ce chapitre d'établir un recensement des tables interactives³ selon plusieurs dimensions, chaque dimension étant associée à un ensemble de critères. La liste des tables interactives étant maintenant conséquente, il devient difficile de s'y retrouver parmi cet ensemble de technologies et de distinguer les caractéristiques de chacune. Nous proposons donc de référencer les tables interactives et de les caractériser selon quatre dimensions : *Identité, Caractéristiques Techniques, Interactions Homme-Machine, Démonstrateurs*. Nous présentons dans un premier temps ces quatre dimensions d'un point de vue général. Nous détaillons ensuite chaque dimension ainsi que les critères choisis. En se basant sur ces di-

3. Nous excluons donc les autres surfaces interactives telles que les murs, le sol ou autres surfaces.

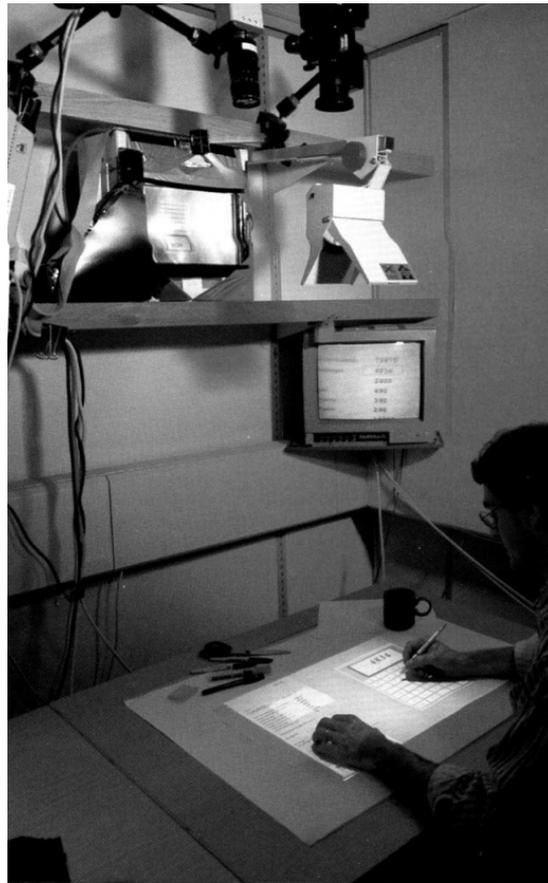


FIGURE 1.1 – Premier prototype du Digital Desk proposé par Pierre Wellner [188]

mensions et critères, nous proposons un recensement des tables interactives faisant l'objet de recherches actuelles. Nous terminons ce chapitre par une synthèse résultant de notre recensement ainsi que par une conclusion générale.

1.2 Proposition de dimensions pour le recensement de tables interactives

Nous proposons de recenser un ensemble de tables interactives selon quatre dimensions : *Identité*, *Caractéristiques Techniques*, *Interactions Homme-Machine* et *Démonstrateurs*. L'utilisation de ces quatre dimensions permet de caractériser les tables interactives selon un point de vue technique, ainsi que d'un point de vue Interaction Homme-Machine. Chaque dimension est ensuite composée d'un ensemble de critères. Le recensement complet d'une table interactive repose donc sur le renseignement de l'ensemble des critères de chaque dimension.

Dans un premier temps, la dimension **Identité** permet d'établir la "carte d'identité" de la table interactive. La dimension **Caractéristiques Techniques** va permettre de présenter en détails les données techniques (matériel et logiciel). Nous proposons ensuite

dans la dimension **Interaction Homme-Machine** d'indiquer les types d'interactions possibles entre l'utilisateur et la plateforme. Enfin, nous proposons dans la dernière dimension **Démonstrateurs** de présenter pour chaque table interactive le démonstrateur ou les applications phares de la table.

Nous avons modélisé notre proposition de recensement des tables interactives selon les dimensions proposées grâce à la figure 1.2. Ce modèle permet de caractériser les tables interactives et de présenter les quatre dimensions et leurs critères.

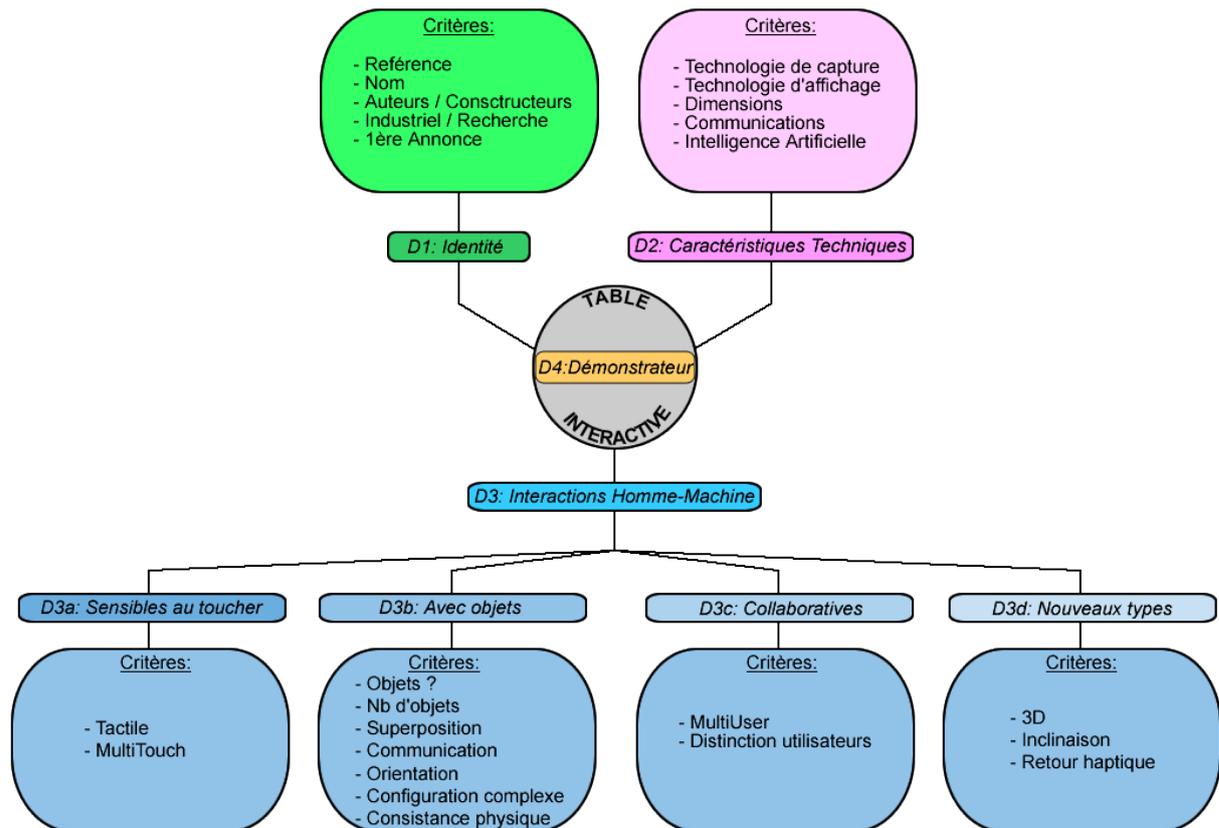


FIGURE 1.2 – Modèle de caractérisation des tables interactives en dimensions et critères

Nous détaillons dans la section suivante chaque dimension ainsi que les différents critères qui les composent.

1.3 Description détaillée des dimensions et critères

Nous proposons dans cette section de présenter plus en détails chaque dimension. Les dimensions étant composées d'un ensemble de critères, nous détaillons ceux-ci et nous précisons les valeurs possibles des critères.

1.3.1 Dimension D1 : Identité

Comme pour définir l'identité d'une personne, nous proposons d'établir une carte d'identité pour les tables interactives. Par analogie à la carte d'identité personnelle, nous établissons une carte identificatrice pour chaque table interactive comportant les critères suivants : {*Référence*, *Nom*, *Auteurs/Constructeurs*, *Industriel/Recherche*, *Première annonce*}. Cette dimension est représentée en haut à gauche dans la figure 1.2. Cette carte d'identité, comme pour la carte d'identité personnelle permet d'identifier rapidement une table interactive.

Seules les informations les plus importantes et nécessaires à l'identification sont proposées :

- *Référence* : nous proposons dans un premier temps d'indiquer une référence bibliographique ou webographique. Si la table a fait l'objet de recherches et de publications dans des actes de conférences ou revues, nous proposons soit la première publication (qui a permis de dévoiler la table) soit la publication qui nous semble la plus significative et représentative de la plateforme. Si par ailleurs la table ne possède aucune référence bibliographique, nous proposons, dans ce cas, un lien internet vers le site des auteurs ou du constructeur. Nous ne pouvons toutefois pas garantir le maintien en ligne des sites internet référencés, ceux-ci étant tous disponibles en juillet 2011.
- *Nom* : le nom est souvent représentatif de la technologie ou des particularités de la table interactive. Les noms répertoriés dans notre classification sont les noms donnés aux tables ou projets centrés table(s) lors de leur publication, tels qu'ils ont été proposés par les auteurs ou constructeurs.
- *Auteur/Constructeur* : nous avons choisi de faire apparaître le nom des auteurs ou des constructeurs de la table interactive. Toutefois, si les recherches ont été effectuées dans un laboratoire ou une université, nous mentionnons directement le nom de celui/celle-ci. Le lien vers les auteurs peut alors être effectué grâce à la référence associée.
- *Industriel/Recherche* : nous distinguons deux types de travaux. Si les travaux ont été menés dans un laboratoire de recherche, nous considérons les travaux comme de recherche uniquement et nous utilisons alors la notation R par opposition aux travaux issus de sociétés industrielles à vocation commerciale où nous utilisons, dans ce cas, la notation I . Il est d'ailleurs possible de trouver des travaux de recherche R sur des tables qui ont été ensuite proposées à la vente ou repris par des industriels I . Nous apposerons dans ce cas la notation R/I . Les valeurs possibles de ce critère sont donc $\{R, I, R/I\}$.
- *Première annonce* : il est important de dater les travaux. Nous avons choisi pour cela de faire apparaître l'année de la première annonce (*i.e.* première publication).

1.3.2 Dimension D2 : Caractéristiques Techniques

D'un point de vue technique, les tables interactives semblent similaires alors que différentes techniques sont utilisées. La surface de travail présentée est souvent rectangulaire pour être adaptée aux tailles standard des écrans ou à la vidéoprojection mais des tables de toutes les formes existent ou peuvent exister. En général, la taille de la surface peut varier sans engendrer de variation des techniques utilisées.

Nous avons choisi dans la dimension *Caractéristiques Techniques* d'indiquer seulement 5 critères. Il est souvent difficile de trouver des informations techniques des tables interactives surtout si celles-ci sont issues de recherches industrielles. Il est certes indiqué que la table peut, par exemple, détecter la présence d'objets mais très souvent les informations quant à la technologie utilisée restent floues. Nous proposons donc d'indiquer la *technologie de capture* utilisée pour détecter les doigts ou les objets, la *technologie d'affichage*, la taille de la table telles qu'elle est présentée (*Taille*), les *Communications* possibles entre tables ou entre objets, ainsi que la prise en compte ou non d'une *Intelligence Artificielle* par la table. Cette dimension est représentée en haut à droite dans la figure 1.2.

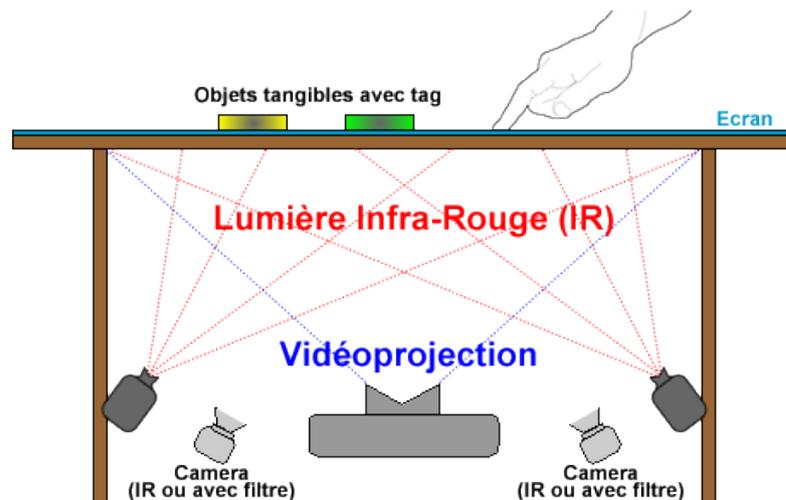


FIGURE 1.3 – Schématisation générale d'un système de capture par caméra (ici, en-dessous de la table) pouvant permettre la détection des doigts ou des objets tangibles

- *Technologie de capture* : il existe plusieurs systèmes de capture adaptés aux tables. La connaissance du système de capture est primordiale car c'est de cette technologie que dépendent les possibilités d'interaction. Nous pouvons constater que la technologie à base de caméra placée en-dessous (Fig. 1.3) ou au-dessus de la table est largement exploitée. Il s'avère en effet que cette technologie est depuis longtemps utilisée et que de nombreuses applications ont déjà été développées. Les technologies utilisant des caméras peuvent elles-mêmes utiliser différentes techniques et donc fournir des possibilités différentes. Parmi celles-ci :

- la technologie FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) (Fig. 1.4(a)) qui per-

met le multi-touch⁴, et développée par Jefferson Han [70], détecte la présence des doigts à la surface de la table. Pour cette technologie, la lumière InfraRouge (IR) est envoyée dans le côté d'un panneau acrylique (plexiglas). La lumière est emprisonnée à l'intérieur de l'acrylique par réflexion interne. Quand un doigt touche la surface acrylique cette lumière est "frustrée" entraînant la lumière à se disperser vers le bas où elle est captée par une caméra infrarouge. Une couche de silicone est souvent employée comme pont entre la plaque et le doigt pour aider à améliorer le déplacement et la sensibilité du dispositif.

- La technologie DI (Diffused Illumination) (Fig. 1.4(b)) permet la détection de doigts, d'objets ou d'étiquettes collées sous l'objet. Elle existe sous deux formes principales. DI par l'avant et DI par l'arrière. Les deux techniques emploient les mêmes principes de base. La lumière infrarouge est envoyée par le dessous (ou par le dessus) de la surface de contact. Un diffuseur est placé sur le dessus ou sur le fond de la surface de contact. Quand un objet touche la surface il réfléchit plus de lumière que le diffuseur ; la lumière supplémentaire est alors captée par une caméra. Selon le diffuseur, cette méthode peut également détecter le survol et les objets placés sur la surface.

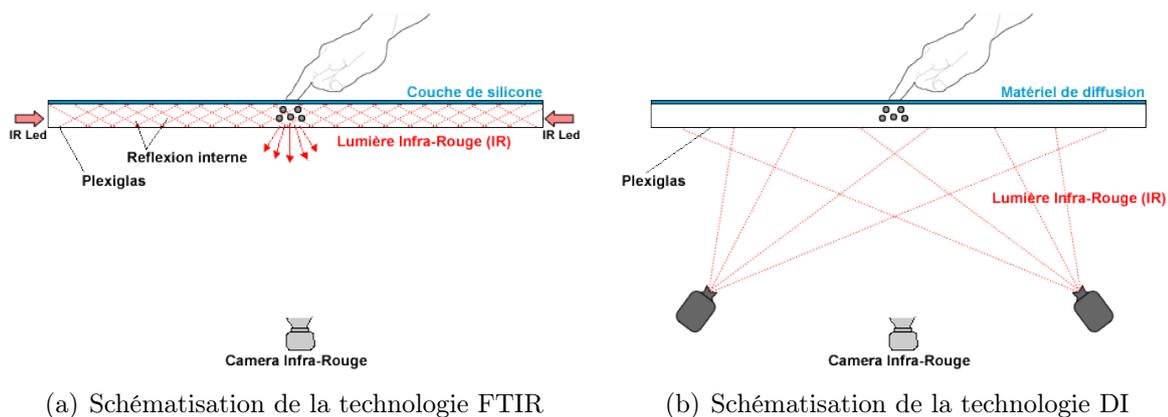


FIGURE 1.4 – Schéma de deux technologies de captures par caméra : FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) (a) et DI (Diffused Illumination) (b)

- La technologie DSI (Diffused Surface Illumination) (Fig. 1.5(a)) est une technologie hybride. Elle emploie un plexiglas spécial pour distribuer la lumière infrarouge même à travers la surface. Cet acrylique (plexiglas) emploie les petites particules qui sont à l'intérieur du matériel, agissant comme des milliers de petits miroirs. Quand de la lumière IR est envoyée dans les bords de ce matériel, la lumière obtenue est réorientée et diffusée sur la surface de l'acrylique. Cette technologie possède les effets semblables de la technologie DI mais avec la même illumination et le même processus d'installation que la technologie FTIR. Elle est utilisée, par

4. Un dispositif multi-touch ou multi-tactile est à la fois une technique d'Interaction Homme-Machine et le matériel qui la met en application. Ce dispositif sert à interagir avec le matériel informatique avec plusieurs points de contact (souvent avec plusieurs doigts).

exemple, par Hilliges *et al.* [74].

- La technologie LLP (Laser Light Plane) (Fig. 1.5(b)) qui utilise la lumière infrarouge d'un laser juste au-dessus de la surface. Le plan de la lumière est d'environ 1 mm d'épaisseur et est placé juste au-dessus de la surface. Quand le doigt touche le rayon laser, le rayon frappe le bout du doigt et est alors enregistré comme goutte de lumière infrarouge par la caméra placée en dessous.

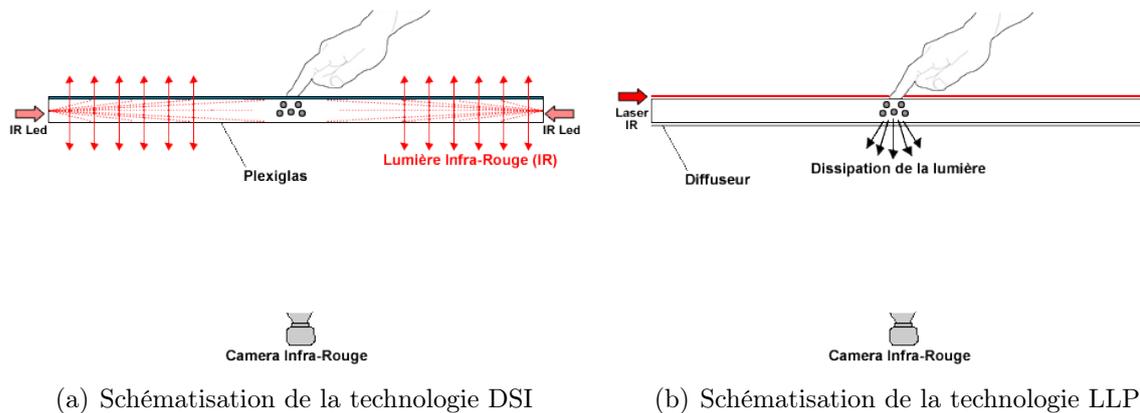


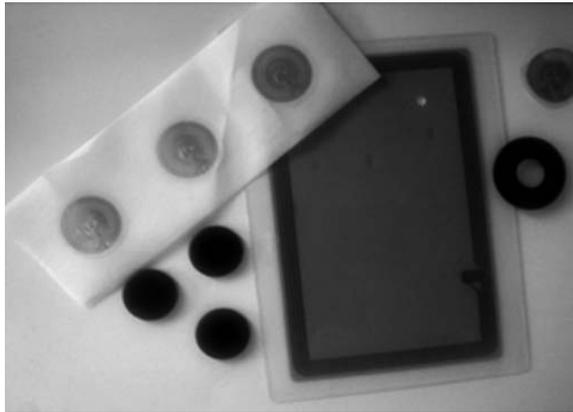
FIGURE 1.5 – Schéma de deux technologies de captures par caméra : DSI (Diffused Surface Illumination) (a) et LLP (Laser Light Plane) (b)

La plupart des systèmes avec caméra utilise le framework ReacTIVision [11] impliquant la pose d'un tag sous les objets (*cf.* le principe d'utilisation avec la figure 1.3), mais ayant l'avantage de très bien fonctionner.

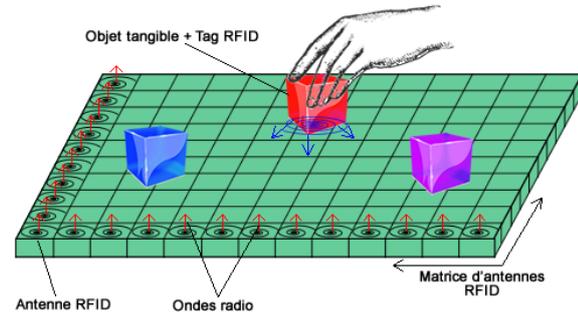
D'autres systèmes de capture existent comme par exemple la technologie RFID⁵ (Radio Frequency Identification) qui fait également son apparition sur les tables interactives [99] :

- La technologie RFID (Radio Frequency Identification) fonctionne selon le principe d'un lecteur et d'un émetteur. Les étiquettes (Fig. 1.6(a)) RFID (ou tags RFID) sont composées d'une puce pouvant contenir une mémoire, reliée à une antenne réagissant aux ondes radio (Fig. 1.6(b)). Elles sont lues par un lecteur le plus souvent 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 barres). Le code barres 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.

5. L'accent sera mis sur cette technologie dans la suite du mémoire dans la mesure où c'est celle exploitée dans le cadre de nos recherches.



(a) Présentation en image d'étiquettes RFID



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

FIGURE 1.6 – Exemple d'étiquettes (ou tags) RFID (a) et schéma de la technologie de capture par matrice d'antennes RFID (b)

La fibre optique⁶ [87, 88] ou encore la technologie capacitive⁷ sont également utilisés comme système de capture :

- La fibre optique permet de déporter l'illumination infrarouge ou encore la caméra (*e.g.* lampe et caméra initialement situées sous la table interactive), elle n'est pas utilisée en tant que système de capture en soi. La lumière infrarouge (ou le retour capté par la caméra) est transmise via les fibres optiques (Fig. 1.7(a)). La technologie de base reste donc l'utilisation de la caméra (*e.g.* FTIR, DI, *etc.*). Remarquons toutefois que l'utilisation des fibres optiques permet de réduire considérablement l'encombrement sous la table.
- La technologie capacitive (Fig. 1.7(b)) s'appuie sur une surface solide de type verre, laquelle est parcourue par une grille électriquement chargée et presque invisible à l'oeil nu. L'accumulation de charges électriques sur la plaque de verre lors du contact des doigts de l'utilisateur transfère une partie de ces charges dans les doigts, ce qui provoque un déficit qu'il suffit ensuite de localiser pour traiter l'information. Ainsi, quand l'utilisateur vient toucher la surface, une partie des charges est localement transmise à la peau. Cela modifie alors le champ électrique sans que l'utilisateur ne sente une quelconque "décharge". Les informations sont alors transmises à un contrôleur de gestion d'image qui va convertir ce toucher en coordonnées x et y .

Les valeurs possibles⁸ de ce critère sont $\{Camera, FTIR, DI, DSI, LLP, RFID,$

6. Support de communication constitué d'un filament de matière diélectrique (verre, silice, *etc.*) dans lequel se propage la lumière (visible ou infrarouge).

7. Se dit d'un dispositif ou d'un circuit électrique dont la grandeur essentielle est la capacité.

8. Dans le cas de l'utilisation de la caméra, si la technologie n'est pas spécifiée (FTIR, DI, *etc.*), seule

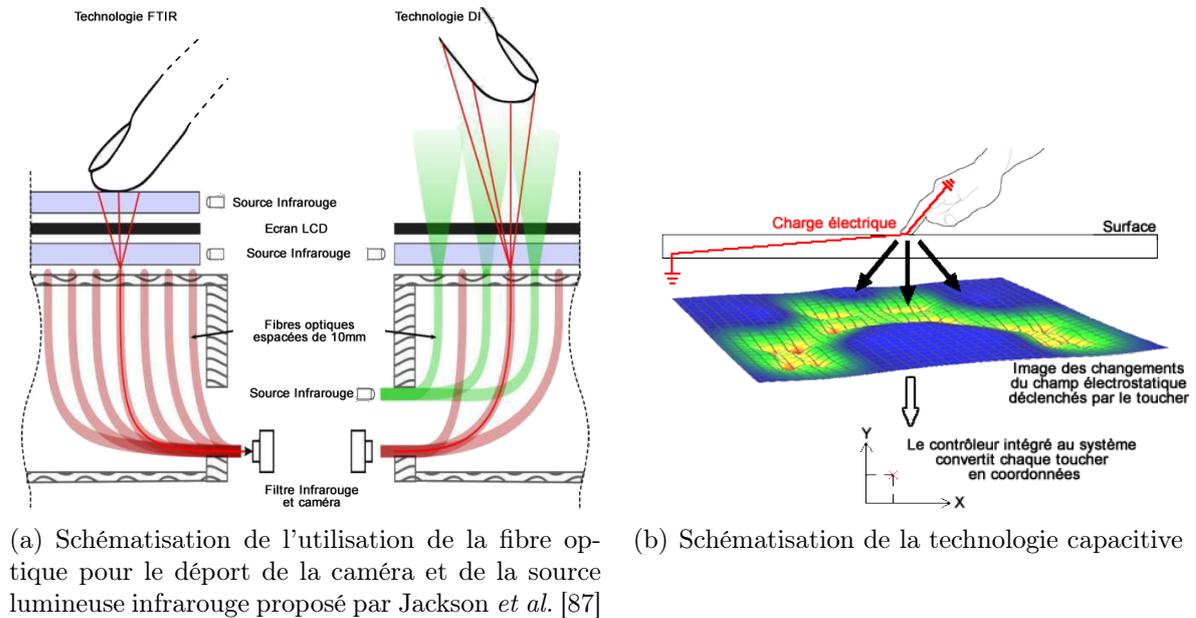


FIGURE 1.7 – Schéma de la technologie de capture par fibre optique et caméra (a) et par capacité électrique (b)

*FiberOptical, Capacitance, Other, N.C, N.A*⁹ }.

- *Technologie d’affichage* : nous précisons avec ce critère si la plateforme se compose d’un élément de visualisation. Nous distinguons deux types : l’écran (LCD, OLED ou autres) et la vidéoprojection. Dans ce cas, nous précisons si celle-ci s’effectue au-dessus (*Overhead*) ou en-dessous (*Underneath*) de la table. Les deux positions possèdent leurs avantages et inconvénients ; par exemple l’obligation d’un "cube" fermé ne permettant pas de glisser une chaise en-dessous de la table lorsque la vidéoprojection est faite par le dessous ; alors que, dans le cas d’une vidéoprojection par le dessus celle-ci implique, en général, la présence d’ombres qui peuvent parfois occulter certaines informations de la table. Des progrès dans le domaine permettent désormais via un système de miroir de supprimer ces ombres ou de positionner des chaises sous les tables [185, 189]. Si en revanche aucun système de visualisation n’est présent nous indiquons *N.A*. Les valeurs possibles de ce critère sont {*Screen, Overhead, Underneath, N.A*}.
- *Taille* : lorsque cette information est précisée par les auteurs, nous mentionnons la taille de la table. En revanche nous ne distinguons pas si la taille communiquée est la taille de la table elle-même ou la taille de la surface d’interaction qui est inférieure ou égale à la précédente (de vidéoprojection, ou de l’écran LCD par exemple). La taille des tables est fixée au départ selon des critères de facilité de conception ou

la valeur *Camera* est indiquée.

9. Précisons que les valeurs *N.C* et *N.A* signifient respectivement *Non Communiqué* et *Non Appliquable*.

selon des besoins de représentations. Les valeurs mentionnées sont les dimensions ($L \times l$) de la table ou la diagonale de l'écran en pouces. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{(L \times l), d\}$

- *Communications* : certaines tables interactives possèdent la capacité de faire communiquer les tables entre elles ou encore de faire communiquer les objets entre eux ou avec la table. Une information importante est donc la technologie utilisée pour réaliser ces communications. Les tables qui ne possèdent pas cette caractéristique sont indiquées par un *No*, pour les autres la technologie est précisée. Les valeurs possibles de ce critère sont alors $\{Ethernet, Wifi, Bluetooth, RFID, Zigbee, No\}$.
- *IA* : certaines tables possèdent une intelligence artificielle embarquée. Même si ce critère ne concerne qu'une minorité de tables interactives, nous indiquons ce critère qui correspond à une valeur ajoutée de la table interactive. L'Intelligence Artificielle embarquée permet, au sein des démonstrateurs ou applications, d'apporter une capacité de réflexion et éventuellement d'aide à la décision (ex. aide au déplacement de pièce de jeu d'échecs). Cette IA est généralement basée sur un Système Multi-Agents (cf. Annexe A), nous indiquons alors dans ce cas la valeur *MAS* (MultiAgent System). Un simple *Yes* est indiqué si la technologie d'Intelligence Artificielle employée n'est pas précisée. Les valeurs possibles de ce critères sont $\{Yes, No, MAS, N.A\}$.

1.3.3 Dimension D3 : Interactions Homme-Machine

Même s'il existe un grand nombre de tables interactives, les technologies de capture employées (décrites en 1.3.2) restent majoritairement la détection par caméra. Cette technologie a un impact direct sur les possibilités d'**Interaction Homme-Machine** prises en compte par la table. De ce fait, les interactions courantes entre les tables et les utilisateurs sont les interactions tactiles ou faisant intervenir des objets tangibles, mais d'autres interactions émergent ces dernières années comme la 3D ou les retours haptiques. Nous souhaitons également analyser la dimension collaborative des tables. Nous différencions donc plusieurs sous-dimensions détaillées ci-dessous : les interactions **sensibles au toucher**, les interactions **avec objets**, les interactions **collaboratives**, et les **nouveaux types** d'interactions telles que les interactions 3D ou l'inclinaison des tables. Cette dimension est représentée en bas dans la figure 1.2.

Sous-dimension D3a : Interactions sensibles au toucher

Nous proposons pour cette sous-dimension de caractériser les tables interactives permettant des interactions sensibles au toucher. Nous utilisons pour cela deux critères : *Tactile* et *Multitouch*. Cette sous-dimension est située en bas à l'extrême gauche de la figure 1.2.

- *Tactile* : nous discernons dans un premier temps si les tables possèdent la particularité d'être utilisées de manière tactile c.à.d de permettre des interactions relatives au toucher. Toutefois, nous nous sommes uniquement basés sur les utilisations que

les auteurs ont faites de leur table interactive. Ainsi, de par la technologie de capture employée ou les caractéristiques générales de la table concernée, une table peut éventuellement gérer le tactile, sans que les auteurs aient choisi de l'exploiter. Dans ce cas, nous considérons que la table n'est pas tactile puisque la technologie n'est pas utilisée. Nous faisons alors apparaître un *No*. Enfin, si l'information n'est pas mentionnée par les auteurs, nous indiquons la valeur *N.C* (Non Communiqué). Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.C\}$.

- *MultiTouch* : même si la plupart des tables interactives ne distinguent pas les utilisateurs (cf. sous-dimension D3c), elles sont généralement capables de permettre le *multiTouch* c.-à-d. capables de détecter ou capturer plusieurs points de contact simultanés et multiples. Comme pour la gestion du tactile, nous nous basons sur les utilisations faites et proposées par les auteurs (la table peut être tactile mais les auteurs ne travaillent pas en *multitouch*). De manière plus générale, si les tables sont considérées comme n'étant pas tactiles, elles ne peuvent gérer le *multitouch* qui est directement lié à cette caractéristique. Les valeurs possibles sont donc identiques à celles du critère *Tactile*, la valeur *N.A* peut cependant apparaître si le critère n'est pas applicable. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.C, N.A\}$.

Sous-dimension D3b : Interactions avec les Objets

A défaut de permettre des interactions tactiles, c'est par l'intermédiaire d'objets tangibles posés ou déplacés sur la table interactive que les interactions s'effectuent. Nous proposons dans cette sous-dimension de caractériser les tables permettant des interactions {Utilisateur-Table-Objet}. Nous distinguons donc les tables ayant cette caractéristique avec le critère *objets*. Un critère important dans cette configuration est le *Nombre d'objets* qu'il est possible de positionner sur la table. Il est intéressant de savoir si la *Superposition* des objets est gérée. Les objets peuvent parfois communiquer avec la table ; cette information sera consignée dans le critère *Communication*. Il est également intéressant de savoir si l'orientation des objets est gérée par la table (critère *Orientation*) et si des informations plus complexes sont échangées entre la table et les objets (critère *Configuration complexe*). Enfin certaines tables permettent des retours d'informations permettant le déplacement d'objet (e.g. robotisation des objets) visant à garder une consistance entre le physique et le visuel (critère *Consistance physique*). Cette dimension est représentée en bas à gauche dans la figure 1.2.

- *Objets* - la pose ou le déplacement d'objet tangible est souvent l'alternative pour interagir/travailler sur les tables interactives. Nous indiquons avec ce critère si la table interactive permet d'interagir avec un ou plusieurs objets. Les valeurs possibles de ce critère sont simplement $\{Yes, No\}$
- *Nb d'objets* - Lorsque l'information est communiquée, nous mentionnons le nombre d'objets pouvant être posés et pris en compte par la table interactive. Toutefois, la plupart des éléments mentionnés sont le nombre de points pris en compte ou détectés par la table. Ce nombre n'est pas distinctif du nombre d'objets (tangibles) ou du

nombre de "doigts" posés sur la table. Nous mentionnons donc ces données à titre indicatif, très peu d'auteurs (c.-à-d. concepteurs de tables) mentionnent d'ailleurs cette information. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Nombre, N.A, N.C\}$.

- *Superposition* - Nous proposons d'indiquer également dans cette dimension si les tables interactives permettent de détecter une superposition des objets. Le fait de détecter les objets superposés peut permettre d'augmenter le type d'interaction et les façons de travailler avec les tables interactives. Il serait par exemple possible de poser un panier sur la table, puis de remplir d'objets ce panier. La table serait donc en mesure d'indiquer le contenu du panier. Ce critère est cependant directement lié à la technologie de capture employée [5]. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A, N.C\}$.
- *Communication* - Certaines tables interactives possèdent la capacité de faire communiquer les *Objets* avec la table. Les tables qui ne possèdent pas cette caractéristique sont indiquées par un *No*. Lorsque l'information n'est pas communiquée ou non applicable, nous indiquons respectivement les valeurs *N.C* et *N.A*. Les valeurs possibles de ce critère sont alors $\{Yes, No, N.A, N.C\}$.
- *Orientation* - Nous présentons avec ce critère si la table est capable de détecter et de prendre en considération la notion d'orientation d'un objet. Par exemple, si la table est capable de détecter un objet auquel on effectue une rotation, ou tout simplement si elle est capable de détecter si un objet, par exemple un cube, est présenté sur son côté nord, sud, est, ou ouest à l'utilisateur. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A\}$.
- *Configuration complexe* - Avec ce critère, nous proposons de définir si la table est capable de détecter des configurations complexes par opposition, par exemple, à la simple détection d'un objet ou d'un tag. Par configuration complexe, nous définissons des objets particuliers pouvant interagir avec la table ou encore pouvant servir d'interacteur pour l'utilisateur (outils d'interaction). Les travaux de Weiss *et al.* [186] constituent un exemple de configuration complexe où ils définissent un ensemble de widgets appelés SLAP (Silicone iLLuminated Active Peripherals) pouvant être utilisés sur tables interactives. Ils combinent avec ceux-ci la flexibilité des objets virtuels avec l'affordance des objets tangibles. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A, N.C\}$.
- *Consistance physique* - Nous définissons avec ce critère si la table est capable de garder une consistance physique avec, par exemple, les objets disposés sur sa surface. Cependant, il est intéressant de savoir si ces objets peuvent devenir indépendants (ex. petits robots) et donc se déplacer automatiquement de manière autonome sur la table. Bien évidemment, ce critère est directement lié aux objets utilisés sur la table. Toutefois, certains auteurs [131, 184] proposent par défaut cette particularité de consistance physique sur leur table. C'est pourquoi nous avons choisi d'indiquer ce critère. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A, N.C\}$.

Sous-dimension D3c : Interactions Collaboratives

Dans cette sous-dimension, nous signalons si nous avons connaissance de la mise en situation de la table interactive dans un contexte collaboratif. La collaboration dans cette sous-dimension intègre uniquement une collaboration autour de la table à un instant donné et dans un même lieu. La collaboration d'utilisateurs distants collaborant via la table et éventuellement d'autres plateformes n'a pas été traitée [109]. Pour cela, la table doit être dans un premier temps *MultiUser* ; c'est le premier critère. Certaines tables permettent de *distinguer les utilisateurs*. Elles sont donc capables de connaître et/ou de définir les actions ou les interactions de chaque utilisateur. Ceci correspond au second critère analysé pour cette sous-dimension.

- *MultiUser* - C'est une des particularités mise en avant par l'utilisation des tables interactives : elles proposent de travailler à plusieurs de manière collaborative et sont donc multi-utilisateurs. Nous indiquons avec ce critère si la table interactive permet de gérer plusieurs utilisateurs interagissant en même temps. Les valeurs possibles sont $\{Yes, No, N.C.\}$.
- *Distinction des utilisateurs* - Nous proposons d'indiquer avec ce critère si la table interactive est capable de distinguer ses utilisateurs. Notons par exemple, que la détection de la main peut permettre d'identifier l'utilisateur [156]. Nous ne précisons cependant pas par quelle technologie cette distinction est possible. La distinction est généralement liée à la technologie de capture employée (*e.g.* technologie capacitive, RFID, *etc.*). Les valeurs possibles sont identiques à celles ci-dessus soit : $\{Yes, No, N.C.\}$.

Sous-dimension D3d : Nouvelles Interactions

Par ce critère, nous entendons les interactions émergentes dans le domaine. Par exemple les interactions *3D*, *l'inclinaison* et le retour *haptique* font l'objet de nombreuses études actuellement. Nous souhaitons analyser et signaler si des tables intègrent ces nouvelles manières d'interagir.

- *3D* - les interfaces 3D ne sont déjà plus nouvelles en terme d'affichage mais le restent en terme d'interaction. Il est donc intéressant de connaître quelles sont les tables qui supportent les interactions 3D. En effet, les tables interactives de par leur grande surface d'interaction et surface de projection (écran ou vidéoprojecteur), peuvent permettre d'interagir avec des objets 3D virtuels. Il serait ainsi possible de déplacer des objets 3D en les étirant, les empilant, *etc.* Les travaux proposés par Hilliges *et al.* [74] définissent cette notion. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A, N.C.\}$.
- *Inclinaison* - Certaines tables ont la capacité de s'incliner [107], c.-à-d. que l'utilisateur peut, en saisissant un côté de la table, interagir sur les objets (virtuels ou tangibles) en faisant "basculer" directement la table elle-même. Ces mouvements

font partie des moyens d'interaction autour d'une table ; il est donc intéressant de les recenser. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A, N.C\}$.

- *Haptique* - Les tables interactives étant majoritairement tactiles, les retours haptiques¹⁰ peuvent inviter, par exemple les personnes mal-voyantes, à utiliser ce nouveau type de plateforme. Les recherches actuelles visent donc à proposer l'intégration des retours haptiques pour les tables interactives [114, 89, 4]. Les interfaces haptiques proposant naturellement un retour d'effort, il est donc intéressant de connaître les tables qui fournissent ou peuvent proposer cette fonctionnalité supplémentaire. Les valeurs possibles de ce critère sont $\{Yes, No, N.A, N.C\}$.

L'ensemble de ces interactions $\{\text{Utilisateur-Table}\}$ ou $\{\text{Utilisateur-Table-Objets}\}$ permettent de recenser un ensemble de démonstrateurs ou applications impliquant les tables interactives. Nous proposons dans le paragraphe suivant de présenter les démonstrateurs les plus utilisés et représentatifs de l'utilisation des tables interactives, de leurs caractéristiques techniques et de leurs interactions possibles.

1.3.4 Dimension D4 : Démonstrateurs

Nous ne proposons pas pour cette dimension de critère particulier. Les démonstrateurs ou applications proposés sur les tables interactives restent pour une très grosse majorité dans les mêmes domaines. Un des premiers démonstrateurs proposés pour les tables ou bureaux interactifs était le bureau digital (ou digital desk) proposé par Pierre Wellner [187] en 1991. Celui-ci proposait des outils de bureau interactif tel que la calculatrice. Depuis les applications ont évolué et permettent, par exemple, de créer de la musique électronique. C'est le cas de la *reactable*, pionnière dans le domaine de la conception musicale, qui permet de créer un ensemble de samples musicaux par l'intermédiaire d'objets posés ou déplacés sur la table (Fig. 1.8). D'autres démonstrateurs ont pu être proposés sur les tables interactives tirant parti de leur grande surface d'interaction comme l'utilisation des tables pour la visualisation de cartographie ou pour l'éducation leur permettant de faire intervenir, par exemple, plusieurs élèves autour de la table. Nous indiquons donc dans cette dimension, la ou les applications proposées sur la table interactive au sein du projet concerné. Cette dimension est représentée au centre de la figure 1.2.

Maintenant que les dimensions et critères sont présentés, nous proposons de les utiliser afin de recenser un ensemble de tables interactives. Nous présentons dans la section suivante les diverses tables interactives que nous avons recensées et caractérisées, grâce aux dimensions, dans des tableaux récapitulatifs.

10. adjectif, (du grec haptain, saisir) - Se dit de ce qui concerne la sensibilité cutanée. Source : Larousse, 2011.



FIGURE 1.8 – Présentation du démonstrateur musical de la ReacTable

1.4 Recensement des tables interactives selon les quatre dimensions

Nous avons décidé de répertorier les tables interactives et de les caractériser selon les quatre dimensions proposées et détaillées précédemment. La majorité des tables actuelles a donc été recensée. Rappelons également que nous nous focalisons uniquement sur la notion de *table* et que, par conséquent, nous n'avons pas recensé les autres types de plateformes ou de surfaces interactives. Les tables interactives deviennent de plus en plus nombreuses et présentes (conférences spécialisées, forums, sites web, *etc.*); le nombre de tables interactives grandissant chaque année, il est difficile d'établir une liste totalement exhaustive. C'est pourquoi nous présenterons dans ce chapitre uniquement les tables interactives qu'il nous semble les plus pertinentes de présenter. Il aurait en effet été possible de répertorier un ensemble de tables issues d'artistes, de particuliers ou de jeunes étudiants "bricolant" dans leur garage; cependant la plupart se base sur les mêmes technologies et possède donc les mêmes caractéristiques techniques. Nous nous focalisons en conséquence sur les tables interactives uniquement issues de recherches académiques ou industrielles, nous proposons donc à l'heure actuelle le recensement de 84 tables interactives. Nous proposerons ensuite dans la section suivante d'établir une synthèse et une interprétation pour chaque dimension proposée.

1.4.1 Identité

Nous proposons dans un premier temps un récapitulatif de l'ensemble des tables que nous avons pu recenser. Nous utilisons la dimension $D1$: *Identité* afin de présenter la "carte d'identité" de chaque table interactive dans le tableau 1.1. Le classement choisi des tableaux est un classement alphabétique selon le nom des tables.

TABLE 1.1 – Identité

Ref	Nom	Auteurs / Constructeurs	Industriel / Recherche	1ère Publication
[131]	Actuated Workbench	Pangaro et al.	R	2002
[136]	AudioPad	MIT	R	2003
[185]	BendDesk	Weiss et al.	R	2010
[12]	Blip-Tronic 3000	Peter Bennett et al.	R	2005
[32]	Blues machine	Cicconet et al.	R	2009
[75]	Brick	California Institute of the Arts	R	2008
[69]	Coeno One	Media Interaction Lab	R	2005
[67]	ConDio	Allborg University Copenhagen	R	2005
[189]	Curve	Wimmer et al.	R	2010
[144]	Datatile	Sony / Rekimoto	R	2001
[180]	Dialog Table	Walker Art Center	I	2003
[48]	Diamond Touch	Mitsubishi / MERL	R/I	2001
[34]	DigiTable	Mitsubishi / IMAG	R	2006
[187]	Digital Desk	EuroParc	R	1991
[169]	Diorama Table	Takahashi and Sasada	R	2005
[165]	DJ Station	Aarhus University	R	2011
[3]	Dominotes	University of the Arts London	R	2007
[63]	Drift Table	Equator	R	2004
[125]	Dubtable	James Ashton Nichols	R	2009
[167]	eLabBench	Tabard et al.	R	2011
[140]	Entertaible	Philips	I	2006
[139]	Etiquette	Edinburgh Sculpture Workshop	R	2007
[2]	Evoluce	Evoluce AG	I	2010
[90]	Floating Numbers	Jewish Museum Artcom	I	2004
[35]	GeoTUI	Couture et al.	R	2008
[165]	Google My Head	Aarhus University	R	2011
[7]	GranulatSynthese	University of Hamburg	R	2008
[80]	HDTML	Interactive Scape	I	2008
[141]	I.M Table	Front Pictures	I	2007
[122]	iBar	Mindstorm UK	I	2006
[79]	Ideum	Ideum	I	2010
[38]	iLight	Immersion	R/I	2010
[72]	Instant City	Rosen Spademan Enterprise	I	2004
[130]	Intelligent Table	Panasonic	I	2006
[117]	InteractiveTop	Univ. of Electro-Communications, Tokyo	R	2011
[81]	Intuiface	Intuilab	R/I	2002
[142]	iTable	PQ Labs	I	2008
[129]	Lazy Susan Interactive Table	Omojola et al.	R	2000
[103]	Living Jukebox	Catalin Lazia	R	2005
[76]	Looplex	Hochschule Ansbach	R	2009
[118]	Lumisight Table	NTT Univ. Tokyo	R	2004
[184]	Madgets	The Media Computing Group at	R	2010
[15]	Magic Board/Table	RWTH Aachen University	R	1999
[137]	mixiTUI	IMAG	R	2008
[89]	MudPad	Esben Pedersen, Kasper Hornbaek	R	2010
[61]	Multi Audable	RWTH Aachen University	R	2004
[16]	Music Table	Tama Univ. of Arts	R	2003
[111]	N.C	IST, Technical University of Lisbon	R	2011
[93]	N.C	HCI Group, Univ. of Konstanz	R	2011
[106]	Onomy Tilty Table	ATR Media Inform. Science Labs	R	2007
[73]	Orai/Kalos (Crossworld)	Onomy Labs	R	2005
[64]	Planar Manipulator Display	Paul Hertz	R	2004
[127]	ProActive Desk	NYV Media Research Lab	R	2003
[51]	ProjectTISCH	Media Info Sciences Labs	R	2008
[91]	ReacTable	Technische Universität München	R/I	2005
[94]	Robotable	Univ. Of Bergen / Tokyo	R	2009
[60]	SandSpuren	Pompeu Fabra Univ.	R	2007
[110]	Scrapple	Würzburg Univ.	R	2005
[135]	SenseTable	Carnegie Mellon University	R	2001

1.4. Recensement des tables interactives selon les quatre dimensions

TABLE 1.1 (SUITE)

Ref	Nom	Auteurs / Constructeurs	Industriel / Recherche	lère Publication
[82]	Sensitive Table	MIT Lab	I	2007
[164]	Smart Table	IO Agency	I	2009
[143]	SmartSkin	Smart Tech	R	2002
[157]	Social Soundmachine	Sony / Rekimoto	R	2007
[181]	Surface 1.0	Ramon Schreuder	I	2008
[121]	Surface 2.0	Microsoft	I	2011
[120]	Symbolic Table	Microsoft	R	2006
[128]	Table Portation	MediaMatic	R	2003
[6]	Table-Robots	Interactive Design Institute	R	2010
[78]	Tangible MouseHaus	Chen-Je Huang et al.	R	2003
[68]	Tangible Table	HFG Shwäbisch Gmünd	R	2007
[191]	Tangible Tracking Table	Georgia Institute of Technology	R	2008
[99]	TangiSense	RFIdées / LAMIH / LIG / CEA	R	2009
[159]	TangiTable	Geodan	R	2002
[123]	Tasting Music	Michihito Mizutani	R	2002
[166]	The Pond	Swedish Institute of C.S	R	2002
[172]	TouchTable	TouchTable Inc.	I	2005
[119]	Tviews	MIT Media Lab	R	2006
[66]	Vipro	Omega Glas GMBH	I	2009
[150]	waveTable	Universitat Pompeu Fabra	R	2008
[52]	X-Desk	Epson	I	2009
[19]	Xenakis	University of Augsburg	R	2007
[65]	Zen Waves	Tangible Media Group, MIT	R	2008

1.4.2 Caractéristiques Techniques

L'ensemble des caractéristiques techniques (dimension D2) des tables interactives a été regroupé dans le tableau 1.2. Ce tableau se base sur le tableau 1.1 et reprend donc les noms des tables afin de les identifier.

TABLE 1.2 – Caractéristiques Techniques

Nom	Technologie de Capture	Affichage	Taille	Communication	I.A
Actuated Workbench	Camera / Electromagnets	Overhead	16,5x16,5 cm	No	No
AudioPad	Capacitance	Overhead	52x67 cm	N.A	No
BendDesk	FTIR	Underneath	104x104 cm	No	No
Blip-Tronic 3000	Webcam	Overhead	6"x4"	No	Yes ?
Blues machine	Rear DI	Underneath	N.C	N.A	No
Brick	Rear DI	Underneath	N.C	No	No
Coeno One	Camera	Overhead	N.C	No	No
ConDio	Camera	N.A	N.C	No	No
Curve	FTIR	Underneath	90x80 cm	No	No
Datatile	RFID	N.A	30x22,5 cm	Yes	No
Dialog Table	DSI?	Underneath	N.C	No	No
Diamond Touch	Capacitance	Overhead	64x48 or 86x65 cm	No	No
DigiTable	Camera / Capacitance	Overhead	64x48 or 86x65 cm	No	No
Digital Desk	Camera	Overhead	N.C	N.A	No
Diorama Table	Camera	Overhead	N.C	No	No
DJ Station	Camera	Underneath	N.C	No	No
Dominotes	Camera	N.A	N.C	No	No
Drift Table	Weight Sensors	N.A	10"	No	No
Dubtable	Camera	N.A	N.C	No	No
eLabBench	Touchscreen / Camera	LCD	120x80 cm	No	No
Entertaible	LLP	LCD	30"	No	No
Etiquette	Camera	N.A	N.C	No	No

TABLE 1.2 (SUITE)

Nom	Technologie de Capture	Affichage	Taille	Communication	I.A
Evoluce	Touchscreen / Kinect Sensor	LCD	32" or 55"	No	N.C
Floating Numbers	Capacitance	Underneath	900x200 cm	No	No
GeoTUI	Camera	Overhead	36"	No	No
Google My Head	Touchscreen	LCD	2x22"	N.C	No
GranulatSynthese	Camera	Underneath	N.C	No	No
HDTML	Camera	LCD	32" or 46"	No	No
I.M Table	Rear DI	Underneath	100 cm	No	No
iBar	Camera	Underneath	200x50 cm	Bluetooth/WIFI	No
Ideum	Touchscreen	LCD / LED	31" or 55"	WIFI / Bluetooth / Ethernet	N.C
iLight	Camera	Underneath	72x96 cm	Ethernet / RFID / WIFI / Bluetooth	No
Instant City	Light Sensors	N.A	N.C	No	No
Intelligent Table	N.C	LCD ?	30"	N.C	MAS
InteractiveTop	Camera	Underneath	N.C	No	No
Intuiface	Camera	Underneath	30"	N.C	No
iTable	Capacitance	LCD	32" or 103"	No	No
Lazy Susan Interactive Table	Camera / Capacitance	Overhead	N.C	RFID / Ethernet	No
Living Jukebox	Camera	Underneath	24x24"	No	No
Looplex	Camera	N.A	N.C	No	No
Lumisight Table	Camera	Underneath	55x55 cm	No	No
Madgets	Fiber Optical / DSI	LCD	24"	No	No
Magic Board/Table	Camera	Overhead	N.C	No	No
mixiTUI	Rear DI	Underneath	100x56 cm	No	No
MudPad	Resistive Touchscreen	Overhead	10"	No	No
Multi Audable	Camera	Underneath	49x49 cm	No	No
Music Table	Camera	N.A	N.C	No	No
N.C [111]	LLP / Acoustic	LCD	105x75 cm	No	No
N.C [93]	IR Touch Frame	LCD	65"	No	No
Onomy Tilty Table	N.A	Overhead	N.C	No	No
Orai/Kalos (Crossworld)	Magnetic Sensors	Underneath	76,2x111,7 cm	No	No
Planar Manipulator Display	N.C	Overhead	100x100 cm	No	No
ProActive Desk	Linear Induction Motor	Overhead	N.C	No	No
ProjectTISCH	FTIR	Underneath	110x70 cm	Bluetooth	Yes
ReacTable	Rear DI	Underneath	30"	N.A	No
Robotable	Rear DI / FTIR	Underneath	87x65,2 cm	Bluetooth	Yes
SandSpuren	Webcam	Underneath	175x194 or 63x129 cm	No	No
Scrapple	Camera	Overhead	300x50 cm	No	No
SenseTable	Capacitance	Overhead	52x67 cm	N.A	No
Sensitive Table	Rear DI	Underneath	N.C	RFID / Bluetooth	No
Smart Table	Camera	Underneath	69 cm	WIFI	N.C
SmartSkin	Capacitance	Overhead	80x60 cm	No	No
Social Soundmachine	Rear DI	Underneath	N.C	No	No
Surface 1.0	Camera	Underneath	30"	N.C	No
Surface 2.0	Touchscreen	LCD Samsung SUR40	40"	N.C	N.C
Symbolic Table	RFID	N.A	75x75 cm	No	No
Table Portation	Capacitance	N.A	N.C	Tables	No
Table-Robots	Rear DI	Underneath	N.C	WIFI	MAS
Tangible MouseHaus	Camera	Underneath	N.C	N.C	MAS
Tangible Table	Camera	Underneath	100x70 cm	No	No
Tangible Tracking Table	Rear DI	Underneath	50"	Bluetooth / RFID / WIFI	No
TangiSense	RFID	Overhead	100x100 cm	Ethernet	MAS
TangiTable	Webcam	Overhead	N.C	RFID	No
Tasting Music	N.C	N.C	N.C	No	No

1.4. Recensement des tables interactives selon les quatre dimensions

TABLE 1.2 (SUITE)

Nom	Technologie de Capture	Affichage	Taille	Communication	I.A
The Pond	Touchscreen	LCD	N.C	No	No
TouchTable	Capacitance	LCD	46" or 85"	Ethernet	No
Tviews	Acoustic / IR	LCD	N.C	Ethernet / WiFi	Yes
Vipro	Tactile Film	Underneath	67"	No	No
waveTable	Camera	Underneath	N.C	No	No
X-Desk	Camera	Underneath	N.C	No	No
Xenakis	Rear DI	Underneath	N.C	No	No
Zen Waves	Camera	Overhead	N.C	No	No

Ces données techniques invitent à se demander comment les utilisateurs peuvent utiliser ces caractéristiques afin d’interagir avec les tables.

Nous proposons donc dans la section suivante de développer la notion d’Interaction Homme-Machine mêlant Utilisateur(s) et Table(s) et de préciser les interactions possibles grâce à la dimension D3.

1.4.3 Interactions Homme-Machine

Nous proposons dans les tableaux 1.3, et 1.4, de regrouper l’ensemble des caractéristiques liées aux interactions {Utilisateur-Table} (dimension D3).

TABLE 1.3 – IHM - Sensibles au toucher(A), avec objets(B)

Nom	(A) Doigts		(B) Objets						
	Tactile	Multi Touch	Objets	Nb	Super-position	Comm.	Orien-tation	Config. Complexe	Consistence Physique
Actuated Workbench	No	N.A	Yes	N.C	No	No	Yes	No	Yes
AudioPad	No	No	Yes	06-10	No	No	No	No	No
BendDesk	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Blip-Tronic 3000	No	No	Yes	N.C	No	No	No	No	Yes
Blues machine	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Brick	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Coeno One	Yes	No	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
ConDio	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	No	No	No
Curve	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Datatiles	No	N.A	Yes	12	No	Yes	No	Yes	No
Dialog Table	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Diamond Touch	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
DigiTable	Yes	Yes	No	N.A	No	N.C	N.C	No	No
Digital Desk	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Diorama Table	No	N.A	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
DJ Station	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Dominotes	No	No	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
Drift Table	No	No	Yes	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Dubtable	No	No	Yes	N.C	No	No	No	No	No
eLabBench	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	No	No	No
Entertaible	Yes	Yes	Yes	12 points	No	No	N.C	No	No
Etiquette	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Evoluce	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Floating Numbers	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
GeoTUI	No	N.A	Yes	N.C	No	No	Yes	Yes	No
Google My Head	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
GranulatSynthese	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
HDTML	Yes	Yes	Yes	32/100	No	No	N.C	No	No

TABLE 1.3 (SUITE)

Nom	(A) Doigts		(B) Objets						
	Tactile	Multi Touch	Objets	Nb	Superposition	Comm.	Orientat-ion	Config. Complexe	Consistence Physique
I.M Table	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
iBar	Yes	Yes	Yes	N.C	No	Yes	N.C	No	No
Ideum	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
iLight	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Instant City	No	No	Yes	N.C	Yes	No	No	No	No
Intelligent Table	Yes	No	Yes	1	No	N.C	No	No	No
InteractiveTop	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	Yes	Yes
Intuiiface	Yes	Yes	Yes	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
iTable	Yes	Yes	Yes	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Lazy Susan	Yes	No	Yes	N.C	No	No	No	No	No
Interactive Table	Yes	No	Yes	1	No	No	No	No	No
Living Jukebox	Yes	No	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
Looplex	No	No	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
Lumisight Table	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
Madgets	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	Yes	Yes	Yes
Magic Board/Table	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	No	No	No
mixiTUI	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
MudPad	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Multi Audable	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Music Table	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
N.C [111]	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	No	Yes	No
N.C [93]	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Onomy Tilty Table	No	N.A	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Orai/Kalos (Crossworld)	No	No	Yes	N.C	No	No	No	No	No
Planar Manipulator Display	No	N.A	Yes	10	No	No	N.C	No	Yes
ProActive Desk	No	No	Yes	4?	No	Yes?	N.C	Yes	Yes
ProjectTISCH	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
ReacTable	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Robotable	Yes	Yes	Yes	N.C	No	Yes	Yes	Yes	Yes
SandSpuren	No	No	Yes	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Scrapple	No	No	Yes	N.C	No	No	No	No	No
SenseTable	No	No	Yes	06-10	No	No	No	No	No
Sensitive Table	Yes	Yes	Yes	1	N.A	No	No	No	No
Smart Table	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
SmartSkin	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Social Soundmachine	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Surface 1.0	Yes	Yes	Yes	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Surface 2.0	Yes	Yes	Yes	50	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
Symbolic Table	No	No	Yes	N.C	No	No	No	No	No
Table Portation	Yes	Yes	Yes	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Table-Robots	Yes	Yes	Yes	N.C	No	Yes	N.C	Yes	Yes
Tangible MouseHaus	No	No	Yes	>10	No	No	No	No	No
Tangible Table	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Tangible Tracking Table	Yes	Yes	Yes	N.C	No	Yes	N.C	No	No
TangiSense	No	N.A	Yes	>100	Yes	Yes	Yes	No	No
TangiTable	N.C	No	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
Tasting Music	No	No	Yes	2?	No	No	N.C	No	No
The Pond	Yes	Yes	Yes	N.C	N.C	No	N.C	No	No
TouchTable	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Tviews	No	No	Yes	>10	No	No	No	No	No
Vipro	Yes	Yes	No	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
waveTable	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
X-Desk	Yes	Yes	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No
Xenakis	No	No	Yes	N.C	No	No	Yes	No	No
Zen Waves	No	No	Yes	N.C	No	No	N.C	No	No

Notons que la sous-dimension **Interactions collaboratives** (Tableau 1.4 (A)) possède le critère *distinction des utilisateurs*. Remarquons qu'il est possible de distinguer les utilisateurs sur les tables non capacitives en utilisant, par exemple, un gant muni de tags reconnaissables par la caméra ou encore de tags RFID [99] directement reconnaissables par la table. Si les auteurs ont mentionné ce type d'outils, nous considérons que la table peut alors être capable de distinguer les utilisateurs.

TABLE 1.4 – IHM - Collaboratives (A), Nouveaux Types (B)

Name	(A) Collaboratives		(B) Nouveaux Types		
	MultiUser	Distinction	3D	Inclinaison	Retour Haptique
Actuated Workbench	Yes	No	No	No	No
AudioPad	Yes	Yes	No	No	No
BendDesk	Yes	No	No	No	No
Blip-Tronic 3000	Yes	No	No	No	No
Blues machine	No	No	N.A	No	No
Brick	Yes	No	No	No	No
Coeno One	Yes	Yes	N.A	No	No
ConDio	No	No	No	No	No
Curve	N.C	No	No	No	No
Datatiles	N.C	N.C	N.A	No	No
Dialog Table	Yes	No	Yes	No	No
Diamond Touch	Yes	Yes	N.A	No	No
DigiTable	Yes	Yes	No	No	No
Digital Desk	No	No	N.A	No	No
Diorama Table	Yes	No	No	No	No
DJ Station	Yes	No	No	No	No
Dominotes	Yes	No	No	No	No
Drift Table	No	No	No	No	No
Dubtable	Yes	No	No	No	No
eLabBench	No	No	No	No	No
Entertaible	N.C	No	No	No	No
Etiquette	No	No	No	No	No
Evoluce	Yes	No	Yes	Yes	No
Floating Numbers	Yes	No	N.A	No	No
GeoTUI	Yes	No	No	No	No
Google My Head	Yes	No	No	No	No
GranulatSynthese	Yes	No	No	No	No
HDTML	Yes	No	No	No	No
I.M Table	Yes	No	No	No	No
iBar	Yes	No	No	No	No
Ideum	Yes	No	No	Yes	No
iLight	Yes	No	Yes	No	No
Instant City	Yes	No	No	No	No
Intelligent Table	Yes	No	No	No	No
InteractiveTop	Yes	Yes	No	No	No
Intuiface	Yes	No	N.A	No	No
iTable	No	No	N.A	No	No
Lazy Susan Interactive Table	Yes	No	No	No	No
Living Jukebox	No	No	No	No	No
Looplex	No	No	No	No	No
Lumisight Table	Yes	Yes	No	No	No
Madgets	Yes	No	No	No	Yes
Magic Board/Table	Yes	No	No	No	No
mixiTUI	Yes	No	No	No	No
MudPad	Yes	No	No	No	Yes
Multi Audable	Yes	N.C	No	No	No
Music Table	No	No	No	No	No
N.C [111]	Yes	No	No	No	No
N.C [93]	Yes	Yes	No	No	No
Onomy Tilty Table	No	No	No	Yes	No
Orai/Kalos (Crossworld)	Yes	No	No	No	No

TABLE 1.4 (SUITE)

Name	(A) Collaboratives		(B) Nouveaux Types		
	MultiUser	Distinction	3D	Inclinaison	Retour Haptique
Planar Manipulator Display	Yes	No	No	No	No
ProActive Desk	Yes	No	No	No	Yes
ProjectTISCH	Yes	No	No	No	No
ReacTable	Yes	No	No	No	No
Robotable	Yes	No	No	No	No
SandSpuren	Yes	No	No	No	No
Scrapple	Yes	No	No	No	No
SenseTable	Yes	Yes	No	No	No
Sensitive Table	Yes	No	No	No	No
Smart Table	N.C	No	No	No	No
SmartSkin	Yes	No	No	No	No
Social Soundmachine	Yes	No	No	No	No
Surface 1.0	Yes	No	No	No	No
Surface 2.0	Yes	N.C	N.C	No	No
Symbolic Table	Yes	No	No	No	No
Table Portation	Yes	No	No	No	No
Table-Robots	Yes	No	No	No	No
Tangible MouseHaus	Yes	No	No	No	No
Tangible Table	Yes	No	No	No	No
Tangible Tracking Table	Yes	No	No	No	No
TangiSense	Yes	Yes	No	No	No
TangiTable	Yes	No	No	No	No
Tasting Music	No	No	No	No	No
The Pond	Yes	No	No	No	No
TouchTable	No	No	No	No	No
Tviews	Yes	No	No	No	No
Vipro	Yes	No	No	No	No
waveTable	No	No	No	No	No
X-Desk	Yes	No	No	No	No
Xenakis	Yes	No	No	No	No
Zen Waves	Yes	No	No	No	No

1.4.4 Démonstrateurs

Nous avons repertorié dans le tableau 1.5 les différentes applications ou démonstrateurs proposés par les tables interactives.

La majorité des démonstrateurs sont à vocation musicale ou basés que le principe du visionnage de photographies. Très peu de tables interactives proposent des applications liées à l'archéologie, à l'enseignement ou à la simulation. Notons que l'objectif de ce tableau est d'indiquer les champs d'actions possibles plus que de comparer les applications entre tables.

TABLE 1.5 – Démonstrateurs

Nom	Démonstrateur	Nom	Démonstrateur
Actuated Workbench	Proof of concept	Madgets	Proof of concept
AudioPad	Music	Magic Board/Table	Photo reader
BendDesk	Proof of concept	mixiTUI	Music
Blip-Tronic 3000	Music	MudPad	Music
Blues machine	Music	Multi Audable	Music
Brick	Music	Music Table	Music
Coeno One	Story board	N.C [111]	Photo reader / Paint
ConDio	Music	N.C [93]	Museum Application
Curve	Proof of concept	Onomy Tilty Table	Cartography
Datatiles	Weather/Timer	Orai/Kalos (Crossworld)	Kaleidoscope / Music

TABLE 1.5 (SUITE)

Nom	Démonstrateur	Nom	Démonstrateur
Dialog Table	Museum/Photo reader	Planar Manipulator Display	Objects moving
Diamond Touch	Various	ProActive Desk	Paint
DigiTable	Brainstorming	ProjectTISCH	Music / Molecular biology
Digital Desk	Calc / Paint	ReacTable	Music
Diorama Table	Art / Game	Robotable	Pong / Game
DJ Station	Music	SandSpuren	Archeology application
Dominotes	Music	Scrapple	Music
Drift Table	Aerial Photography	SenseTable	Chemistry / Simulation
Dubtable	Music	Sensitive Table	Photo reader
eLabBench	Biology application	Smart Table	Teaching application
Entertaible	Games (Pong, etc.)	SmartSkin	Hand tracking/Photo reader
Etiquette	Music	Social Soundmachine	Music
Evoluce	Puzzle / Cartography	Surface 1.0	Photo Reader
Floating Numbers	Photo Reader	Surface 2.0	Photo Reader / Paint / Cartography
GeoTUI	Geological application	Symbolic Table	Audio/Video playing
Google My Head	Social Network	Table Portation	Brainstorming
GranulatSynthese	Creation	Table-Robots	Multi-Agents Patrol
HDTML	Photo reader	Tangible MouseHaus	Pedestrian Simulation
I.M Table	Music	Tangible Table	Objects tracking
iBar	Lighting/Objects tracking	Tangible Tracking Table	Story Table
Ideum	Multiplayer Space Game	TangiSense	Music/Education/Traffic simulator
iLight	Architecture application	TangiTable	Music
Instant City	Music	Tasting Music	Music
Intelligent Table	Calendar	The Pond	Surfing/Sound interactions
InteractiveTop	Battle of Tops (Game)	TouchTable	Cartography
Intuiface	Cartography/Virtual Keyboard	Tviews	Networking Game / Digital Media Browsing
iTable	Various	Vipro	Photo Reader
Lazy Susan Interactive Table	Museum of Modern Art	waveTable	Music
Living Jukebox	Music	X-Desk	Photo Reader
Looplex	Music	Xenakis	Music
Lumisight Table	Tokyo Map/Poker	Zen Waves	Music

Dans la section suivante, nous proposons d'analyser ces tableaux et d'établir une synthèse sur le recensement des tables interactives.

1.5 Synthèse

Nous proposons dans cette section une synthèse portant sur l'ensemble des dimensions et critères que nous avons présentés précédemment. En respectant l'ordre de présentation des dimensions (*Identité, Caractéristiques Techniques, Interactions Homme-Machine, Démonstrateurs*) nous proposons d'interpréter les données cumulées présentes dans les différents tableaux afin de présenter un ensemble de graphes représentatifs de la dimension proposée.

1.5.1 Identité

Les tables interactives sont depuis quelques années présentes dans les recherches académiques mais également dans les recherches industrielles. Depuis 1991 [187], de nombreuses tables interactives ont vu le jour. Le graphique (Fig. 1.9) montre l'évolution du nombre

de prototypes différents de tables interactives issus des données **cumulées** depuis 1999 (début de l'effervescence des recherches) à 2011.

Nous pouvons constater que ce nombre de tables interactives n'a pas cessé d'augmenter d'années en années. Alors qu'en 1999 deux prototypes différents de tables interactives étaient proposés (Digital Desk [187] et Magic Board [15]), 84 tables différentes ont pu à ce jour (octobre 2011) être recensées si on se réfère aux données cumulées depuis 1999. Nous pouvons donc nous poser la question de savoir si ce chiffre continuera d'augmenter au fil des années et même si, les tables interactives ne remplaceront pas, un jour, nos ordinateurs actuels.

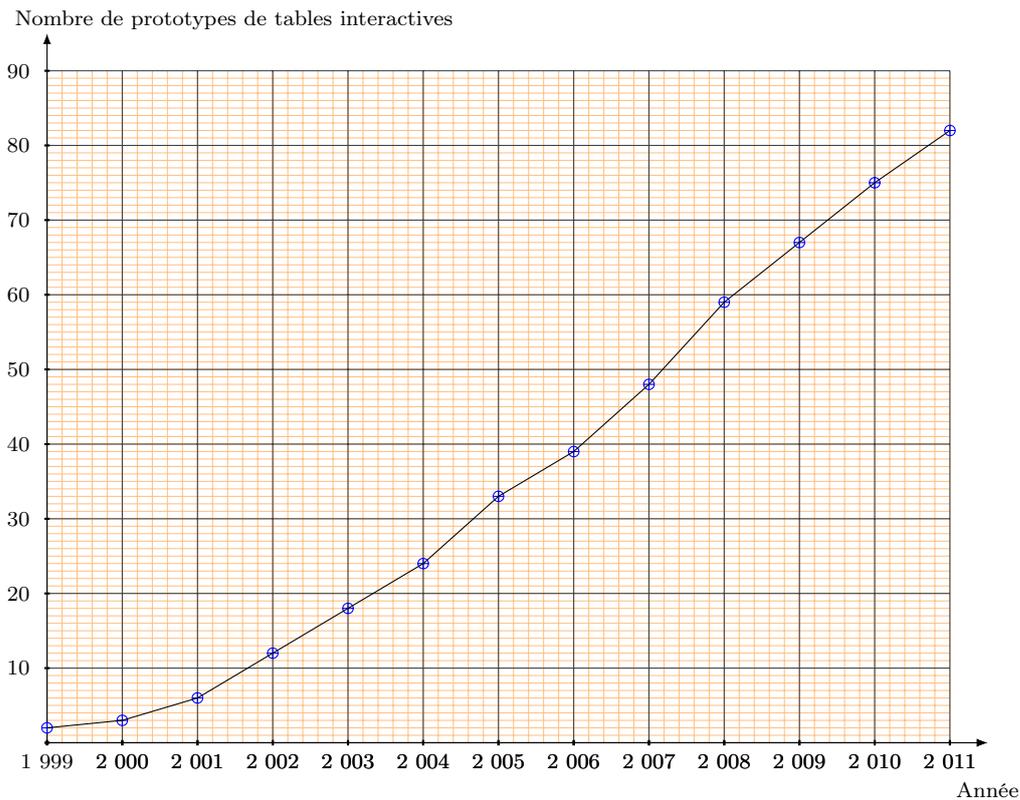


FIGURE 1.9 – Evolution du nombre de prototypes différents de tables interactives issus des données **cumulées** depuis 1999 à 2011

1.5.2 Caractéristiques Techniques

D'un point de vue technique, les tables interactives continuent d'évoluer chaque année. Les technologies de capture restent cependant dans de nombreux cas les mêmes (caméra, capacité électrique ou écran tactile (*touchscreen*)) avec toutefois l'utilisation de nouvelles technologies comme la RFID (Fig. 1.10).

La technologie de capture par caméra est cependant la technologie la plus employée (Fig. 1.10). Nous représentons avec la figure 1.11 la répartition des technologies employées dans le cas de l'utilisation de la caméra comme système de capture. Nous pouvons remarquer dans un premier temps que 63% des tables interactives utilisent la caméra soit de

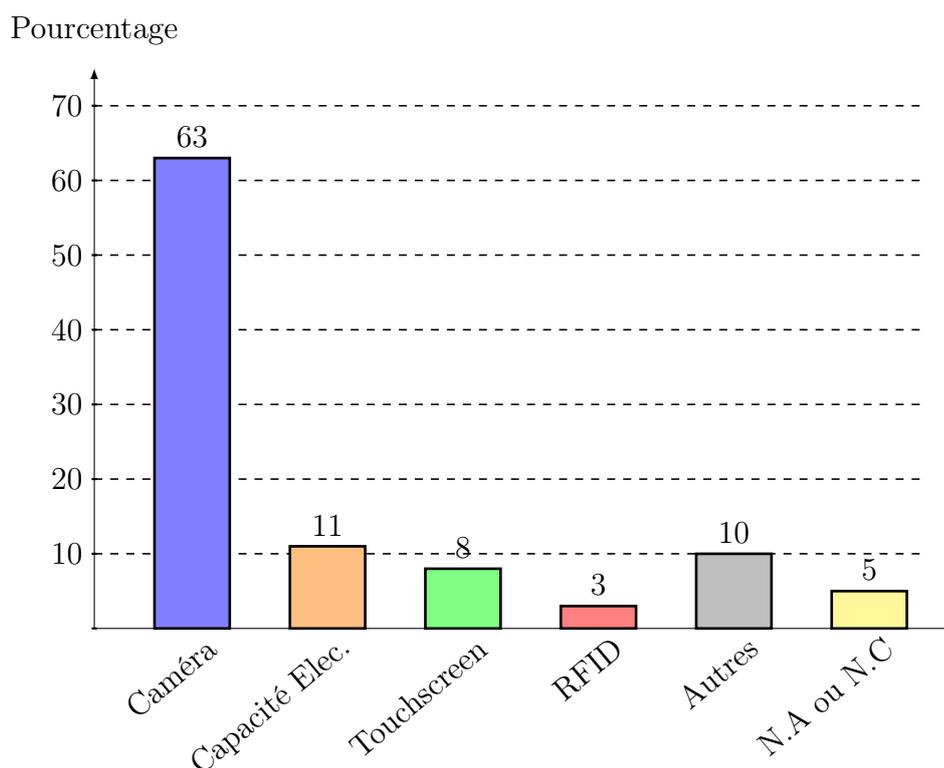


FIGURE 1.10 – Pourcentage d’utilisation des systèmes de capture

manière classique c’est à dire sans filtre en utilisant l’image telle qu’elle peut être captée par la caméra, soit sans donner de plus amples informations quant à la technologie employée (*e.g.* DI, DSI, *etc.*). Notons que 5% des tables interactives utilisent une simple webcam. Concernant les technologies utilisant l’infrarouge, 20% des tables emploient la technologie DI ; 7% la technologie FTIR ; 4% la technologie DSI et 4% la technologie LLP (cf. § 1.3.2 pour la description de ces technologies).

Notons qu’il est relativement difficile de distinguer les utilisateurs sur les tables interactives (cf. section suivante). C’est en effet une lacune de la technologie de capture la plus employée par les tables interactives : la caméra (Fig. 1.10). Celle-ci est certes capable de distinguer un ensemble de codes barre (ou tags) collés sous des objets voire même de distinguer les objets grâce à un algorithme de reconnaissance mais peut difficilement distinguer les doigts des utilisateurs. Il est cependant possible grâce à la capture par caméra de distinguer une main complète [156] (et donc un utilisateur), permettant ainsi de démarrer une session de travail personnelle. Le problème de distinction persiste cependant une fois l’identification faite puisque les utilisateurs manipulent les objets avec les doigts et que la caméra reste incapable de les différencier. C’est pourquoi la majorité des tables interactives (86%, voir Fig. 1.12) ne peuvent distinguer les utilisateurs. Seules les tables utilisant généralement la capacité électrique peuvent distinguer les doigts des utilisateurs.

D’un point de vue ergonomie et forme des tables interactives, nous ne pouvons pas

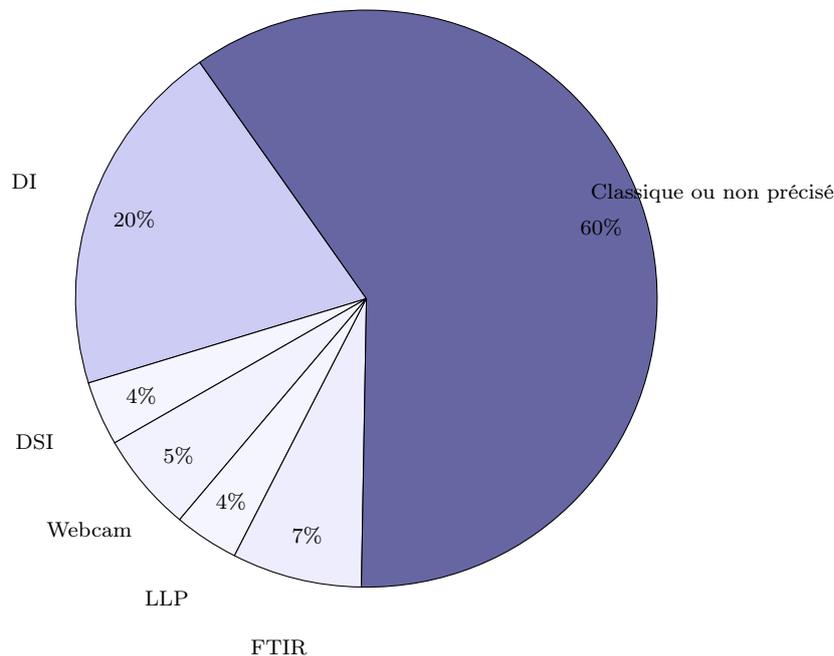


FIGURE 1.11 – Répartition des technologies employées dans le cas de l'utilisation de la caméra comme système de capture

constater d'énorme évolution. Les tables restent majoritairement rectangulaire de "petite" taille (environ 30" de diagonale), même s'il existe quelques exemplaires de tables aux dimensions ou formes particulières [185, 122, 14]. Même si cette forme rectangulaire est un réel avantage sur le plan technique (aucune retouche de l'image, ou de l'écran), nous pouvons nous demander si d'un point de vue ergonomie et utilisation des tables, la forme carrée ou ronde ne serait pas plus adaptée [149]? Après tout, les tables interactives ont une vocation de travail en groupe (*multiusers*, *multitouch*) impliquant plusieurs personnes autour de la table. Nous avons déjà tous constaté, par exemple au restaurant, qu'il est plus convivial de manger ensemble autour d'une table ronde ou encore de travailler autour d'une table, chacun étant face à face facilitant ainsi les échanges. Les tables rectangulaires peuvent impliquer un éloignement. Cela peut être le cas avec des tables de grandes tailles comme la Floating Numbers [90] qui, avec une taille de 9x2 mètres risque de compromettre les échanges entre les utilisateurs situés aux extrémités.

Cependant, les tables interactives revendiquent la notion de multi-utilisateurs; par "multi" nous entendons un minimum de deux personnes. Toutefois d'un point de vue technique, nous estimons que les interactions {Utilisateur(s), Table} ne peuvent être permises que pour un maximum de quatre personnes pour la plupart des tables interactives proposées. Il semble en effet difficile de travailler sur une table de 30" avec plus de 4 personnes, et il est évident que seules 2 ou 3 personnes peuvent travailler correctement et

directement sur la table (apposer leurs doigts), sauf applications particulières. Bien sûr des échanges peuvent survenir autour de la table, les tables interactives pouvant favoriser la collaboration ou la coopération.

Une question reste cependant fréquente concernant les technologies de capture : "Quelle est la meilleure technologie ?" Malheureusement, il n'existe pas de réponse simple. Chaque technique possède ses avantages et ses inconvénients. Finalement la réponse dépend de l'utilisation que l'on veut faire de la table interactive. Seul l'utilisateur (ou le concepteur) de la table peut répondre à cette question. Nos tableaux récapitulatifs et cette synthèse pouvant toutefois servir de guide.

Le constat est que : si on a besoin d'objets, de tags, ou de la reconnaissance du survol, la technologie DI par l'arrière est la plus pertinente. Si on a seulement besoin d'une reconnaissance robuste et fiable des doigts, la technologie FTIR est un excellent choix. La technologie DI par l'avant, est plus simple à construire mais est rarement utilisée comme installation permanente, car elle s'appuie fortement sur le milieu environnant (luminosité, *etc.*).

Nous pouvons toutefois établir une liste d'avantages et d'inconvénients de chaque technologie.

TABLE 1.6 – Avantages et inconvénients des technologies de capture

	Avantages	Inconvénients
FTIR	<ul style="list-style-type: none"> • Une boîte fermée n'est pas nécessaire • les "taches" (les doigts posés) ont un fort contraste • Permet de faire varier la pression et donc les "taches" • Avec une surface conforme, elle peut être utilisée avec quelque chose d'aussi petit qu'une pointe de stylo 	<ul style="list-style-type: none"> • Configuration qui nécessite un certain type de cadre à LED (soudure requise) • Nécessite une surface conforme (caoutchouc silicone) pour une utilisation correcte • Impossible d'utiliser une surface de verre
DI arrière	<ul style="list-style-type: none"> • Pas besoin d'une surface conforme, juste une surface de diffusion • Projection possible depuis le haut ou depuis le bas • Possibilité d'utiliser tout matériau transparent comme le verre (et pas seulement en acrylique) • Pas de structure nécessaires à LED • Aucune soudure • Installation simple • Peut suivre des objets, des doigts, le survol, des tags 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté d'obtenir un éclairage uniforme • Les "taches" ont un contraste plus faible (plus difficile à capter par le logiciel) • Plus de chance de "taches fausses" • Une boîte fermée est nécessaire
DI avant (vs. arrière)	<ul style="list-style-type: none"> • Une boîte fermée n'est pas nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne peut pas suivre des objets et tags • Pas aussi fiable (s'appuie fortement sur les conditions d'éclairage ambiant)

TABLE 1.6 (SUITE)

	Avantages	Inconvénients
LLP	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de surface conforme (en silicone) • Possibilité d'utiliser tout matériau transparent comme le verre (et pas seulement en acrylique) • Pas de structure nécessaires à LED • Une boîte fermée n'est pas nécessaire • Configuration simple • Peut être légèrement moins cher que d'autres techniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne peut pas suivre des objets traditionnels et tags • Pas vraiment sensible à la pression (puisque l'intensité lumineuse ne change pas avec la pression). • Peut causer des occlusions si seulement 1 ou 2 lasers sont utilisés car si la lumière "frappe" un doigt, celui-ci peut bloquer la réception de la lumière pour un autre doigt
DSI	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de surface conforme (en silicone) • Peut facilement basculer entre les DI et FTIR • Peut détecter des objets, survol et tags • Est sensible à la pression • Eclairage permanent des doigts/objets sur toute la surface 	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût du plexiglas particulier • Les taches ont un contraste plus faible (plus difficile à capter par le logiciel) que FTIR et LLP
RFID	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de surface conforme (en silicone) • Possibilité d'utiliser et de détecter à travers tous matériaux non métalliques • Peut détecter des objets, survol et tags • Peut détecter la superposition d'objets de faible épaisseur (2 à 3cm) • Peut stocker de l'information dans les tags • Possibilité de fonctionner dans n'importe quelle position, en particulier à la verticale • Très peu de données fausses • Utilisable en pleine lumière et donc insensible aux infrarouges 	<ul style="list-style-type: none"> • La précision est de l'ordre du centimètre • N'est pas sensible à la pression • Ne peut pas détecter directement les doigts
Fibre Optique	<ul style="list-style-type: none"> • Avantages de la technologie de base par Infra-Rouge (DI, FTIR, etc.) • Réduit considérablement la position de la caméra (éloignement) 	<ul style="list-style-type: none"> • Inconvénients de la technologie de base par Infra-Rouge (DI, FTIR, etc.)

1.5.3 Interactions Homme-Machine

La figure 1.12 permet de visualiser l'ensemble des types d'interactions {Utilisateur-Table} ou {Utilisateur-Objets-Table} les plus significatives et donne le pourcentage des tables en fonction des caractéristiques proposées ci-dessus. Si la majorité des tables interactives (59%) permettent des interactions {Utilisateur-Table} grâce au tactile (40% ne le permettent ou ne l'utilisent pas), la prise en compte du *MultiTouch* est mitigée puisque 54% des tables sont capables de le gérer contre 38% qui ne l'utilisent pas.

Par ailleurs et comme cité précédemment, les tables interactives se veulent multi-utilisateurs et les résultats le confirment puisque 78% des tables sont utilisées à plus de deux personnes, toutefois très peu de tables interactives sont capables de distinguer les utilisateurs. En effet, seuls 11% des tables interactives recensées sont capables de distinguer les utilisateurs au contraire de 85% d'entre elles. Ce résultat est directement lié à la technologie de capture par caméra qui est majoritairement employée et qui ne permet pas cette distinction des utilisateurs. Rappelons cependant que la détection de la main peut permettre de **détecter** l'utilisateur [156], mais ne permet pas de les **distinguer** durant les interactions.

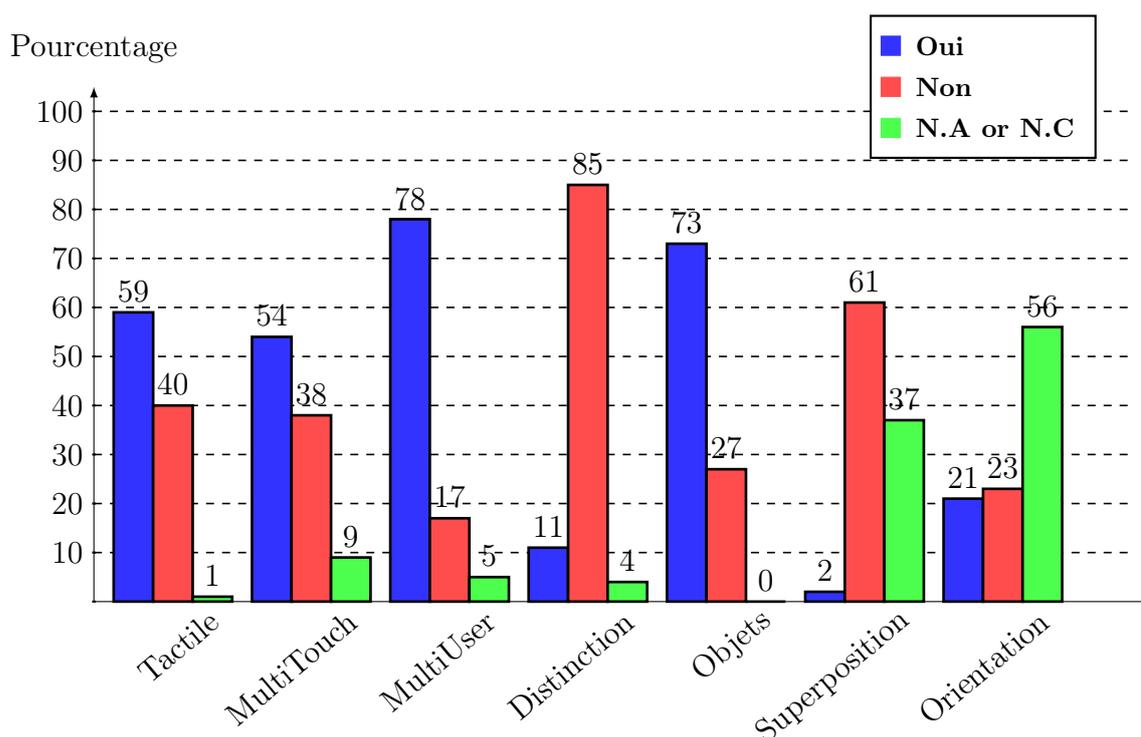


FIGURE 1.12 – Récapitulatif des interactions possibles {Utilisateur-Table interactive} ou {Utilisateur-Objets-Table}

Nous avons vu que les tables interactives permettent des interactions {Utilisateur-Table} en utilisant le tactile (59% des tables); toutefois 40% des tables n'utilisent pas cette technologie. Nous faisons donc également intervenir dans la figure (Fig. 1.12) les interactions avec les objets tangibles ({Utilisateur-Objets-Table}). Nous avons ici répertorié les tables interactives sur lesquelles il est possible de travailler avec un ensemble d'objets. Nous pouvons constater que 73% des tables interactives utilisent ou permettent les interactions {Utilisateur-Table-Objets} mais que seulement 2% des tables sont capables de détecter des objets superposés. Finalement, 21% des tables interactives supportent l'orientation des objets contre 23% qui ne le supportent pas.

1.5.4 Démonstrateurs

Les tables interactives peuvent être utilisées pour de nombreuses applications dans différents domaines. Cependant, les applications (ou démonstrateurs) proposés par les auteurs et/ou constructeurs sont généralement peu variées. En effet, la figure 1.13 montre le pourcentage des applications utilisées sur les tables.

Nous pouvons constater que la majorité des tables interactives sont utilisées comme instrument de musique, ou permettant la conception musicale (34%) ou encore permettant la visualisation ou le redimensionnement des photos (14%). 7% des tables sont utilisées pour les jeux ou pour des applications dans des domaines spécifiques (archéologie, biologie, etc.), 6% pour de la cartographie. 5% sont utilisées pour de la preuve de concept

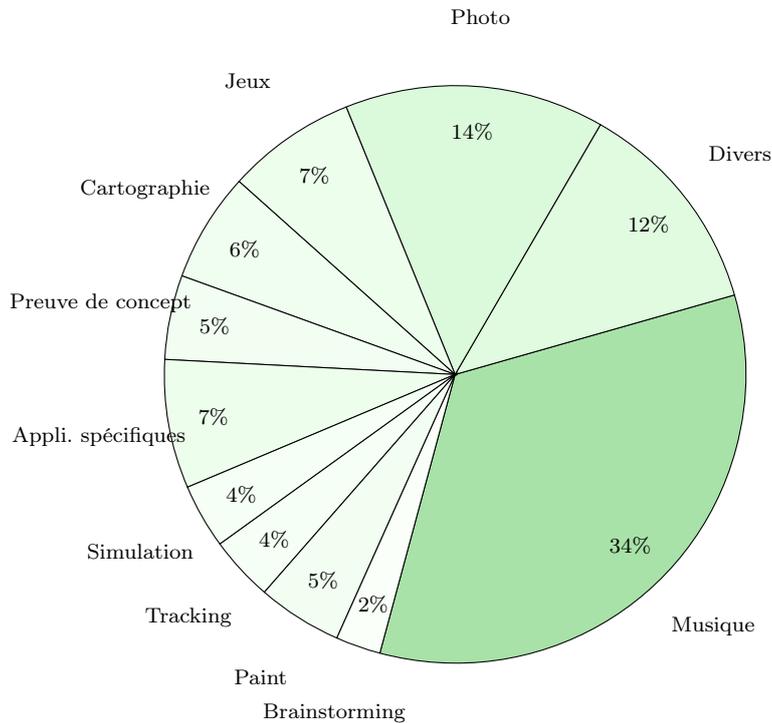


FIGURE 1.13 – Pourcentage des domaines d'utilisation des différents démonstrateurs

ou comme support de dessin. Finalement 4% des démonstrateurs sont dédiés à la simulation ou au simple tracking d'objets et 2% pour le brainstorming. Toutefois, 12% des tables sont utilisés pour d'autres types d'utilisations mais à faible échelle pour l'instant. Parmi ces applications, nous pouvons citer les outils de bureautique, les contes ou encore l'apprentissage.

1.6 Conclusion

Après avoir introduit les tables interactives qui pourraient à terme s'imposer en tant que nouvelles plateformes d'interaction, nous avons présenté dans ce chapitre un modèle permettant le recensement et la caractérisation des tables interactives en utilisant quatre dimensions : *Identité, Caractéristiques Techniques, Interactions Homme-Machine, Démonstrateurs*.

Nous avons présenté en détails ces quatre dimensions ainsi que les différents critères qui les composent. Nous avons ensuite proposé en utilisant ce modèle, le recensement et la caractérisation de 84 tables interactives en fonction des dimensions et sous-dimensions tout en en y faisant figurer les différents critères. Une interprétation des données cumulées a ensuite été présentée reprenant les quatre dimensions présentées précédemment.

L'ensemble de ces tables interactives, et les recherches menées à leur sujet ne cessant d'augmenter chaque année, cela nous invite à nous poser de nouvelles questions quant à l'utilisation des tables interactives d'un point de vue de l'Interaction Homme-Machine, domaine dans lequel se situe notre recherche. Nous proposons donc dans le chapitre suivant de définir les différents types d'interfaces que peuvent proposer les tables interactives impliquant une utilisation différente de ce que l'on pouvait, par exemple, faire d'un ordinateur. Nous nous posons alors la question de la prise en compte du contexte d'usage pour les tables interactives. Nous développerons l'intégralité de ces aspects dans le chapitre suivant.

Chapitre 2

Les tables interactives : nouvelles problématiques en Interaction Homme-Machine

2.1 Introduction

L'évolution permanente des nouvelles plateformes d'interaction telles que les tables interactives nous invite à étudier les nouvelles problématiques en Interaction Homme-Machine résultant de l'utilisation de ces tables. Au même titre que pour l'ordinateur il y a maintenant de nombreuses années [25], il est nécessaire de définir les interactions ou les utilisations possibles des tables interactives. Toutefois, contrairement à l'ordinateur (qui a su s'imposer dans la vie quotidienne) et que nous utilisons grâce au triplet classique (clavier, souris, écran), les tables interactives ne possèdent pas de périphériques d'interactions directes ; nous travaillons autour d'elles majoritairement debout et souvent à plusieurs (interactions multi-utilisateurs, de manière collaborative ou non). L'ensemble de ces changements, par rapport à l'utilisation classique que nous faisons des ordinateurs, nous amène à soulever les problèmes associés à ces utilisations. C'est pourquoi il est pertinent, de la même manière que sur les PDA [132], plates-formes mobiles [152] ou objets communicants [26], de prendre en considération la notion de contexte d'usage pour les tables interactives.

Nous proposons dans ce chapitre d'établir dans un premier temps une comparaison de l'ordinateur personnel actuel avec les tables interactives. C'est en comparant ces deux plateformes que nous pourrions soulever les différences et donc aboutir aux nouvelles problématiques en terme d'Interaction Homme-Machine. Nous montrons ensuite l'évolution des tables interactives selon le point de vue de leur interface homme-machine (rappelons que les recherches sur le sujet ont débuté vers les années 90 [187]), afin d'établir un constat sur les utilisations potentielles et actuelles des tables interactives. Nous verrons alors que les interfaces des tables interactives ont beaucoup évolué, et que les premières recherches se focalisaient sur l'utilisation du virtuel à l'aide d'un vidéoprojecteur et d'une caméra afin de détecter les mouvements des utilisateurs [21]. Les tables interactives étaient vues

comme un ordinateur, l'idée principale était alors de déporter l'utilisation que l'on pouvait faire d'un ordinateur sur une table interactive [188] (voir figure 2.1(a) et 2.1(b)).



(a) Redirection de la calculatrice PC sur bureau interactif (b) Redirection d'un logiciel de dessin type Paint sur bureau interactif

FIGURE 2.1 – La redirection d'applications vue par Wellner en 1993 : du PC au bureau interactif

Depuis, les recherches sur les tables interactives se sont focalisées sur de nouveaux problèmes. L'idée principale n'étant plus d'utiliser les tables interactives comme un ordinateur mais bien comme une table (un support sur lequel il est possible de travailler à plusieurs, éventuellement avec des objets, de manière collaborative, *etc.*)¹¹. Nous remarquerons alors que depuis peu, la notion de tangible¹² (par opposition à la notion de virtuel au sens "objets") est de plus en plus utilisée sur les tables interactives. Finalement, plutôt que d'aller vers un futur où les tables peuvent être manipulées de manière tactile pour interagir sur des objets virtuels, les recherches [36, 37, 5] montrent qu'il est pertinent de se (re)tourner vers le passé et de travailler sur les tables interactives de la même manière que nous travaillons actuellement (et avons toujours travaillé) sur un bureau ou une table, c'est-à-dire avec un ensemble d'objets posés dessus.

C'est suite à ces constats que nous proposons de prendre en considération la notion de contexte d'usage pour les tables interactives. Après avoir défini les apports de chacune des interfaces, qu'elles soient tangibles et/ou virtuelles, nous étayerons pourquoi prendre en considération le contexte pour les tables interactives et nous définirons le contexte. Le contexte défini, nous établirons un état de l'art de la notion de manière chronologique depuis les premières notions de contexte en IHM, de 1994 [155] à aujourd'hui. Finalement, nous terminerons ce chapitre en couplant contexte, interactions et tables interactives afin d'aboutir à notre proposition de prise en considération et de modélisation du contexte pour les tables interactives dans le chapitre suivant.

11. nom féminin (latin *tabula*) - Meuble composé d'un plateau horizontal reposant sur un ou plusieurs pieds ou supports destiné à des activités, jeux ou techniques. *Source : Larousse, 2011*

12. adjectif, (bas latin *tangibilis*, du latin classique *tangere*, toucher) - Qu'on connaît par le toucher. *Source : Larousse, 2011.*

2.2 De l'ordinateur personnel aux tables interactives

Comme nous l'avons déjà évoqué, les tables interactives sont relativement différentes des ordinateurs que nous pouvons utiliser tous les jours. Weiser [183] en 1999, annonçait que les ordinateurs feraient partie de la vie courante au 21ème siècle. L'ordinateur personnel est effectivement devenu un outil indispensable. Pour certains utilisateurs, il sert à travailler ou à naviguer sur internet ; pour d'autres il sert à jouer ou à convevoir. L'utilisation du triplet de périphériques (clavier, souris, écran) est devenu un classique, le plus grand nombre d'utilisateurs ayant su s'adapter à ces périphériques imposés pour l'utilisation de l'ordinateur.

L'usage que l'on fait de l'ordinateur d'un point de vue des Interactions Homme-Machine peut être défini avec le paradigme WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing device) développé dans les années 70 par le Xerox PARC. Les interfaces WIMP permettent à l'utilisateur d'interagir avec le système depuis l'écran de l'ordinateur grâce à un dispositif de pointage (souris), et d'éléments d'interface comme des fenêtres, des menus déroulants et des icônes, qui représentent les commandes actionnables [101]. Les interfaces WIMP se caractérisent par la présence de fenêtres primaires contenant une représentation symbolique ou non des objets (données, logiciels, dossiers, textes, images, *etc.*). L'utilisation d'une souris permet de manipuler (sélectionner, déplacer) ces objets. Les menus contiennent les actions et les propriétés applicables à ces objets. Celles-ci peuvent nécessiter un dialogue qui prendra place dans une fenêtre secondaire. L'utilisation de métaphores (icônes, bureau, dossiers, *etc.*) permet la réutilisation des connaissances et favorise la prise en main.

Les tables interactives nécessitent une toute autre utilisation. Les tables interactives ne possèdent en effet pas ces périphériques cités précédemment. Sur une table interactive, l'écran est la plateforme elle-même. Sa surface est horizontale, plus ou moins grande (moyenne de 30" environ), elle permet d'interagir avec des objets virtuels (par exemple vidéo-projetés) et/ou des objets tangibles, par exemple une gomme posée sur la table. D'un point de vue interface, nous pouvons parler à ce sujet d'interface Post-Wimp [177].

Nous proposons de définir les principales différences entre l'ordinateur personnel et les tables interactives grâce au tableau 2.1. Ce tableau permet d'établir une comparaison globale entre l'utilisation de l'ordinateur et de ses périphériques avec l'utilisation des tables interactives.

TABLE 2.1 – Comparaison globale de l'utilisation de l'ordinateur personnel avec les tables interactives

	Ordinateur	Table interactive
Paradigme	<ul style="list-style-type: none"> • WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing device) 	<ul style="list-style-type: none"> • Post-WIMP
Ecran	<ul style="list-style-type: none"> • Externe • Vertical • Face à l'utilisateur • Taille moyenne de 19" 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégré à la surface • Horizontal • Perpendiculaire à/aux (l')utilisateur(s) • Taille moyenne de 30"

TABLE 2.1 (SUITE)

	Ordinateur	Table interactive
Clavier	<ul style="list-style-type: none"> • Physique 	<ul style="list-style-type: none"> • Virtuel (si disponible, si besoin)
Souris	<ul style="list-style-type: none"> • Mono-pointage • Click • Déplacement du périphérique 	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-pointage • Sélection au doigt ou avec un objet • Mouvement direct de la main
Utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> • 1 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 ou plusieurs

A la lecture du tableau 2.1 nous pouvons constater et confirmer que l'utilisation des tables interactives devrait s'avérer relativement différente de celle que l'on peut faire des ordinateurs. Ces différences majeures entre l'utilisation de ces deux plateformes permettent de soulever de nouvelles problématiques du point de vue de l'Interaction Homme-Machine. Il faut en effet proposer de nouvelles métaphores [17], repenser les interfaces par rapport à celles des ordinateurs [18], et éventuellement les adapter aux tables interactives [161]. Les recherches aussi bien académiques qu'industrielles concernant les tables interactives évoluent rapidement. Avec les évolutions technologiques, les interfaces et donc les moyens d'interagir avec les tables interactives ont, elles aussi, relativement changé (Fig. 2.2). Les interfaces permettent en effet de distinguer par exemple les utilisateurs (Fig. 2.2(a)) ou encore de travailler sur les tables interactives avec des objets tangibles directement posés sur la table (Fig. 2.2(b)).



(a) Utilisation de la Diamondtouch [48], une des premières tables capables de distinguer ses utilisateurs



(b) La reactable proposée par et Jordà *et al.* [91] permettant d'interagir avec des objets tangibles pour la conception musicale

FIGURE 2.2 – Evolution des interfaces par l'exploitation de tables interactives : distinction des utilisateurs dans des situations collectives (a) ; utilisation d'objets tangibles (b)

Nous proposons dans la section suivante de classer les interfaces des tables interactives. Nous verrons que, depuis les premières recherches, les interfaces n'ont cessé d'évoluer afin d'apporter toujours plus de possibilité dans l'usage de ces nouvelles plateformes.

2.3 Evolution des tables interactives : du virtuel au tangible

Les tables interactives, comme la plupart des plateformes technologiques, évoluent chaque année. Une des évolutions s'est par, exemple, effectuée du point de vue de leur interface. Nous pouvons constater en effet que les premières interfaces des tables interactives (ou bureaux interactifs) était constituées d'un vidéoprojecteur qui diffusait l'interface sur la table et permettait de travailler avec des objets virtuels. Il est maintenant possible sur ces mêmes interfaces vidéoprojetées de travailler également avec des objets tangibles. Nous proposons dans cette section de définir les différentes interfaces des tables interactives et de les classer en trois types (tactile, tangible, mixte). Nous proposerons ensuite de définir les apports à la fois du tactile et du tangible pour les tables interactives en nous basant sur l'état de l'art.

2.3.1 Evolution et classification des interfaces des tables

Depuis 1991, les technologies n'ont cessé d'évoluer, permettant aux tables interactives de devenir de plus en plus performantes et différentes. Nous considérons que les tables interactives actuelles au delà de pouvoir être classées selon leurs caractéristiques matérielles ou logicielles (voir chapitre 1, §1.4), peuvent également être classées selon les interactions ou applications qui peuvent être envisagées avec ces tables.

Nous distinguons de ce fait trois types de tables interactives en fonction de leur interface (Fig. 2.3) :

1. les tables à interface tactile qui permettent un ensemble d'interactions avec des objets virtuels (photos, fenêtres, *etc.*),
2. les tables à interface tangible qui, *a contrario* des tables à interface tactile permettent un ensemble d'interactions avec des objets tangibles uniquement,
3. les tables à interface mixte qui permettent des interactions à la fois avec des objets virtuels et avec des objets tangibles.

Les tables interactives à interface tactile correspondent à la majeure partie des premières tables. Les interactions homme-machine sont rendues possibles grâce à un écran déposé sur la table ou encore un vidéoprojecteur situé au-dessus ou en-dessous de la table. D'une manière générale les interactions entre l'Homme et la Machine sont rendues possibles grâce à une surface tactile ou capacitive¹³ permettant de détecter la position des doigts et ainsi agir comme un pointeur de souris avec l'ensemble des actions offertes par celle-ci (le clic, le maintien de clic, ou le double clic ; voir [158]). Une des premières tables proposées par Dietz et Leigh [48] dans les laboratoires de Mitsubishi (MERL) est la *DiamondTouch* (Figure 2.2(a)) permettant de détecter et surtout de distinguer les utilisateurs. Les premières applications proposées sur cette table sont simples ; elles permettent de tracer des rectangles de couleurs en fonction des utilisateurs ou encore de jouer en les

13. Rappel : se dit d'un dispositif ou d'un circuit électrique dont la grandeur essentielle est la capacité.

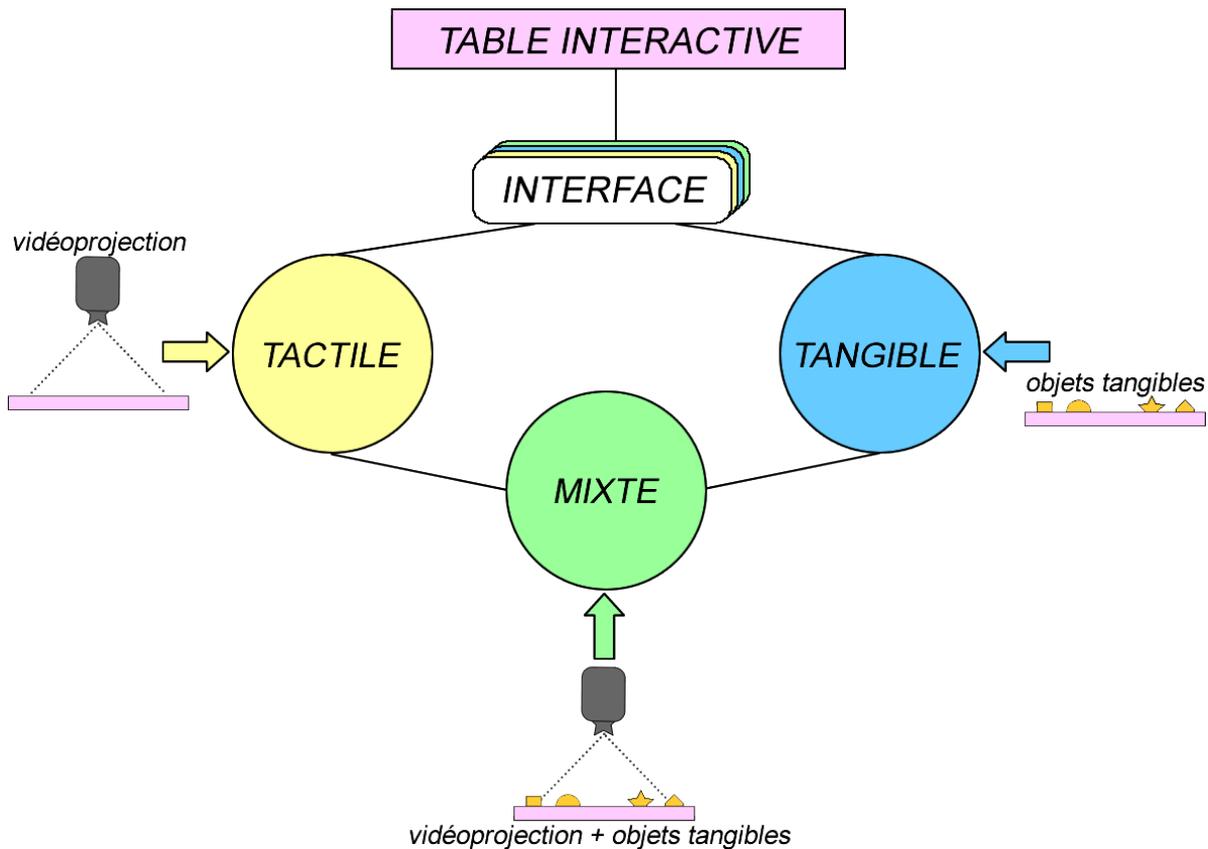


FIGURE 2.3 – Modélisation des interfaces associées aux tables interactives

distinguant. Plus tard, les applications proposées par ces tables invitent les utilisateurs à afficher leurs photos et à les manipuler/redimensionner directement avec les mains.

Les tables interactives à interface tangible sont fondamentalement différentes des précédentes. Ici les interactions sont possibles en utilisant directement l'objet tangible sur la table [36]. Il n'existe que très peu de tables interactives permettant uniquement des interactions avec des objets tangibles (ou en tout cas vouées à cette unique utilisation). C'est le cas de la *Symbolic Table* proposée par le laboratoire Mediamatic Lab en 2006 [120] qui détecte la pose d'un objet. Cet objet est un symbole pour un son ou une image. L'application permet lors de la pose ou la dépose de l'objet de diffuser un son ou une image sur un écran externe, puisque la table n'est pas "autonome" (en terme d'interaction) et ne possède pas d'écran intégré à sa surface.

Enfin, il existe maintenant un ensemble de tables interactives à interface mixte c'est-à-dire permettant des interactions aussi bien avec des objets virtuels que des objets tangibles. Ces interfaces intègrent les particularités des interfaces tactiles et tangibles. Elles correspondent aux tables qui sont proposées actuellement telles que la *Reactable* [91] avec des applications permettant la création musicale en posant ou déplaçant un ensemble d'objets ou encore la *Surface* proposée par Microsoft [121]. C'est le cas également de *Tan-*

giSense, support de nos recherches, qui sera caractérisée et détaillée dans le chapitre 4.

Ces nouvelles plateformes permettent de travailler différemment et d'envisager de nouvelles applications impliquant objets virtuels et/ou tangibles. C'est pourquoi nous proposons de présenter l'apport du tangible et du tactile pour l'interaction homme-table interactive dans la section suivante.

2.3.2 Apport du tactile et du tangible pour les tables interactives

Les tables interactives offrent aux utilisateurs de nouvelles fonctionnalités, de nouvelles méthodes d'interaction [8] et leur apportent également de nouvelles expériences [178]. Le tactile est présent sur de nombreuses plateformes d'interaction depuis déjà quelques années : par exemple, la manipulation de fenêtres [151], l'affichage de "pop-up" [160] ou de "post-it" s'affichant sur écran illustrent cette notion d'interaction avec des objets que nous qualifions de virtuels. Le virtuel est présent sur les tables interactives depuis les premières recherches en 1991 [187] puisque celles-ci visaient et visent actuellement à augmenter l'utilisation classique que l'on peut faire, par exemple, d'un bureau [153]. L'utilisation d'un vidéoprojecteur ou d'un écran permet de diffuser de l'information virtuelle sur l'intégralité de sa surface qui devient alors surface d'affichage [29]. Les objets ainsi vidéoprojetés sont alors virtuels puisqu'il n'existe aucun lien physique entre l'objet et sa représentation. L'utilisation du virtuel sur les tables interactives peut être vue comme un simple déport de l'écran de l'ordinateur. C'est sans doute suite à ce constat que de nombreuses recherches sur les tables interactives ont visé à rediriger les applications de l'ordinateur vers celles-ci [18].

Depuis 25 ans maintenant, les interfaces tangibles (TUI : Tangible User Interface) sont de plus en plus répandues [20] dans les IHM et plus particulièrement sur les tables interactives [36], même si les interfaces tangibles peuvent prendre des formes différentes [83]. La définition qu'en donnent Ishii et Ullmer [85] est très succincte mais facilement compréhensible : il s'agit de manipuler des objets réels qui sont intégrés dans un environnement virtuel. En d'autres termes, l'information numérique est directement palpable par les mains de l'utilisateur et perceptible par les sens périphériques [84]. Ishii est l'un des pionniers dans le domaine des interfaces tangibles ; il a défini un espace-problème autour des objets de l'interface. L'interaction est spatiale ; elle se déroule dans l'espace réel et les utilisateurs se déplacent dans cet espace afin d'interagir, le monde réel devenant alors interface (Fig. 2.4).

Toutefois, interagir avec une interface tangible telle que les tables interactives n'implique pas les mêmes situations d'utilisation qu'une interface graphique classique et engendre de ce fait une interaction particulière (Fig. 2.4). En effet, selon Ishii *et al.* ce type de technologie permet à l'individu de vivre une expérience plus naturelle et conviviale lui donnant le sentiment d'être connecté au monde réel [84]. Par l'intermédiaire de ce contrôle multisensoriel qui permet la manipulation directe d'objets il y a donc l'expressivité riche de gestes qui permet des interactions naturelles et intuitives [55]. De plus, les interfaces tangibles offrent l'opportunité aux individus d'exercer une manipulation directe

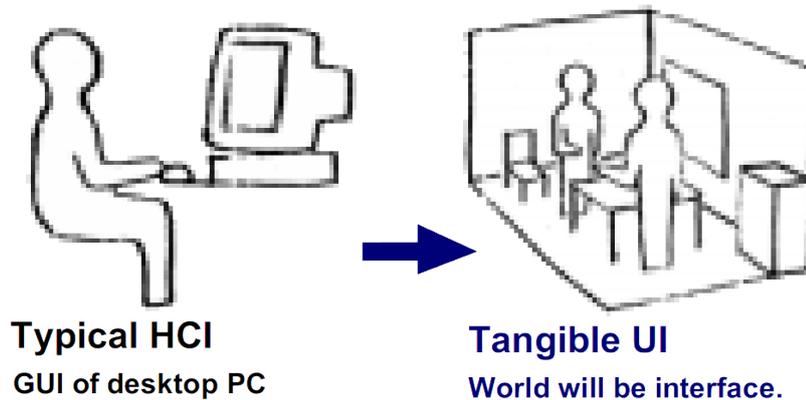


FIGURE 2.4 – Du GUI (Graphical User Interface) au TUI (Tangible User Interface) vu par Ishii et Ullmer en 1997 [85]

qu'on pourrait qualifier d'optimale avec l'interface, car naturelle : ils peuvent concrètement toucher l'élément qu'ils veulent manipuler, le corps est alors utilisé pour contrôler le numérique et le digital [162]. Par ailleurs, les individus peuvent manipuler la localisation des objets à la fois par rapport à eux mais également par rapport aux autres individus ; par conséquent cela permet d'attribuer à l'objet une place significative et ainsi développer le raisonnement spatial [113]. Les objets tangibles peuvent être utilisés par des enfants, des personnes âgées, ou potentiellement par les gens présentant un handicap, par exemple visuel, où le toucher est la dimension principale de l'interaction. Les avantages avec cette technologie sont donc multiples. L'interaction avec les deux mains est fortement encouragée et possible sur les tables interactives, ce qui est important car les capacités physiques de la main et du poignet sont riches [59]. D'autre part, les individus pouvant potentiellement se placer n'importe où autour de la table, les entrées sont spatialisées et offrent ainsi le potentiel d'améliorer nettement les capacités de communication. Les artefacts physiques facilitent l'interaction en rendant l'interface plus directe et surtout plus manipulable. Ce type de technologie encourage également la collaboration de plusieurs personnes [58]. Etant donné que les objets sont manipulés en trois dimensions sur une surface horizontale, la grande majorité de ces tables offrent un espace de travail généreux et permettent à l'utilisateur d'agir tout en parlant et en gardant un œil sur ce que les autres effectuent comme action [113]. Par ailleurs, l'un des points essentiels dans cette interaction reste, selon Manches *et al.* [113] et Fiebrink *et al.* [55], la visibilité des actions des autres utilisateurs et par conséquent, bien souvent, la compréhension du but et du geste. Finalement, pour l'exécution de certaines tâches les interfaces utilisateur classiques (écran, clavier, souris) peuvent rendre les opérations moins intuitives, moins performantes et plus coûteuses en temps - par exemple la manipulation des objets en 3D ; c'est pourquoi de nouvelles interfaces sont proposées comme celles de De Vries *et al.* [179] destinées aux architectes, ou encore celles de Reuter *et al.* [145] pour les archéologues, chacune visant à exploiter les capacités du tangible dans les interfaces utilisateur.

Avec le tactile et le tangible, les interactions deviennent potentiellement illimitées

sur les tables interactives. Pourtant, malgré les nombreux avantages du tactile et du tangible, les tables interactives ont aussi des limites. Etant donné que l'individu utilise une interface ayant la possibilité d'être partagée avec plusieurs personnes, certaines études ont montré la crainte de la part des sujets d'avoir une collision physique ou celle d'empiéter sur le territoire du voisin. La difficulté à atteindre de lointains objets a également été évoquée [55]. La nature même du corps humain signifie qu'il y a des contraintes en termes de positions naturelles ; l'environnement dans lequel se trouve l'interface va ainsi influencer sur les gestes et limiter certains mouvements qui seront alors des obstacles [13].

Leur utilisation peut être difficile par certaines catégories de personnes présentant un handicap moteur particulier par exemple. La taille du doigt pour les surfaces tactiles limite également la résolution d'entrée (*input resolution*) ; pendant une utilisation collaborative les personnes placées d'un côté de la table peuvent rencontrer des difficultés pour lire un texte écrit par celles se trouvant à l'opposé. Ou encore, le problème de la hiérarchie de contrôle d'une interface par plusieurs personnes en simultanée [56] puisque lors de l'utilisation d'une seule et même interface par plusieurs personnes, au moins une des personnes peut être considérée comme "maître" de l'interface et la contrôler, tandis que les autres utilisateurs deviennent "esclaves" sans forcément pouvoir la contrôler.

C'est donc en raison de ces problèmes largement liés au contexte d'usage des tables interactives que nous proposons de prendre en considération cette notion. Nous proposons dans la section suivante de définir pourquoi il est pertinent de prendre en considération le contexte pour les tables interactives. Nous poursuivrons ensuite avec des définitions du contexte ainsi qu'avec un état de l'art du domaine.

2.4 Intérêt du contexte pour les tables interactives

2.4.1 Définition du contexte

La notion de *contexte* est maintenant largement utilisée dans le domaine informatique. La prise en compte de cette notion de contexte lors de la conception (matérielle ou logicielle) d'un système d'interaction est maintenant évidente surtout du point de vue de l'Interaction Homme-Machine. La prise en compte du contexte peut en effet être proposée dès le début de la conception du futur système, afin d'établir les règles et les moyens d'adaptation du système aux contextes donnés [43].

Toutefois, d'un point de vue général, la notion de contexte peut être utilisée et intervenir dans de nombreux domaines différents. Il semble donc important, avant même une présentation du contexte en Interaction Homme-Machine et de son état de l'art associé, d'en retenir une définition. Au vu de la littérature, il est clair qu'il n'existe pas une seule et unique définition du contexte. Voyons donc dans un premier temps les définitions que peuvent proposer les dictionnaires de cette notion.

Le dictionnaire Larousse [102] définit le terme **contexte** comme suit :

nom masculin (latin *contextus*, assemblage)

- ensemble des conditions naturelles, sociales, culturelles dans lesquelles se situe un énoncé, un discours.
- ensemble des circonstances dans lesquelles se produit un événement, se situe une action.
- ensemble du texte à l'intérieur duquel se situe un élément d'un énoncé et dont il tire sa signification.
- ensemble d'informations caractérisant l'état de l'unité centrale d'un ordinateur à tout moment de l'exécution d'un programme.
- ensemble des éléments (phonème, morphème, phrase, *etc.*) qui précèdent et/ou suivent une unité linguistique à l'intérieur d'un énoncé.

Le dictionnaire Le Petit Robert [104] défini **contexte** comme suit :

nom masculin (latin *contextus*, assemblage, de *contexere* "tisser avec")

- Ensemble du texte qui entoure un mot, une phrase, un passage.
- Ensemble des circonstances dans lesquelles s'insère un fait. (Contexte situationnel, politique, familial, médical)

Nous proposons une représentation taxonomique de ces définitions avec la figure 2.5.

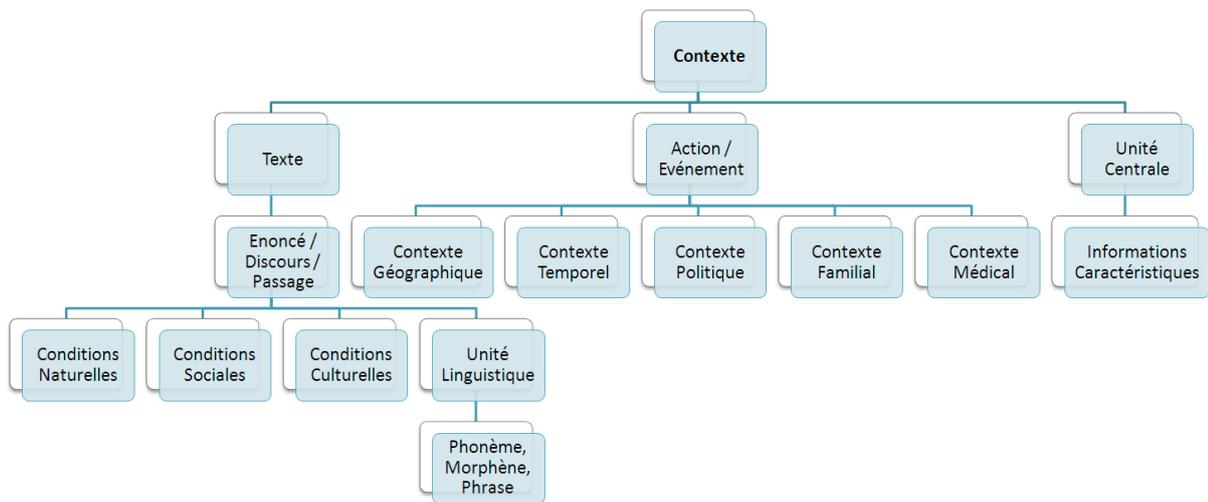


FIGURE 2.5 – Tentative de modélisation taxonomique des définitions du contexte issues des dictionnaires Larousse [102] et Petit Robert [104]

Ces définitions bien qu'adaptées à l'environnement dans lequel le mot est utilisé restent cependant relativement abstraites face aux nombreuses utilisations de ce terme dans les diverses disciplines scientifiques ou littéraires - ce qui rend donc la formalisation du contexte relativement difficile, ou spécifique à un domaine particulier. En effet, de nombreux domaines ont également proposé leur propre définition du contexte. En informatique notamment, le **contexte** est une notion utilisée depuis longtemps en conception ou

adaptation d'applications interactives. Si les dictionnaires le définissent comme étant un "ensemble d'informations dans lequel se situe" quelque chose, ou encore "ensemble qui entoure", les recherches en Interaction Homme-Machine ont précisé ces définitions apportant divers éléments permettant de le qualifier de manière plus approfondie. Dans la section suivante, nous proposons de présenter un état de l'art de la notion de **contexte**. Nous présentons l'état de l'art selon un axe chronologique depuis l'apparition de la notion en Interaction Homme-Machine à aujourd'hui.

2.4.2 Motivations

Comme présenté dans le chapitre 1, § 1.5.1, les études menées sur tables interactives ne cesse d'augmenter chaque année. Ces nouvelles plateformes interactives dépasseront sans doute les ordinateurs sur le plan des interactions et utilisations possibles (ex. collaborations, coopérations) [170, 192]. L'utilisation que nous faisons maintenant de ces supports, renverse les utilisations que nous avons pu faire jusqu'à maintenant des ordinateurs et propose donc de nouveaux types d'interactions [126]. Les périphériques ayant disparu (clavier, souris), ces plateformes se manipulent maintenant majoritairement de manière tactile. Il faut alors repenser les interfaces voire les adapter afin de rendre les interactions aussi simples et intuitives lors de l'utilisation d'un ordinateur. Certaines tables interactives récentes permettent également de manipuler un ensemble d'objets (voir §1.4.3), permettant encore une fois de nouvelles manières de travailler et d'interagir [98]. Ces nouvelles plateformes soulèvent donc de nouvelles problématiques sur le plan de l'Interaction Homme-Machine et démontrent l'intérêt de prendre en considération le contexte pour les tables interactives.

Nous proposons d'établir toutefois, avant notre proposition de prise en considération du contexte pour les tables interactives dans le chapitre suivant, un état de l'art du contexte en Interaction Homme-Machine dans la section suivante.

2.5 Le contexte en Interaction Homme-Machine

2.5.1 Etat de l'art

Le *contexte* est une notion utilisée en Interaction Homme-Machine depuis une vingtaine d'années.

Schilit *et al.* [155] introduisent en 1994 la notion de *context-awareness*, traduit généralement par *sensibilité au contexte*, et l'associent à un système mobile dans lequel la localisation "Où es-tu?", l'identité des personnes "Avec qui es-tu?" ainsi que la proximité des ressources "Quelles ressources sont proches?" permettent d'étudier le contexte. Ils décrivent comment les applications peuvent réagir au changement de l'environnement physique ou de l'utilisateur. Certaines applications doivent permettre une participation de l'utilisateur afin qu'il y ait des interactions entre les utilisateurs et les appareils (mobiles), mais surtout que ces applications réagissent en fonction du contexte. Ces recherches sont issues des expériences effectuées avec ParcTab, un système de badge personnel permettant

de déterminer la situation d'un utilisateur par rapport à certains objets d'un bureau, par exemple, afin de déterminer l'imprimante la plus proche de l'endroit où se trouve l'utilisateur (Fig. 2.6).

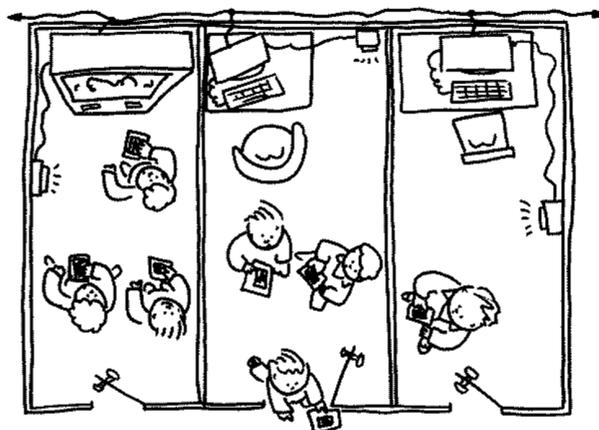


FIGURE 2.6 – Exemple d'un système adaptatif au contexte (ParcTab [155]). Chaque utilisateur peut, grâce à un appareil mobile, déterminer où est le périphérique le plus proche dont il a besoin.

Quatre types d'adaptations sont alors proposées :

1. *Sélection Immédiate* : technique permettant de mettre en avant certains choix pour l'utilisateur (gras, souligné, texte plus gros ou plus petit).
2. *Reconfiguration automatique de la plateforme (affichage, sources, etc.) du contexte* : la reconfiguration étant le principe de pouvoir rajouter ou enlever des composants dans l'environnement (un module de programme, un écran, etc.).
3. *Informations et commandes contextuelles* : les actions des utilisateurs peuvent souvent être prédites en fonction de la situation. Il y a des actions prévisibles que les utilisateurs réalisent dans des lieux particuliers tels qu'une bibliothèque, une cuisine ou un bureau.
4. *Déclenchements d'actions* : ce sont de simples réactions à des événements (i.e. Si/A-lors) utilisées pour spécifier comment le contexte peut s'adapter.

Plus tard, Brown [23, 24] restreint le contexte aux objets de l'environnement, à la localisation de l'utilisateur et y ajoute la notion de temps, de température et de saison. Une application s'adaptant au contexte est proposée : *Stick-e Note*. Selon la métaphore de l'utilisation d'un post-it papier, l'utilisateur peut utiliser un équivalent électronique. Il peut ainsi placer un message sur son PDA à la position courante (localisation spatiale), message qui sera déclenché à nouveau lors d'un retour à cette position.

Ces travaux de recherches feront l'objet d'un intérêt particulier pour Ryan *et al.* [152] qui se baseront sur les travaux de Brown afin d'utiliser la capacité des ordinateurs de

sentir et d'agir en fonction des informations sur l'environnement, la position, le temps qu'il fait ou qui passe, la température ou l'identité de l'utilisateur. Les auteurs présentent une application basée sur le *Stick-e Note* permettant de mettre un commentaire ou une note associé à un lieu. *Field notes*, application développée en HTML, est utilisée sur un PDA et permet de prendre des notes sur les comportements et la traçabilité des animaux dans une réserve d'Afrique.

Ward *et al.* [182] interprètent le contexte en se basant sur la localisation de l'utilisateur et l'état de l'environnement. Ils présentent une nouvelle technologie permettant d'adapter une application en fonction de son contexte et plus exactement en fonction de la position de l'objet ou de l'utilisateur. Ward *et al.* présentent donc une nouvelle technique de localisation qui respecte les contraintes du faible prix, de la précision et de la robustesse via un transmetteur de fréquence radio afin de remplacer les badges.

Un an plus tard, en 1998, Pascoe [132] définit à son tour la notion de *context-awareness* et plus particulièrement définit le contexte selon quatre capacités contextuelles génériques : la perception, l'adaptation, la découverte de ressource et l'augmentation contextuelle (pouvant être considérée comme l'utilisation de la réalité augmentée [57]) ayant un intérêt pour une entité.

Dey *et al.* ajoutent une précision sur les entités proposées précédemment. Ils définissent alors le contexte comme un ensemble d'informations permettant de caractériser la situation d'une entité. Une entité pouvant être une personne, un lieu ou un objet qui peut intervenir sur l'interaction entre l'utilisateur lui-même et l'application [45].

Cette même année, Brézillon et Pomerol [28] proposent une définition du contexte comme étant "toute connaissance qui contraint la résolution d'un problème à une de ses étapes sans y intervenir explicitement".

Au même moment Thevenin *et al.* [171] définissent la notion de contexte d'interaction (notons le changement de terme), qui s'apparente à la définition donnée par Dey. L'environnement devient un triplet <Objet, Personne, Événement> d'entités associés à la tâche courante. Ils présentent la notion de *plasticité* et d'adaptation des interfaces utilisateur. L'adaptation est modélisée comme deux propriétés système complémentaires : l'adaptabilité et l'adaptivité [25, 163]. L'adaptabilité étant la capacité du système de permettre aux utilisateurs de personnaliser leur système à partir de paramètres prédéfinis. L'adaptivité quant à elle, est définie comme étant la capacité du système à effectuer l'adaptation automatiquement sans action de l'utilisateur. Selon Dieterich *et al.* [47], le contrôle de l'adaptation peut s'exercer à quatre niveaux :

1. Initiation : décision d'un acteur de suggérer une adaptation,
2. Proposition : représente les suggestions ou les recommandations.
3. Sélection : correspond au processus de choix parmi les propositions de réaction,

4. Exécution : consiste en la mise en oeuvre de la réaction choisie.

Pour Dieterich *et al.* [47], un processus d'adaptation peut relever de configurations qui combinent les caractéristiques de l'adaptabilité (i.e. contrôle émanant de l'utilisateur) et de l'adaptativité (i.e. contrôle émanant du système). La figure 2.7 montre qui, de l'utilisateur ou du système (axe horizontal), peut contrôler les actions qui constituent les étapes du processus d'adaptation.

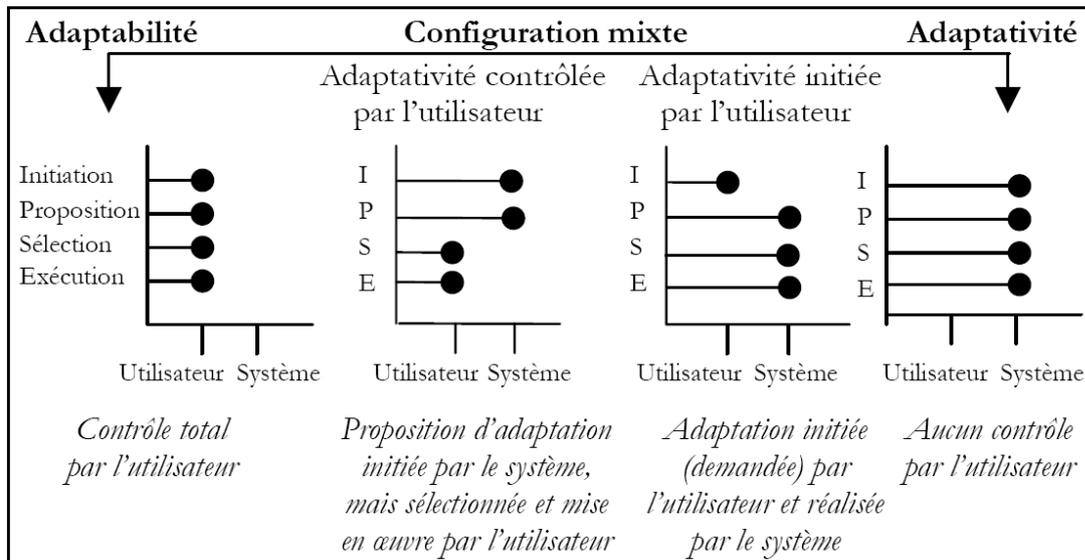


FIGURE 2.7 – Différents types de processus d'adaptation : de l'adaptabilité à l'adaptativité [47]

En 2000, Dey [40] complète sa définition du contexte. Dey propose que, par exemple, le temps, le lieu, l'identité ou encore l'activité puissent être définis comme étant des contextes primaires caractérisant la situation d'une entité particulière. Ces éléments de contexte primaire peuvent alors être utilisés afin de déterminer des éléments secondaires de contexte pour cette même entité (ex. adresse mail) ou pour d'autres entités associées (ex. personne habitant un même lieu).

Un an plus tard, Dey [41] considère plus particulièrement la conception et le développement des applications ou systèmes sensibles au contexte. Toutefois, l'énumération de tous les éléments d'information pertinents pour toutes les situations est difficile, car ces éléments changent inévitablement d'une situation à l'autre. Dey *et al.* [43] spécifient ensuite trois étapes pour l'adaptation au contexte : dans un premier temps, la capture du contexte ; ensuite l'interprétation du contexte afin de passer à une représentation de haut niveau exploitable pour l'application ; enfin, il est nécessaire de fournir les informations interprétées à l'application. Ces auteurs proposent une première architecture appelée *Context Toolkit* dont la cible principale est de fournir une solution réutilisable qui faciliterait l'exécution et le déploiement d'applications interactives sensibles au contexte. Le

Context Toolkit incorpore divers services liés à la capture et à l'interprétation du contexte. Ces services sont également disponibles pour la base de trois principales abstractions appelées widget, interprète (*interpreter*) et agrégateur (*aggregator*).

Comme illustré dans la figure 2.8, les widgets sont responsables de l'interaction avec les capteurs (*sensors*) qui, comme leur nom l'indique permettent de capturer le contexte. Ils agissent comme des médiateurs. Leur objectif étant de communiquer à un ou plusieurs agrégateurs ou interprètes les données issues des capteurs. Les widgets ont un état et un comportement ; ils fournissent une interface uniforme aux autres composants par lesquels des requêtes synchrones et asynchrones peuvent être faites. Les widgets possèdent également des services, qui sont utilisés pour modifier l'état de l'environnement en utilisant des actionneurs (*actuators*). Les agrégateurs peuvent être considérés comme des méta-widgets qui agissent comme des passerelles entre les applications et les widgets. Ils agrègent les informations contextuelles se rapportant aux entités du monde réel en informations de niveau d'abstraction supérieur. Le mécanisme d'agrégation reste toutefois à la charge du programmeur. Finalement, le *Context Toolkit* contient un découvreur (*discoverer*) qui est responsable de la découverte dynamique des composants disponibles. Ces composants sont capables de fonctionner indépendamment, de manière distribuée et peuvent être utilisés par plusieurs applications. Le *Context Toolkit* peut être interrogé par les applications cherchant des composants et/ou des services spécifiques.

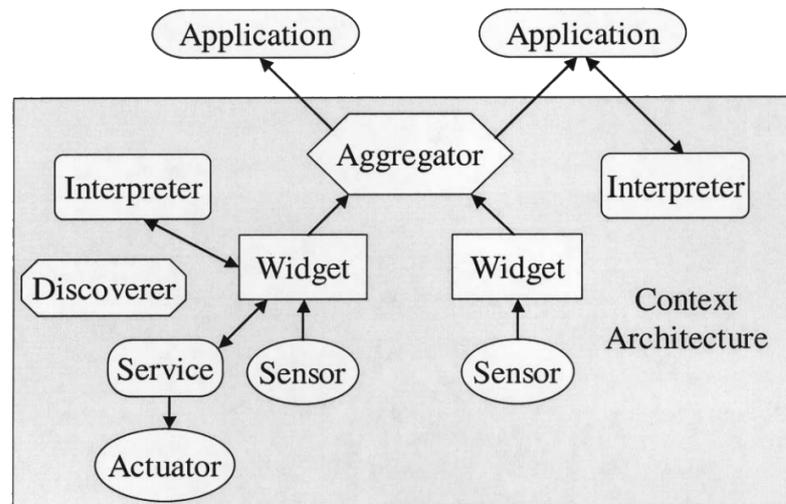


FIGURE 2.8 – Exemple de configuration du *Context Toolkit* proposé par Dey *et al.* [43]

Winograd [190] approuve la proposition de Dey et affirme qu'elle couvre tous les travaux existant sur le contexte. Toutefois, Winograd considère que l'utilisation d'expressions comme "toute information" et "caractériser une entité" reste très générale (tout peut être contexte). Winograd proposera alors une définition visant à apporter plus de précision : le contexte est un ensemble structuré et partagé d'informations ; il évolue et sert l'interprétation. Il précisera également que : "La considération d'une information comme contexte est due à la manière dont elle est utilisée et non à ses propriétés inhérentes".

Dourish [49] propose une analyse sociale s'intéressant au "contexte dans lequel les in-

teractions entre individus et un système ont lieu". Ce contexte, autant organisationnel que physique joue un rôle critique en fournissant les moyens d'interpréter et de comprendre l'action. Toutefois, le contexte dans lequel se déroule une action ne se limite pas seulement au lieu, à l'identité et au temps, mais inclut tout élément capable d'aider à l'identification et la compréhension de l'action.

Selon Brezillon [26] en 2002, une représentation (que ce soit en termes de modélisation ou de raisonnement) du contexte, reste un problème encore non résolu, aussi bien d'un point de vue programmation que de son utilisation.

En 2004, Dourish [50] considère le contexte comme un problème d'interaction : 1) le contexte est une propriété relationnelle qui s'établit entre des objets ou des activités ; 2) le contexte n'est pas défini à l'avance. Au contraire, le domaine des caractéristiques du contexte est défini dynamiquement ; 3) le contexte se définit à partir de l'activité. Le contexte ne peut pas être entièrement séparé de l'activité.

En 2004 également, le contexte devient *contexte d'usage*. Calvary *et al.* [31] présentent l'adaptation des Interfaces Homme-Machine à leur contexte d'usage. Par contexte d'usage on entend un triplet <utilisateur, plateforme, environnement>. L'utilisateur est alors représentatif du public visé, la plateforme correspond à la structure matérielle et logicielle sous-tendant de l'interaction, et l'environnement se réfère à l'environnement physique accueillant l'interaction.

Rey propose ensuite *le contexteur* [146, 147], un modèle de composants permettant la capture, la transformation et la diffusion d'informations contextuelles. La notion de contexte proposée est basée sur les concepts d'*Entités*, de *Relations* entre entités, et de *Rôles*. Toute entité est alors un regroupement d'observables. Un observable est une donnée captée par le système ou calculée à partir de données captées. Rey relève les notions d'utilisateur, d'activité, de tâche, d'entité, de rôle, de relations. Un utilisateur est alors une entité du monde vivant. Les entités peuvent entretenir des relations : relations spatiales, temporelles, ou autres. Les relations, les rôles et les entités constituent les ensembles de définition d'un réseau de contextes. Ces notions sont représentées dans l'exemple de la figure 2.9.

Plus récemment, Dey *et al.* [44, 46] et Mohr *et al.* [124] ne modifient pas la définition du contexte et se basent sur ces mêmes notions (localisation, état des personnes à proximité, temps, *etc.*). Pascoe *et al.* [133] ajouteront toutefois la notion de contexte social. Ils précisent les signes biométriques, l'historique, les émotions, le statut des personnes ainsi que l'humeur.

En 2007, Ganneau *et al.* [62] se basent sur la définition du contexte et du réseau de contexte de Rey [147] afin de proposer des règles d'adaptation visant la plasticité des IHM.

L'ensemble des définitions de l'état de l'art font référence à la localisation et à l'environnement physique, à l'utilisateur et généralement à une plateforme spécifique afin de définir un contexte. Toutefois, les auteurs ont apporté peu à peu des modifications qui

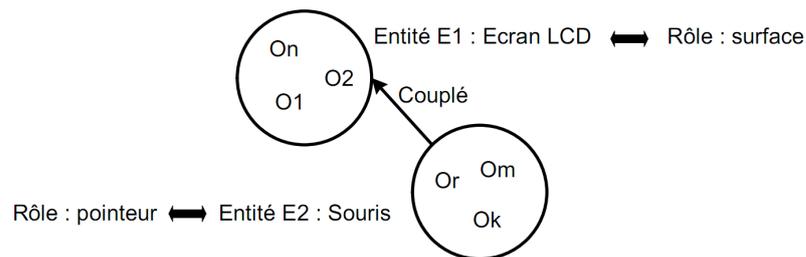


FIGURE 2.9 – Représentations des entités, des rôles joués par ces entités ainsi que des relations entre les entités proposés par Rey [146]. Ici, l'entité *EcranLCD*, représentée par le groupement d'observables ($O1, O2, On$), joue le rôle de *surface* et l'entité *souris*, représentée par le groupement d'observables (Or, Om, Ok), joue le rôle de *pointeur*. Les deux entités entretiennent une relation : la souris est *couplée* à l'écran.

ont permis de préciser, et d'adapter avec plus de précision les applications au contexte avec des spécifications telles que les entités, le temps ou l'état. Remarquons cependant que les recherches actuelles (au delà de 2007) sur le contexte et l'adaptation au contexte n'ont pas modifié les définitions proposées précédemment. Hong *et al.* [193] proposeront d'ailleurs en 2009 une liste et une classification très complète des travaux publiés dans le domaine de l'adaptation au contexte (context-awareness) de 2000 à 2007.

2.5.2 Synthèse de l'état de l'art sur le contexte en IHM

Nous proposons de regrouper les principales notions et propositions liées à l'état de l'art de la notion de contexte dans le tableau 2.2. Ce tableau reprend les principales notions proposées par l'état de l'art et développées dans la section 2.5.1. Le tableau est composé de 8 critères ; remarquons que nous proposons une synthèse en nous basant sur la proposition de Calvary *et al.* [31], qui définit le contexte selon la Plateforme (1), L'environnement (2) et l'Utilisateur (3) :

- Ref : reprend la référence bibliographique associée
- Auteur : liste l'auteur ou les auteurs
- Date : représente la date des travaux (publications)
- Appellation : donne le nom utilisé par les auteurs pour définir le contexte
- Plateforme : précise sur quelle plateforme les auteurs travaillent
- Environnement : définit l'environnement selon le point de vue des auteurs
- Utilisateur : indique le type ou le nom donné aux utilisateurs
- Autres : précise les éventuels critères ajoutés à la notion de contexte

Précisons que si les auteurs ne définissent pas de notions particulières mais utilisent, par exemple, la notion d'Utilisateur nous utilisons un \checkmark dans la colonne concernée. Si la notion n'est tout simplement pas utilisée, nous utilisons un -.

TABLE 2.2 – Tableau récapitulatif et comparatif de la notion de contexte en IHM

Ref	Auteur	Date	Appelation	Plateforme	Environnement	Utilisateur	Apport
[155]	Schilit <i>et al.</i>	1994	Context-Aware Computing	Informatique mobile	Localisation : Où es-tu ? Avec qui es-tu ?	Personnes mobiles	Lumière, Bruit ambiant, Réseau, Communication, Situation sociale
[23]	Brown	1996	Context-aware applications	PDA, Etat de l'ordinateur	Objets de l'environnement, Localisation	✓	Heure, température
[24]	Brown <i>et al.</i>	1997	Context-aware applications et User's Context	PDA	Qui es-tu ? Avec qui es-tu ?	Identité, Localisation	Heure, Saison, Température
[152]	Ryan <i>et al.</i>	1997	Context-aware archeological assistant	PDA	Localisation	Identité	Temps
[182]	Ward <i>et al.</i>	1997	Context-awareness	Ordinateur	Etat des environnements, Localisation des objets	Localisation de l'utilisateur	-
[132]	Pascoe	1998	Context-awareness	Appareil mobile	Localisation, temps	✓	Quatre capacités contextuelles génériques : détection, adaptation, découverte de ressource et augmentation du contexte
[45]	Dey <i>et al.</i>	1999	Context-aware application	Application	Lieu	Humains	-
[171]	Thevenin et Coutaz	1999	Contexte d'interaction	Tâche courante, Système	Objet, Personne, Événement	Utilisateur	Tâche
[26]	Brézillon	2002	Contexte	Système	Localisation, Heure	✓	-
[31]	Calvary <i>et al.</i>	2004	Contexte d'usage	Structure matérielle et logicielle sous tendant l'interaction	Environnement physique accueillant l'interaction	Utilisateur représentatif du public visé	-
[146]	Rey	2005	Contexte ou réseau de contextes	Système	Situation	Entité du monde vivant	Notion de tâches, Rôle, Relation, Espace, Entité, Temps
[44]	Dey and Mankoff	2005	Context-Aware Applications	Ordinateur portable, Appareil mobile	✓	Utilisateurs mobiles	Espace, Situation, Objet approprié à la tâche, Activité, Identité, Emplacement, Temps

TABLE 2.2 (SUITE)

Ref	Auteur	Date	Appellation	Plateforme	Environnement	Utilisateur	Apport
[124]	Mohr <i>et al.</i>	2006	Context-sensitive systems	PDA, Appareil mobile	✓	✓	Localisation, Température ambiante, Activité courante de l'utilisateur, Ressources
[42]	Dey	2006	Context-aware applications	Application	✓	✓	-
[46]	Dey <i>et al.</i>	2006	Context-aware application	Ordinateur	L'Environnement satisfait les différentes préférences de ses occupants	✓	Localisation, Identité, Activité, Etat des personnes voisines, Temps, Règles, Objets définis par l'utilisateur
[22]	Brdiczka	2007	Context-aware services	Ordinateur	Environnement intelligent	✓	-
[133]	Pascoe <i>et al.</i>	2007	Context-awareness	Appareil mobile (Téléphone, PDA, <i>etc.</i>)	Localisation	✓	Activité, Temps, Contexte social, Disponibilité, Signes biométriques, Contexte historique, Contexte émotionnel, Présence d'autres personnes, Statut personnel, Humeur
[27]	Brézillon	2007	Contexte	-	✓	✓	-
[62]	Ganneau <i>et al.</i>	2007	Plasticité, contexte d'usage	PC, PDA, téléphone, Smartphone	✓	utilisateur mobile	Contexte= ensemble d'entités, rôles des entités, relations entre entités

2.6 Conclusion

Notre recensement et classification des tables interactives proposés dans le chapitre 1 a permis de montrer que les tables interactives peuvent actuellement être classées selon trois types d'interactions possibles : tactiles, tangibles et mixtes (*cf.* §2.3).

Alors que les tables interactives ont largement évolué depuis 1991, les applications proposées sur celles-ci dépendent de leur évolution technologique et proposent maintenant d'interagir aussi bien avec des objets virtuels que tangibles. Ces nouvelles interactions (tactiles et/ou tangibles) sur table interactive, nous amène à exposer nos motivations, au même titre que la considération du contexte pour les ordinateurs ou les appareils mobiles, de prendre en compte le contexte pour les tables interactives.

Nous avons donc dans un premier temps explicité ce qu'est le contexte à l'aide de définitions puis exposé nos motivations concernant la prise en considération du contexte pour les tables interactives. Ceci nous a alors amené à proposer un état de l'art depuis l'apparition de la notion de contexte en 1994 jusqu'aujourd'hui. Nous avons ensuite regroupé les principales informations dans un tableau récapitulatif synthétisant l'état de l'art proposé.

Cependant, les définitions du contexte telles que proposées dans l'état de l'art ne sont pas directement adaptées aux nouvelles plateformes que sont les tables interactives. Même si les recherches sur la notion de contexte en IHM ont largement été menées sur les ordinateurs ou dispositifs mobiles, nous avons montré que les tables interactives étaient relativement différentes des ordinateurs. L'utilisation en effet des périphériques classiques (clavier, souris, écran) selon le paradigme WIMP, est totalement modifiée avec l'utilisation des tables interactives qui tend vers un paradigme Post-WIMP. Ces nouvelles plateformes permettant les interactions tactiles, les interactions avec objets virtuels ou tangibles voire également un travail collectif ou collaboratif nous amènent à approfondir les définitions proposées et à les adapter pour l'utilisation des tables interactives.

C'est pourquoi, nous proposons dans le chapitre suivant de mener nos recherches vers une modélisation du contexte pour les tables interactives. Nous proposons donc de définir le contexte afin de permettre aux tables interactives de s'adapter au contexte d'usage.

Chapitre 3

Vers une prise en considération du contexte d'usage pour les tables interactives

3.1 Introduction

Nous avons vu grâce aux chapitres précédents que depuis le début des années 2000 les tables interactives font l'objet d'un intérêt croissant (chapitre 1, §1.4), et que ces nouvelles plateformes qui permettent de travailler différemment laissent envisager de nouvelles applications incluant objets virtuels ou tangibles regroupant ainsi les avantages de ces deux technologies (chapitre 2, §2.3). Toutefois, ces nouvelles applications qui supposent par conséquent de nouvelles Interactions Homme-Machine, lancent de nouveaux défis non seulement pour la conception ou pour l'évaluation, mais également pour l'adaptation au contexte d'usage.

Lorsqu'une **plateforme** (ou un système informatique) est développée, elle est amenée à être utilisée par un **utilisateur** (présentant des caractéristiques déterminées) dans un certain contexte et avec des objectifs spécifiques [112]. Elle peut également être utilisée dans différents **environnements** (techniques, physiques, *etc.*), qui peuvent influencer son utilisation. Ces trois éléments principaux que sont la plateforme, l'utilisateur et l'environnement forment le **contexte d'usage** tel qu'il a été proposé par Calvary *et al.* [31] en 2004. Ce contexte d'usage est à prendre en considération durant l'intégralité du processus de conception mais également pendant l'évaluation ; car pour construire une interface facile à utiliser et pour évaluer l'utilité et l'utilisabilité du système, une description précise du contexte d'usage est nécessaire.

Le contexte d'usage peut être examiné selon différents axes. Par exemple, l'interface peut être utilisée dans un contexte spécifique, ce qui est souvent le cas des tables à interface tangible ou à interface mixte (voir par exemple les travaux de Rivière *et al.* [148]), contexte qui peut être lié au milieu professionnel, éducatif ou loisirs (*e.g.* conception musicale [91]). Ou encore, les tables interactives en raison de leur grande surface d'interaction

peuvent proposer plusieurs situations d'utilisation collectives (collaboratives ou non) [96].

Nous pouvons suggérer que certaines caractéristiques des tables interactives définissent déjà le fait de prendre en considération le contexte d'usage. Par exemple le contexte social semble avoir une certaine influence pour l'utilisation des tables interactives compte tenu qu'elles peuvent être utilisées par un collectif, ce qui oblige à prendre en compte les éléments issues du lien social, de la collaboration, de la coopération, des conflits, *etc.* [77]. Du point de vue du contexte physique, la taille d'une interface (la forme de la table ici) est une des caractéristiques les plus importantes qui limite l'utilisation de ces tables car il faut pouvoir disposer d'un environnement suffisamment grand pour les installer et pour permettre une utilisation confortable pour l'ensemble des personnes qui vont l'utiliser.

Nous proposons, en nous basant sur l'état de l'art présenté dans le chapitre 2, § 2.5.1, de prendre en considération et d'adapter le contexte d'usage aux nouvelles plateformes, et plus particulièrement aux tables interactives. Nous proposons de réutiliser la définition du contexte d'usage proposée, et d'établir dans un premier temps une classification d'un ensemble représentatif de critères utilisés dans l'état de l'art afin de les modéliser. Cette classification est ensuite complétée par de nouveaux critères d'adaptation qui sont engendrés par les interactions avec une table interactive. Nous présentons ensuite en détails ces nouveaux critères. Ayant modélisé le contexte d'usage issu de l'utilisation des tables interactives, nous proposons de faire varier certains critères de nos modèles afin de définir et de modéliser un ensemble de situations d'utilisation impliquant des tables interactives. Ces situations nous inviteront alors à proposer un système d'adaptation des tables interactives au contexte d'usage. Nous définirons alors notre système permettant dans un premier temps de capturer la situation d'utilisation puis d'adapter l'interface. Nous proposerons finalement de le mettre en oeuvre dans le chapitre suivant.

3.2 Proposition d'un modèle du contexte d'usage adapté aux tables interactives

La notion de contexte a fait l'objet de nombreuses définitions et évolutions de celles-ci depuis l'apparition de la notion en 1994 [155]. Toutefois, nous avons choisi de nous baser sur la proposition de Calvary *et al.* [31] qui définissent le contexte comme étant un triplet $\langle \text{Utilisateur, Plateforme, Environnement} \rangle$. Cette définition est en effet particulièrement adaptée afin de représenter les critères que nous pouvons qualifier de "génériques" et représentatifs d'un contexte, ainsi que les nouveaux critères que nous pourrions apporter afin de modéliser le contexte adapté aux tables interactives.

3.2.1 Modélisation du contexte d'usage : caractéristiques génériques

Nous proposons de modéliser le contexte d'usage par un ensemble de diagrammes de classes. Nous débutons notre modélisation par la représentation d'un contexte d'usage (Utilisateur, Plateforme, Environnement) avec la figure 3.1. Nous augmenterons pas à pas ce premier modèle en positionnant les éléments les plus souvent mentionnés dans les références citées précédemment toutefois sans souci d'exhaustivité mais surtout de représentativité.

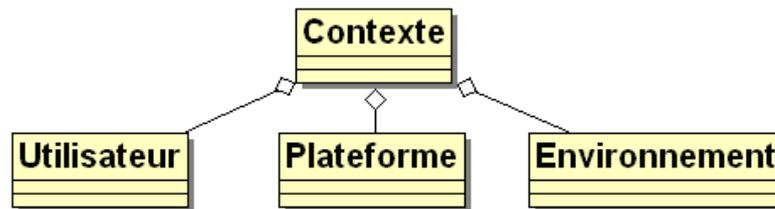


FIGURE 3.1 – Base de notre modélisation du contexte d'usage issue de la définition du contexte par Calvary *et al.* [31]

La classe principale dont les autres classes ont une relation d'agrégation est donc le **contexte** en lui-même. Celui-ci est constitué des trois classes représentant l'**Utilisateur**, la **Plateforme** et enfin l'**Environnement**. Cette première représentation sera la base de notre modélisation. Nous proposons d'augmenter cette représentation en nous basant sur l'état de l'art proposé dans le chapitre 2, §2.5.1. Pour chaque classe constitutive du contexte, nous proposerons les critères utilisés ou définis dans l'état de l'art. Nous précisons lors de la présentation des classes les attributs possibles de celles-ci voire les valeurs de ces attributs afin de clarifier ces derniers. Nous ferons donc apparaître les attributs sur les différents modèles que nous proposerons. Cependant, notre choix se portera sur le fait de ne pas rajouter d'autres attributs possibles (non issus de l'état de l'art) laissant ainsi les modèles assez génériques et adaptables aux besoins et aux propriétés de chacun.

Ainsi, l'**Utilisateur** (Fig. 3.2) au-delà de sa caractérisation par ses attributs éventuels comme son identité (nom, prénom) ou son âge, sexe *etc.*, possède des **compétences** d'un certain niveau (*e.g.* expert, novice). Parmi les compétences, nous distinguons les compétences **métiers** et les compétences en **interaction** (lien d'héritage). Par compétences en interaction (par opposition à compétence en informatique, plus générale), nous sous-entendons que l'utilisateur n'est en général pas un programmeur (au sens informaticien) mais bien plus souvent un non expert en informatique qui peut cependant être initié aux différentes interactions. Nous distinguons donc les interactions de type WIMP, impliquant majoritairement l'utilisation du clavier et de la souris. Notons l'association entre un unique utilisateur pouvant utiliser une plateforme (à un instant t du contexte, cet unique utilisateur pouvant à un instant $t + 1$ utiliser une autre plateforme). L'état de l'art soulève également que l'utilisateur possède des **émotions** résultant ou non de l'utilisation d'une plateforme ou d'un travail dans un certain environnement, selon par exemple les travaux de Clay *et al.* [33]. Notons que l'humeur ainsi que le contexte émotionnel sont

largement mentionnés dans la littérature. Enfin, l'utilisateur peut effectuer une ou des **activité**(s) ayant chacune un objectif. Les activités pouvant se composer d'un ensemble de *tâches* [134]. Notons que nous ne traiterons pas la notion des émotions ou des tâches dans ce mémoire.

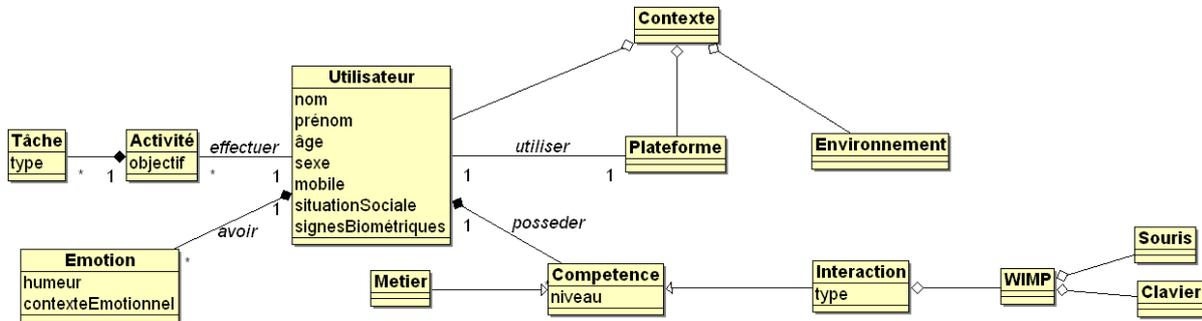


FIGURE 3.2 – Modélisation du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'Utilisateur

Les caractéristiques de la **Plateforme** (Fig. 3.3) peuvent être prises en compte et sont importantes pour l'adaptation au contexte. Tout comme pour l'utilisateur, la plateforme peut être définie par un attribut identificateur ou permettant de caractériser la plateforme. Nous faisons donc apparaître le type de plateforme (*i.e* PDA, Ordinateur, Téléphone). Soulevons le fait que la plateforme est mono-utilisateur, c'est-à-dire qu'un unique utilisateur peut utiliser la plateforme. La plateforme propose généralement une surface d'**affichage** qui peut être disposée, par exemple face à l'utilisateur dans le cas d'un **écran**. La plateforme propose également d'une manière générale un **retour sonore** pouvant être utile pour l'adaptation au contexte et venant compléter le retour visuel d'un écran par exemple. La plateforme supporte enfin un ensemble de **logiciels**, prenons par exemple Linux pour un PC ou MacOS pour un produit Apple.

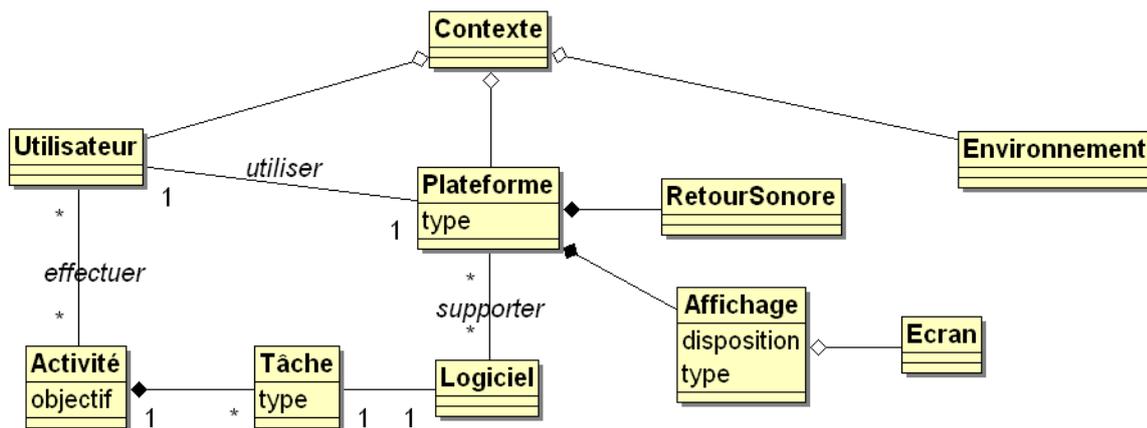


FIGURE 3.3 – Modélisation du contexte d'usage intégrant les spécifications de la Plateforme

Notons cependant que le logiciel est généralement lié à la tâche issue de l'activité de l'utilisateur. Remarquons enfin que la modélisation proposée est suffisamment générale

pour pouvoir être instanciée selon les besoins. Elle peut aussi être complétée aisément en fonction des évolutions aussi bien technologiques que liées aux usages. (cf. §3.2.2 où nous augmentons les spécificités de la plateforme pour tables interactives.)

Finalement, l'**Environnement** (Fig. 3.4) intègre la **localisation** (e.g. lieu ou adresse où se situe le contexte), ainsi que le type de localisation (e.g. laboratoire, école, domicile, etc.), le type d'**environnement social** (e.g. professionnel ou familial), les **ressources** disponibles à proximité (e.g. imprimante). Enfin, des informations sur l'environnement sont également représentées (**caractéristiques locales**) et la possibilité d'utiliser des **technologies de communication** comme par exemple l'utilisation d'un *réseau sans fil*.

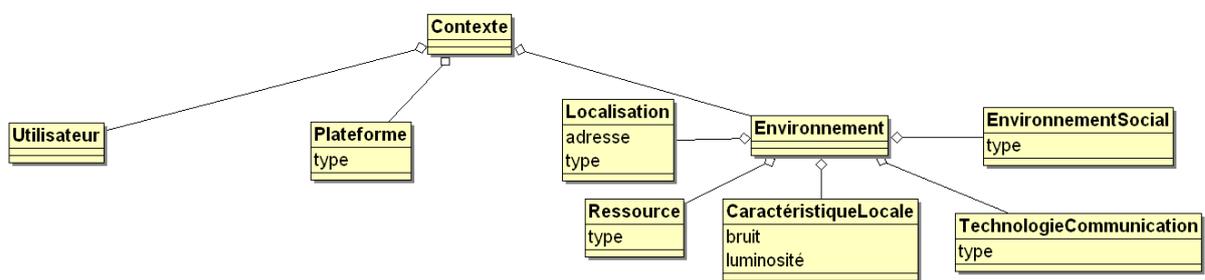


FIGURE 3.4 – Modélisation du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'**Environnement**

Ces critères relativement génériques permettent de caractériser un contexte d'usage d'une **Plateforme** dans un certain **Environnement** par un **Utilisateur** selon l'état de l'art. La Figure 3.5 reprend chaque modélisation précédente et propose ainsi une représentation globale du contexte d'usage.

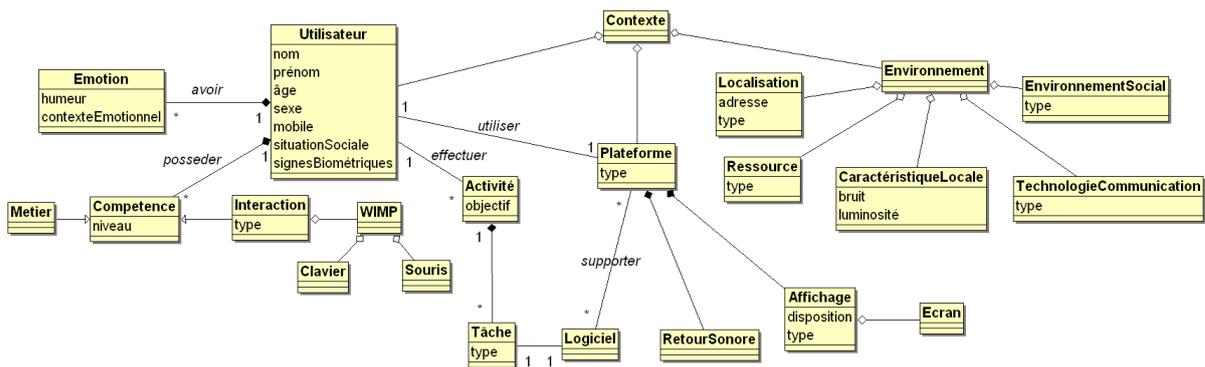


FIGURE 3.5 – Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'**Utilisateur**, de la **Plateforme** et de l'**Environnement** issu de l'état de l'art

La section suivante vise à enrichir cette modélisation avec les nouveaux cas de contexte engendrés par l'utilisation de tables interactives. Nous proposons alors de définir les critères associés à l'utilisation des tables interactives et leur impact sur le contexte d'usage.

3.2.2 Prise en compte de nouveaux critères, adaptation aux tables interactives

Au même titre que lors de la sortie d'une nouvelle plateforme ou outil d'interaction (PDA, tablette tactile, smartphone, *etc.*), l'utilisation des tables interactives a engendré de nouveaux moyens d'interagir et/ou de collaborer mais surtout a invité les utilisateurs à modifier leurs comportements, et l'utilisation habituelle qu'ils peuvent faire par exemple d'un ordinateur ou d'un téléphone. Il n'est pas rare de nos jours de se trouver face à un écran dans un supermarché. De nombreux utilisateurs se précipiteront sur l'écran et chercheront à interagir directement sur l'écran grâce à la technologie tactile. Notons cependant, que d'autres peuvent montrer certaines réticences face à ces nouvelles technologies. Toutefois, les technologies changent très rapidement et les utilisateurs sont invités à s'adapter à celles-ci. Il paraît donc évident que si les technologies, les interfaces voire les utilisateurs évoluent et s'adaptent, les modèles proposés et adaptés aux anciennes plateformes (Ordinateur, PDA, *etc.*) doivent également évoluer. Ces nouvelles manières de travailler ou d'interagir à l'aide de surfaces tactiles voire tangibles mettent en évidence de nouveaux critères de contexte. Nous proposons dans cette section de présenter ces nouveaux critères adaptés aux tables interactives.

Reprenons notre caractérisation du contexte proposée en section 3.2.1. Nous proposons d'augmenter le modèle global (Fig. 3.5) en y intégrant un ensemble de critères adaptant le modèle aux nouvelles plateformes que sont les tables interactives. Nous proposons une nouvelle fois de modéliser le contexte augmenté, pas à pas au travers d'un ensemble de modèles associés à l'Utilisateur, à la Plateforme et à l'Environnement. Chaque critère ou groupe de critères ajouté sera encadré en pointillés dans sa modélisation afin de mettre l'accent sur les modifications apportées.

D'un point de vue *Utilisateur* (Fig. 3.6), la plus importante modification par opposition aux autres plateformes est la **cardinalité** entre utilisateur - plateforme. En effet, contrairement à un ordinateur, un PDA, une tablette tactile ou autre smartphone, les tables interactives permettent de travailler à plusieurs autour de leur surface. Le nombre d'utilisateurs n'est donc plus nécessairement unique (1) mais peut être multiple (*). Remarquons toutefois qu'il peut être cependant difficile de travailler autour d'une table si le nombre d'utilisateurs devient trop important. En conséquence, la valeur limite de ce nombre devra être traitée avec attention.

Ces différents utilisateurs auront certainement des relations qui modifieront leur manière de collaborer et donc d'interagir. En effet, dans un cadre familial par exemple, il est possible de voir travailler sur une table un enfant effectuant un ensemble d'exercices scolaires aidé par ses parents utilisant la table dans un autre objectif (activité différente). Une association **lien social** est donc ajoutée au modèle permettant de connaître le type de relation qu'entretiennent les utilisateurs.

Nous estimons également que, dans un contexte d'usage d'une table interactive, la **situation** de l'utilisateur relative à la plateforme est très importante et influe sur la plateforme (affichage) elle-même. En effet, le contexte ne sera pas le même si l'utilisateur se *place* sur un côté de la table (*e.g.* Est) ou sur celui opposé (Ouest) ou encore en *po-*

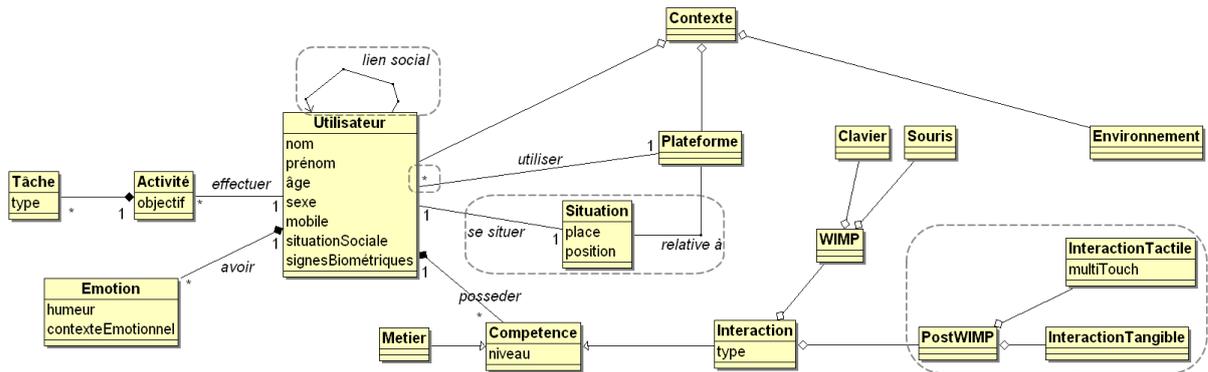


FIGURE 3.6 – Modélisation du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'**Utilisateur** augmentée pour l'interaction avec des tables interactives

sition assise ou debout. Une adaptation paraît évidente et indispensable, lui permettant de travailler correctement quelle que soit sa situation autour de la table. Notons cependant que l'adaptation et donc la prise en considération (ou non) de la situation du ou des utilisateur(s) dépend largement de l'activité voire de la tâche effectuée sur la table (*e.g.* application dédiée à des enfants ne nécessitant pas la prise en considération de leur situation relative à la table).

Enfin une évolution s'effectue du point de vue des interactions possibles sur les tables interactives. Les interactions deviennent alors **Post-WIMP** et invitent les utilisateurs à avoir des compétences dans l'utilisation de la technologie tactile qui peut être *multiTouch* (**interactions tactiles**), voire en utilisant les objets (**interactions tangible**).

D'un point de vue *Plateforme* (Fig. 3.7) comme dit plus haut, celle-ci peut être utilisée par plusieurs utilisateurs. Nous proposons donc d'ajouter à la classe *Plateforme* un attribut permettant de savoir directement si la plateforme est *multi-utilisateur* ou non. Nous avons également vu qu'il était intéressant de prendre en compte la situation de (ou des) l'utilisateur(s) relative à la table. La situation intégrant un attribut permettant de déterminer si l'utilisateur travaille dans une position assise ou debout, nous avons choisi d'intégrer également un attribut permettant de connaître la *hauteur* éventuelle de la plateforme (ici de la table interactive). L'objectif étant de déterminer si une position assise est permise ou non autour de la table interactive.

Une des particularités des tables interactives est également la capacité de reconnaître ou d'interagir avec un ensemble d'**objets**. Remarquons que ce sont les utilisateurs qui utilisent les objets et qu'ils sont dédiés à la tâche. Nous distinguons cependant lors de l'utilisation de table interactive deux *types* d'objets : les objets **virtuels** (qui sont généralement vidéoprojetés ou affichés) et les objets **tangibles** (objets physiques posés sur la table). D'une manière générale, les objets tangibles sont cependant munis de **tags**. Ces tags peuvent être de différents *type* : code-barres, RFID, *etc.*, souvent collés en dessous des objets dans l'objectif de pouvoir être identifiés. Selon les technologies de capture, il est possible de faire varier le *nombre* de tags collés sous l'objet. Ainsi avec par exemple trois tags collés sous un objet, il est possible de reformer logiquement la forme de l'objet ou encore possible de détecter le sens de rotation de l'objet.

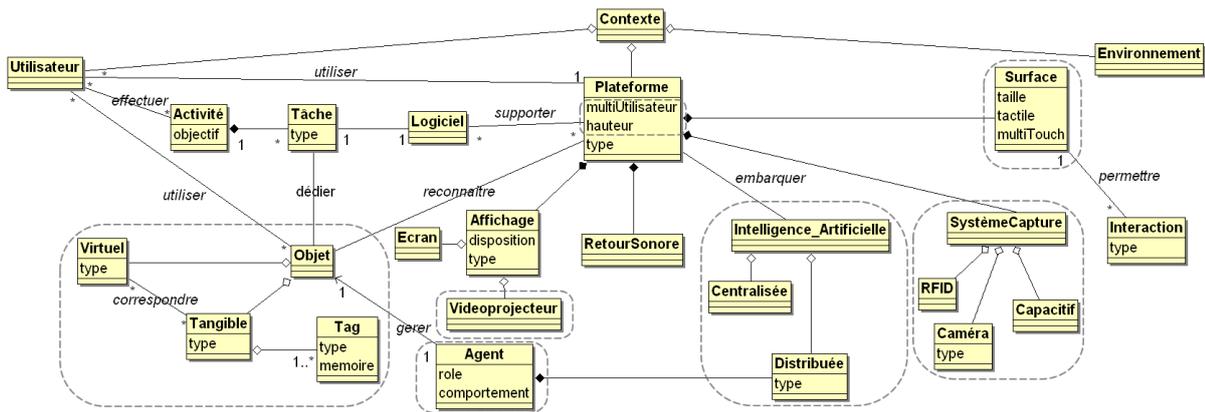


FIGURE 3.7 – Modélisation du contexte d'usage intégrant les spécifications de la **Plateforme** augmentée pour l'interaction avec des tables interactives

La technologie RFID permet également de stocker de l'information directement dans l'objet (quelques Ko). Ainsi l'objet possède une *mémoire* lui permettant d'être totalement indépendant par rapport à la table. Un état de jeu d'échecs peut par exemple être sauvegardé dans chaque pièce restante. Le fait de changer de table n'impliquant ainsi pas de recommencer la partie puisque chaque objet va indiquer à l'utilisateur sa dernière position.

Nous venons de le dire, les objets peuvent être soit tangibles, soit virtuels. Dans le cas d'objets virtuels ceux-ci sont généralement affichés par vidéoprojection. C'est pourquoi nous avons rajouté la classe appropriée (**vidéoprojecteur**), notons qu'il reste possible de les afficher par écran.

Les plateformes telles que les tables interactives évoluent également concernant la **surface** de travail. Ainsi l'affichage habituellement disposé de manière verticale et positionné face à l'utilisateur dans les dispositifs WIMP est disposé de manière horizontale pour les tables interactives. La *taille* de la surface de travail est relativement grande (en moyenne 50"), et la surface peut alors être *tactile* voire *multiTouch* si le système de capture employé le permet. Cette surface de travail horizontale peut permettre alors de nouvelles interactions de type *directes* (doigts) ou sur *360°* (tout autour de la table) ou encore en permettant d'*incliner* la table.

Nous remarquons que les interactions par exemple, dépendent également du **système de capture** utilisé par la table interactive. Nous proposons donc d'intégrer les différents systèmes de capture qu'ils soient par **RFID**, **caméra** ou par système **capacitif**. Notons que ces systèmes de capture peuvent également être utilisés dans l'adaptation au contexte d'usage ; nous détaillerons ce point plus loin dans ce mémoire.

Finalement, certaines plateformes selon le système de capture employé peuvent également embarquer une **Intelligence Artificielle**. Celle-ci peut être **centralisée** ou **distribuée** avec dans ce dernier cas par exemple, l'utilisation d'un *Système Multi-Agents* [105]. Les **agents** intégrant le Système Multi-Agents sont alors en charge de gérer chaque objet positionné sur la table [98]. Les objets, qu'ils soient tangibles ou virtuels, peuvent alors avoir des *rôles* ou des *comportements* et agir directement sur d'autres objets. Par exemple, un ensemble de véhicules (objets virtuels) circulant librement sur une carte routière et

devant se plier aux règles de la circulation routière lors de la pose d'un panneau stop (objet tangible) [100]. Ce critère relativement particulier est directement lié à la table interactive (et à sa technologie ou architecture logicielle).

En ce qui concerne l'*Environnement* (Fig. 3.8), le critère **environnement collaboratif** a été ajouté. Le choix de placer ce critère dans l'environnement plutôt que dans la plateforme est justifié par le fait que c'est la plateforme qui rend possible la collaboration (puisque la plateforme permet une utilisation à plusieurs personnes) mais que c'est l'environnement qui rend cette collaboration effective ou non (même si la plateforme permet le travail à plusieurs utilisateurs, ce sont les conditions de l'environnement qui vont éventuellement amener les utilisateurs à collaborer ; notons également que la collaboration peut être dépendante de la tâche). Cet environnement collaboratif peut être distingué en deux caractéristiques qui influenceront les interactions. Soit les utilisateurs collaborent en utilisant la table (au sens d'une seule et même table), dans ce cas la collaboration est *co-localisée*. Soit elle se fait sur plusieurs plateformes distantes (les utilisateurs utilisent la table et au moins un autre support distant telles qu'une autre table et/ou d'autres plateformes) ; dans ce cas l'environnement est collaboratif *distant*. Notons que nous avons traité dans nos recherches uniquement le cas d'une collaboration co-localisée. La collaboration distante pouvant faire l'objet de perspectives de recherche.

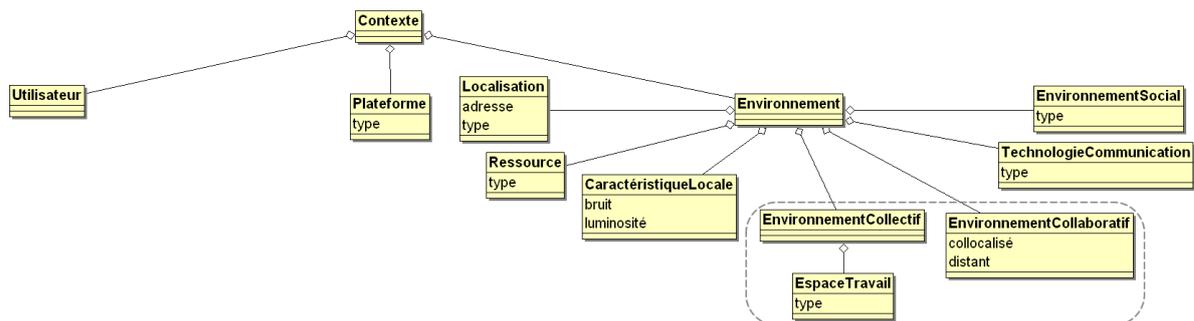


FIGURE 3.8 – Modélisation du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'**Environnement** augmentée pour l'interaction avec des tables interactives

Un second critère de l'environnement qui a également été ajouté, en particulier dans le cas de l'utilisation des tables interactives concerne la classification **collective** ou non de l'environnement. Cet environnement collectif peut être distingué grâce à deux caractéristiques qui peuvent influencer sur les interactions : soit (1) les utilisateurs utilisent la partie commune de la table, le type d'**espace de travail** est alors *commun* ; soit (2) ils utilisent différentes parties de la table, chacun ayant son propre **espace de travail**, dans ce cas le type d'espace de travail est *individuel*.

Les autres critères bien que non modifiés restent cependant relativement importants dans un contexte d'usage des tables interactives. L'*environnement social* rejoint le critère du *lien social* de l'utilisateur. Il permet de définir les éventuelles relations que peuvent entretenir les utilisateurs dans l'environnement. Les caractéristiques locales sont égale-

ment importantes pour l'utilisation des tables interactives. Il est en effet très difficile, par exemple, d'utiliser une table interactive utilisant la technologie de reconnaissance Infra-Rouge dans un milieu illuminé. Ce contexte environnemental rend quasi impossible son utilisation en extérieur. Pour finir, la localisation n'est pas réellement nécessaire puisque la plateforme *table interactive* n'est généralement pas mobile. Remarquons d'ailleurs que le critère de mobilité de l'utilisateur n'est, dans notre cas, plus utile. Toutefois, le critère de la localisation est cependant prévu afin de répondre aux éventuelles évolutions technologiques, et peut donc être ou non instancié.

Nous avons, dans cette section, proposé une modélisation du contexte d'usage en se basant premièrement sur la notion du contexte d'usage proposé par Calvary *et al.* [31] mais également sur les caractéristiques génériques proposées dans l'état de l'art. Nous avons adapté ce modèle en y ajoutant les critères particuliers résultant de l'utilisation des tables interactives. Nous proposons avec la figure 3.9 la modélisation globale du contexte d'usage augmentée pour les tables interactives. Le contexte étant modélisé, nous proposons dans la section suivante de définir et de présenter quelques contextes et situations d'utilisation des tables interactives. La section suivante ne vise cependant pas à répertorier l'ensemble des situations possibles faisant intervenir les tables interactives mais simplement de faire varier quelques critères représentatifs dans le but de proposer une suggestion d'adaptation à ces différentes situations.

3.3 Définitions et modélisation du contexte d'usage et des situations d'utilisation

Même si les tables interactives font l'objet de nombreuses recherches, et alors même que les premières tables interactives apparaissent au grand public, peu de recherches ont été menées jusqu'à maintenant concernant l'utilité et l'utilisabilité de ces nouvelles plateformes ou leur éventuelle adaptation au contexte d'usage. Nous pouvons constater que de nombreuses interactions différentes sont possibles avec ces plateformes (tactile, 3D, avec objets, *etc.*) mais cependant pas naturellement ou nécessairement adaptées pour une utilisation adéquate lors d'un changement de la situation d'utilisation. Une simple modification de la cardinalité utilisateurs (*cf.* notre modélisation du contexte : Fig. 3.9) et par conséquent du contexte peut influencer sur la manière d'utiliser ou de travailler sur la table interactive.

Avec de tels changements sur la plateforme, il devient indispensable de prendre en compte le contexte d'usage et de permettre une adaptation de la plateforme interactive en fonction de la situation demandée. A l'heure actuelle, les tables interactives ne prennent pas en compte les changements de contexte. C'est pourquoi nous proposons dans cette section de définir le contexte et les situations d'utilisation spécifiques aux tables interactives. Pour cela, nous utilisons notre modélisation du contexte adaptée aux tables interactives proposée ci-dessus (§3.2.2 et Fig. 3.9). Nous proposons de faire varier un ensemble de critères et de constater l'impact de cette variation sur l'interface des tables interactives.

3.3. Définitions et modélisation du contexte d'usage et des situations d'utilisation

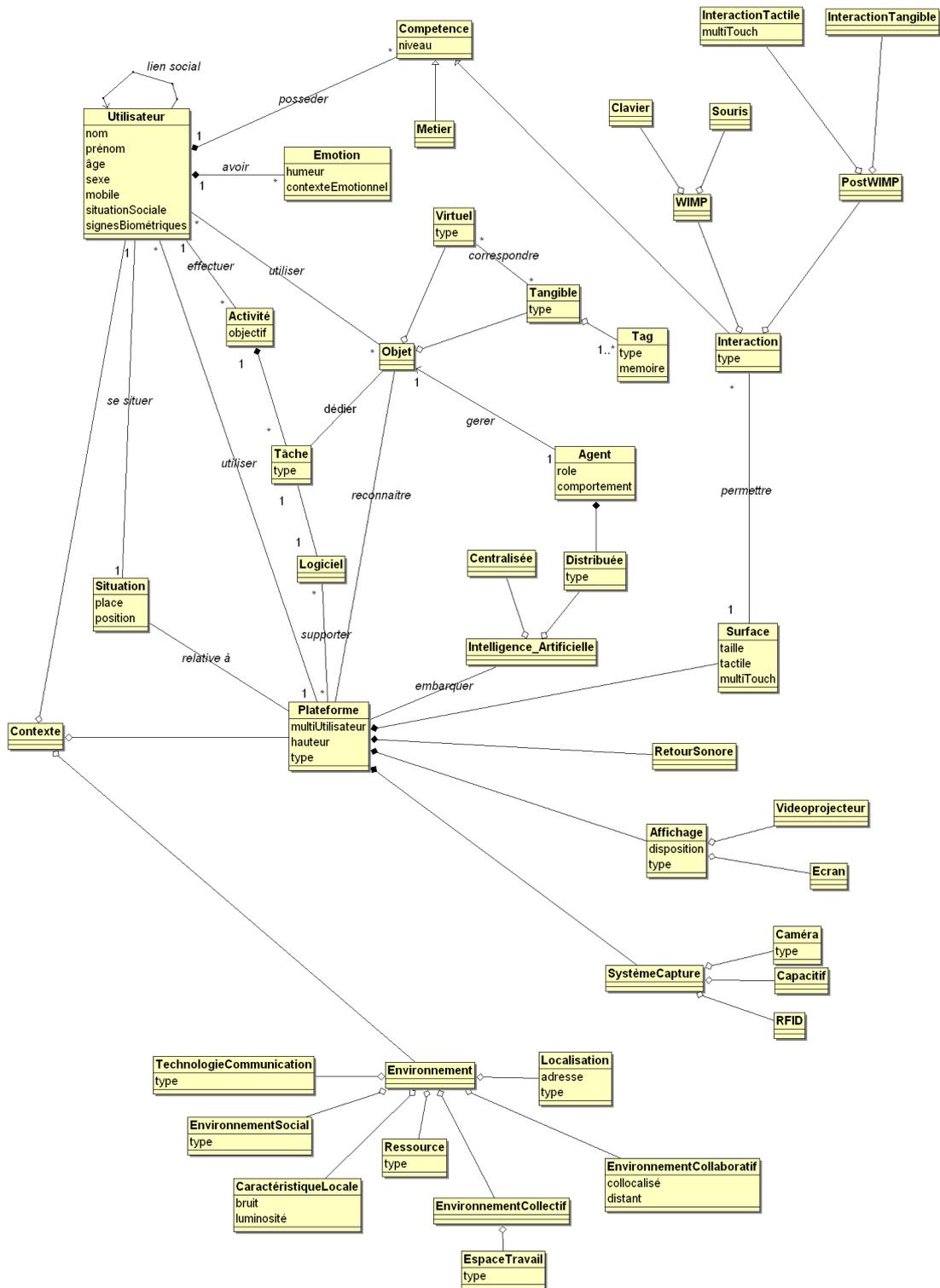


FIGURE 3.9 – Modélisation globale du contexte d'usage intégrant les spécifications de l'Utilisateur, de la Plateforme et de l'Environnement issu de l'état de l'art augmentée pour l'interaction avec des tables interactives

Rappelons cependant que nous nous focalisons uniquement sur les situations d'utilisation de la table interactive seule. Il est donc possible de faire varier les critères issus de l'Utilisateur, de l'Environnement ou de la Plateforme (*e.g. Utilisateur.Situation* ou *Environnement.environnementCollectif*, remarquons que nous utilisons une terminologie orientée objet où le point "." représente l'accès aux attributs de la classe¹⁴) mais nous ne considérerons pas ici le changement de plateforme et donc l'adaptation d'une plateforme *A* vers une plateforme *B*. Ces éléments pouvant faire l'objet de perspectives de recherche.

3.3.1 Définitions générales

Soit C , un ensemble de contextes d'usage. Nous définissons C comme étant le produit cartésien de trois ensembles U ¹⁵, E et P en nous basant sur la proposition de Calvary *et al.* [31]. Une représentation formelle de cette définition serait (eq. 3.1)

$$\begin{aligned}
 C &= U \times E \times P, \\
 \text{avec : } U &= \text{partition non vide de l'ensemble des utilisateurs,} \\
 E &= \text{partition non vide de l'ensemble des environnements,} \\
 P &= \text{partition non vide de l'ensemble des plateformes}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Nous définissons alors c un contexte d'usage appartenant à l'ensemble des contextes C . c étant constitué du triplet $\langle u, e, p \rangle$ où u est défini comme étant la composante utilisateur du contexte (concernant 1 à $|U|$ ¹⁶ utilisateurs), e étant la composante environnementale du contexte (concernant 1 à $|E|$ environnements) et p la composante liée à la plateforme en général (se composant de 1 à $|P|$ plateformes¹⁷) (eq. 3.2).

$$\forall c \in C, c = \langle u, e, p \rangle
 \tag{3.2}$$

Nous considérons alors qu'un changement de contexte est directement lié à la modification d'un (ou de plusieurs) élément(s) du triplet constitutif de c . Par exemple une modification sur l'élément u du nombre d'utilisateurs (passage d'un unique utilisateur à deux utilisateurs) implique un changement de contexte. Un changement de contexte s'opère donc lors de la modification de l'élément u et/ou de l'élément e et/ou de l'élément p constitutifs de c . Une représentation de notre définition d'un changement de contexte serait (eq. 3.3).

$$\forall c, c' \in C, c \xrightarrow{\text{devient}} c' \Leftrightarrow ((u \xrightarrow{\text{devient}} u') \vee (e \xrightarrow{\text{devient}} e') \vee (p \xrightarrow{\text{devient}} p'))
 \tag{3.3}$$

14. Notons que nous utiliserons cette notation orientée objet dans l'ensemble de notre mémoire (paragraphes, images) sauf lors de la représentation de nos formalismes (*cf.* §3.3.1) afin de respecter une cohérence quant à la formulation mathématique.

15. Remarquons que nous considérons uniquement l'ordre lexicographique des utilisateurs afin de garantir l'unicité des éléments de cet ensemble. (*e.g.* Soient a et b deux utilisateurs tel que $a, b \in U$, nous ne différencions pas les triplets $\langle (a,b), e, p \rangle$ et $\langle (b,a), e, p \rangle$ pour tout $e \in E$ et $p \in P$ (de même pour les ensembles E et P)).

16. Nous notons $|U|$ la cardinalité de l'ensemble U (de même pour E et P).

17. Même si dans cette thèse, comme précisé plus haut, nous nous focalisons uniquement sur les situations d'utilisation de la table interactive seule, par souci de généralité, nous envisageons ici l'utilisation possible de plusieurs plateformes; par extension, la remarque s'applique à l'environnement.

Littéralement : Pour l'ensemble de tous les contextes appartenant à C , un contexte c devient un contexte c' (changement de contexte) si et seulement si l'élément u devient u' (changement effectué sur l'élément u) et/ou e devient e' (changement effectué sur l'élément e) et/ou p devient p' (changement effectué sur l'élément p).

Rappelons cependant qu'un utilisateur (composante utilisateur), un environnement (composante environnementale) et une plateforme (composante liée à la plateforme) sont constitués d'un ensemble de critères (ou d'un ensemble d'attributs selon la terminologie orientée objet, cf. Fig 3.9). Nous pouvons donc définir l'ensemble CU composé des critères définissant un utilisateur, l'ensemble CE composé des critères définissant un environnement et l'ensemble CP composé des critères définissant une plateforme. Nous définissons alors les fonction μ_u , μ_e et μ_p telle que (eq. 3.4) :

$$\begin{aligned}\forall u \in U, \mu_u(u) &= CU, \\ \forall e \in E, \mu_e(e) &= CE, \\ \forall p \in P, \mu_p(p) &= CP\end{aligned}\tag{3.4}$$

Par simplification, nous considérons alors que l'élément u représentant la composante utilisateur correspond à l'ensemble CU , que l'élément e représentant la composante environnementale correspond à l'ensemble CE et que l'élément p représentant la composante liée à la plateforme correspond à l'ensemble CP , nous obtenons ainsi (eq. 3.5).

$$\begin{aligned}u &= CU \\ e &= CE \text{ ou noté différemment } \langle u, e, p \rangle \xrightarrow{\mu_u(u), \mu_e(e), \mu_p(p)} \langle CU, CE, CP \rangle \\ p &= CP\end{aligned}\tag{3.5}$$

Nous pouvons alors déduire de (eq. 3.2 et eq. 3.5) qu'un contexte c peut être défini suivant l'interprétation de μ_u , μ_e et μ_p par (eq. 3.6) :

$$\forall c \in C, c = \langle CU, CE, CP \rangle,\tag{3.6}$$

Littéralement : Pour l'ensemble de tous les contextes C , un contexte c est défini comme étant un ensemble composé d'un triplet : CU , CE , et CP ; tel que CU représente l'ensemble des critères du (ou des) utilisateur(s), CE représente l'ensemble des critères de l' (ou des) environnement(s) et CP représente l'ensemble des critères de la (ou des) plateforme(s).

Nous proposons de définir maintenant une situation¹⁸ d'utilisation, permettant de nous focaliser uniquement sur certains critères caractérisant une situation particulière [96] (e.g. dans notre cas, uniquement l'interaction avec une table interactive), comme étant une interprétation du contexte par les fonctions μ_u , μ_e et μ_p . Nous définissons alors une

18. Situation : nom féminin - (1) Le fait d'être en un lieu ; manière dont une chose est disposée, située ou orientée ; (2) Ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve : circonstance, condition, état, place, position. Source : Larousse, 2011.

situation d'utilisation S comme étant un triplet composé des sous-ensembles de CU , de CE et de CP . Nous obtenons alors (eq. 3.7) :

$$S = \langle \text{sous-ensemble}(CU), \text{sous-ensemble}(CE), \text{sous-ensemble}(CP) \rangle$$

ou encore : $S = \langle CU_S, CE_S, CP_S \rangle$ (3.7)

Lorsqu'un changement de contexte se produit, si la modification intervient sur un (ou plusieurs) critère(s) appartenant à la situation concernée, cette modification de contexte peut engendrer (au même titre qu'un changement de contexte, cf. eq. 3.3) un changement de situation. Dans ce cas nous obtenons (eq. 3.8) :

$$\forall s, s' \in S,$$

$$\forall cu_s \in CU_S, ce_s \in CE_s, cp_s \in CP_s,$$

$$s \xrightarrow{\text{devient}} s' \Leftrightarrow ((cu_s \xrightarrow{\text{devient}} cu_{s'}) \vee (ce_s \xrightarrow{\text{devient}} ce_{s'}) \vee (cp_s \xrightarrow{\text{devient}} cp_{s'}))$$

(3.8)

Nous proposons de modéliser le passage de la situation d'utilisation s à la situation s' avec la figure 3.10. Dans la figure 3.10, la modification s'effectue sur l'élément u qui devient u' suite à un changement d'un des critères qui fait partie du sous-ensemble de cu inclus dans s noté cu_s .

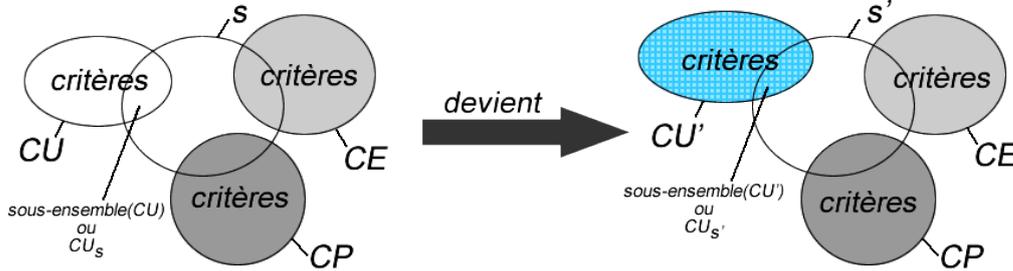


FIGURE 3.10 – Modélisation d'un changement de situation d'utilisation s à la situation s' suite à une modification d'un des critères de $cu_s \in CU_S$

Prenons s, s' et s'' , trois situations d'utilisation. Nous proposons de modifier un des critères que nous appellerons $critère_u$ de l'élément cu_s ayant pour valeur initiale x dans la situation s . Lors de la modification de ce critère (sa valeur), la situation s devient la situation s' suite à l'évolution de $critère_u$ qui prend la valeur y ; la situation s' devient la situation s'' suite à l'évolution de $critère_u$ qui prend la valeur z ; la situation s'' redevient la situation s suite à l'évolution de $critère_u$ qui prend la valeur x (voir eq. 3.9).

Soit $s = \langle cu_s, ce_s, cp_s \rangle$,

Soit $critère_u \in \{cu_s, cu'_s, cu''_s\}$,

$$s \xrightarrow{\text{devient}} s' \Leftrightarrow critère_u = x \xrightarrow{\text{devient}} critère_u = y$$

$$s' \xrightarrow{\text{devient}} s'' \Leftrightarrow critère_u = y \xrightarrow{\text{devient}} critère_u = z$$

$$s'' \xrightarrow{\text{devient}} s \Leftrightarrow critère_u = z \xrightarrow{\text{devient}} critère_u = x$$

(3.9)

La figure 3.11 modélise les changements de situations suite à la modification d'un des critères de l'ensemble CU_S .

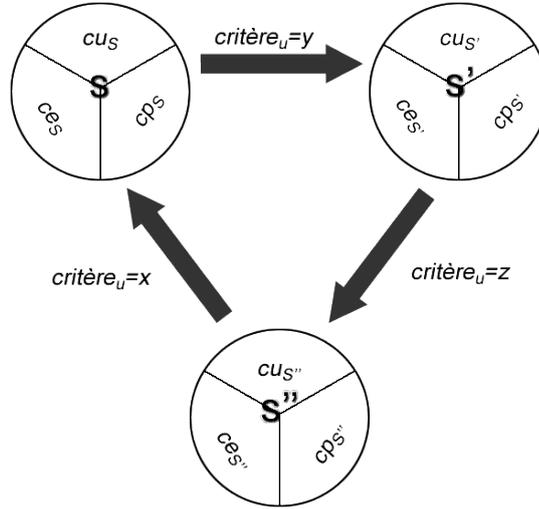


FIGURE 3.11 – Modélisation du changement de situation d'utilisation s issu de la modification au niveau d'un des critères associé à l'élément u

Ces définitions, relativement générales vont maintenant nous permettre de définir des situations d'utilisation mêlant Utilisateur, Environnement et Table interactive. Nous proposons dans la section suivante de définir des exemples de situation impliquant ces éléments.

3.3.2 Informations du contexte d'usage spécifiques aux tables interactives

Nous proposons de définir quatre situations d'utilisation de table interactive notées respectivement : $s_{attente}$, s_{seul} , $s_{collectif.EspaceIndividuel}$, $s_{collectif.EspaceCommun}$; les situations collectives pouvant être collaboratives ou non [154].

Soit un contexte d'usage c et une situation d'utilisation s utilisant une plateforme de type *table interactive* (eq. 3.10) et figure 3.12.

$$\begin{aligned} c &= \langle u, e, p \rangle, \\ s &= \langle cu_s, ce_s, cp_s \rangle / type_{Plateforme} = \text{table interactive} \end{aligned} \quad (3.10)$$

- Nous définissons une situation d'attente notée $s_{attente}$ liée à un contexte c par (eq. 3.11).

$$\begin{aligned} c &= \langle u, e, p \rangle / |u| = 0, \\ s_{attente} &= \langle ce_s, cp_s \rangle \end{aligned} \quad (3.11)$$

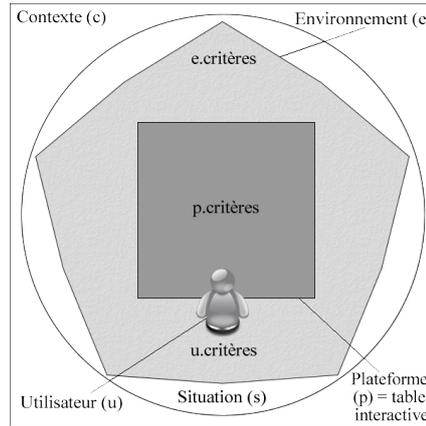


FIGURE 3.12 – Modélisation d'un contexte d'usage avec table interactive

Dans ce cas, il n'y a pas d'utilisateur détecté par la table. Seules les informations sur l'environnement et la plateforme sont fournies.

- Nous définissons une situation d'un utilisateur travaillant seul notée s_{seul} liée à un contexte c par (eq. 3.12).

$$\begin{aligned}
 c &= \langle u, e, p \rangle / |u| = 1, \\
 s &= \langle cu_s, ce_s, cp_s \rangle / EnvironnementCollectif_{Environnement} = \text{false}
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Dans ce cas, seul un utilisateur est détecté par la table. Les informations contextuelles remplies concernent cet utilisateur (ses préférences peuvent être fournies par la base de données intégrée à la table ou par le tag (*Objet.Tangible.Tag*) utilisé pour l'identification), les informations sur l'environnement et la plateforme sont également fournies.

- Nous définissons une situation de travail collectif sur espace individuel notée $s_{collectif.EspaceIndividuel}$ liée à un contexte c par (eq. 3.13).

$$\begin{aligned}
 c &= \langle u, e, p \rangle / |u| > x \text{ avec } 1 < x < n \text{ (n=nb max d'utilisateurs sur la plateforme)}, \\
 s &= \langle \{cu_{1_s} \dots cu_{n_s}\}, ce_s, cp_s \rangle / EnvironnementCollectif_{Environnement} = \text{true}, \\
 & \quad type_{EspaceTravail} = \text{individuel}
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

La situation d'utilisation est collective si plus d'un utilisateur est détecté par la table. Cependant, comme les utilisateurs travaillent sur des espaces distincts, l'espace de travail est individuel.

- Nous définissons une situation de travail collectif sur espace commun notée

$S_{collectif.EspaceCommun}$ liée à un contexte c par (eq. 3.14).

$$\begin{aligned} c = & \langle u, e, p \rangle / |u| > x \text{ avec } 1 < x < n, \\ s = & \langle \{cu_{1_s} \dots cu_{n_s}\}, ce_s, cp_s \rangle / EnvironnementCollectif_{Environnement} = \text{true}, \\ & type_{EspaceTravail} = \text{commun} \end{aligned} \tag{3.14}$$

La situation d'utilisation est collective si plus d'un utilisateur est détecté par la table. Cependant, comme les utilisateurs travaillent sur un même espace, l'espace de travail est commun.

Nous proposons d'illustrer les différentes situations d'utilisation définies avec la figure 3.13. Cette modélisation sous forme de graphe complet est caractérisée par quatre noeuds représentatifs des situations d'utilisation (s) présentées ci-dessus : ($s_{attente}$, s_{seul} , $S_{collectif.EspaceIndividuel}$, $S_{collectif.EspaceCommun}$). Le passage d'une situation d'utilisation à une autre est caractérisé par les arcs entre les noeuds.

Nous avons vu qu'il était possible de travailler avec les tables interactives dans des situations de travail relativement différentes. Nous avons proposé un exemple de quatre situations d'utilisation de tables interactives (non exhaustives) qui ont permis de mettre en évidence l'intérêt de prendre en considération la notion d'adaptation au contexte d'usage. Bien évidemment de nombreuses autres situations d'utilisation peuvent être proposées ; il s'agit pour cela de faire varier l'ensemble des critères issus de notre modélisation proposée avec la figure 3.9. Ceci pouvant faire l'objectif de perspectives de recherche (*cf.* chapitre 5, §5.4).

Nous proposons de poursuivre notre proposition avec les quatre situations ci-dessus par souci de représentativité. Dans la section suivante, nous proposons un système permettant aux tables interactives de s'adapter en fonction du contexte d'usage et plus particulièrement en fonction des situations d'utilisation détectées.

3.4 Proposition d'un système d'adaptation au contexte d'usage pour les tables interactives

Dans la littérature (*cf.* chapitre 2, § 2.5.1), les cas les plus courants d'adaptation du contexte interviennent durant les changements de plateforme (en général réduites) quand par exemple l'utilisateur quitte son ordinateur et utilise un PDA ou une autre plateforme mobile [155, 44]. Comme nous l'avons dit précédemment, nous ne nous focalisons pas ici sur l'adaptation aux diverses plateformes puisque les interactions proposées seront centrées uniquement sur l'utilisation des tables interactives. L'information du contexte peut alors être détectée directement par la table suite à un ensemble d'interactions (*e.g.* pose de carte d'identification) (1), fournie par l'utilisateur à la demande de la table (2) ou directement lue depuis un tag collé sur un objet (3) quand la table le permet.

Afin de permettre une adaptation de l'interface au contexte d'usage, il est nécessaire d'y intégrer un système d'adaptation. Cependant, le système d'adaptation doit être suffi-

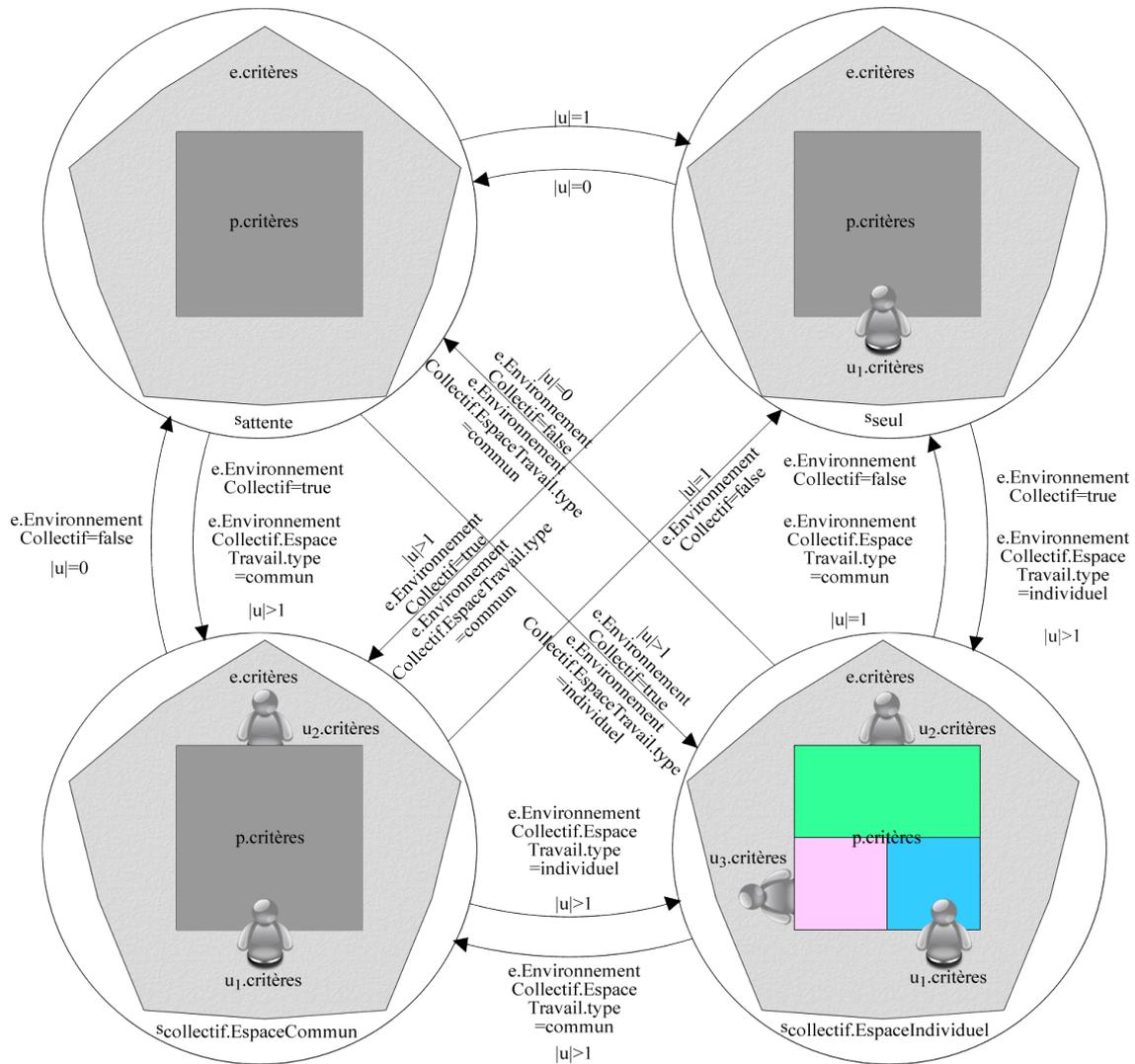


FIGURE 3.13 – Modélisation de quatre situations d'utilisation de table interactive : $s_{attente}$, s_{seul} , $s_{collectif.EspaceIndividuel}$, $s_{collectif.EspaceCommun}$

samment générique pour pouvoir permettre à la majorité des tables interactives de prendre en considération cette notion d'adaptation au contexte. Nous proposons pour cela une architecture de notre système avec la figure 3.14. Notre système d'adaptation se compose alors d'une table interactive possédant un système de capture composé de capteurs (*e.g.* de type RFID, ou caméra). Les informations issues du système de capture sont ensuite récupérées puis transmises au moteur d'adaptation. Le moteur d'adaptation possède un certain nombre de règles d'adaptation pouvant être liées soit à l'utilisation générale de la table soit à une application dédiée. Enfin l'adaptation s'effectue et se répercute sur l'interface de la table interactive.

Nous proposons de détailler les spécifications de ce système tout au long de cette section.

3.4.1 Capture du contexte d'usage

Pour adapter l'interface de la table interactive en fonction du contexte, il est nécessaire que ce dernier soit connu. Pour cela, il est nécessaire de capturer le contexte afin d'obtenir les informations que ce soit de (ou des) l'utilisateur(s) (U), de l'environnement (E) ou de la plateforme (P). Par exemple, un utilisateur peut être détecté par la table via un objet identificateur muni d'un tag initialisé avec un identifiant (IDUser). Si la technologie RFID est utilisée, l'objet peut être une carte munie d'un tag RFID (*e.g.* semblable à la carte de forfait de ski permettant d'identifier les usagers). Cet objet peut également contenir l'intégralité des préférences de l'utilisateur, la table serait donc capable d'adapter son interface selon les préférences de l'utilisateur, suite à la détection de cet objet. En revanche si c'est la technologie caméra qui est utilisée, l'identification de l'utilisateur peut se faire en posant directement la main complète sur la table [156].

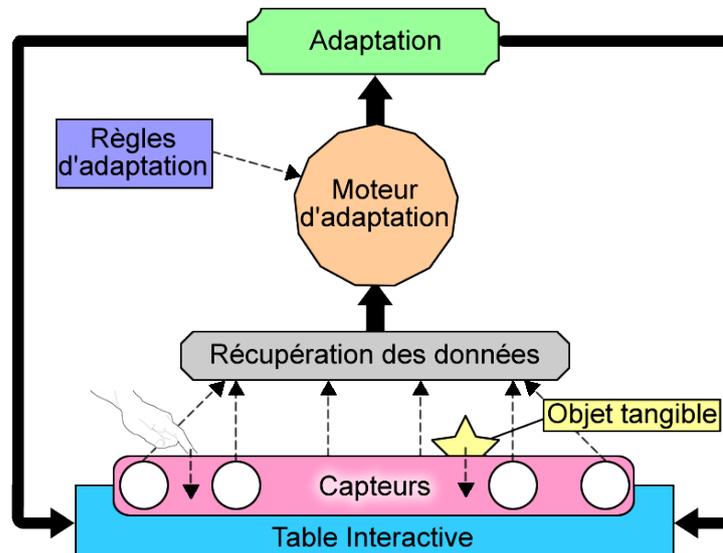


FIGURE 3.14 – Modélisation d'une architecture supportant l'adaptation au contexte d'usage pour les tables interactives

Afin de capturer le contexte, nous proposons d'utiliser les technologies déjà utilisées par les tables interactives. L'avantage de ce choix est de ne pas imposer aux tables interactives de devoir rajouter des capteurs extérieurs à la table dans l'unique but de capturer le contexte. Pour cela, il est nécessaire de rappeler les différentes technologies qu'utilisent les tables : la caméra infra-rouge (FTIR, DI, DSI ou LLP), la RFID, la fibre optique ou la capacité électrique (voir chapitre 1, § 1.3.2). Notons que la fibre optique emploie également la caméra infra-rouge, l'utilisation des fibres optiques permettant de déporter la caméra afin de permettre, par exemple, de ne pas avoir un cube sous la table. Les deux technologies majoritaires sont donc la caméra infra-rouge et la RFID. Cependant selon la technologie par caméra employée, il est possible de détecter uniquement les interactions tactiles (FTIR, DI avant, LLP) ou également les objets munis de tags (DI arrière, DSI). Nous distinguons donc ces deux cas que nous appellerons (tactile uniquement, tactile et tangible). La technologie par capacité électrique permettant uniquement de travailler de

manière tactile, nous intégrons cette technologie dans la même colonne que caméra (tactile uniquement).

Pour ces deux technologies (caméra et RFID) utilisées par les tables interactives, nous étudions si chaque élément de l'information contextuelle peut être capturé par ces technologies. Dans ce cas, la technologie permettrait de diriger l'adaptation et de décider si les informations contextuelles peuvent être utiles dans l'adaptation de la table.

Le tableau 3.1 présente les moyens de capturer le contexte et le rôle de chaque technologie pour l'adaptation. Les colonnes permettent de savoir si ces mêmes informations peuvent être obtenues avec la technologie RFID ou avec la technologie Caméra (tactile uniquement, tactile et objets) voire capacité électrique (tactile uniquement).

TABLE 3.1 – Moyens de capture du contexte - Le rôle des types de technologies pour les tables interactives

Moyen de captures → Critère du contexte ↓	RFID	Caméra	
		Tactile	Tactile + Objets
Utilisateur / Position	La position des objets (tags RFID) permet de déduire la position de l'utilisateur	Par les interactions et algorithmes associés	Par la position des objets (tags) et des doigts
Utilisateur / * (Except. Emotion et compétence)	Sauvegardé dans le tag RFID	Non	Non
Environnement / Caractéristiques locales	Si le tag RFID est couplé à des capteurs, l'aspect mobile des tags RFID et de sauvegarde devient un avantage	Non	Non
Environnement / Ressources	En utilisant la RFID et le NFC ¹⁹	Non	Non
Environnement / Collectif	Objets identifiants (tags RFID)	Nombre de doigts, algorithmes de détection de la main	<i>idem</i> Tactile ou objet identifiant
Environnement / Collectif / Espace de travail	La position des utilisateurs peut être déduite grâce à la position ou l'orientation des tags RFID	Non	La position des utilisateurs peut être déduite grâce à la position ou l'orientation des tags

19. La communication en champ proche (Near Field Communication), habituellement appelée NFC, est une technologie de communication sans-fil à courte portée et haute fréquence, permettant l'échange d'informations entre des périphériques jusqu'à une distance d'environ 10 cm. Cette technologie est une extension de la norme ISO/CEI 14443 standardisant les cartes de proximité utilisant la RFID (Radio Frequency Identification), qui combinent l'interface d'une carte à puce et un lecteur au sein d'un seul périphérique

3.4. Proposition d'un système d'adaptation au contexte d'usage pour les tables interactives

TABLE 3.1 (SUITE)

Moyen de captures → Critère du contexte ↓	RFID	Caméra	
		Tactile	Tactile + Tangible
Plateforme / Affichage / Disposition	La position et l'orientation des différents tags RFID permet de déterminer la disposition de l'écran	Non	La position et l'orientation des différents tags permet de déterminer la disposition de l'écran
Plateforme / Objets / Tangibles	Oui	Non	Oui
Plateforme / Objets / Virtuels	Oui	Oui	Oui

Rappelons cependant que la technologie RFID peut être utilisée pour stocker des données ou de l'information directement dans l'objet (le tag) contrairement à la technologie caméra qui ne permet qu'une lecture de ce tag. Dans ce cas, aucun détail n'est donné, mais juste un "oui" indicatif est mentionné. Si la RFID joue un autre rôle de mémoire (stockage), le détail de l'utilisation est donné. Des critères de l'environnement tels que les technologies de communication ou la localisation ne sont pas nécessaires et développés dans le tableau étant donné que les tables interactives sont statiques. De même, le logiciel de la plateforme (c'est-à-dire de la table interactive) ne change pas ; c'est pourquoi ce critère n'est pas pris en compte. Les informations utilisateurs proposées par les critères : compétence voire même émotion peuvent éventuellement être enregistrées dans une base de données sauvegardée localement par la table (si utilisation de la caméra) ou encore dans les tags afin qu'ils puissent devenir mobiles via la mémoire intégrée aux tags RFID (si utilisation de cette technologie). L'avantage de stocker les informations liées à l'utilisateur dans les tags RFID est de permettre une mise à jour des informations directement dans les objets (*e.g.* carte d'identification personnelle) et donc d'emporter ces informations avec soi (mobilité) ; alors que si les informations sont enregistrées directement dans la base de données de table, ces informations ne seront pas mobiles et non utilisables sur une autre plateforme (à la maison ou au bureau par exemple).

Nous constatons grâce au tableau 3.1 précédent qu'il existe des informations du contexte pouvant être déduites grâce aux objets. Nous remarquons également que dans le cas des tables uniquement tactiles, les informations du contexte sont relativement difficiles à capturer avec la technologie embarquée dans la table. Par exemple, la table interactive proposée par Dietz et Leigh [9] est capable de distinguer les utilisateurs. Pour cela, des capteurs capacitifs sont utilisés et liés au siège de l'utilisateur. A chaque siège correspond un utilisateur. Même si les capteurs capacitifs sont capables de distinguer les utilisateurs et de déterminer la position des doigts, la table n'est malheureusement pas vraiment en mesure de connaître la situation des utilisateurs relative à la table. Nous proposons donc de nous focaliser sur les tables interactives pouvant interagir à l'aide d'objets afin de transformer ces informations et de les interpréter en données du contexte. Les tables permettant de

travailler uniquement de manière tactile nécessiteraient d'ajouter un système de capture extérieur à la table, nous ne traiterons donc pas ce genre de table.

3.4.2 Transformation et interprétation des données du contexte d'usage grâce aux objets

Une difficulté dans l'interface utilisateur sur table interactive est d'orienter correctement cette interface dédiée à un ou plusieurs utilisateurs. Dans le cas de l'utilisation d'un PC, l'écran est vertical et l'interface a **une** orientation. Notons que sur un écran d'ordinateur l'origine (0,0) est le point supérieur gauche de cet écran. Avec un smartphone, l'interface peut suivre **deux** orientations (en position paysage ou en position portrait). Sur une table, l'interface peut suivre **plusieurs types d'orientations** : quatre orientations si l'interface est parallèle aux côtés de table, huit si l'interface est orientée suivant les points cardinaux (N, S, E, O, NE, NO, SE, SO), *etc.* (Fig. 3.15).

Nous proposons à partir des définitions de situations proposées en 3.3.2 de définir la transformation et l'interprétation des données associées.

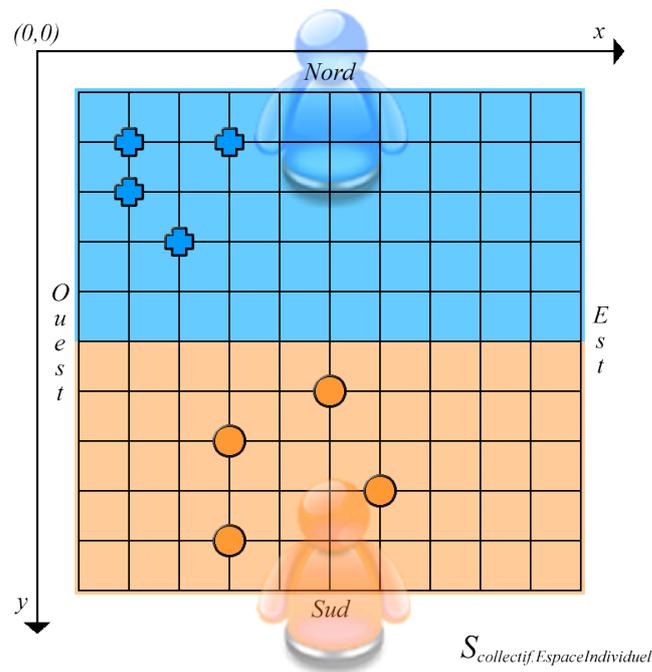


FIGURE 3.15 – Représentation de la table comme étant une grille de 10x10 ; deux utilisateurs sont considérés dans une situation d'utilisation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$

Nous proposons dans le cas de ces situations d'utiliser la position des objets (nous soulevons l'hypothèse cependant que l'utilisateur possède parmi l'intégralité de ses objets un ensemble d'objets qui lui sont uniquement attribués) afin d'interpréter les données du contexte. En effet, chaque tag peut être détecté par la table via une matrice; de ce fait

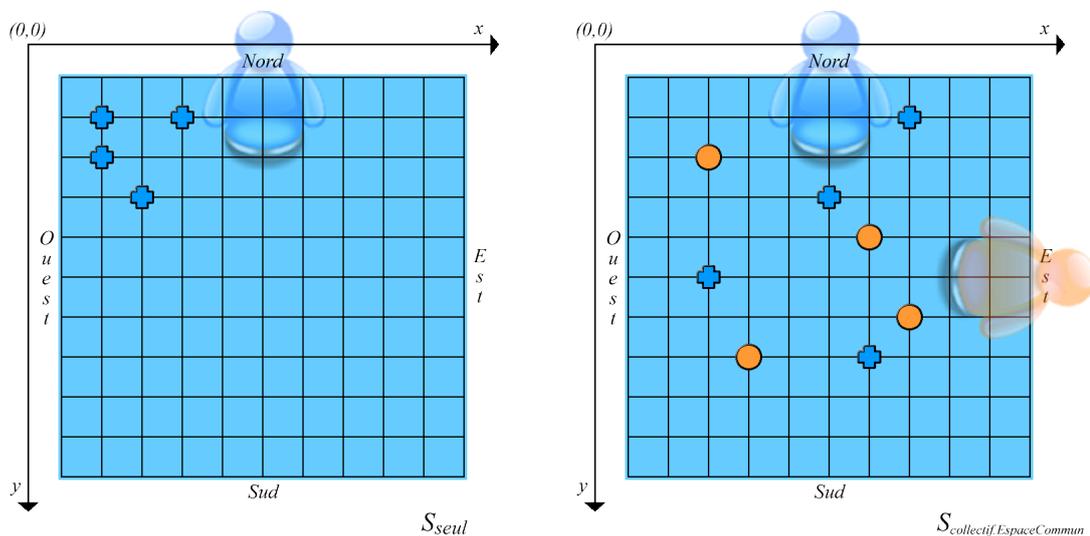
la position (x, y) des tags est connue.

La position des tags permet de déduire la situation d'utilisation dans laquelle l' (les) utilisateur(s) se situe(nt). La situation $s_{attente}$ est déduite s'il n'y a aucun tag sur la table. Dans ce cas, aucun utilisateur n'est donc présent et aucune adaptation n'est nécessaire.

La situation s_{seul} est déduite si un seul utilisateur est en interaction avec des objets sur la table. Ce cas est illustré à la figure 3.16(a) (A) dans laquelle seuls les tags appartenant à un même utilisateur (croix) sont détectés par la table.

La situation $s_{collectif.EspaceIndividuel}$ est illustrée dans la figure 3.15, où deux utilisateurs sont en interaction sur la table mais chacun dans un espace de travail. Pour cette situation d'utilisation, nous partons des hypothèses qu'un objet a été posé par un des utilisateurs indiquant à la table qu'ils souhaitent travailler de manière individuelle (1); ou qu'un regroupement d'objets a été effectué par un des utilisateurs puis détecté par la table impliquant une adaptation en espace de travail individuel.

La figure 3.16(b) (B) montre une configuration possible de $s_{collectif.EspaceCommun}$. Les tags des deux utilisateurs concernés sont mélangés sur la surface totale de la table. L'interaction est dirigée par les tags de chaque utilisateur. L'application peut être différente ou la même pour chaque utilisateur, en collaboration ou non (par exemple, chaque utilisateur travaille sur son propre dessin avec un éditeur, et non pas sur un dessin commun).



(a) Un unique utilisateur est considéré dans la situation d'utilisation s_{seul} (b) Deux utilisateurs sont considérés dans une situation d'utilisation $s_{collectif.EspaceCommun}$

FIGURE 3.16 – Représentation de la table comme étant une grille de 10x10; dans une situation d'utilisation s_{seul} (a) et $s_{collectif.EspaceCommun}$ (b)

3.4.3 Règles d'adaptation au contexte d'usage

Même s'il est possible de capturer les informations du contexte, par exemple à l'aide des objets disposés sur la table interactive, il est nécessaire une fois les données collectées de les transmettre au moteur d'adaptation qui va contenir les règles d'adaptation. Le moteur d'adaptation peut être générique ou spécifique à la table interactive. Nous ne traiterons pas ici du moteur d'adaptation puisque celui-ci est directement lié à la table interactive et à ses couches logicielles.

A contrario, les règles d'adaptations sont nécessaires pour l'adaptation au contexte d'usage. Nous proposons de définir un ensemble de règles (algorithmes en pseudo-code) permettant d'adapter les interfaces en fonction des situations proposées plus tôt dans ce chapitre.

Prenons le cas de la situation proposée s_{seul} , cette situation est une utilisation courante et minimale d'une table interactive. En effet, dans cette situation seul un utilisateur est présent autour de la table. Cependant, une adaptation peut être effectuée selon le critère de situation de l'utilisateur relative à la table (voir Fig. 3.9). Nous devons cependant préciser que nous considérons que chaque utilisateur possède un objet dit *d'identification* permettant de le distinguer. Cet objet peut être considéré et associé à un compte utilisateur d'une session de travail sur ordinateur. Ici, nous considérerons par exemple, que chaque utilisateur possède une carte ID personnelle. Nous considérons que chaque utilisateur possède sa propre carte lui permettant de travailler sur la table (d'activer son compte utilisateur). Afin d'adapter l'affichage de la plateforme en fonction de la situation de l'utilisateur relative à la table, nous allons utiliser la carte d'identification comme outil. En effet, en considérant la position de la carte d'identification, il sera possible de déduire la place de l'utilisateur et d'adapter la plateforme au contexte.

Pour cela la carte ID doit être posée sur la table. Sa position est détectée, la plateforme s'adapte et affiche le résultat (Fig. 3.17). Cependant la position de la carte peut ne pas suffire pour adapter exactement l'interface selon la place de l'utilisateur. Comment déterminer, si la carte est dans le coin Sud-Est de la table, si l'utilisateur est situé sur le côté Sud ou Est de la table (Fig. 3.17 A) et B)) ? Nous proposons alors à l'utilisateur de pivoter lui-même son affichage grâce à sa carte ID. Ainsi grâce à sa carte, l'utilisateur peut modifier l'affichage en pivotant simplement celle-ci (Fig. 3.17 C)). Notons cependant que toutes les applications ne sont pas dépendantes du sens de lecture. Dans ce cas, l'adaptation ne serait tout simplement pas déclenchée.

Nous proposons pour atteindre cette situation d'utilisation une règle à intégrer au moteur d'adaptation. La règle d'adaptation est définie avec l'algorithme (Algo. 1). Pour cette règle, la table est en situation d'attente $s_{attente}$. Lorsqu'un utilisateur pose sa carte d'identification sur la table, la table détermine la position de la carte puis adapte l'affichage en fonction de celle-ci. Cependant, si l'affichage n'est pas adapté à la place (*e.g.* Nord, Est) de l'utilisateur, celui-ci peut pivoter sa carte afin de tourner l'affichage et ainsi aboutir à un affichage le satisfaisant. Enfin, si l'utilisateur enlève sa carte, alors la table enlève tout affichage puis repasse en situation d'attente.

Les situations $s_{collectif.EspaceIndividuel}$ et $s_{collectif.EspaceCommun}$ correspondent à des si-

3.4. Proposition d'un système d'adaptation au contexte d'usage pour les tables interactives

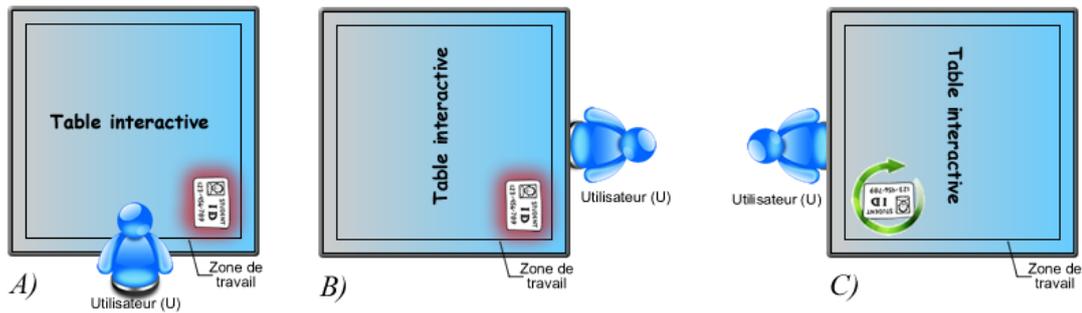


FIGURE 3.17 – Adaptation de la plateforme selon la position utilisateur en utilisant sa carte d'identification

Algorithm 1 Règles d'adaptation de la plateforme selon la position utilisateur

```

1. adapterPositionUtilisateur()
2. { //Table en attente
3. //Une carte ID est détectée
4. if détection(CarteID) then
5. {
6.   détecterPosition(carteID); //On détecte la position de la carte d'identification
7.   adapterAffichage(positionCarteID); //On adapte l'affichage selon la position de la carte
8. }
9. end if
10. if !détection(CarteID) then
11. {
12. //Il n'y a plus de carte ID sur la table
13.   enleverAffichage(); //On enlève tout affichage
14.   tableEnAttente(); //On place la table en attente
15. }
16. end if
17.
18. //Table en attente
19. //L'utilisateur décide de modifier lui-même l'adaptation
20. if RotationCarte then
21.   tournerAffichage(sensRotationCarteID); //On pivote l'affichage de l'utilisateur concerné selon
       le sens de rotation
22. end if
23. }

```

tuations d'utilisation où le travail s'effectue autour de la table de manière collective. Cependant, nous considérons qu'il est possible de travailler de deux manières différentes en situation collective autour d'une table interactive : (1) soit les utilisateurs travaillent chacun sur un espace dédié de la table, nous parlons alors d'espace de travail de type *individuel*; soit (2) l'ensemble des utilisateurs travaille sur le même espace (totalité de la table) dans ce cas nous parlons d'espace de travail de type *commun*.

Dans le cas d'un travail sur un espace commun, il est primordial de définir un utilisateur dit "chef de situation". Celui-ci est alors considéré comme "maître" de la table. En effet, il n'est pas possible lors d'un travail à plusieurs sur espace commun d'adapter l'affichage en fonction de chacun (exemple un plan d'architecture). Notons toutefois que certaines informations propres et uniquement dédiées à un utilisateur peuvent être affichées selon la position de l'utilisateur concerné (*e.g.* un électricien travaillant sur le plan d'architecture, ses informations lui étant propres, il est pertinent d'adapter ses informations en fonction de sa situation relative à la table). De ce fait, cette situation d'utilisation rejoint la situation s_{seul} proposée ci-dessus. L'utilisateur concerné peut à l'aide de sa carte ID, tourner l'affichage (uniquement de ses informations) (Algo. 1). La figure 3.18 donne un exemple de situation d'utilisation dans un premier temps seul s_{seul} (figure de gauche) puis dans une situation d'utilisation collective $s_{collectif.EspaceCommun}$ sur le même espace de travail (figure de droite). Les utilisateurs peuvent ici travailler de manière collective en utilisant toutefois leurs propres objets tangibles et/ou virtuels. Cela permet un partage des connaissances de chacun en gardant toutefois une main sur les outils utiles à la tâche. L'interface (informations virtuelles) lié à chaque utilisateur peut alors être adapté en fonction de leur position, l'affichage des informations communes (*e.g.* le plan) quant-à-lui reste statique où à la charge, par exemple, de l'utilisateur considéré comme "maître" de l'activité.

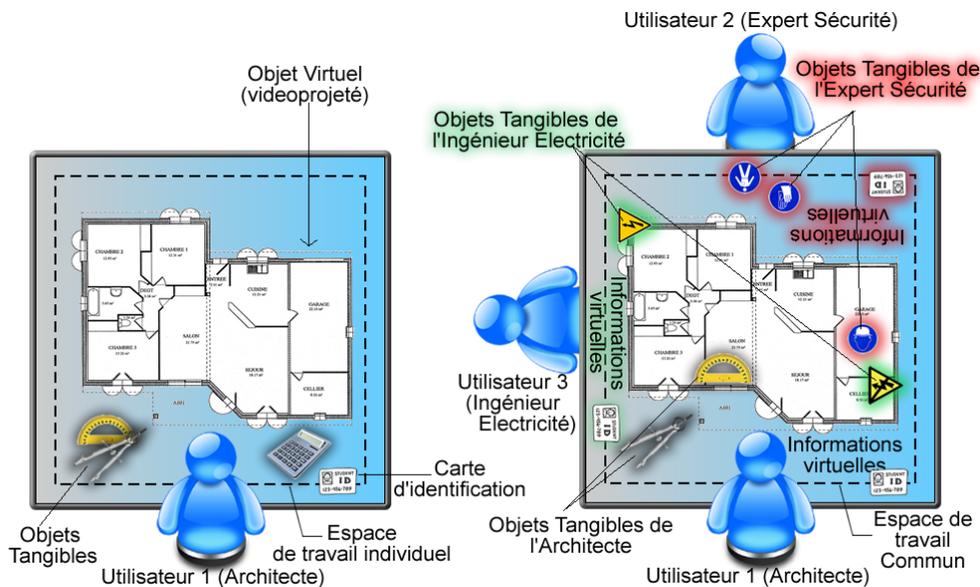


FIGURE 3.18 – Exemple de situation d'utilisation s_{seul} puis $s_{collectif.EspaceCommun}$ et d'adaptation des informations en fonction de la situation des utilisateurs relative à la table

Dans le cas d'un travail sur espace individuel, le partage de l'espace de travail peut être une extension de la position utilisateur. Il est en effet possible d'utiliser pour cette adaptation la carte ID et la position de celle-ci. En fonction de la position des cartes ID, l'espace de travail est partagé permettant à chaque utilisateur de disposer de son propre espace de travail (Fig. 3.19).

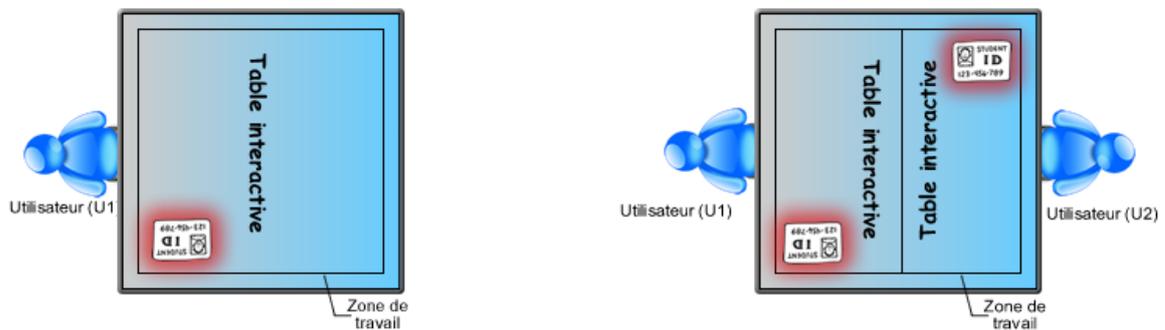


FIGURE 3.19 – Adaptation de la plateforme selon le nombre d'utilisateurs en travail individuel

Toutefois, pour permettre ce partage d'espace de travail en espace individuel, si un (ou des) utilisateur(s) utilise(nt) la table, il est nécessaire de réduire/dégrader son/(leur) espace de travail. Pour cela, nous devons définir de nouvelles règles afin de partager l'espace de travail et ainsi permettre au(x) nouveau(x) utilisateur(s) de travailler sur son/(leur) propre espace. Les règles seront semblables pour n utilisateurs (Algo. 2). Nous considérons pour cette situation qu'au moins un utilisateur est en train de travailler sur la table. Si une nouvelle carte d'identification est détectée, nous déterminons alors le nouveau nombre d'utilisateurs qui souhaitent travailler sur la table. Si au moins deux utilisateurs sont autour de la table et ont posé leur carte, alors nous dégradons l'espace de travail (Algo. 3) des utilisateurs présents (*e.g.* réduction des objets virtuels), nous séparons l'espace complet de travail en fonction du nombre d'utilisateurs (Algo. 4) puis nous créons les nouveaux espaces pour chaque utilisateur (Algo. 5). Enfin, si seul un utilisateur est autour de la table nous passons dans la situation s_{seul} et proposons à celui-ci d'adapter son interface en fonction de sa situation relative à la table (Algo. 1).

Comme nous avons pu le constater avec l'algorithme (Algo. 2), lors du partage de l'espace de travail, il est nécessaire de "dégrader" l'espace de travail des utilisateurs présents (Algo. 3), de séparer l'espace en fonction du nombre d'utilisateur (Algo. 4) et enfin de créer les nouveaux espaces pour chaque utilisateurs présents autour de la table (Algo. 5) tout en gardant les préférences en terme d'affichage des utilisateurs déjà présents autour de la table.

Dans le cas de la dégradation de l'espace de travail (Algo. 3), nous récupérons l'utilisateur concerné (un numéro identifiant) ainsi que le nombre d'utilisateurs qui souhaitent travailler sur la table. Nous définissons le ratio de réduction en fonction du nombre d'utilisateurs (d'autres paramètres pouvant être pris en compte, mais non exposés dans nos travaux), et prenons la liste des objets virtuels utilisés par l'utilisateur concerné par la dégradation. Nous réduisons et redéfinissons ensuite la position de chaque objet virtuel. Les objets de l'utilisateur concerné ont alors une nouvelle forme (plus petite ou plus grande en fonction du ratio) et une nouvelle position.

Lors de la séparation de l'espace de travail (Algo. 4), nous récupérons le nombre d'utilisateurs et nous définissons le ratio de réduction. Nous proposons ensuite deux cas possibles

Algorithm 2 Règles d'adaptation de la plateforme selon le nombre d'utilisateurs en travail individuel

```
1. partagerEspaceTravail()
2. { //Au moins un utilisateur travaille déjà sur la table
3. //Table en attente
4. //A chaque carte ID détectée
5. if detection(CarteID) then
6.    $n \leftarrow NbCarteID$ ; //n reçoit le nombre de cartes d'identification posées sur la table
7. end if
8. //Si au moins deux utilisateurs sont maintenant présents autour de la table
9. if  $n > 1$  then
10.  {
11.   for  $i = 1$  to  $i \leq (n - 1)$  do
12.   {
13.     degraderEspace( $i, n$ ); //On dégrade l'espace de travail du (des) utilisateur(s) déjà présent(s)
14.   }
15.   end for
16.   separerEspace( $n$ ); //On sépare l'espace de travail selon le nombre d'utilisateurs présents
17.   creerEspace( $n$ ); //On crée autant d'espaces de travail que d'utilisateurs
18. }
19. else
20.   adapterPositionUtilisateur(); //Sinon on adapte l'interface en fonction de l'unique utilisateur
21. end if
22. }
```

Algorithm 3 Règle de dégradation d'un espace de travail appartenant un à utilisateur

```
1. degraderEspace(NumUtilisateur, NbUtilisateurs)
2. {
3.  $num \leftarrow NumUtilisateur$ ; //num reçoit le numéro de l'utilisateur
4.  $nb \leftarrow NbUtilisateurs$ ; //nb reçoit le nombre d'utilisateurs présents sur la table
5.  $ratio \leftarrow 1/num$ ; //on définit le ratio de réduction en fonction du nombre d'utilisateurs
6.  $objetsVirtuels[num]$ ; //on utilise une liste qui contient l'ensemble des objets virtuels de l'utilisateur concerné
7. //pour chaque objet de l'utilisateur concerné
8. for all  $objetV \in objetsVirtuels[num]$  do
9.  {
10.   reduire( $objetV, ratio$ ); //on réduit l'objet virtuel en fonction du ratio
11.   positionne( $objetV, ratio$ ); //on définit la nouvelle position de l'objet virtuel sur le nouvel espace de
      travail en fonction du ratio
12.  }
13. end for
14. }
```

de séparation : (1) soit les espaces de travail sont prédéfinis par le concepteur en fonction des dimensions de la table interactive et impose donc aux utilisateurs de se positionner

en fonction du pré-découpage de la table interactive ; (2) soit les espaces de travail sont calculés automatiquement en fonction des dimensions de la table interactive, de la situation des utilisateurs relative à la table, et du ratio en fonction du nombre d'utilisateur. Dans les deux cas, nous proposons de nouveaux espaces de travail individuels. Dans ce mémoire, nous proposons d'adapter la plateforme uniquement en fonction du premier cas, c'est-à-dire que les espaces de travail ont été prédéfinis à l'avance. Le deuxième cas de séparation n'a donc pas été traité et évalué, il fait cependant l'objet de perspectives de recherche (*cf.* 5.4).

Algorithm 4 Règle de séparation de l'espace de travail

```
1. séparerEspace(NbUtilisateurs)
2. {
3. nb ← NbUtilisateurs ; //nb reçoit le nombre d'utilisateurs présents sur la table
4. ratio ← 1/num ; //on définit le ratio de réduction en fonction du nombre d'utilisateurs
5. switch méthode d'adaptation
6. {
7. case zone prédéfinie : séparer en espaces prédéfinis ; break ;
8. case zone déterminée en fonction de la position des utilisateurs : séparer l'espace en
   fonction de la position des utilisateur et du ratio ; break ;
9. }
10. }
```

Enfin, lors de la création de l'espace de travail (Algo. 5), nous récupérons le nombre d'utilisateurs qui souhaitent travailler sur la table et nous prenons la liste des objets virtuels et tangibles utilisés. Nous affichons alors dans un premier temps l'espace de travail individuel de l'utilisateur concerné puis l'ensemble de ses objets virtuels qui ont été au préalable dégradés (réduits ou agrandis en fonction du ratio (*cf.* Algo. 3). Enfin si l'utilisateur utilise des objets tangibles, la table peut lui suggérer de les déplacer en lui indiquant chaque objet concerné par le déplacement (*cf.* Algo. 5) (nous proposons, par exemple, un message sonore et également un halo lumineux sous chaque objet tangible indiquant ainsi à l'utilisateur les objets à déplacer). Nous effectuons ces tâches pour l'ensemble des utilisateurs présents autour de la table interactive.

Ces différentes règles d'adaptation permettent de prendre en compte le contexte d'usage pour les tables interactives. Nous avons vu dans cette section, qu'un ensemble de règles (à intégrer dans le moteur d'adaptation) est nécessaire afin de mener à bien les adaptations. Bien sûr, de nombreuses autres règles peuvent être proposées afin d'adapter les tables interactives selon d'autres situations d'utilisation possibles des tables interactives. Afin de déterminer celles-ci, il serait possible de faire varier les différents critères proposés dans notre modélisation du contexte augmenté pour les tables interactives (Fig. 3.9). Cependant, nous proposons maintenant de mettre en application notre proposition dans le chapitre suivant et d'évaluer ces adaptations auprès d'utilisateurs dans le chapitre 5 afin de déterminer l'impact de l'adaptation des tables interactives au contexte d'usage.

Algorithm 5 Règle de création de l'espace de travail individuel

```
1. créerEspace(NbUtilisateurs)
2. {
3. nb ← NbUtilisateurs; //nb reçoit le nombre d'utilisateurs présents sur la table
4. objetsVirtuels[]; //on utilise une liste qui contient l'ensemble des objets virtuels
5. objetsTangibles[]; //on utilise une liste qui contient l'ensemble des objets tangibles
6. //pour chaque utilisateur déjà présent sur la table
7. for i = 1 to i ≤ (nb) do
8.   {
9.   afficherEspaceIndividuel(i); //on affiche l'espace de travail de l'utilisateur i
10.  //pour chaque objet de l'utilisateur concerné
11.  for all objetV ∈ objetsVirtuels[i] do
12.    {
13.    afficher(objetV); //on affiche ses objets virtuels (qui ont été dégradés auparavant)
14.    }
15.  end for
16.  for all objetT ∈ objetsTangibles[i] do
17.    {
18.    suggérerDéplacement(objetT); //on suggère à l'utilisateur concerné de déplacer ses objets tangibles
19.    //(e.g. halo lumineux sous l'objet)
20.    }
21.  end for
22.  }
23. end for
24. }
```

3.5 Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre de prendre en considération la notion de contexte 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 le contexte d'usage ou l'adaptation des tables interactives en fonction du travail effectué, des utilisateurs présents, d'un souhait de collaboration ou non, *etc.*

Nous avons proposé dans un premier temps de manière générique, une modélisation du contexte adaptée aux tables interactives en nous basant sur la définition du contexte proposé par Calvary *et al.* [31]. A partir de cette définition où le contexte est vu comme un triplet <Utilisateur, Plateforme, Environnement>, 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 dans un premier temps du contexte d'usage en nous basant sur les informations disponibles dans l'état de l'art puis dans un second temps, une modélisation du contexte d'usage augmenté pour les tables interactives. Chaque modélisation finale ayant été proposée et illustrée pas-à-pas en fonction des trois éléments composant le contexte.

Le contexte modélisé et adapté, nous avons proposé un ensemble de formalisations générales permettant de définir un contexte d'usage et une situation d'utilisation des tables interactives.

Nous avons ensuite proposé la définition de quatre situations d'utilisation particulières ($S_{attente}$, S_{seul} , $S_{collectif.EspaceIndividuel}$, $S_{collectif.EspaceCommun}$) en faisant varier un ensemble de critères proposés initialement dans notre modélisation du contexte adapté aux tables interactives (Fig. 3.9).

Ces définitions de situations nous ont ensuite amenées à proposer une architecture supportant l'adaptation des tables interactives au contexte d'usage. Pour cela, nous avons proposé d'utiliser les systèmes de capture (RFID, Caméra) déjà utilisés par les tables interactives afin de capturer les informations du contexte pour ensuite les interpréter et les inclure à un ensemble de règles d'adaptation.

Nous avons donc, en nous basant sur les situations d'utilisation définies précédemment, proposé un ensemble de règles d'adaptation (algorithmes en pseudo-code) permettant de prendre en considération le contexte d'usage et d'adapter les plateformes que sont les tables interactives à ce contexte.

Alors que nous avons proposé une modélisation du contexte augmenté à l'utilisation des tables interactives, une étude des contextes de manière générique, un moteur d'adaptation et un ensemble de règles, nous proposons dans le chapitre suivant de mettre en application notre proposition et de travailler en utilisant la table interactive *TangiSense*, support de nos recherches. De ce fait, les adaptations au contexte d'usage seront proposées dans le cas de l'utilisation de cette même table interactive. Nous proposerons ensuite dans le dernier chapitre d'établir un ensemble d'évaluations de ces applications afin de déterminer l'impact de nos recherches sur l'utilisation des tables interactives et de la prise en considération du contexte d'usage pour ces nouvelles plateformes d'interactions.

Chapitre 4

Prise en considération du contexte : mise en application sur table interactive

4.1 Introduction

Nous proposons dans ce chapitre de mettre en application notre proposition présentée dans le chapitre précédent. Pour cela, nous proposons d'utiliser la table interactive *TangiSense*, support de nos recherches qui, grâce à la technologie RFID, permet d'interagir avec des objets tangibles mais également virtuels. Nous proposons dans un premier temps de présenter la table interactive issue du projet ANR TTT (2007-2010), dans le prolongement duquel nos recherches se sont situées. Nous présenterons donc rapidement le projet puis la table interactive *TangiSense* aussi bien dans ses aspects techniques que logiciels.

Nous poursuivons ce chapitre avec la présentation de notre moteur d'adaptation. Nous présenterons alors nos choix technologiques directement liés à la structure logicielle du projet TTT et nous présenterons alors l'utilisation d'un Système Multi-Agents comme moteur d'adaptation.

Le reste de ce chapitre se consacre à la présentation de deux applications de nos recherches mettant en application la table interactive *TangiSense* de deux manières différentes :

1. Nous présentons premièrement notre application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* lié 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 pour l'éducation des enfants. Nous poursuivons avec la présentation puis la conception des objets tangibles liés à cette application. Nous terminons cette section avec le développement de l'application, la présentation d'autres applications liés à l'éducation, et enfin une conclusion.
2. Nous présentons dans un second temps une mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage, présenté dans le chapitre 3, sur l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*. Nous présenterons alors l'intégration

des règles et l'utilisation de notre moteur d'adaptation. Nous poursuivons avec la prise en considération du contexte d'usage en faisant varier les critères proposés dans notre modèle du contexte. Nous présentons donc la prise en considération des utilisateurs autour de la table interactive, puis le développement des situations d'utilisations que nous avons proposées dans le chapitre 3. Nous terminons cette section avec une conclusion.

Finalement, nous terminons ce chapitre avec une conclusion générale.

4.2 La table interactive *TangiSense*

4.2.1 Présentation du projet ANR TTT

Le projet ANR TTT (Table d'interaction avec des objets Tangibles et Traçables) propose une vision alternative dans l'utilisation d'objets tangibles sur une table interactive. Il consistait à réaliser les logiciels d'une table interactive (devant également être conçue durant le projet) munie de la technologie RFID pour la manipulation d'objets tangibles. Quatre partenaires étaient impliqués dans le projet TTT : deux laboratoires, (le LIG²⁰, coordinateur du projet et le LAMIH²¹), le CEA²² et la société RFIdées²³. Le rôle du LAMIH et du LIG dans ce projet était d'étudier et de développer une couche applicative [99, 98] permettant le suivi de la manipulation d'objets tangibles sur cette table (figure 4.1(a) et 4.1(b)). Pour cela, une nouvelle technologie a été développée par la société RFIdées utilisant des tags RFID collés sous des objets.

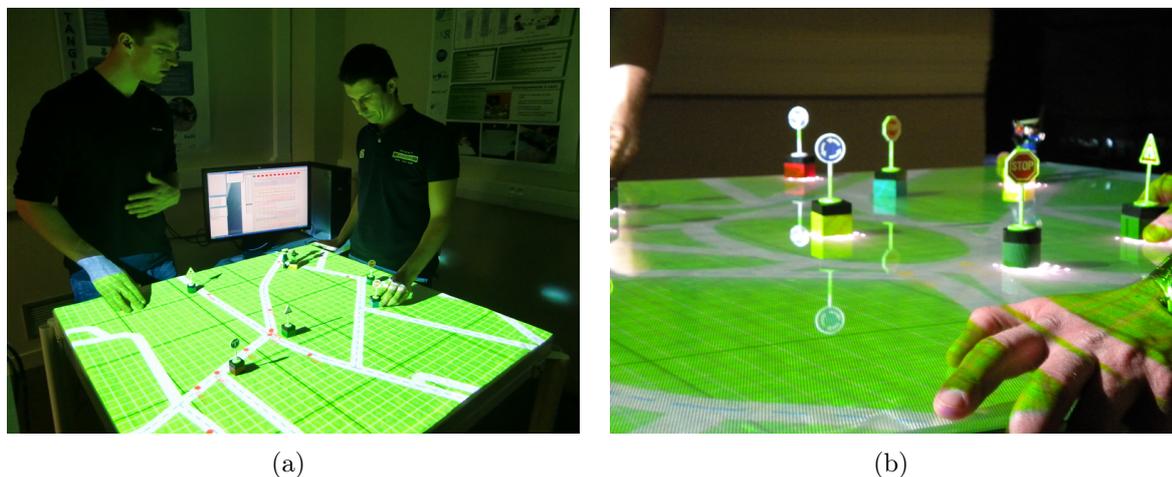


FIGURE 4.1 – Utilisation de la table *TangiSense* pour la gestion de trafic routier de manière collaborative, avec un ensemble d'objets

20. www.liglab.fr

21. www.univ-valenciennes.fr/LAMIH

22. www.cea.fr

23. www.rfidees.fr

4.2.2 Description de la table interactive

La figure 4.1(a) montre la table interactive *TangiSense*. La table est composée de "dalles" (Fig. 4.2) contenant chacune 64 antennes (8 x 8) de 2,5 cm de côté sur une surface de 1m*1m. Ce principe de dalles ne restreint pas la taille de la table ; en ajoutant (ou enlevant) des dalles, il est possible d'augmenter (ou de diminuer) la surface de la table ; la plus petite surface étant la dalle elle-même. Chaque dalle contient son processeur DSP (Digital Signal Processor)²⁴ 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. Chaque antenne possède également des diodes LED. Ces diodes permettent un retour visuel, certes de faible résolution, mais permettant d'augmenter les interactions possibles. Il est également possible de vidéoprojeter au-dessus de la table, augmentant ainsi la résolution et les possibilités. Le temps de réponse obtenu grâce à la communication Ethernet et la lecture RFID offre des performances de vitesse très prometteuses à ce jour.

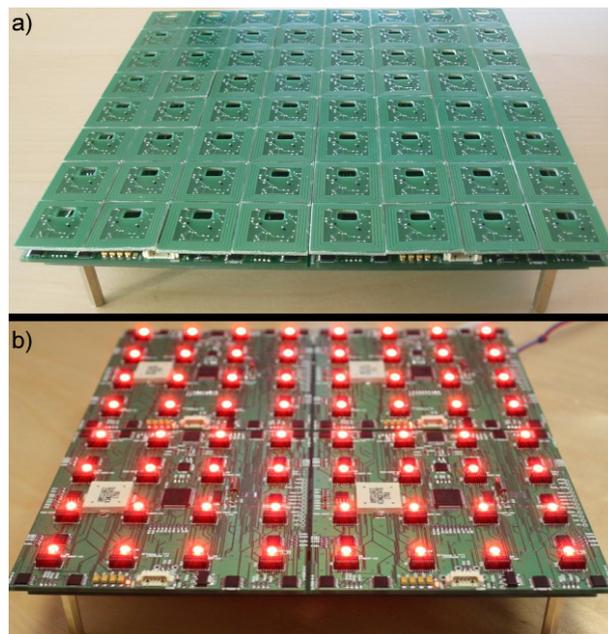


FIGURE 4.2 – Dalle avec 8x8 antennes RFID et LED (en (a) éteintes, en (b) allumées)

Le déplacement simultané d'un pavé de 64 étiquettes RFID est détecté en moins d'une seconde, impliquant une détection possible de plus de 60 objets en mouvement par seconde. La capacité à faire cohabiter des antennes RFID très proches sans interaction est également nouvelle d'un point de vue technologique. Enfin, les algorithmes enfouis dans les dalles offrent des stratégies de recherche, d'agrégation et d'échange entre les étiquettes

²⁴. Un DSP (Digital Signal Processor) est un microprocesseur optimisé pour les calculs. Son application principale est le traitement numérique du signal (filtrage, extraction de signaux, *etc.*).

RFID. La table est opérationnelle et en constante évolution sur le plan hardware.

4.2.3 Description des objets

Comme précisé auparavant, les objets utilisés sur la table *TangiSense* peuvent être virtuels ou tangibles, c'est-à-dire physiquement accessibles et manipulables par l'utilisateur (Fig. 4.3).

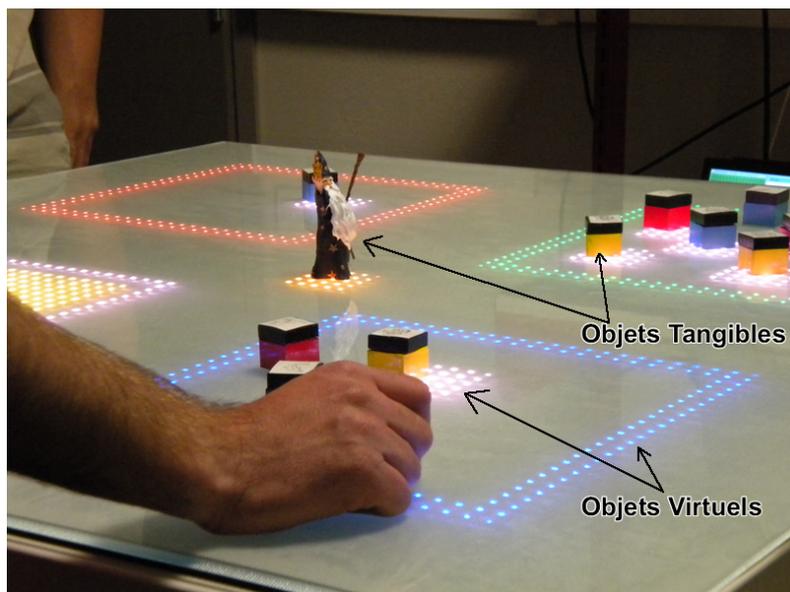


FIGURE 4.3 – Présentation d'objets tangibles et virtuels sur *TangiSense*

Rappelons que nous appelons objets virtuels des objets visuels projetés sur la table. Pour cela deux technologies sont possibles sur la table *TangiSense* : l'utilisation d'un ensemble de LED placé en surface de la table et/ou l'utilisation d'un vidéo projecteur placé au-dessus de celle-ci. Ces objets virtuels peuvent être manipulés par l'utilisateur grâce à un gant muni de puces RFID permettant de suivre les mouvements de la main de l'utilisateur [99] ou avec un objet tangible servant d'interacteur. 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). On peut donc détecter qu'un objet est caché sous un autre plus grand, déterminer sa position ou son contenu si nécessaire grâce au stockage d'informations dans les tags RFID (ce qui n'était pas possible avec un système basé sur la vision même si la détection d'objets empilés est concevable [92]). 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.

4.2.4 Présentation de l'architecture

D'un point de vue logiciel, le projet a adopté une architecture [98, 99] comprenant différentes couches (Fig. 4.4) (citées dans l'ordre du plus bas au plus haut niveau) :

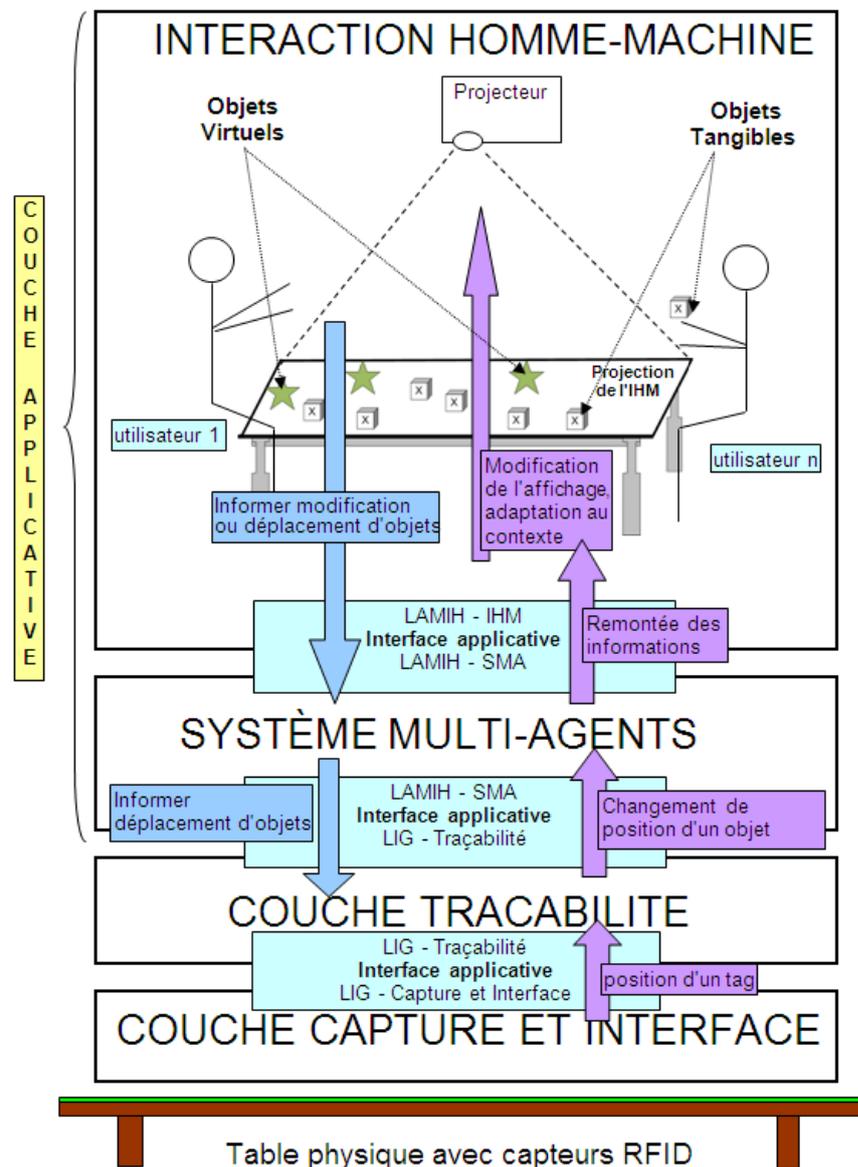


FIGURE 4.4 – Architecture logicielle de la table interactive *TangiSense* [98, 99]

- la couche *Capture et Interface* détecte des objets tangibles munis chacun de 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) qui amène une puissance de calcul et de raisonnement. Le SMA de la table interactive *TangiSense* a été développé avec la plateforme multi-agents Jade [10, 9] ; il gère le comportement des objets tangibles manipulés par les utilisateurs ainsi que les objets virtuels (objets vidéo-projetés) qui sont utilisés durant l'utilisation de la table. A chaque objet tangible et/ou virtuel est associé un agent [105]. Les informations provenant des lecteurs RFID sont transmises par le middleware (couches *Capture & 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 [1]. 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) qui se charge de communiquer avec les utilisateurs et qui permet de transmettre les informations liées aux interactions des utilisateurs aux autres couches plus basses (*e.g.* 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 (avec les LED ou grâce à la vidéoprojection) ou encore les diverses interactions sonores adaptées aux applications.

Le fonctionnement global des couches est illustré par le scénario de détection d'un objet tangible par la figure 4.5.

Ce scénario montre les échanges d'information et les appels de méthodes engendrés par la pose d'un objet tangible sur la table. La méthode "adapteIHM" n'est pas détaillée ici. Elle vise dans cet exemple à préciser que c'est la couche IHM qui va proposer les interfaces à afficher. La méthode "adapteIHM" proposée dans ce scénario peut cependant être assimilée à l'ensemble des règles d'adaptation proposé dans le chapitre 3, §3.4.3. Dans ce scénario, l'IHM choisit de créer un objet virtuel sous l'objet tangible (il est alors associé à celui-ci). L'information est ensuite transmise aux couches inférieures : SMA et couche Traçabilité.

Notre travail se focalise sur la couche IHM dans laquelle nous exploitons la technologie RFID [100] pour proposer des adaptations aux changements de contexte. Toutefois, nous proposons dans la section suivante de présenter notre moteur d'adaptation reposant sur le Système Multi-Agents.

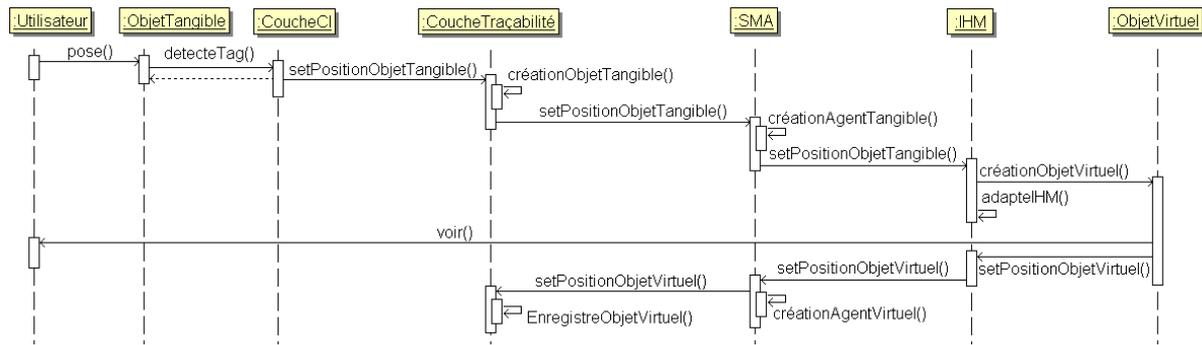


FIGURE 4.5 – Modèle de séquence montrant les échanges engendrés entre les couches suite à la détection d'un objet tangible et la création d'un objet virtuel associé [97]

4.3 Moteur d'adaptation au contexte d'usage

Afin de permettre les adaptations de la plateforme (dans notre cas, la table interactive *TangiSense*) en fonction du contexte d'usage ou des situations d'utilisation, un moteur d'adaptation est nécessaire (Fig. 3.14). La particularité de la table *TangiSense* qui possède dans sa structure logicielle un Système Multi-Agents nous invite donc à utiliser celui-ci comme moteur d'adaptation. L'idée est ici d'utiliser le Système Multi-Agents afin de permettre les diverses adaptations, l'avantage étant que le système pourra évoluer selon les préférences et utilisations des utilisateurs voire anticiper ensuite sur leurs préférences, choix, *etc.* Notons cependant que notre proposition ne repose pas sur le développement d'un Système Multi-Agents²⁵ qui n'est d'ailleurs pas notre domaine de recherche qui est l'IHM, celui des SMA étant lié à l'Intelligence Artificielle. Nous proposons cependant de clarifier de manière relativement simplifiée ce qu'est un Système Multi-Agents dans l'annexe A. Le Système Multi-Agents de la table interactive *TangiSense* se compose toutefois de fonctionnalités (services) pouvant être utilisées par la couche Interaction Homme-Machine (Fig. 4.4).

Nous proposons donc d'utiliser les services offerts par le Système Multi-Agents afin de concevoir notre moteur d'adaptation au contexte d'usage et y intégrer ensuite les règles d'adaptation proposées dans le chapitre 3, §3.4.3.

4.3.1 Choix technologique lié au projet TTT

Nous avons vu plus haut dans ce chapitre (§4.2.4) que le Système Multi-Agents était en charge de chaque objet (tangible ou virtuel) affiché ou posé sur la table interactive *TangiSense*. D'une manière générale, lorsqu'un objet virtuel est affiché (LED ou vidéoprojection) sur la table, un agent dit *virtuel* est automatiquement créé et associé à cet objet virtuel. De la même manière, lors de la pose d'un objet tangible sur la table *TangiSense*, un agent dit *tangible* sera créé et associé à l'objet tangible. Notons qu'il est également possible d'associer un agent/objet virtuel à un objet tangible. Dans ce cas deux agents (un agent virtuel et un agent tangible) sont en charge d'un seul et même objet tangible.

25. La thèse de Yoann Lebrun est en lien avec le développement de celui-ci [105]

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 voire le comportement 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.

Nous proposons de modéliser un exemple d'utilisation de la table interactive (et du Système Multi-Agents associé) issu d'une application développée et fonctionnelle (que nous présenterons plus loin dans ce chapitre) avec la Figure 4.6. Nous respectons sur la figure 4.6 la définition d'un Système Multi-Agents proposé en annexe A et nous l'appliquons à notre situation d'utilisation d'un système Multi-Agents pour la table interactive *TangiSense*.

Sur la Figure 4.6, quatre objets/ agents virtuels sont modélisés par des cadres de couleur (un cadre rouge, un jaune, un vert et un bleu).

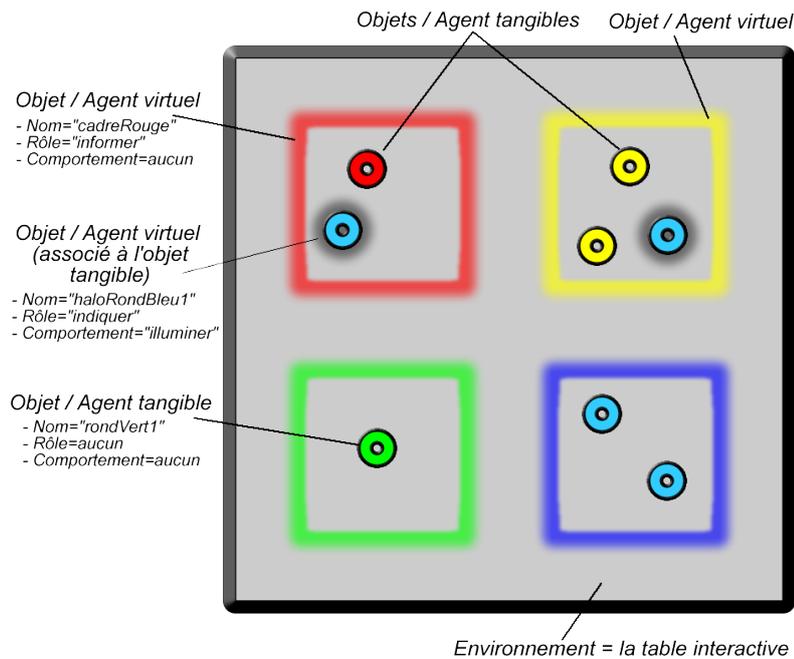


FIGURE 4.6 – Modélisation d'une application sur la table interactive *TangiSense*, mêlant objets virtuels et tangibles et les agents associés aux objets

Chaque agent associé aux objets cadres possèdent les mêmes rôles; c'est-à-dire que chaque cadre a le rôle d'informer les agents/objets situés dans le cadre, de leur bonne (ou mauvaise) situation. Nous avons également modélisé huit objets/agents tangibles (ronds de couleur) qui eux, ne possèdent pas de rôle ou de comportement particulier. Notons cependant que chaque objet tangible est associé à un objet/agent virtuel en-dessous de l'objet tangible représentant un halo lumineux. Le rôle de cet objet/agent virtuel est d'indiquer à (ou aux) utilisateurs si une erreur a été commise (*e.g.* un objet tangible bleu

placé dans le cadre rouge). Dans ce cas, l'agent virtuel responsable du cadre rouge informe l'agent en charge de l'objet tangible bleu qu'il est mal placé, le comportement de l'objet/agent virtuel associé à l'objet tangible est alors de s'illuminer afin d'indiquer à (ou aux) utilisateur(s) leur(s) erreur(s).

Le Système Multi-Agents de la table interactive *TangiSense* utilise également un agent particulier appelé *Génie*. Cet agent *Génie* est capable de répondre à toutes les questions des agents (virtuels/tangibles) sur la position des objets/agents, de leurs rôles, de leurs comportements, *etc.* Cet agent *Génie* est le point central du SMA et est au sommet de la hiérarchie des agents (*cf.* annexe A) ; les agents de l'application interagissent avec lui pour signaler ou modifier leur position. C'est grâce à cet agent *Génie* que nous allons pouvoir communiquer avec les agents responsables des objets tangibles et/ou virtuels. C'est également au travers de cet agent que nous allons pouvoir définir des règles d'adaptation et permettre ainsi une prise en charge du contexte et surtout une adaptation au contexte d'usage avec, par exemple dans un environnement collectif, la mise à disposition d'un espace commun ou d'un espace individuel selon le choix des utilisateurs de la table.

4.3.2 Principe adopté : conception d'un moteur d'adaptation via un Système Multi-Agents

Afin d'utiliser le Système Multi-Agents comme moteur d'adaptation, il est indispensable d'intégrer au préalable les règles d'adaptation dans celui-ci. Nous utilisons pour cela le *Génie* du SMA qui possède une vision complète de l'ensemble des objets/agents à la fois tangibles et virtuels de la table interactive. Au même titre que tous les autres agents de la table interactive, le *Génie* possède également des rôles et/ou des comportements. C'est donc au niveau des rôles du *Génie* que seront implémentés les services permettant de prendre en considération le contexte d'usage et par conséquent d'adapter l'interface de la table interactive aux diverses situations d'utilisation.

L'agent *Génie* étant en effet "responsable" des autres agents de la table interactive ; c'est donc via cet agent *Génie* que nous allons définir notre adaptation au contexte d'usage. Le *Génie* se chargera alors de respecter les règles d'adaptations proposées et informera les autres agents qu'ils doivent, par exemple, se déplacer ou se réduire (pour les agents virtuels) ou s'illuminer afin d'indiquer à (aux) utilisateur(s) qu'il(s) doit(vent) déplacer leurs objets tangibles puisque ceux-ci empiètent, par exemple, sur l'espace individuel du nouvel utilisateur qui souhaite travailler sur la table interactive.

La figure 4.7 modélise notre moteur d'adaptation au sein de la couche applicative de table interactive *TangiSense*. Le moteur d'adaptation se constitue donc du Système Multi-Agents composé lui-même du *Génie* et des agents responsables des objets virtuels et/ou tangibles. Les règles d'adaptation étant définies (*cf.* chapitre 3, §3.4.3), nous allons transmettre les règles d'adaptation directement au *Génie*. Le génie appliquera alors les règles d'adaptation grâce aux différents services définis dans ses rôles. Les services proposés peuvent alors être de différents types liés aux agents virtuels (se déplacer, se réduire,

s'illuminer, etc.) ou liés aux agents tangibles (indiquer à l'utilisateur, informer les autres agents, etc.). Les agents en charge des différents objets (virtuels ou tangibles), appliquerons alors les ordres du Génie afin de rendre l'interface de la table adaptable au contexte d'usage en fonction des règles d'adaptation proposées.

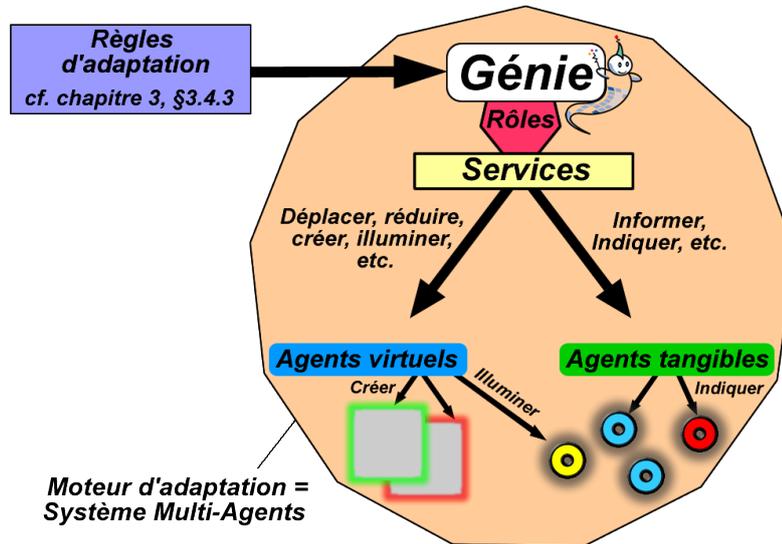


FIGURE 4.7 – Modélisation du moteur d'adaptation composé du Système Multi-Agents intégrant les règles d'adaptation

Prenons en exemple les règles d'adaptation de la plateforme selon le nombre d'utilisateurs en travail individuel (chapitre 3, Algo. 2). Lors de cette adaptation, il est nécessaire de dégrader l'espace de travail (chapitre 3, Algo. 3). Cette dégradation va influencer sur les objets virtuels de l'utilisateur en les réduisant par exemple si d'autres utilisateurs souhaitent s'ajouter à la table interactive.

Afin de permettre la réduction des objets, nous devons définir et utiliser un ensemble de services définis dans les rôles de l'agent *Génie*.

La figure 4.8 montre une page-écran de la classe JAVA gérant les rôles de l'agent *Génie* (*GeniusRole.java*), c'est dans cette classe qu'est défini l'ensemble des services que nous allons utiliser dans les diverses applications afin d'adapter l'interface de la table interactive au contexte d'usage. L'ensemble des services défini dans les rôles de l'agent *Génie* représente notre moteur d'adaptation. Notons que l'intégralité du moteur d'adaptation (uniquement les services du Système Multi-Agents) représente environ 400 lignes de code. Rappelons également que les Systèmes Multi-Agents ne sont pas notre domaine de recherche et que la prise en compte du contexte pour les tables interactives réside donc dans l'utilisation de ces services pour nos applications et non dans la conception d'un Système Multi-Agents.

Notre moteur d'adaptation étant décrit, nous proposons maintenant de présenter l'utilisation du Système Multi-Agents dans le développement (utilisation des services du SMA) de nos applications. Nous proposons dans un premier temps l'utilisation du SMA dans ces principes de bases (comportements, rôles) pour la gestion des objets tangibles et virtuels. Dans un second temps nous proposerons l'utilisation des SMA pour les diverses situations d'adaptation proposées dans le chapitre 3, §3.3.2 et associées aux règles d'adaptation en mettant l'accent sur les divers critères de notre modélisation du contexte d'usage augmentée pour les tables interactives afin de rendre la table interactive *TangiSense* adaptable au contexte d'usage.

4.3.3 Conclusion sur le moteur d'adaptation

Comme nous avons pu le définir dans le chapitre 3, §3.4, afin d'adapter les tables interactives au contexte d'usage, il est nécessaire de prévoir un système d'adaptation. L'architecture que nous avons proposée (Fig. 3.14) repose sur un ensemble d'éléments (*e.g.* table, capteurs, *etc.*), dont le moteur d'adaptation qui va contenir les règles et permettre à la table de prendre en compte les situations d'utilisation.

Au vu de la structure logicielle de la table interactive *TangiSense*, support de nos recherches, nous avons choisi d'utiliser le Système Multi-Agents comme moteur d'adaptation et sa particularité d'avoir un agent *Génie* afin de lui attribuer les différentes règles proposées (cf. §3.4.3). L'agent *Génie* se chargera alors, lors des modifications de contexte, de transmettre les informations liées à nos règles aux autres agents qui s'adapteront en fonction de celles-ci (réduction des objets virtuels, déplacement, *etc.*).

Nous proposons dans la section suivante de présenter l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*. L'application proposée a été spécialement développée pour notre table et utilise les différents services proposés par le Système Multi-Agents (création d'agents, communication entre agents, *etc.*). Nous proposons dans un premier temps de présenter l'application de manière générale ainsi que les motivations qui nous ont poussés à concevoir celle-ci. Nous présentons ensuite la conception et la réalisation de l'application puis, en fin de section, nous présentons d'autres applications utilisées et développées pour *TangiSense*. Cette présentation nous permettra ensuite de mettre en application notre proposition d'adaptation de la table *TangiSense* au contexte d'usage sur cette même application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* tout en utilisant le SMA comme moteur d'adaptation.

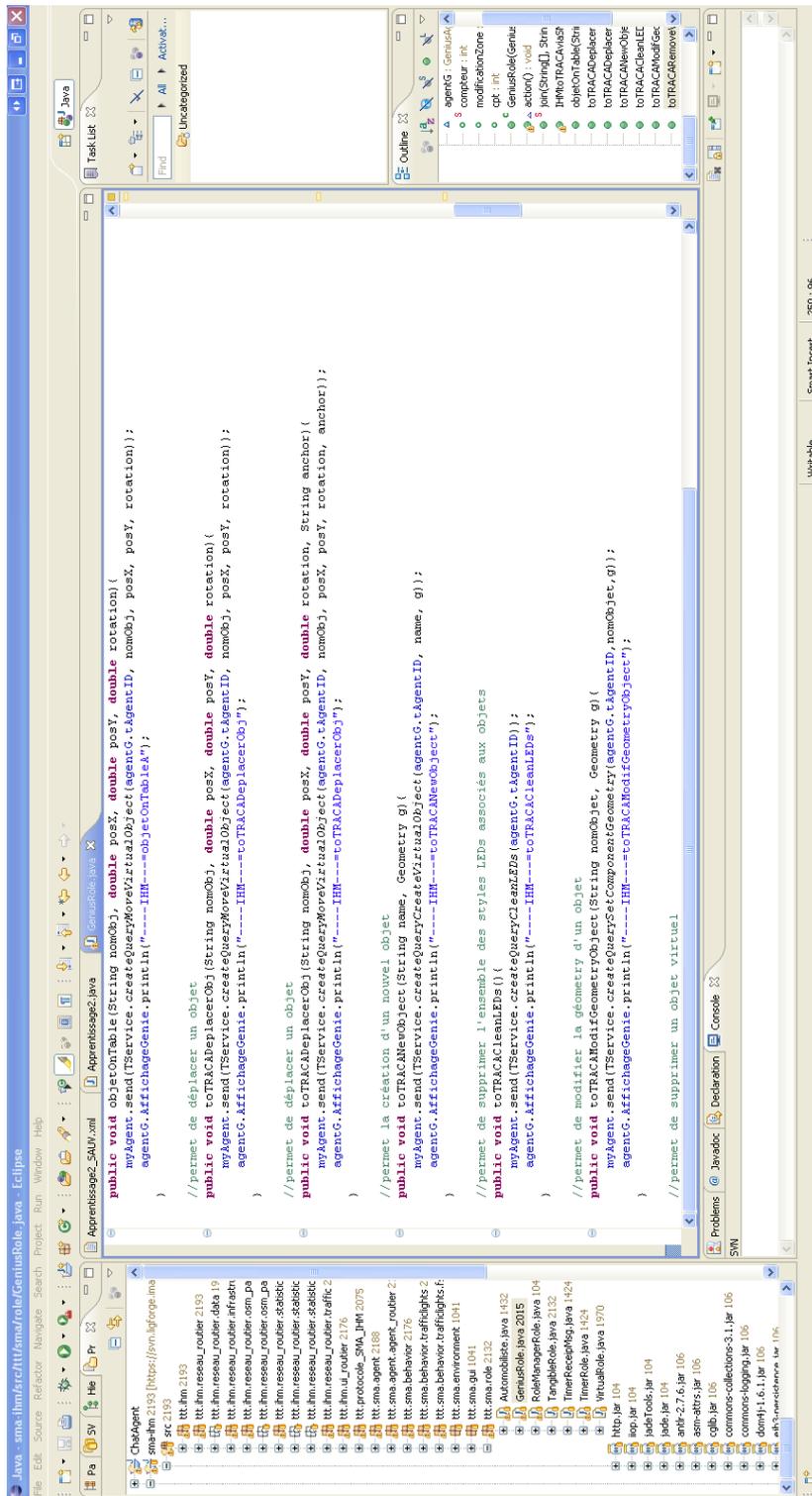


FIGURE 4.8 – Page-écran de la classe JAVA gérant les rôles du *Genie* du SMA et intégrant l'ensemble des services définissant notre moteur d'adaptation et permettant l'adaptation de la table interactive *TangisSense* au contexte d'usage

4.4 Présentation de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* pour la table interactive *TangiSense*

L'application développée part du constat que les ordinateurs sont maintenant de plus en plus utilisés dans les écoles. En France par exemple, certaines écoles dites "pupitres" permettent une éducation scolaire en utilisant un ordinateur pour chaque enfant [115]. Nous pensons que les tables interactives pourraient s'intégrer dans le domaine de l'éducation scolaire [173, 174], permettant aux jeunes enfants de travailler de manière ludique soit individuellement soit collectivement, et dans ce dernier cas de leur donner la possibilité de collaborer. Les élèves pourraient travailler en même temps autour de la table, manipuler des objets sous la supervision de leur enseignant (également présent autour de la table).

C'est en nous basant sur cette idée que nous avons développé une application sur la table interactive *TangiSense*, liée à l'éducation des enfants. Nous avons 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 ; en complément de la feuille de papier et de la colle (Fig. 4.9).

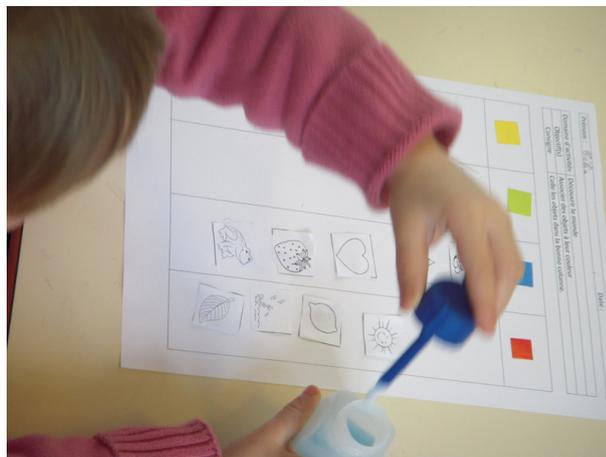


FIGURE 4.9 – Utilisation du papier, de la colle et des gommettes colorées pour l'apprentissage des couleurs en école maternelle

Nous proposons dans cette section de présenter la conception et la réalisation de notre application appelée *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* pour la table interactive *TangiSense*. Cette application permet de mettre en évidence l'ensemble des éléments dont nous avons parlé tout au long de ce mémoire comme la prise en charge d'objets virtuels ou tangibles (table à interface mixte, *cf.* chapitre 2, §2.3), l'apport de ces deux technologies (*cf.* chapitre 2, §2.3.2), l'utilisation de la RFID comme système de capture (*cf.* chapitre 1, §1.3.2 et §1.5.2) ou l'utilisation d'un Système Multi-Agents pour la gestion des objets (*cf.* ce chapitre, §4.2.4).

4.4.1 Présentation générale

Avec cette application pour la table interactive *TangiSense*, nous proposons une application permettant la reconnaissance et l'apprentissage des couleurs aux enfants (de 2 à 6 ans selon la difficulté). Le scénario est basé sur le programme d'enseignement dans les écoles maternelles françaises. Nous avons 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. 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 approprié (*e.g.* 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 viendra poser sur la table. La table lance alors la procédure de vérification, et annonce à l'enfant les éventuelles erreurs ou bonnes réponses. Le professeur des écoles quant à lui obtient les résultats de chaque enfant (feuille de résultats individuelle) lui permettant de connaître rapidement les difficultés des enfants et d'adapter ses enseignements en fonction des difficultés des enfants.

4.4.2 Présentation et conception des objets

L'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* utilisant majoritairement des objets tangibles, il était nécessaire de concevoir l'intégralité des objets utiles à l'application. Nous avons dans un premier temps demandé au professeur des écoles de nous fournir un ensemble d'images avec lesquelles il avait l'habitude de travailler pour faire apprendre les couleurs aux enfants. Notons que nous avons, avec le professeur des écoles, choisis de travailler uniquement les couleurs rouge, vert, bleu et jaune qui sont les couleurs pouvant être enseignées aussi bien en petite, moyenne ou grande section d'école maternelle, les scénarii d'apprentissage étant toutefois généralement différents selon le niveau (section) des enfants.

La liste des images utilisées et choisies par le professeur des écoles est visible sur la figure 4.10. Chaque couleur (bleu, jaune, rouge, vert) est donc représentée par huit images, l'objectif étant de proposer huit objets de chaque couleur à faire replacer par le (ou les) enfant(s). Remarquons cependant la difficulté de déterminer huit objets différents en noir et blanc représentatifs d'une unique couleur, d'où parfois des objets ou figures pouvant soulever l'ambiguïté mais généralement bien connus des enfants (*e.g.* l'âne Bourriquet).

Les images étant définies, nous avons choisi de concevoir nos propres objets pour cette application. Nous avons pour cela choisi d'utiliser de petits cubes en bois, pouvant facilement être manipulés par les enfants; notons que la découverte des objets, de la matière ou des formes sont également au programme de l'école maternelle française²⁶. Chaque objet possède un corps que nous avons peint permettant d'attribuer un cube (une

26. http://www.education.gouv.fr/bo/2008/hs3/programme_maternelle.htm

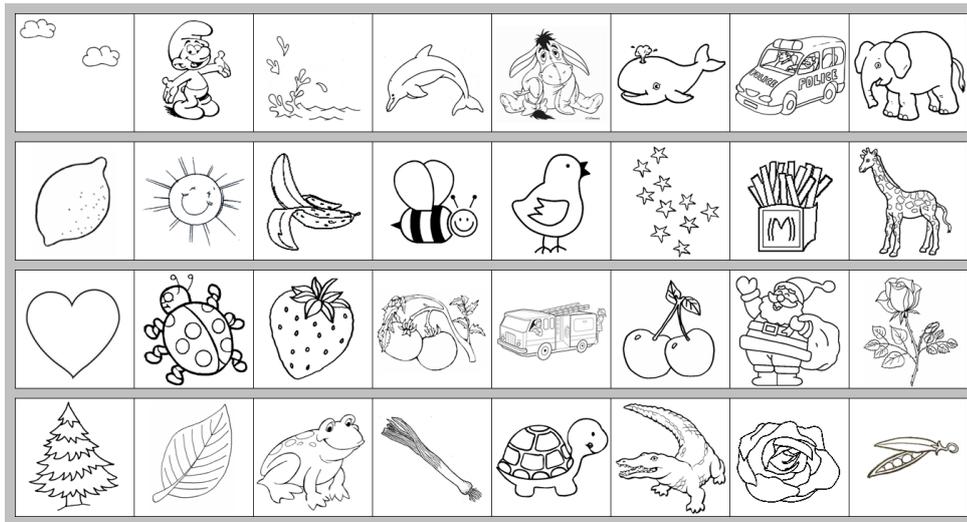
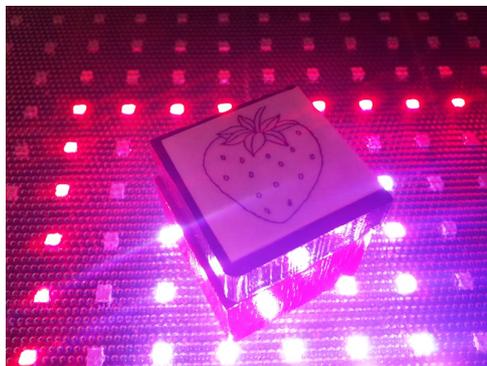


FIGURE 4.10 – Liste des images proposées par le professeur des écoles et représentatives de la couleur bleu, jaune, rouge et verte

couleur) à un enfant ²⁷, et un "chapeau" noir contenant l'image à déterminer et à replacer dans le cadre de la bonne couleur. La figure 4.11 montre un exemple de deux objets spécialement conçus pour l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* et adaptés aux enfants de classe maternelle. Notons que ces objets peuvent être considérés comme *passifs* puisqu'ils n'ont pas de rôle particulier et ne déclenchent, par exemple, aucune action de la table.



(a) Un objet *Fraise* à replacer dans le cadre rouge



(b) Un objet *Poussin* à replacer dans le cadre jaune

FIGURE 4.11 – Exemple de deux objets conçus pour l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*

Enfin, l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* utilise un objet particulier appelé *magicien*. Cet objet, *a contrario* des objets "ayant perdu leur couleur",

²⁷. Notons que ce choix s'est révélé être une erreur relative. Une évaluation en situation réelle (*cf.* chapitre 5, §5.3) a permis de montrer que la couleur du cube pouvait induire en erreur quelques enfants relativement à l'objectif de l'application, les couleurs des cubes étant les mêmes que les couleurs à retrouver

peut être considéré comme *actif*. En effet, lors de la pose de l'objet *magicien* sur la table interactive *TangiSense*, celui-ci lance la procédure de vérification parcourant ainsi chaque objet posé par l'enfant et lui indiquant éventuellement ses erreurs (Fig. 4.12). Cet objet possède un rôle très important. Il était en effet possible de donner en "temps réel" le résultat de l'enfant en fonction de la pose de ses objets (*e.g.* l'enfant pose un soleil (jaune) dans le cadre rouge, la table lui indique immédiatement (*e.g.* halo rouge et retour sonore) qu'il a mal placé son objet). Le problème avec cette méthode de travail est que l'enfant peut ne pas se focaliser sur l'objectif de la tâche (*i.e.* définir l'objet, retrouver sa couleur d'origine puis le placer dans le cadre approprié) mais uniquement sur l'objectif d'obtenir la bonne réponse. Il posera alors son objet sans réfléchir dans chaque cadre jusqu'à obtenir la bonne réponse souhaitée. C'est pourquoi nous avons proposé d'utiliser un personnage (*magicien*), permettant de mettre l'enfant en situation de réflexion avant la correction. Le professeur peut alors poser des questions à l'enfant, comme par exemple "Es-tu certain d'avoir terminé? Tu es d'accord pour que l'on pose le magicien et qu'il vérifie?", l'invitant éventuellement à revoir ses choix avant même la pose du *magicien*.

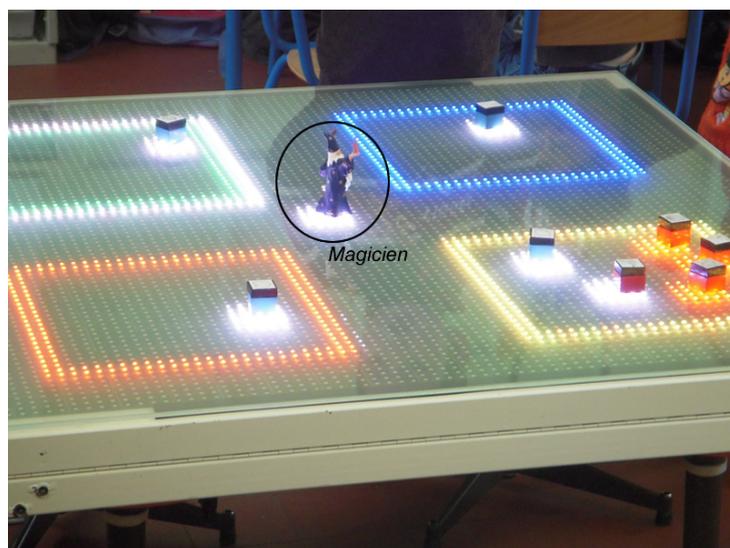


FIGURE 4.12 – Procédure de vérification du choix des enfants suite à la pose du magicien sur la table interactive

4.4.3 Développement de l'application

Le développement de l'application, au même titre que la structure logicielle de la table interactive *TangiSense*, a été effectué en JAVA. La classe JAVA représentant l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* se compose d'environ 4500 lignes de code. Celle-ci contient l'ensemble des procédures permettant le fonctionnement de l'application mais également les procédures permettant la génération des fiches individuelles contenant les résultats des enfants. Notons cependant que pour la bonne exécution de l'application, celle-ci dépend de nombreuses autres classes permettant par exemple la gestion des objets tangibles et/ou virtuels (environ 800 lignes), l'initialisation ou le lancement de l'appli-

cation (environ 300 lignes), ou encore la communication avec le Système Multi-Agents (environ 250 lignes). Notons également que l'ensemble des objets virtuels et tangibles sont définis dans des fichiers XML et que la représentation de l'intégralité des objets de cette application représente environ 500 lignes de code XML. Nous pouvons considérer d'une manière générale qu'une application telle que *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* représente environ 8000 lignes de code uniquement d'un point de vue conception pour la partie Interaction Homme-Machine. Bien évidemment, l'application utilise l'ensemble des autres couches du projet qui possèdent leurs propres classes.

Notons que l'objectif principal de cette application n'est pas de décrire notre proposition d'adaptation au contexte d'usage que nous présenterons dans la section suivante mais plutôt les principes évoqués principalement dans les chapitres 1 et 2. Cependant, il est important de noter que même si l'application telle que présentée ici ne propose pas d'adaptations au contexte, celle-ci a été prévue pour des situations d'utilisation *S_{collectif.EspaceCommun}* (cf. chapitre 3,§3.3.2).

4.4.4 Fiche individuelle de résultats

Lors de l'utilisation de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*, chaque déplacement d'objet effectué par les élèves est enregistré afin d'établir une feuille de résultats (1 par élève) directement exploitable par le professeur des écoles. Notons que pour cela, qu'un groupe d'objets doit être attribué à un seul enfant (*e.g.* Bob devra travailler avec huit objets à replacer dans les cadres de la bonne couleur). Lors du lancement de l'application, nous avons donc prévu une invite de commande permettant de saisir le nom et le prénom des enfants et les objets avec lesquels ils vont travailler. Notons qu'une fois la liste des enfants saisie, un fichier par enfant est créé et qu'il n'est plus nécessaire de ressaisir le nom de chaque enfant. Seul l'éventuelle attribution des objets est à modifier. Lors de l'utilisation de l'application par les enfants, chaque fichier personnel est incrémenté contenant ainsi l'évolution du travail de chaque enfant. La figure 4.13 représente une page écran du résultat d'un enfant. La feuille de résultats contient le nom et le prénom de l'enfant, la date du jour, l'heure de début et de fin de l'exercice, puis l'ensemble des placements d'objets effectués par l'enfant regroupé par couleur et par difficulté. Les résultats (*e.g.* objets correctement ou mal placés, pourcentage d'erreur par couleur) sont visibles au bout de chaque ligne. Enfin des totaux permettent de définir rapidement le niveau de l'enfant, invitant ainsi le professeur à travailler par exemple une couleur particulière si l'enfant a des difficultés avec celle-ci.

4.4.5 Autres applications basées sur l'*Apprentissage et la reconnaissance des couleurs* et liées à l'éducation

D'autres applications liées à l'éducation ont pu être proposées et développées sur la table interactive *TangiSense*. Au même titre que l'apprentissage des couleurs, l'apprentissage des chiffres et des nombres est également au programme des écoles maternelles. Nous avons donc proposé différentes applications afin de permettre aux enfants d'apprendre les chiffres et les nombres grâce à une table interactive et ses objets tangibles associés.

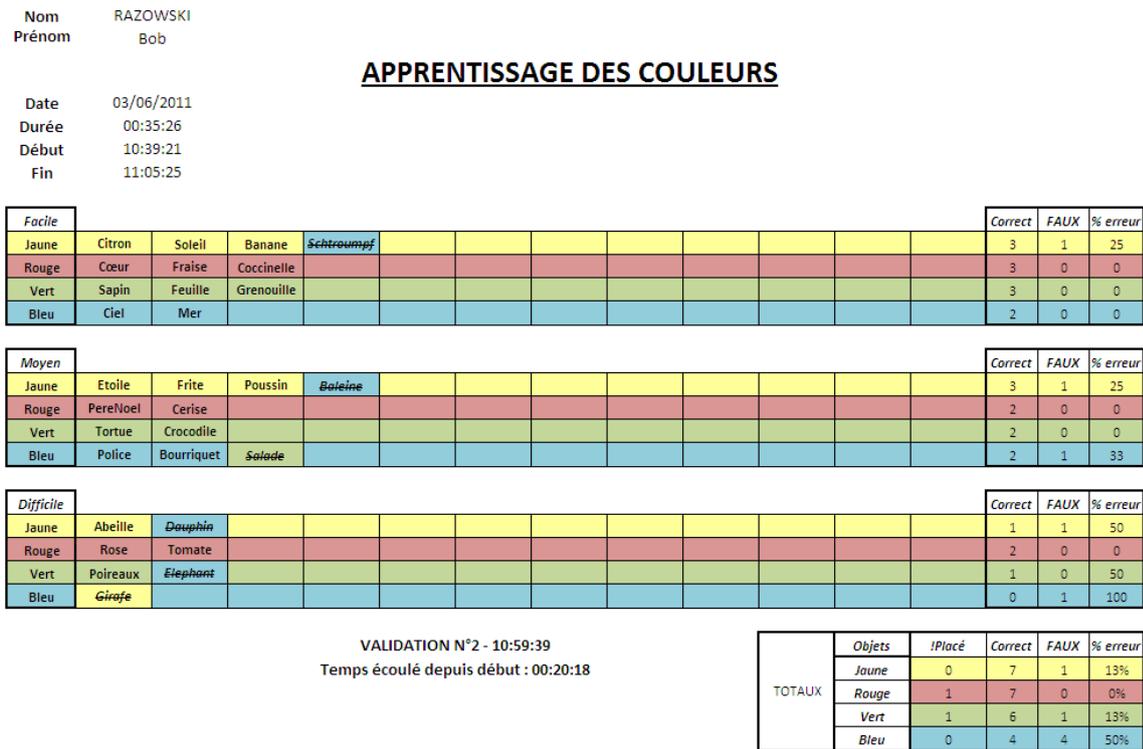


FIGURE 4.13 – Page-écran d’une feuille de résultats d’un enfant suite à l’utilisation de l’application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*, à destination du professeur des écoles. L’ensemble des objets ont été ici utilisés.

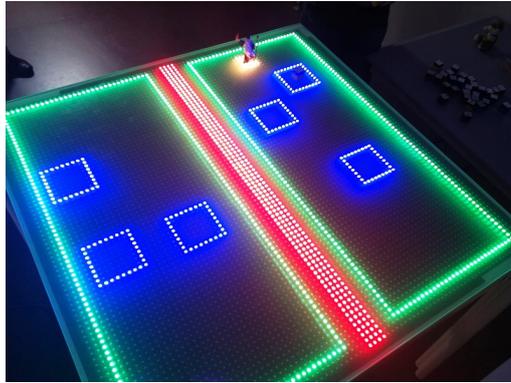
Plusieurs scénarii ont été proposés par le professeur des écoles permettant par exemple le comptage et le dénombrement ou le complément d’ensembles. Les quatre scénarii principaux (les autres scénarii étant des variantes de ceux proposés) sont représentés avec la figure 4.14.

La figure 4.14(a) révèle l’application de *complément d’ensemble*. Dans cette application, deux ensembles sont affichés possédant chacun un des éléments représentés par des objets/formes virtuels, l’objectif de l’exercice est de compléter la plus petite des deux collections avec des objets tangibles afin que les 2 ensembles contiennent la même collection d’objets (*e.g.* trois objets virtuels sont affichés dans l’ensemble 1, seulement deux objets virtuels sont affichés dans l’ensemble 2, il faut donc compléter l’ensemble 2 avec un objet tangible).

La figure 4.14(b) montre l’application de *partage d’objets*. Dans cette application un nombre d’objets tangibles (calculé au préalable par l’enseignant) est posé sur la table, l’objectif est de partager les objets tangibles de manière à ce que chaque collection soit identique (*e.g.* vingt-et-un objets tangibles sont à placer équitablement dans sept zones virtuelles).

La figure 4.14(c) expose l’application d’*invariance*. Ici, des chiffres virtuels sont affichés, l’objectif étant de venir placer autant d’objets tangibles que le chiffre représenté dans chaque case (*e.g.* placer trois objets tangibles dans la case 3). Notons que cette application possède également une version permettant d’afficher les chiffres sur la table de manière

aléatoire, pouvant rendre l'exercice plus difficile.



(a) Complément d'ensemble : deux ensembles sont affichés, l'objectif est de compléter la plus petite collection avec des objets tangibles afin que les 2 ensembles contiennent la même collection d'objets

(b) Partage : des objets (nb prédéfini) sont posés sur la table, l'objectif est de partager les objets de manière à ce que chaque collection soit identique



(c) Invariance : des chiffres sont affichés sur la table, l'objectif est de venir placer autant d'objets que le chiffre représenté dans chaque case

(d) Décomposition : des formes sont affichées sur la table, l'objectif est de venir placer autant d'objets que le nombre de formes représenté dans chaque case

FIGURE 4.14 – Différentes applications liées à l'apprentissage des chiffres et des nombres sur la table interactive *TangiSense*

Finalement, la figure 4.14(d) représente l'application de *décomposition*. Dans cette application, les chiffres ont été remplacés par un ensemble d'objets/formes virtuels. L'exercice consiste donc à venir placer autant d'objets tangibles²⁸ que le nombre de formes représenté dans chaque case (*e.g.* placer deux objets tangibles dans la case représentant deux objets virtuels); cette application permet également d'afficher les cases de manière aléatoire.

28. Remarque : chaque application peut être utilisée d'une manière différente. En effet, il est possible plutôt que d'utiliser un *nombre d'objets* tangibles, utiliser des objets tangibles représentant le nombre en question (*e.g.* un objet représentant le chiffre 3). Les exercices sont alors différents puisqu'il ne faut plus compter le nombre d'objets mais savoir déterminer dans un lot quel est le chiffre (l'objet) à placer.

Notons que nous ne détaillerons pas ces applications dans ce mémoire, deux rapports de stage d'étudiants que nous avons encadrés et ayant travaillé sur ce projet étant disponibles [39, 116].

4.4.6 Conclusion

Le développement et la conception d'applications telle que l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* a permis de mettre en évidence l'ensemble des éléments que nous avons pu présenter dans ce mémoire. Les tables interactives peuvent actuellement être utilisées dans de nombreux domaines (*cf.* chapitre 1 §1.5.4). Nous avons choisi, avec l'aide de professeurs des écoles de travailler sur le domaine de l'éducation et plus particulièrement l'éducation des enfants en écoles maternelles où les formes, les objets, les chiffres et les nombres sont au programme de l'éducation nationale. Les tables interactives à interface mixte (*cf.* chapitre 2 §2.3) comme la table *TangiSense* sont donc particulièrement adaptées pour permettre ce genre d'apprentissage grâce à leurs objets virtuels et/ou tangibles. Nous avons donc présenté dans cette section la réalisation, sur le plan de la conception et du développement, d'une application permettant l'apprentissage et la reconnaissance des couleurs pour les enfants de classe maternelle. Après avoir exposé de manière générale l'application et nos motivations, nous avons décrit les objets tangibles liée à l'application ainsi que leur conception. Nous avons ensuite présenté le développement de l'application puis les autres applications développées et liées à l'éducation des enfants.

Nous proposons dans la section suivante de mettre en application notre proposition d'adaptation des tables interactives au contexte d'usage. Pour cela, nous avons utilisé l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* présentée ci-dessus. Notre objectif est de permettre à l'application (interface de la table) de s'adapter en fonction des situations d'utilisation de la table interactive que nous avons proposées dans le chapitre 3 §3.3.2.

4.5 Mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage

Nous proposons dans cette section d'utiliser l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* afin de la rendre adaptable au contexte d'usage. Notons que l'application peut cependant être vue de manière générique, dans la mesure où elle est constituée d'éléments de base réutilisables dans différentes applications sur la table interactive *TangiSense*. En effet, les concepts d'espace de travail, de séparation de l'espace de travail, d'objets passifs (ne déclenchant pas d'action particulière ; par exemple, pouvant être classés), ou d'objets actifs (de vérification ou calcul) peuvent être exploités quelle que soit l'application. C'est donc sur cette application potentiellement générique que nous avons appliqué les différentes règles d'adaptation (chapitre 3, §3.4.3) et avons fait varier les critères de notre modélisation du contexte proposés (chapitre 3, §3.9). Remarquons que

l'**activité** liée à l'utilisateur et à la plateforme de notre modélisation du contexte d'usage est donc ici l'*Apprentissage et la reconnaissance des couleurs*.

Nous proposons de présenter dans un premier temps l'utilisation du moteur d'adaptation à base d'agents ainsi que l'intégration des règles d'adaptation. Nous décrivons ensuite les diverses situations d'adaptation que nous avons développées en utilisant les divers critères de notre modélisation du contexte d'usage que nous avons fait varier. Nous terminons cette section avec une conclusion sur la mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage.

4.5.1 Utilisation du moteur d'adaptation à base d'agents et intégration des règles d'adaptation

Comme nous l'avons vu plus haut dans ce chapitre (§4.3), nous utilisons le Système Multi-Agents (SMA) présent dans la structure logicielle de la table interactive *TangiSense* comme moteur d'adaptation. Le SMA de la table interactive *TangiSense* grâce à son agent *Génie*, nous permet de prendre en compte le contexte d'usage. Nous proposons dans cette section de présenter l'intégration de nos règles d'adaptation dans le SMA ainsi que l'utilisation des services de celui-ci pour l'adaptation de la table interactive *TangiSense* au contexte d'usage.

4.5.2 Prise en compte des utilisateurs

Nous avons proposé dans le chapitre 3, §3.3.2, quatre situations d'utilisation d'une table interactive. Les quatre situations proposées ($S_{attente}$, S_{seul} , $S_{collectif.EspaceIndividuel}$, $S_{collectif.EspaceCommun}$) reposent dans un premier temps sur le nombre d'utilisateurs présents autour de la table. Nous pouvons en effet remarquer, grâce aux définitions de ces situations qu'un des critères de notre modélisation du contexte d'usage que nous avons fait varier est la **cardinalité** côté utilisateur. Nous nous focalisons donc ici sur ce critère (Fig. 4.15). Rappelons que pour la situation $S_{attente}$ aucun utilisateur n'est présent autour de la table, que dans la situation S_{seul} un seul utilisateur travaille sur la table et que dans les situations $S_{collectif.EspaceIndividuel}$, $S_{collectif.EspaceCommun}$ au moins deux utilisateurs sont présents autour de la table.

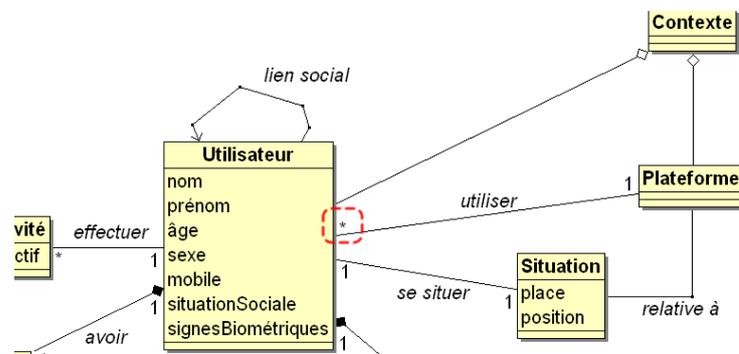


FIGURE 4.15 – Prise en compte de la cardinalité côté utilisateur de notre modélisation du contexte

Afin de prendre en compte les différents utilisateurs de la table interactive *TangiSense*, nous avons choisi d'utiliser des cartes d'identification. Nous avons donc implémenté l'utilisation de carte d'identification dans la couche logicielle de la table interactive. Nous avons pour cela défini au préalable des objets tangibles *carteID* permettant d'identifier les utilisateurs potentiels de la table interactive (Fig. 4.16). Chaque carte d'identification est donc composée d'au moins un (plusieurs si on souhaite utiliser la rotation de la carte) tag RFID, permettant de distinguer de manière unique les utilisateurs, collé au centre de la carte (notons que d'un point de vue logiciel la position (0,0) représente le centre de l'objet).

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <!-- définition d'un objet tangible carteID_User1 -->
3 <object name="carteID_User1" unit="cm">
4     <!-- L'objet tangible possède une unique face -->
5     <!-- (la pose recto ou verso n'influe en rien) -->
6     <side>
7         <!-- Au centre de l'objet (0,0) on colle un tag RFID -->
8         <!-- L'identifiant (SID) est 74ABEB24000007E0 -->
9             <point x="0" y="0" tag="74ABEB24000007E0" />
10    </side>
11 </object>

```

FIGURE 4.16 – Définition XML d'une carte d'identification (carteID)

Lors de la pose d'une carte d'identification sur la table interactive *TangiSense* étant en situation $S_{attente}$, celle-ci détermine donc l'utilisateur et lance l'application avec laquelle il a choisi de travailler (ici, l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*) (Fig. 4.17). L'utilisateur peut alors commencer à utiliser la table interactive et travailler avec ses objets tangibles et/ou virtuels selon l'application. Lorsque l'utilisateur décide de ne plus travailler et de fermer l'application, il enlève alors sa carte de la table qui repasse automatiquement en situation d'attente $S_{attente}$.

L'utilisation de ces cartes d'identification va nous permettre de mettre en application les différentes règles d'adaptations que nous avons pu proposer. Nous proposons maintenant de présenter le développement de ces situations d'utilisation.

4.5.3 Développement et prise en compte des situations d'utilisation

Nous venons de présenter la prise en considération des utilisateurs de la table interactive *TangiSense* grâce à l'implémentation de cartes d'identification. Ces dernières permettent à la fois de déterminer les utilisateurs travaillant sur la table interactive mais également de connaître le nombre d'utilisateurs autour de celle-ci. Nous proposons de présenter les développements permettant de prendre en considération les adaptations au contexte (et donc aux situations d'utilisation). Notons que la table interactive *TangiSense* mesure 1m de côté. Nous estimons afin que les utilisateurs puissent travailler dans

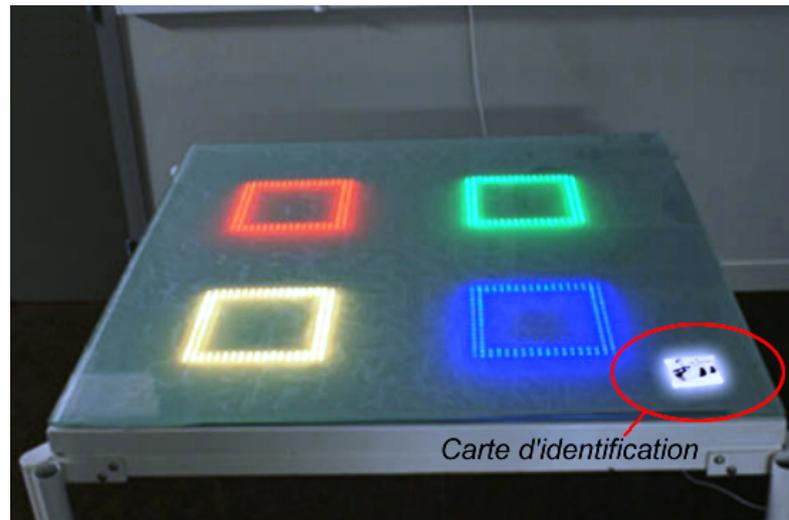


FIGURE 4.17 – Exemple d'utilisation d'une carte d'identification (carteID) sur la table interactive *TangiSense* pour l'identification des utilisateurs et le lancement des applications (ici dans la situation S_{seul})

de bonnes conditions (particulièrement dans le cas d'une situation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$), qu'il est nécessaire de définir au maximum quatre utilisateurs pouvant travailler sur notre table. Remarquons toutefois que la table interactive *TangiSense* étant composée de dalles munies d'antennes RFID (8x8 dalles), il serait évidemment possible d'augmenter le nombre d'utilisateurs en fonction des dimensions (plus grand nombre de dalles) de la table interactive.

Dans le cas de la situation S_{seul} (Fig. 4.17), une seule carte d'identification doit être posée sur la table interactive. L'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* affiche alors quatre cadres de couleur (vert, bleu, jaune, rouge) sur la totalité de la table, et l'utilisateur utilise le magicien (cf. §4.4.1) pour vérifier ses choix. Les critères de notre modèle du contexte que nous faisons varier sont donc uniquement liés à la **cardinalité** côté utilisateur qui est égale à 1 et à l'**environnement collectif** qui prend la valeur *false*. C'est donc sur ces deux critères que nous nous focalisons dans cette situation (Fig. 4.15 et 4.18).

Lors de la situation $S_{collectif.EspaceCommun}$, plusieurs cartes d'identification peuvent être posées sur la table interactive, cependant un utilisateur (e.g. utilisateur1) est considéré comme maître et gère l'adaptation de l'interface. C'est donc lui qui adapterait l'interface de la table interactive à l'aide de sa carte d'identification (cf. Chapitre 3, Algo 1). Notons cependant que l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* ne nécessite pas d'adaptation particulière liée à la position relative du (ou des) utilisateurs par rapport à la table. La situation $S_{collectif.EspaceCommun}$ consiste donc à ne pas découper l'espace de travail. Dans le cas de l'utilisation de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*, celle-ci affiche alors quatre zones sur la totalité de la table et il y a un seul objet vérificateur (magicien) pour l'ensemble des utilisateurs. Les utilisateurs se retrouvent alors

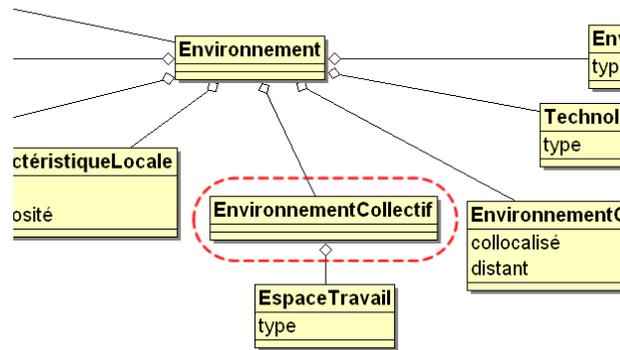


FIGURE 4.18 – Prise en compte du critère de l’environnement collectif et de l’espace de travail de notre modélisation du contexte

dans un environnement collaboratif collocalisé. Les critères de notre modèle du contexte que nous faisons varier sont donc liés à la **cardinalité** côté utilisateur qui devient *, à l’**environnement collectif** qui prend la valeur *true*, au type d’**espace de travail** qui devient de type *commun* mais également à l’**environnement collaboratif** qui devient *collocalisé*. Notons que c’est l’application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* qui amène le côté collaboratif puisque l’objectif est le même pour tous, dans le cas d’une situation sur espace commun. Soulevons également que nous ne traitons pas de l’aspect de collaboration dans ce mémoire mais qu’il est présent dans notre modélisation du contexte. C’est donc sur ces quatre critères que nous nous focalisons dans cette situation (Fig. 4.15 et 4.19).

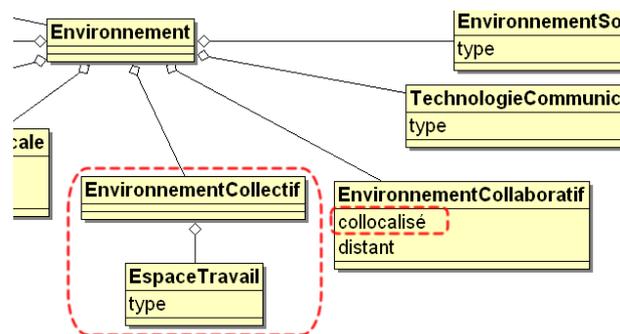


FIGURE 4.19 – Prise en compte du critère de l’environnement collectif, de l’espace de travail commun et de la collaboration collocalisée de notre modélisation du contexte

Enfin la situation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$ nécessite également plusieurs cartes d’identification posées sur la table interactive. Cette fois le nombre de cartes d’identification (et donc d’utilisateurs) influe sur l’interface de la table interactive. Dans le cas de l’application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* chaque utilisateur possède alors sa propre interface. L’espace de travail total de la table est alors découpé en fonction du nombre d’utilisateurs. Notons que nous avons choisi pour cela, d’imposer chaque emplacement et

donc de prédéfinir les espaces de travail. Chaque espace de travail est donc délimité par des lignes blanches virtuelles prédéfinies au préalable dans les fichiers XML contenant la définition des objets (Fig. 4.20).

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <!-- définition d'un objet virtuel LigneVerticale -->
3 <shape name="LigneVerticale" mode="convexhull" unit="cm">
4     <!-- L'objet (sa forme) est défini par quatre points -->
5     <point x="0" y="50" />
6     <point x="100" y="50" />
7     <point x="100" y="51" />
8     <point x="0" y="51" />
9 </shape>

```

FIGURE 4.20 – Extrait de la définition XML des lignes virtuelles séparant les espaces de travail des 4 utilisateurs potentiels de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*

La situation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$ consiste donc à découper l'espace de travail en deux, en trois ou en quatre selon le nombre d'utilisateurs. Les quatre cadres de couleur de l'application sont placés sur chaque zone de travail. Il y a un objet vérificateur (magicien) par espace de travail et donc par utilisateur. Dans cette situation, les critères de notre modèle du contexte que nous faisons varier sont donc liés à la **cardinalité** côté utilisateur qui devient $*$, à l'**environnement collectif** qui est égal à *true*, au type d'**espace de travail** qui devient *individuel*. Notons que dans cette situation de travail dans un espace individuel, le critère de collaboration n'est plus présent. Chaque utilisateur ayant chacun son propre objectif (chaque utilisateur peut d'ailleurs travailler sur une application différente dans son propre espace de travail). C'est donc sur ces trois critères que nous nous focalisons dans cette situation (Fig. 4.15 et 4.21).

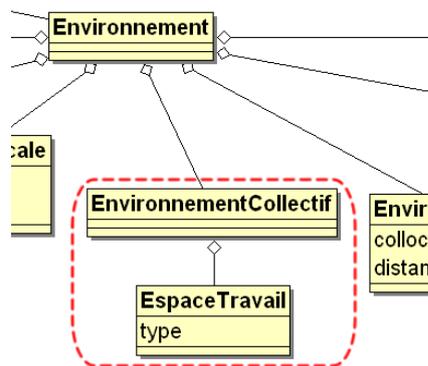


FIGURE 4.21 – Prise en compte du critère de l'environnement collectif et de l'espace de travail individuel de notre modélisation du contexte

Lors de l'utilisation de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* dans la situation d'utilisation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$, l'adaptation au contexte d'usage consiste

donc à réduire les objets (et donc l'espace de travail) des utilisateurs déjà présents si des utilisateurs se rajoutent. Les espaces de travail de chaque utilisateur sont alors créés (dans le cas de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*, chaque utilisateur possède une duplication de l'application originale qui va alors prendre en compte le nombre d'utilisateurs et se lancer dans l'espace de travail prédéfini). L'ensemble des objets virtuels de chaque utilisateur est alors affiché dans leur espace de travail. A l'inverse si des utilisateurs quittent la table, l'adaptation consiste à augmenter la taille des objets (et donc l'espace de travail) des utilisateurs restant sur la table interactive. L'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* prend en compte le nombre d'utilisateurs restant pour s'adapter et créer les espaces de travail. Cette adaptation utilise principalement notre algorithme de création d'espace de travail individuel proposé dans le chapitre 3, §5. Nous proposons de montrer l'adaptation de la table à cette situation avec la figure 4.23 qui représente un extrait de la prise en considération du nombre d'utilisateurs (grâce aux cartes d'identification) et de l'affichage des espaces de travail séparés par les lignes blanches virtuelles (LED).

Notons sur la figure 4.23, plus précisément dans le code JAVA, la présence d'une variable permettant d'adapter la table interactive en fonction du nombre d'utilisateurs de manière manuelle (sans la pose de carte d'identification). L'utilité de cette variable est de permettre lors de tests utilisateur, une fiabilité et une stabilité accrue de la table interactive. Le facteur "non détection de la carte" ne pouvant ainsi pas entrer en jeu lors, par exemple, d'évaluations. Ceci permet d'éviter les adaptations (agrandissements, réductions intempestives). Rappelons en effet que la table interactive *TangiSense* dans notre version reste à l'heure actuelle un prototype de recherche, celle-ci étant toutefois en constante évolution d'un point de vue matériel ou logiciel.

Nous proposons pour terminer, les quatre situations (espaces de travail) de la table interactive *TangiSense* illustrées en figure 4.22. Remarquons que sur cette figure, l'adaptation (création des espaces de travail individuels) s'est effectuée de manière manuelle (sans carte d'identification).

4.5.4 Conclusion sur la mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage

Nous avons présenté dans cette section la mise en application de notre proposition d'adaptation au contexte d'usage. Pour cela, nous avons utilisé la table interactive *TangiSense*, support de nos recherches, ainsi que l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* conçue et développée pour cette même table. Après avoir intégré nos règles d'adaptation dans le Système Multi-Agents, concevant ainsi notre moteur d'adaptation, nous avons pu prendre en compte le contexte d'usage pour l'application choisie. L'implémentation et l'utilisation de cartes d'identification RFID ont permis dans un premier temps de définir les utilisateurs potentiels de l'application ainsi que le nombre (cardinalité) d'utilisateurs présents autour de la table. C'est en utilisant ces cartes d'identification que nous avons choisi de permettre et de développer les adaptations de la table interactive

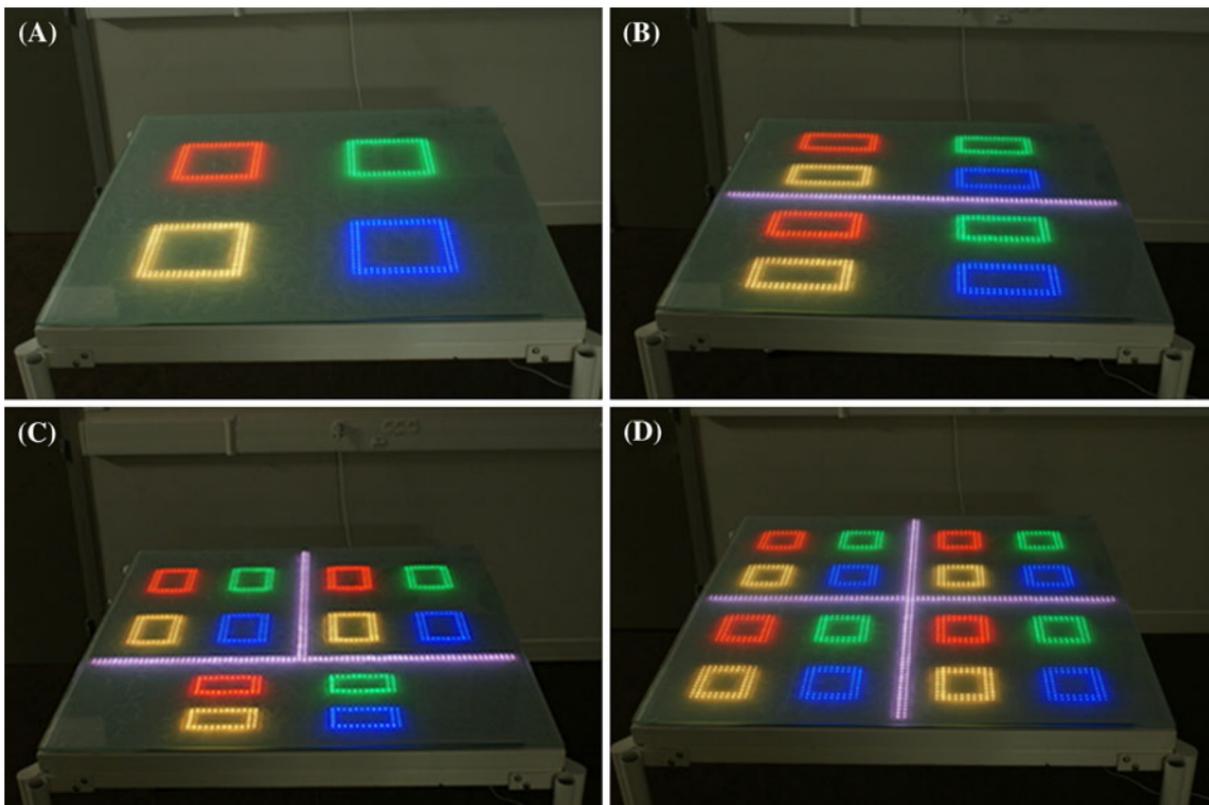


FIGURE 4.22 – Partage de l’espace de travail dans des situations : S_{seul} ou $S_{collectif.EspaceCommun}$ a), et des situation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$ b) c) et d)

TangiSense selon les situations d’utilisation que nous avons proposées en faisant varier différents critères de notre modélisation du contexte d’usage augmenté pour les tables interactives.

4.6 Conclusion

Après avoir présenté en détails en début de ce chapitre, la table interactive *TangiSense* support de nos recherches, nous avons décrit notre moteur d’adaptation au contexte d’usage en utilisant le Système Multi-Agents lié aux choix technologiques du projet ANR TTT.

Nous avons ensuite présenté dans un premier temps une application que nous avons développée pour la table interactive *TangiSense*. Cette application liée à l’éducation des enfants en écoles 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 d’objets virtuels ou tangibles (table à interface mixte, *cf.* chapitre 2, §2.3), l’apport de ces deux technologies (*cf.* chapitre 2, §2.3.2) ou l’utilisation de la RFID comme système de capture (*cf.* chapitre 1, §1.3.2 et §1.5.2).

Le seconde mise en application a visé à utiliser notre proposition d’adaptation au

contexte d'usage (chapitre 3) sur l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* décrite auparavant. Nous avons alors vu qu'il était possible après avoir correctement défini et implémenté les règles dans le moteur d'adaptation, de prendre en considération le contexte d'usage pour les tables interactives et d'adapter les interfaces de celles-ci en fonction des situations d'adaptation.

Le contexte d'usage étant pris en compte, il nous semble maintenant indispensable d'évaluer notre proposition. Nous proposons donc dans le chapitre suivant, d'établir deux évaluations différentes de nos mises en applications respectives. Nous proposerons dans un premier temps l'évaluation de l'adaptation au contexte d'usage de la table interactive dans un environnement de recherche (laboratoire) auprès d'adultes, puis nous irons en école maternelle afin d'évaluer notre application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* directement auprès d'enfants et de professeurs des écoles dans une situation d'environnement naturel.

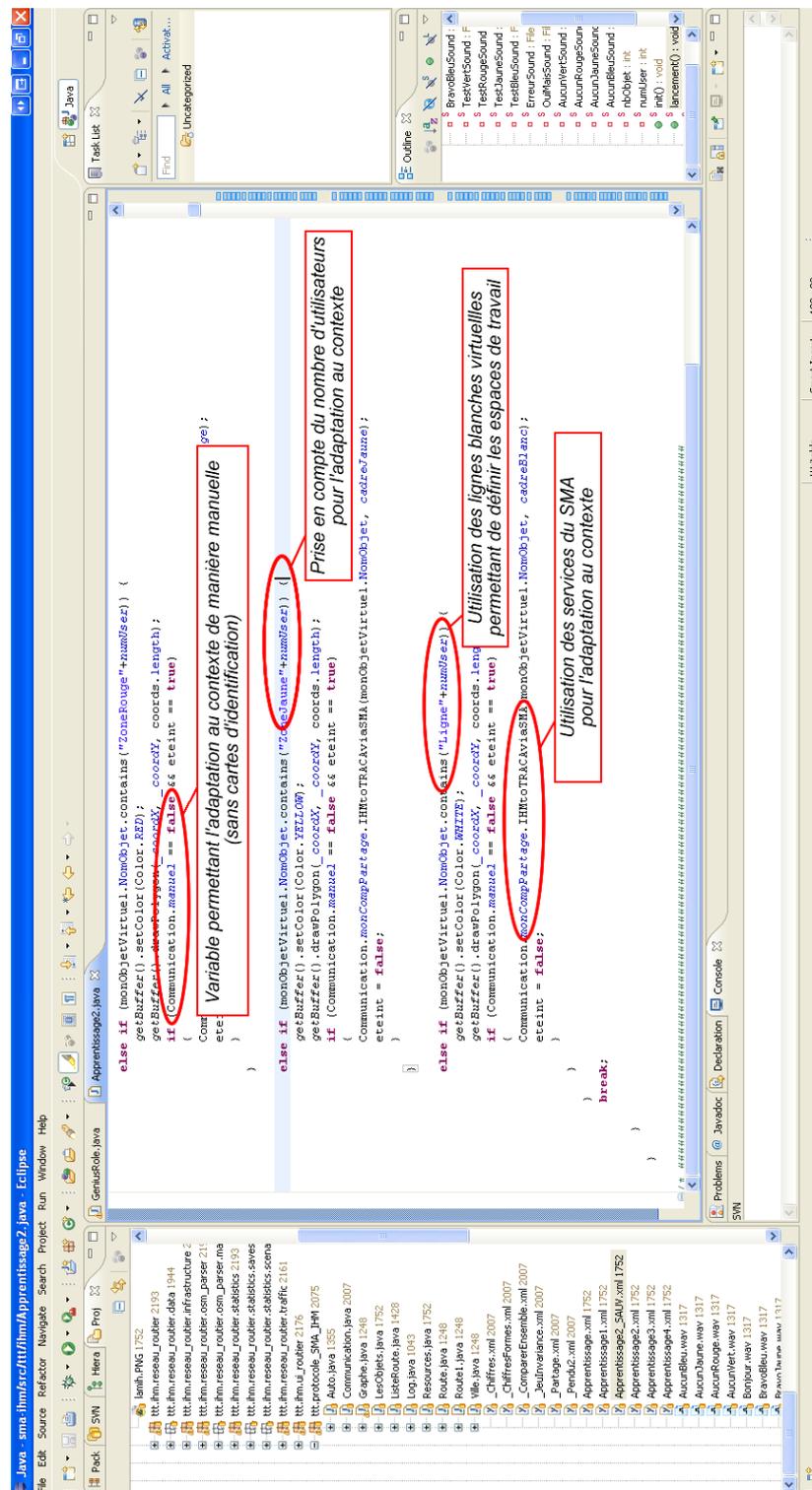


FIGURE 4.23 – Page-écran de la classe JAVA principale de l’application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*. Extrait de code de la prise en considération du nombre d’utilisateurs (grâce aux cartes d’identification) et de l’affichage des espaces de travail virtuels séparés par les lignes blanches.

Chapitre 5

Evaluations et perspectives de recherche

5.1 Introduction

Nous proposons dans ce chapitre de décrire deux évaluations mettant en application la table interactive *TangiSense* dans des contextes différents.

La première étude a visé à évaluer notre proposition d'adaptation des tables interactives au contexte d'usage sur l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* décrite dans le chapitre 4, §4.4. Notons que l'objectif de cette première étude n'est pas d'évaluer l'application en soi, mais bien d'évaluer l'adaptation de la table interactive selon les situations d'utilisation que nous avons pu proposer dans le chapitre 3, §3.3.2 et selon la mise en application proposée dans le chapitre 4, §4.5.

La seconde étude a visé à évaluer cette fois notre proposition d'application liée à l'éducation des enfants. Nous proposons d'évaluer l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* aussi bien d'un point de vue conception de l'application et des objets que d'un point de vue utilisation par opposition à l'utilisation classique du papier/colle/gommettes.

Dans les deux cas, nous présentons le protocole expérimental associé ainsi que le déroulement de l'expérimentation puis les résultats obtenus. Nous terminons chaque étude avec une analyse des résultats.

Finalement, nous terminons ce chapitre avec un ensemble de perspectives de recherche et une conclusion du chapitre.

5.2 Première évaluation menée en laboratoire, focalisée sur l'apport de règles d'adaptation

5.2.1 Introduction

Nous proposons dans cette section de décrire l'évaluation de notre proposition d'adaptation des tables interactives au contexte d'usage sur l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* dans un environnement de recherche en laboratoire [96]. Pour cette étude, il s'agit pour un à quatre utilisateurs se plaçant librement autour de la table, d'effectuer une tâche individuelle dans un contexte commun ou non (selon la situation). Cette tâche consiste à placer des objets dans des zones correspondantes (ayant un lien avec l'objet concerné). Rappelons que l'objectif de cette étude n'est pas d'évaluer la tâche, mais l'adaptation de la table interactive au contexte d'usage.

5.2.2 Protocole

Le protocole utilise les éléments suivants : (1) la table interactive *TangiSense* montrant quatre zones de couleur (bleu, rouge, vert, jaune); (2) un ensemble d'objets tangibles passifs (8 par sujet) à replacer dans la zone appropriée (quatre zones par zone de travail); (3) quatre objets tangibles actifs ayant le rôle de vérificateur (magicien de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*), un par utilisateur. (4) une caméra destinée à filmer la zone centrale de la table et capturant les réactions et dialogues des sujets (Fig. 5.1(a)); (5) un appareil photo fournissant une vue globale de la scène; (6) des questionnaires destinés aux sujets (Fig. 5.1(b)).



(a) Allumage de la caméra destinée à filmer la zone centrale de la table. Celle-ci étant positionnée dans le plafond n'a été perçue par aucun des sujets ne perturbant pas ainsi les évaluations



(b) Remplissage des questionnaires par les sujets

FIGURE 5.1 – Environnement en laboratoire de l'expérimentation

Sujets

Six groupes composés chacun de quatre adultes (24 sujets au total dont 13 Hommes et 11 Femmes) ont participé à cette étude. Leur moyenne d'âge est de 34,5 ans, l'ensemble des sujets ayant entre 22 et 56 ans. Rappelons que nous avons considéré qu'il pouvait y avoir jusqu'à quatre utilisateurs autour de la table *TanqiSense* dans la situation $S_{collectif.EspaceIndividuel}$ puisque la table a une surface de 1m x 1m. Avec plus de quatre utilisateurs, nous considérons que l'espace de travail alloué à chaque utilisateur serait trop petit pour utiliser cette application dans de bonnes conditions ergonomiques.

Différentiation entre "espace commun" et "espace individuel"

Pour chaque groupe, deux situations de passage ont été mises en oeuvre correspondantes aux situations $S_{collectif.EspaceIndividuel}$ and $S_{collectif.EspaceCommun}$, où la même tâche devait être exécutée. Chaque groupe est examiné dans les deux situations à environ 15 minutes d'intervalle, chacun commençant aléatoirement par l'une ou l'autre de ces situations.

5.2.3 Déroulement global pour l'ensemble des groupes

Dans un premier temps, nous avons effectué un contrôle méthodologique préalable impliquant huit personnes regroupées en deux groupes (G1 et G2). Ces sujets ont travaillé seuls (situation S_{seul}) sur la table. Ces groupes G1 et G2 correspondent donc à des groupes tests permettant de valider le protocole et ses éléments constitutifs. Ils permettent de mettre en évidence d'éventuelles erreurs de celui-ci, aussi bien dans son déroulement que relativement aux consignes données et questionnaires à remplir. Notons qu'aucun problème ni technique ni méthodologique majeur n'a été mis en évidence. Un seul problème mineur a été détecté et corrigé, concernant le remplissage des questionnaires ; en effet, une question jugée peu claire a dû être reformulée.

Pour le groupe G1, l'espace de travail a d'abord été configuré en espace commun ($S_{collectif.EspaceCommun}$) : celui-ci occupait la totalité de la table. Ensuite, il a été configuré en espace individuel ($S_{collectif.EspaceIndividuel}$) (découpé en quatre zones) ; la zone de travail occupait alors un quart de la surface totale de la table.

Les quatre sujets suivants (G2) ont suivi le même protocole mais en permutant les deux situations de passage (travail d'abord sur espace individuel ($S_{collectif.EspaceIndividuel}$), puis sur espace commun $S_{collectif.EspaceCommun}$).

Par la suite les quatre sujets de chaque groupe (G3, G4, G5 et G6) ne travaillaient plus seuls sur la table mais simultanément. Soit ils intègrent l'interaction sur la table (G3, G4), soit la quittent (G5 et G6), toujours de manière progressive (resp. dégressive). Les entrées et sorties des utilisateurs auraient pu se faire par la pose d'une carte identifiant pour chaque utilisateur. Même si cette fonction est implémentée, nous avons géré manuellement les entrées/sorties des utilisateurs (et donc le découpage en zone de travail) évitant durant l'évaluation les problèmes liées à la détection ou à la stabilité de cette carte mais également au prototype de la table.

A chaque arrivée d'un utilisateur, la table découpe l'espace total de la table en fonction

du nombre d'utilisateurs (*i.e.* espace individuel) ou non (*i.e.* espace commun). Chaque zone de travail contient quatre zones colorées ; un ensemble de huit objets à placer (ensemble à chaque fois différent) est donné à chaque sujet. La figure 5.2 résume l'ordre de passage des sujets (utilisateurs, avec U_a^b , a étant le numéro de l'utilisateur au sein du groupe b) et le contexte dans lequel ils se trouvent : (1) les parties foncées possédant une représentation de la table non découpée correspondent à la situation espace commun ($S_{collectif.EspaceCommun}$) (2) les parties claires possédant une représentation de la table découpée correspondent à la situation espace individuel ($S_{collectif.EspaceIndividuel}$).

Groupe		1 ^{ère} condition					2 ^{de} condition				
G1	Q1	U_1^1 □	U_2^1 □	U_3^1 □	U_4^1 □	Q2	U_1^1 ⊞	U_2^1 ⊞	U_3^1 ⊞	U_4^1 ⊞	Q2'+Q3
		S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}		S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}	
G2	Q1	U_1^2 ⊞	U_2^2 ⊞	U_3^2 ⊞	U_4^2 ⊞	Q2	U_1^2 □	U_2^2 □	U_3^2 □	U_4^2 □	Q2'+Q3
		S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}		S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}	S_{seul}	
G3	Q1	U_1^3 □	$U_1^3+U_2^3$ ⊞	$U_1^3+U_2^3$ ⊞	$U_1^3+U_2^3+U_3^3$ ⊞	Q2	U_4^3 □	$U_4^3+U_3^3$ □	$U_4^3+U_3^3$ ⊞	$U_4^3+U_3^3+U_2^3$ ⊞	Q2'+Q3
		S_{seul}	$S_{collectif.EspaceIndividuel}$				S_{seul}	$S_{collectif.EspaceCommun}$			
G4	Q1	U_1^4 □	$U_1^4+U_2^4$ □	$U_1^4+U_2^4$ ⊞	$U_1^4+U_2^4+U_3^4$ ⊞	Q2	U_4^4 □	$U_4^4+U_3^4$ ⊞	$U_4^4+U_3^4$ ⊞	$U_4^4+U_3^4+U_2^4$ ⊞	Q2'+Q3
		S_{seul}	$S_{collectif.EspaceCommun}$				S_{seul}	$S_{collectif.EspaceIndividuel}$			
G5	Q1	$U_1^5+U_2^5$ ⊞	$U_1^5+U_2^5$ ⊞	$U_1^5+U_2^5$ ⊞	U_1^5 □	Q2	$U_4^5+U_3^5$ ⊞	$U_4^5+U_3^5$ ⊞	$U_4^5+U_3^5$ ⊞	U_4^5 □	Q2'+Q3
		$S_{collectif.EspaceIndividuel}$			S_{seul}		$S_{collectif.EspaceCommun}$			S_{seul}	
G6	Q1	$U_1^6+U_2^6$ ⊞	$U_1^6+U_2^6$ ⊞	$U_1^6+U_2^6$ ⊞	U_1^6 □	Q2	$U_4^6+U_3^6$ ⊞	$U_4^6+U_3^6$ ⊞	$U_4^6+U_3^6$ ⊞	U_4^6 □	Q2'+Q3
		$S_{collectif.EspaceCommun}$			S_{seul}		$S_{collectif.EspaceIndividuel}$			S_{seul}	

FIGURE 5.2 – Progression des six groupes

5.2.4 Déroulement pour chacun des groupes S3 à S6

A l'arrivée, les sujets remplissent un premier questionnaire (Q1) concernant leurs connaissances sur les tables, tablettes ou nouveaux supports interactifs. Les consignes leur sont données. Ils connaissent leur objectif (placer les objets dans les zones colorées) et ils savent qu'ils vont travailler en contexte individuel ou commun (Fig. 5.3). A la fin de cette partie, ils remplissent un questionnaire (Q2) visant leur ressenti sur l'utilisation de la table et sur le rôle de la position des zones colorées sur leur interaction. Les consignes concernant la seconde situation de passage leur sont données. Ainsi, 15 minutes après la première utilisation, ils exécutent la seconde situation de passage (définie selon leur groupe et visible en Figure 5.2). Une fois le passage des quatre utilisateurs terminé, ils remplissent à nouveau un questionnaire identique au précédent (Q2') et un autre questionnaire permettant de donner leur préférence entre les espaces commun et individuel

(Q3). Ce sont ces questionnaires que nous avons analysés afin de fournir les résultats de la section suivante (en nous appuyant également sur les vidéos).

5.2.5 Résultats

Notre analyse se focalise sur les données issues des situations, avec espace commun ou individuel (Fig. 5.3), impliquant les groupes G3 à G6.



FIGURE 5.3 – Situation avec a) un utilisateur sur un espace commun, b) et c) deux et trois utilisateurs sur un espace individuel, d) quatre utilisateurs sur un espace commun

Grâce au déroulement prévu pour le protocole, les questionnaires étaient remplis individuellement à trois reprises : avant utilisation de la table, après la première utilisation (cas commun ou cas individuel), après la seconde utilisation (cas inverse du précédent). Précisons toutefois que les résultats sont interprétés par groupe de travail, et non de manière individuelle. Ceci a permis de mettre en évidence des évolutions intéressantes concernant la perception des différentes situations de travail par les groupes de sujets.

La figure 5.4(a) se réfère à l'évolution de la question "Vous semble-t-il pertinent de travailler à plusieurs sur un espace commun sur une table interactive?". Les résultats montrent que, avant toute utilisation de la table, les groupes ont un *a priori* favorable

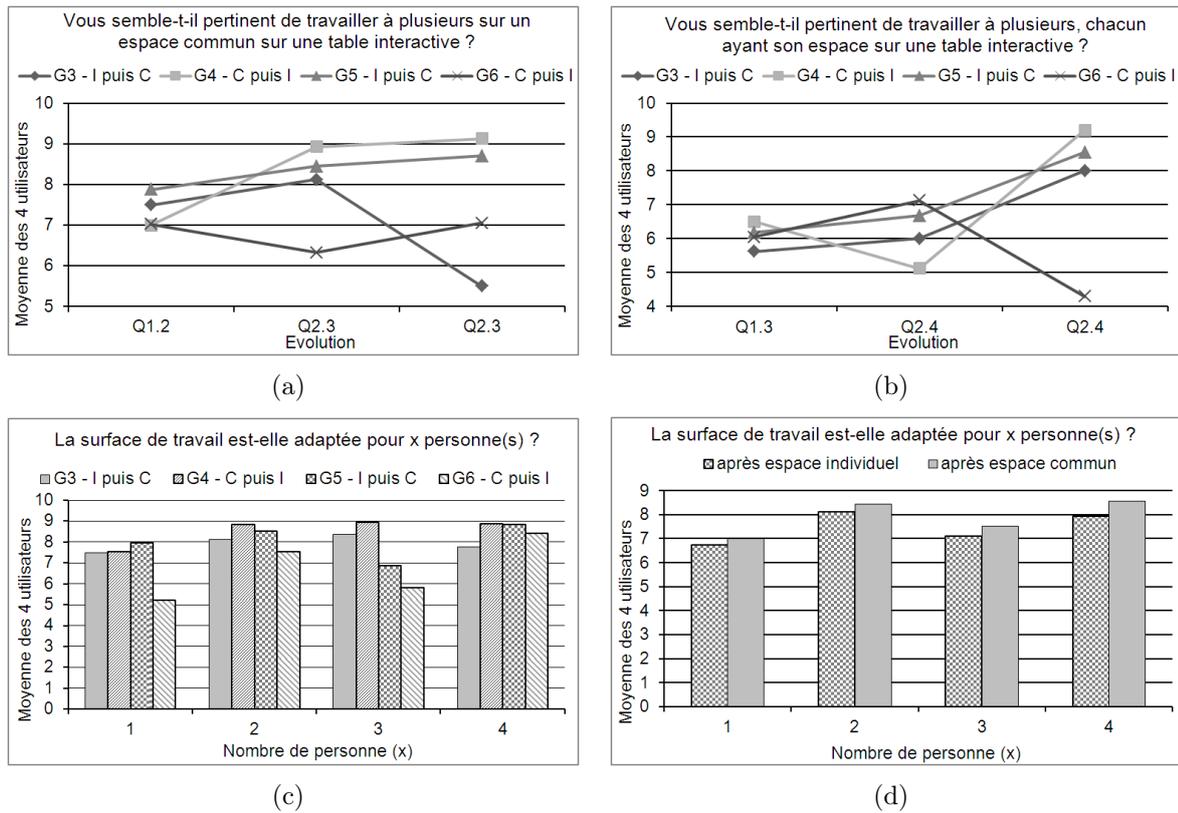


FIGURE 5.4 – Résultats des questionnaires remplis par les sujets

(moyennes entre 7 et 8). Après une première utilisation de la table (que ce soit en espace commun ou individuel), les *a priori* ont été confortés pour trois des quatre groupes. Par contre, pour le groupe G6 ayant commencé en espace commun, la moyenne a diminué en raison de la note très basse d'un des sujets soulignant "[ce n'est] pertinent que si on a besoin de communiquer" (les vidéos montrent pourtant que les sujets ont été amenés à communiquer à différents moments durant la session). Après la seconde utilisation, les résultats sont bons (Moyennes entre 7 et 9), mis à part pour le groupe G3 (moyenne de 5,5) qui a commencé sur un espace individuel pour terminer sur un espace commun ; cette dernière situation a influé sur les résultats puisqu'il a été soulevé par un des sujets que "certaines personnes ne veulent pas coopérer". Ce résultat soulève l'intérêt d'algorithmes comme ceux proposés dans le chapitre 3, §3.4.3, mais également l'importance de prendre en compte la notion de contexte afin d'adapter l'espace à la situation souhaitée.

La figure 5.4(b) se réfère à l'évolution de la question "Vous semble-t-il pertinent de travailler à plusieurs, chacun ayant son espace sur une table interactive?". Au départ, les moyennes des avis pour les quatre groupes se situaient tous entre 5.5 et 6.5. A ce niveau, nous estimons que les sujets ne pouvaient pas s'imaginer comment pouvoir travailler individuellement sur une table interactive ; leur *a priori* semble cependant plutôt favorable. Après la première utilisation de la table, les deux groupes G3 et G5 ayant commencé à travailler sur espace individuel augmentent légèrement leur moyenne. C'est le cas aussi

pour l'un des deux groupes (G6) ayant commencé en travail commun ; en revanche l'autre groupe (G4) perd 1.5 point (sans justification ou remarque particulière, ni comportements particuliers détectés par les vidéos). Après utilisation des 2 types d'espace (commun et individuel), trois des groupes ont un avis très positif (compris entre 8 et 9.2) ; le quatrième (G6, ayant terminé en espace individuel) n'est plutôt pas d'accord (avec une moyenne de 4.3), en raison de deux personnes (sur quatre) du groupe n'ayant pas du tout apprécié de travailler dans cette configuration individuelle : la vidéo montre une mésentente des sujets concernant le placement autour de la table ; n'ayant volontairement pas imposé de place aux sujets, ceux-ci avaient la possibilité de se placer comme ils le souhaitaient autour de la table, les deux sujets ayant donné une mauvaise note ont été en fait perturbés par l'un des sujets qui a voulu imposer certains placements. C'est un résultat intéressant dans une optique d'amélioration de l'algorithme proposé : une perspective pourrait être de prendre en compte directement les préférences des utilisateurs (en termes de placement) mis en évidence lors de sessions précédentes.

La figure 5.4(c) regroupe les résultats pour quatre questions "La surface de travail est-elle adaptée pour X personnes ?" (le nombre X de personnes varie de 1 à 4 et est représenté en abscisse). La moyenne est donnée pour chaque valeur de X, pour chacun des quatre groupes ; chaque moyenne considère l'ensemble des trois questionnaires (avant utilisation, après utilisation des deux types d'espace (commun et individuel)) remplis par chacun des quatre sujets d'un même groupe. Les résultats sont les suivants :

- Cas où $X=1$: pour les groupes G3, G4 et G5, les résultats sont très positifs et varient peu (de 7.5 à 8). Pour le groupe 6, les remarques formulées systématiquement sur le fait que la table soit trop grande pour une seule personne, conduit à une moyenne de 5.2.
- Cas où $X=2$: aucune remarque n'a été faite, l'ensemble des groupes expriment un avis positif (toutes les moyennes sont au-dessus de 7.5)
- Cas où $X=3$: pour les groupes G3 et G4, les résultats sont très positifs (respectivement 8.4, 8.95). Pour le groupe G5, les résultats sont bons (6.9), une remarque ayant été formulée : "le découpage en trois "rectangles" n'est peut-être pas optimal". Pour le groupe G6, la vidéo montre que deux des sujets se sont gênés lors du positionnement par rapport à la table, se mettant du même côté (alors qu'un positionnement en vis-à-vis était possible) ; les résultats sont donc moins bons (5.8) (notons qu'il y a convergence avec l'avis formulé à la question Q2.4 de la figure x(B) par ce même groupe).
- Cas où $X=4$: l'ensemble des groupes expriment un avis positif (toutes les moyennes sont au-dessus de 7.75). Une remarque intéressante a cependant été exprimée par un sujet : "La taille des objets interactifs est limitée par rapport à la taille des zones", sans influence sur les résultats.

Relativement à la figure 5.4(c), les résultats restent globalement positifs et confortent le fait d'utiliser un algorithme de partage d'espace comme celui proposé. Une perspective supplémentaire pour l'algorithme, au vu des remarques émises, serait de proposer des suggestions de positionnement pour des personnes novices.

Comme en figure 5.4(c), la figure 5.4(d) se réfère à la question "La surface de travail est-elle adaptée pour X personnes?" (avec X variant de 1 à 4). Cependant elle vise cette fois à comparer la moyenne des avis après avoir travaillé sur un espace individuel (questionnaire Q2 rempli après première utilisation de la table pour G3 et G5, Q2' après seconde utilisation pour G4 et G6) avec la moyenne des avis après avoir travaillé sur surface commune (questionnaire Q2' rempli après seconde utilisation pour G3 et G5, Q2 après première utilisation pour G4 et G6), cf. Q2 et Q2' en figure 5.2. Même si on remarque sur cette figure une différence légère en faveur de la surface commune, les résultats sont très positifs pour les 2 types de surface (moyenne toujours supérieure à 6.7), ce qui est très satisfaisant relativement à l'algorithme proposé.

5.2.6 Conclusion sur la première évaluation en laboratoire

Grâce à la technologie RFID utilisée par la table interactive *TangiSense*, nous avons démontré avec ce premier cas d'étude qu'il était possible de prendre en considération la notion de contexte d'usage sur la table interactive *TangiSense*. Cette étude a également permis de valider les définitions et règles d'adaptation proposées dans le chapitre 3. Les résultats ont montré qu'il était pertinent de prendre en compte le contexte sur les tables interactives et qu'un ensemble d'algorithmes ou de règles d'adaptations peuvent être nécessaires lors de l'utilisation de ces tables. Les résultats relativement positifs ouvrent donc de nouvelles perspectives générales quant à la prise en considération du contexte pour les tables interactives.

La section suivante vise cette fois à mettre en application la table interactive *TangiSense* dans une situation réelle d'utilisation en milieu scolaire. Cette étude permet d'illustrer et d'évaluer les concepts évoqués tout au long de ce mémoire, aussi bien sous l'angle de la conception d'application que de l'évaluation de ces applications en contexte naturel (hors recherche), avec par exemple, des enfants en bas âge.

5.3 Seconde évaluation menée en école maternelle

5.3.1 Introduction

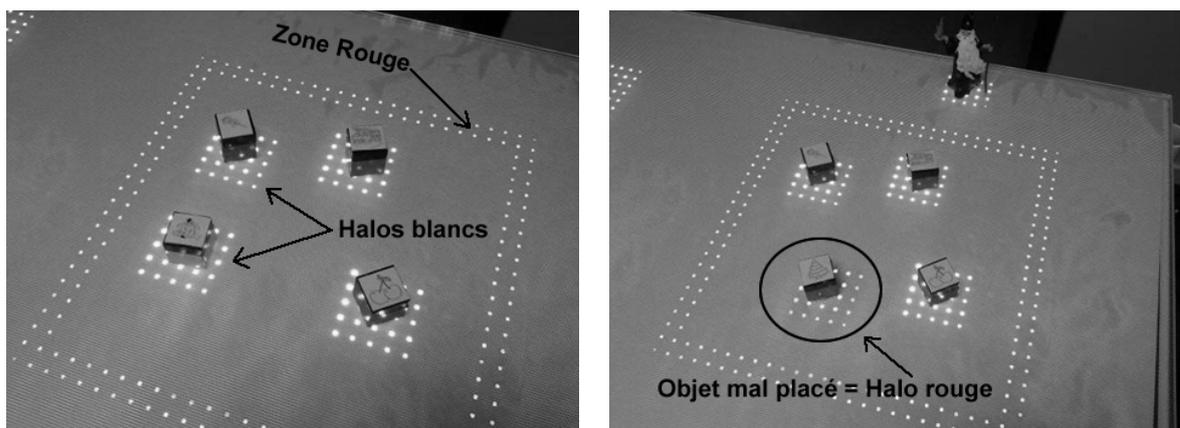
Nous avons pu voir tout au long de ce mémoire que les tables interactives apportent de nouvelles manières de travailler mais également peuvent être utilisées dans de nombreux domaines et par conséquent dans de nombreux environnements différents. Nous proposons dans cette section de décrire l'évaluation de notre application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs*, directement dans une école maternelle afin de déterminer l'impact de l'utilisation d'une table interactive dans le milieu scolaire, tant du côté enseignants que du côté enfants.

5.3.2 Évaluation de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* en école maternelle

Pour cette étude, nous avons évalué l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* en école maternelle et ses objets associés [95]. Remarquons que nous n'avons pas évalué les fiches de résultats individuels (décrites dans le chapitre 4, §4.4.4) que l'application peut produire.²⁹

Lors de notre évaluation en école, cette fonction n'était en effet, pas encore implémentée.

Rappelons que l'objectif de cette application est de placer un certain nombre d'objets (petits cubes) représentant une image "ayant perdu la couleur". Pour cela quatre zones de couleur sont affichées sur la table interactive *TangiSense*. Lors de la pose d'un objet, la table indique à l'utilisateur sa détection avec un halo blanc (virtuel) sous l'objet tangible (ce qui permet de contrer d'éventuels problèmes liés à notre prototype et à la non détection de l'objet). Une fois les objets placés, l'utilisateur doit vérifier ses choix à l'aide d'un personnage (objet tangible représentant un *magicien*). La table indique alors les éventuelles erreurs en affichant un halo rouge sous l'objet tangible mal placé (Fig. 5.5) ainsi tout en lui indiquant son erreur par message vocal.



(a) Quatre objets ont été placés dans la zone rouge (les halos blancs sous chaque objet suggèrent leur détection par la table)

(b) Le "magicien" détecte que l'objet "sapin" n'a pas été placé dans la bonne couleur (halo rouge en-dessous de l'objet, associé à un message vocal)

FIGURE 5.5 – Deux vues de l'application Apprentissage des Couleurs sur la table interactive TangiSense

5.3.3 Protocole d'évaluation

Après avoir obtenu les autorisations nécessaires au bon déroulement de l'évaluation (inspecteur régional, directeur d'école, professeur des écoles, parents) ; la table interactive

²⁹. Rappelons que l'application est en effet capable de recueillir un ensemble de données associées à chaque enfant que le professeur peut interpréter et donc différencier en fonction des réponses des enfants (i.e. difficulté de l'enfant avec une couleur incitant à une personnalisation du travail avec lui à ce sujet).

a été installée dans l'école maternelle (Fig. 5.6) de la ville de Caullery (59191) auprès de 16 enfants³⁰ (5 petits, 5 moyens et 6 grands) afin d'estimer globalement l'impact de son utilisation en milieu scolaire.

Ce protocole utilise les éléments suivants :

- La table interactive *TangiSense* adaptée en hauteur aux enfants montrant quatre zones de couleur (bleu, rouge, vert, jaune)
- Un ensemble d'objets tangibles "ayant perdu leur couleur" à replacer dans le cadre de la bonne couleur (maximum 32 objets) ; voir figure 4.10 du chapitre 4.
- L'objet tangible particulier nommé "magicien"
- Une version papier des objets à replacer dans un tableau de quatre colonnes garnies de gommettes colorées.
- Deux caméras (une destinée à filmer la zone centrale de la table, la seconde fournissant une vue globale de la scène).
- Des questionnaires destinés aux enseignants (visibles en annexe).



FIGURE 5.6 – Intégration de la table interactive *TangiSense* en école maternelle

Les sujets concernés sont :

- Des enfants de différents niveaux (5 petits de 3 ans environ répartis en 2 groupes appelés G1P et G2P par la suite, 5 moyens de 4 ans environ répartis en 2 groupes appelés G1M et G2M, 6 grands de 5 ans environ répartis en 3 groupes appelés G1G, G2G et G3G).

30. 18 enfants étaient initialement prévus (6 petits, 6 moyens, 6 grands) ; toutefois lors de notre évaluation deux enfants étaient absents.

- Un professeur des écoles interrogissant avec chacun des groupes travaillant sur la table.
- Une ATSEM (Agent Territorial Spécialisé des Écoles Maternelle) interrogissant avec chacun des groupes travaillant sur papier.

Les objets ont été classés par le professeur des écoles suivant trois niveaux de difficulté : Facile, Moyen, Difficile. Le classement proposé pour chaque couleur est celui fourni par l'enseignant(e) (cf. Tableau 5.1).

TABLE 5.1 – Tableau représentant le niveau de difficulté associé à chaque objet

Couleur des objets	Niveau de difficulté		
	Facile	Moyen	Difficile
Bleu	Ciel, Schtroumpf, Mer	L'âne Bourriquet, Baleine, Voiture de Police	Dauphin, Eléphant
Jaune	Citron, Soleil, Banane	Poussin, Etoile, Frites	Abeille, Girafe
Rouge	Coeur, Coccinelle, Fraise	Camion de pompier, Cerise, Père Noël	Tomate, Rose
Vert	Sapin, Feuille, Grenouille	Tortue, Crocodile, Salade	Poireau, Petits pois

Déroulement

Groupe "témoin ou de comparaison" - Le groupe de 2 ou 3 enfants de petite et/ou moyenne section (3-4 ans) doit travailler sur papier avec les mêmes images que les objets de la table interactive. Ils doivent replacer les images (dans un premier temps 4 images puis 6 et éventuellement 8) dans un tableau dans la colonne de la bonne couleur (une gommette colorée sera placée en haut de chaque colonne). L'enseignant donne les consignes aux enfants concernant le travail à effectuer : placer correctement les images dans la colonne représentant la bonne couleur. L'ensemble des groupes (G1P et G2P (Petits), G1M et G2M (Moyens), G1G à G3G (Grands)) effectue ce travail (16 enfants) ; la moitié ayant travaillé premièrement sur la table puis sur papier, l'autre moitié ayant commencé sur papier puis sur la table. Cette démarche a permis pour chaque groupe de comparer les résultats et démarches de travail des enfants, indépendamment de leur passage.

Le groupe (G1P à G2M) de 2 ou 3 enfants de petite et/ou moyenne section (3-4 ans) doit travailler autour de la table interactive. Le professeur explique aux enfants le travail à effectuer : chaque enfant doit replacer 4 objets dans les cadres de la couleur appropriée. Le professeur peut décider d'augmenter le nombre d'objets selon les aptitudes des enfants. Le nombre d'objets peut alors varier jusqu'à 8 objets par enfants, intégrant alors des niveaux de difficulté plus importants.

Le groupe (G1G à G3G) de 2 enfants de grande section (5 ans environ) doit travailler autour de la table interactive. Le travail à effectuer n'est pas expliqué aux enfants. Nous laissons l'unique explication fournie automatiquement par la table de manière sonore : "Bonjour, je suis la table interactive *TangiSense*. Les objets que tu tiens ont perdu leur

couleur. A toi de les retrouver. Place les objets dans les cadres de la bonne couleur. Une fois terminé, place le magicien pour vérifier". Ils doivent replacer chacun 8 objets dans les cadres de la couleur appropriée.

Des questionnaires sont remplis après le passage de chaque groupe par le professeur. Les interactions sur la table sont filmées et les comportements des enfants autour de la table sont observés.

5.3.4 Résultats préliminaires

Avant même de tester l'application avec des enfants, il est rapidement apparu que la table associée aux objets permettait de faciliter les échanges (travail collectif, voire collaboratif), et avait un réel côté ludique ; notons que ce constat corrobore les résultats d'études actuellement menées [71, 175].

Au vu des premières observations, les enfants ont dans un premier temps été impressionnés par la table interactive. Ils se sont rapidement familiarisés à celle-ci et ont bien compris le principe d'interaction avec des objets tangibles et virtuels, et à leurs fonctions associés (*cf.* Figure 5.7). Remarquons que la table interactive *TangiSense* ne permettant pas les interactions tactiles, les enfants ont travaillé de manière entièrement naturelle sur la table. En effet, ils pouvaient ainsi poser leurs mains (Fig.5.7 (a)), ou leurs objets (n'ayant rien à voir avec la table) sans que cela n'affecte l'application et l'évaluation.



FIGURE 5.7 – Evaluation de l'application "apprentissage de couleurs" (a, b, c) avec la table interactive *TangiSense* et (d) avec papier/colle/gommettes en école maternelle

Le rôle du magicien a également bien été compris. Les observations montrent que le professeur joue un rôle important dans l'interaction. Notamment, le professeur décidait

du moment où il fallait placer le magicien. Il s'est révélé que les enfants n'étaient pas autonomes pour cette action. Le professeur était une aide omniprésente pour les petits, n'intervenant que ponctuellement avec les moyens et les grands. Quand un enfant avait des difficultés, le professeur demandait de l'aide aux autres enfants présents dans la classe, en général du même niveau. Si ils ne savaient pas répondre, le professeur demandait alors de l'aide aux autres enfants d'un niveau supérieur. Remarquons le côté collaboratif entre les enfants de cette activité.

Les résultats des questionnaires remplis par le professeur (après chaque intervention des enfants) sont fournis en Figure 5.8.

La Figure 5.8(a) confirme le fait que les enfants se sont bien familiarisés avec la table selon le point de vue du professeur ; une petite nuance a toutefois été exprimée : due au fait que les hauts-parleurs ayant été déportés de la table elle-même³¹, les sujets des groupes G1P et G2P (petits) n'auraient pas associés immédiatement les messages vocaux de la table à celle-ci (cette remarque correspond à une supposition du professeur exprimée dans le questionnaire). Le comportement des enfants n'a que peu été modifié suite à l'utilisation de la table, le professeur a cependant notifié que les petits (groupes GP1 et GP2) ont été dans un premier temps impressionnés (ébahis) par celle-ci, pour ensuite travailler naturellement (*cf.* Figure 5.8(b)). Toutefois, à la question "La table semble-t-elle faciliter le travail aux enfants" (*cf.* Figure 5.8(c)), les résultats montrent que le travail n'a pas été facilité dans un premier temps, en raison pour les moyens, et encore plus pour les grands, d'une tâche considérée comme trop facile. Concernant les petits, le commentaire du professeur est le suivant : "Pour une première utilisation, la table n'a pas facilité le travail des enfants. Par contre, je pense qu'en l'utilisant régulièrement, le travail pourrait être facilité."

Si on se réfère à la Figure 5.8(d), les enfants ont perçu la table plutôt comme un jouet, pas du tout comme un ordinateur, ce qui va dans le sens de l'aspect ludique apporté par la table au travail à réaliser.

Différentes questions ont été posées concernant respectivement le choix des images, leur taille et les objets utilisés (*cf.* Figure 5.8(e)). Il s'avère que certaines images étaient difficiles à identifier par les enfants, par exemple :

- le schtroumpf pour les petits qui n'ont travaillé qu'avec des objets supposés faciles (*cf.* tableau 5.1),
- la baleine et l'éléphant pour les plus grands (qui ont travaillé avec l'ensemble des objets) qui avaient du mal à les associer à la couleur bleue.³²

La taille des images était parfaitement adaptée à l'ensemble des groupes, puisque iden-

31. Pour des raisons de contraintes de place autour de la table. En effet, la table devait s'intégrer en minimisant le déplacement des meubles et objets de la salle de classe.

32. Ces animaux ne sont pas effectivement pas exactement représentatifs de la couleur bleu ; rappelons toutefois la difficulté de déterminer 8 objets en noir et blanc par couleur donnée.

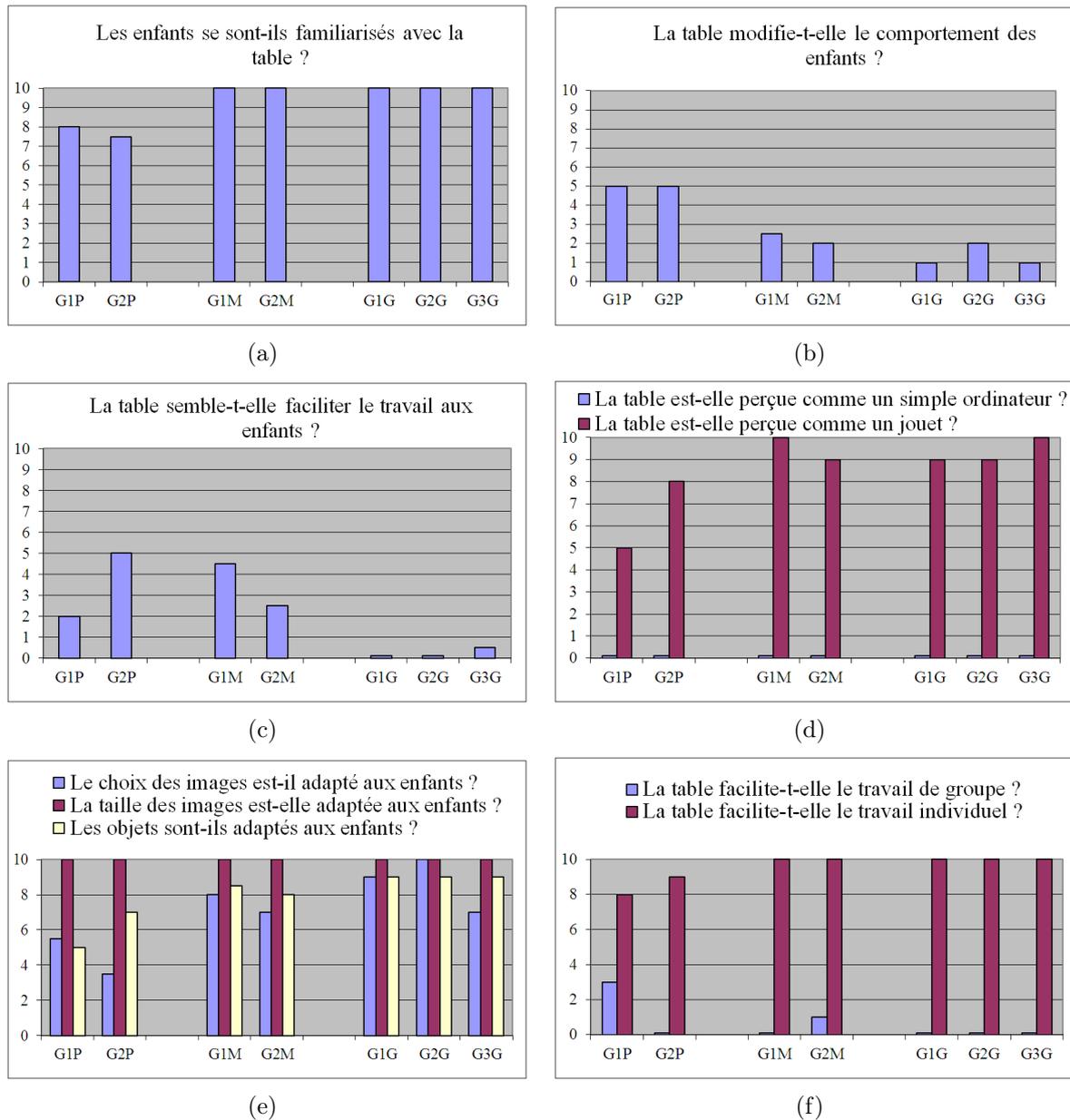


FIGURE 5.8 – Résultats aux questionnaires remplis par le professeur des écoles

tique à la taille des images utilisée habituellement par le professeur. En ce qui concerne les objets, ceux-ci restent majoritairement adaptés aux enfants, la couleur de l'objet en lui-même ayant toutefois posé problème aux petits (chaque dessin en noir et blanc étant collé sur un objet rouge, vert, bleu ou jaune, ces couleurs ayant pour rôle d'attribuer un ensemble d'objets à un enfant). Une suggestion du professeur serait d'utiliser un autre code d'identification des cubes (par exemple des stries ou des symboles).

Le professeur a exprimé que "l'exercice, tel qu'il a été proposé, ne permet pas trop le travail de groupe" (voir aussi les résultats obtenus à la question associée en Figure 5.8(f)).

Néanmoins, nos observations montrent clairement un travail de groupe impliquant les enfants et le professeur, de nombreuses interactions et échanges verbaux, chaque enfant pouvant bénéficier en même temps des explications ou remarques formulés aux autres par le professeur. Par contre, à la question "La table facilite-t-elle le travail individuel?", le professeur a répondu très favorablement puisque l'exercice a été amené de manière à ce que chaque enfant ait ses propres objets à replacer, et donc invité à travailler de manière individuelle (sur un espace commun).

A contrario, le professeur n'a pas soulevé de remarques particulières concernant l'utilisation du papier et de la colle avec lesquels il est habitué à travailler en classe. Majoritairement, les résultats (feuilles des enfants) ont montré que les élèves ayant relativement bien réussi leur exercice sur leur feuille ont su également utiliser et replacer correctement leur objet sur la table interactive (et ce quel que soit leur passage (avant ou après) utilisation de la table interactive. En revanche, les feuilles de résultats et les vidéos ont montré que certains enfants ont su correctement placer leurs objets sur leur feuille pour ensuite tout mélanger lors du collage des images dans le tableau. Certains enfants ayant de ce fait, rendu un exercice majoritairement faux. Soulevons, ici l'avantage de la table interactive qui, tant que l'enfant ne place pas les objets correctement, invite celui-ci à reprendre son objet mal placé, à essayer de comprendre son erreur puis à venir replacer son objet. Contrairement au papier/colle qui ne permet pas un retour arrière et une éventuelle compréhension des erreurs de l'enfant. Finalement, d'une manière générale selon les remarques du professeur des écoles et l'enthousiasme des enfants, la table interactive *TangiSense* a apporté une nouvelle manière de travailler à l'école, sans doute plus ludique et facilitant la collaboration entre enfants et la compréhension de leurs erreurs.

5.3.5 Conclusion

Nous avons proposé dans cette section de décrire l'évaluation de la table interactive *TangiSense* et de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* directement dans un environnement naturel. L'obtention de l'accord de l'inspecteur régional, du directeur d'école, des professeurs et parents nous ont permis d'amener notre table interactive dans l'école maternelle de la ville de Caullery dans le Nord de la France afin de permettre cette évaluation. Les premiers résultats obtenus suite à cette expérimentation sont très positifs et nous invitent à poursuivre nos développements de nouvelles applications pouvant être utilisées en milieu scolaire sur table interactive. L'approfondissement dans l'analyse des données des évaluations déjà menées et futures faisant également l'objet de perspectives.

La section suivante vise à proposer un ensemble de perspectives de recherches en lien avec nos travaux.

5.4 Perspectives de recherche

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à la prise en considération de l'adaptation des tables interactives au contexte d'usage. Nous proposons dans cette section de retracer l'évolution de notre mémoire et de présenter un ensemble de perspectives de recherche.

5.4.1 Recensement et caractérisation des tables interactives

Notre chapitre 1 propose, grâce à un modèle que nous avons établi, de recenser et de caractériser les tables interactives. Les technologies, les recherches et par conséquent les tables interactives étant en constante évolution, il serait envisageable et pertinent de mettre à jour et de maintenir notre recensement des tables interactives et éventuellement les technologies présentées en fonction des recherches menées chaque année. Cette perspective permettrait de garder à jour une liste des tables interactives et de leurs technologies pouvant être constamment utilisée par les autres chercheurs dans le domaine de l'utilisation des tables interactives.

5.4.2 Prise en compte du contexte pour les tables interactives

Relativement à notre proposition (chapitre 3), de nombreuses perspectives de recherche peuvent être envisagées.

Dans un premier temps, nous avons soulevé le fait que nous nous focalisons dans nos travaux uniquement sur la prise en considération des tables interactives seules, et de l'adaptation de celles-ci au contexte d'usage. Au même titre que les recherches déjà menées sur l'adaptation au contexte et sur la plasticité des IHM [30], il serait envisageable de prendre en considération l'adaptation du contexte lors du changement/ajout de plateforme impliquant toutefois au moins une table interactive (*e.g.* table interactive ↔ tablette tactile). Les plateformes évoluant chaque année, il serait intéressant par exemple de travailler sur une table interactive (avec des objets virtuels et/ou tangibles) puis lors de la pose d'une tablette tactile sur la table de capturer et bien évidemment d'adapter l'interface afin de permettre aux utilisateurs de continuer à travailler (éventuellement en parallèle) sur une autre plateforme, ou par exemple d'emporter leurs travaux avec eux.

Cette perspective, correspond finalement à faire varier la cardinalité côté plateforme de notre modélisation du contexte d'usage pour les tables interactives mais également le critère du type de plateforme. A ce titre, de nombreuses perspectives de recherche pourraient être proposées en faisant varier l'intégralité des critères proposés de notre modèle afin de déterminer leur impact sur l'utilisation des plateformes telles que les tables interactives.

Ces perspectives relative au chapitre 3, nous amènent à proposer d'autres perspectives résultantes de notre application et utilisation de la table interactive *TangiSense* pour l'adaptation au contexte. Les travaux futurs pourraient par exemple consister à prendre en compte le contenu des étiquettes RFID pour adapter le système (*e.g.* dernières préférences de l'utilisateur).

Remarquons également que lors de notre mise en application de l'adaptation au contexte d'usage, et plus particulièrement lors de la situation de travail en espace individuel, nous avons prédéfini les différents espaces de travail des utilisateurs. Même si la faisabilité de la prise en compte du contexte a été démontrée, la position des utilisateurs relative à la table n'a pas été implémentée pour l'adaptation de l'interface en fonction de leur position. Il serait en effet possible, uniquement en posant l'objet (*e.g.* carte d'identification) de déterminer la position exacte de l' (ou des) utilisateur(s) et donc de créer les espaces de travail en conséquence sans qu'ils soient au préalable définis (et imposés aux utilisateurs) dans le système.

5.4.3 Vers des contextes multi-tables

Lors de notre modélisation du contexte augmentée pour les tables interactives proposé dans le chapitre 3, nous avons mis l'accent sur le type d'environnement pouvant être collaboratif. En effet, lors de l'utilisation des tables interactives, une collaboration collocalisée mais également distante peut être envisagée. Il serait donc possible de rendre les tables interactives connectables entre elles et de permettre ainsi une collaboration distante. Cette collaboration distante nous amènerait à proposer un ensemble de perspectives concernant la consistance des objets tangibles sur les plateformes distantes. Il serait, au même titre que les recherches actuelles, possible de rendre les objets tangibles autonomes [138] (*e.g.* petits robots), augmentant ainsi les possibilités d'adaptation des interfaces même distantes.

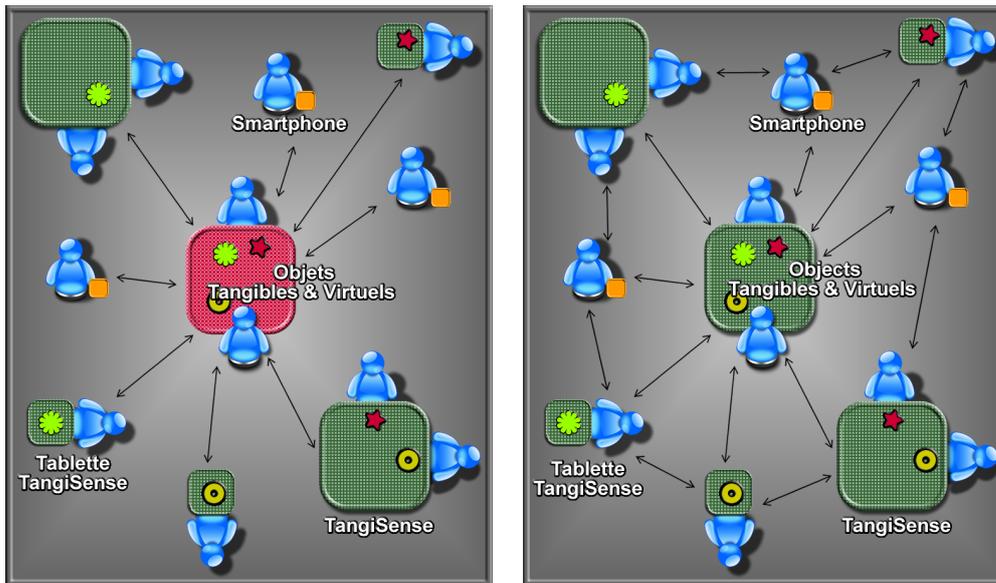
Nos recherches actuelles se focalisent actuellement sur la possibilité de rendre les tables interactives connectables entre elles à distance et donc d'adapter leurs interfaces (locale et/ou distante) en fonction de l'utilisation d'objets virtuels et/ou tangibles sur celle-ci [109]. Le projet ANR IMAGIT³³ (envIronnement Multi-Acteurs multi-tables interactives à objets tanGIbles et virTuels) consiste en effet 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 ou tablettes interactives permettant d'exploiter des objets aussi bien tangibles que virtuels [108]. Nos objectifs se focalisent donc non plus sur des contextes utilisant une unique plateforme (table interactive) mais sur des contextes impliquant un ensemble de plateformes (tables interactives, tablettes, *etc.*) (Fig. 5.9).

5.4.4 Evaluations centrées IHM et ergonomie

Les résultats de nos évaluations proposés dans le chapitre 5 étant relativement positifs, ceux-ci nous invitent à proposer de nombreuses perspectives quant à l'évaluation des tables interactives que ce soit dans un environnement de recherche ou un environnement naturel (*e.g.* écoles).

Remarquons d'ailleurs que nos contacts (professeurs des écoles) nous proposent de venir évaluer les nouvelles applications proposées (*e.g.* apprentissage des chiffres et nombres, Chapitre 4, §4.4) dans d'autres écoles du département du Nord.

33. Les partenaires impliqués dans le projet ANR IMAGIT sont deux laboratoires (le LAMIH, coordinateur du projet et le LIG) et deux sociétés (RFIdées et Supertec)



(a) Contexte en étoile impliquant une table interactive maître au centre des interactions

(b) Contexte en réseau

FIGURE 5.9 – Exemples de contextes d’interaction distribuée multi-acteurs et multi-tables interactives étudiées et mis oeuvre lors du projet ANR IMAGIT

Par ailleurs, nos travaux actuels se focalisent également sur l’approfondissement de l’analyses des données issues de nos évaluations déjà menées, en collaboration avec des ergonomes.

5.5 Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre de décrire l’évaluation de la table interactive selon deux points de vue.

Nous avons dans un premier temps présenté une évaluation de nos travaux d’adaptation des tables interactives aux contextes d’usage dans un environnement de recherche en laboratoire. L’expérimentation réalisée a impliqué 24 sujets ; ceux-ci ont pu tester et évaluer différentes situations d’utilisation, en particulier avec des espaces individuels et communs. Cette expérimentation nous a permis de valider nos définitions, nos règles d’adaptations ainsi que l’algorithme proposé dans le chapitre 3.

Nous avons ensuite exposé l’évaluation de notre application liée à l’éducation des enfants en utilisant la table interactive *TangiSense* et sa particularité à interagir avec des objets virtuels mais également tangibles directement en environnement naturel, en classe de maternelle. Les premiers résultats ont montré que la table et l’application concernée ont été largement acceptées par les enfants sans toutefois modifier leur comportement dans leur travail. Les enseignants, après avoir vu et travaillé avec la table ont proposé de nouvelles applications pouvant être utiles dans le cadre de leurs enseignements, ce qui a engendré le développement des fiches individuelles de résultats (*cf.* chapitre 4, §4.4.4) et

le développement de nouvelles applications (*cf.* chapitre 4, §4.4.5).

Ces premiers résultats sont donc très encourageants et laissent ainsi envisager un ensemble de perspectives de recherche, que nous avons présentées ensuite, concernant non seulement le développement de nouvelles applications mais aussi celui de leur adaptation au contexte d'usage. De nombreuses évaluations peuvent donc être encore menées quant à l'utilisation des tables interactives et de leurs objets associés, quels que soient les utilisateurs potentiels, que ce soit en laboratoire ou en situation naturelle, incluant ou non des activités professionnelles.

Conclusion générale

Nous avons proposé dans ce mémoire de prendre en considération le contexte d'usage pour les nouvelles plateformes telles que les tables interactives, au même titre que pour les appareils mobiles ou ordinateurs qui ont fait l'objet de nombreuses recherches actuelles et passées. L'objectif de cette thèse est en effet de contribuer à la prise en compte du contexte en proposant d'adapter les tables interactives (ou plus exactement leurs interfaces), en fonction par exemple de l'environnement. Les tables interactives étant des plateformes multi-utilisateurs, l'environnement de travail peut par exemple devenir collectif. C'est sur ce type de critères constitutifs du contexte d'usage, que nos travaux se focalisent.

Notre contribution

Les tables interactives sont très différentes de l'ordinateur personnel et de ses périphériques que l'on utilise actuellement. Par la notion de table interactive, on laisse supposer un espace de travail collaboratif et co-localisé permettant de faire intervenir plusieurs utilisateurs en même temps mais également de nouvelles interactions mêlant objets tangibles ou virtuels. C'est donc face à ce constat et à l'engouement porté à ces nouvelles plateformes que nous avons proposé de recenser les tables interactives en proposant un modèle permettant de les caractériser selon quatre dimensions : *Identité, Caractéristiques Techniques, Interactions Homme-Machine, Démonstrateurs*. Nous avons ensuite proposé une synthèse portant sur l'ensemble de ces dimensions et le recensement des tables interactives. L'objectif principal de notre modèle, permettant le recensement et la caractérisation des tables interactives, serait de permettre aux chercheurs travaillant sur les tables interactives d'avoir une vision globale des tables interactives (passées, actuelles) et des technologies employées. Bien sûr, il serait nécessaire de maintenir notre recensement des tables interactives (futurs) et de mettre à jour les technologies employées en fonction des recherches menées chaque année. Nous avons d'ailleurs proposé ceci dans nos perspectives de recherches.

Avec l'évolution des interfaces des tables interactives, il devient maintenant possible d'interagir avec des objets virtuels et/ou tangibles. C'est pourquoi nous avons proposé de définir les apports du tactile et du tangible pour les tables interactives en nous basant sur l'état de l'art. Ces nouvelles manière d'interagir, relativement différentes des interactions classiques (clavier, écran, souris) nous ont donc amenés à proposer de prendre en considération le contexte pour les tables interactives.

Le contexte est une notion utilisée depuis longtemps dans des conceptions d'applications interactives. Les recherches en Interaction Homme-Machine, par exemple, ont apporté de nombreux éléments permettant de le définir et de le qualifier de manière approfondie. C'est le cas par exemple de Calvary et al. en 2004, qui proposeront de définir le contexte d'usage selon le triplet <Utilisateur, Plateforme, Environnement>.

Notre proposition se base donc sur la prise en considération du contexte d'usage pour les tables interactives. Pour cela, nous avons dans un premier temps choisi de le modéliser tel qu'il peut être défini dans la littérature. Dans un second temps, nous avons augmenté cette modélisation afin de l'adapter à l'utilisation des tables interactives.

Nous avons ensuite proposé un ensemble de formalismes permettant de définir un contexte d'usage et une situation d'utilisation pour les tables interactives, puis avons proposé un système d'adaptation du contexte d'usage à base de règles d'adaptation.

Nous avons alors mis en application notre proposition en utilisant la table interactive *TangiSense*, résultat du projet ANR TTT (2007-2010), permettant d'interagir à la fois avec des objets virtuels et tangibles. Pour cela nous utilisons et implémentons nos règles d'adaptation proposées afin de permettre à la table interactive *TangiSense* de s'adapter en fonction du contexte et des situations d'utilisation. Nous avons donc décrit notre moteur d'adaptation se composant d'un Système Multi-Agents, choix technologique directement lié à la structure logicielle du projet ANR TTT. L'adaptation au contexte d'usage s'est ensuite effectuée sur une application conçue et développée pour la table interactive *TangiSense*. Finalement, notre application au-delà d'être implémentée pour s'adapter au contexte d'usage vise à apporter et proposer de nouvelles manières d'apprendre et de travailler aux enfants, comme par exemple en école maternelle.

Finalement, nous avons mené deux études : la première dans un contexte de recherches en laboratoire, la seconde dans un contexte naturel en école maternelle afin d'évaluer l'ensemble des éléments proposés dans ce mémoire. Les résultats se sont avérés relativement positifs 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 sur les nouvelles interactions et/ou les nouvelles plateformes.

L'originalité de nos travaux se situe toutefois dans la prise en considération et l'utilisation des tables interactives. Nous pensons en effet, que les tables interactives pourraient à l'avenir devenir les plateformes d'interaction du futur. Les différentes conférences dédiées à ces recherches, et les nombreuses recherches actuelles sur ces technologies semblent conforter nos idées.

Même si les tables interactives permettent de nouvelles interactions, comme par exemple l'utilisation de la technologie tactile, les tables interactives permettent également de travailler avec un ensemble d'objets tangibles. Nous pensons alors, plutôt que d'atteindre un

futur où les interactions seraient nouvelles (tactiles), que les tables interactives pourraient inviter les utilisateurs à utiliser et à interagir de la même manière que nous avons toujours utilisé une table, un bureau et les objets associés : c'est-à-dire de manière tangible.

La tangibilité est effectivement un point fort. Cette considération est directement liée à l'utilisation de notre table interactive TangiSense, support de nos recherches et résultante du projet ANR TTT. Avec une technologie comme la RFID, la table interactive permet et envisage de nouvelles manières de travailler ou d'apprendre sans toutefois restreindre les utilisateurs à, par exemple, ne pas poser leurs mains sur la table.

C'est en observant les utilisateurs manipuler les objets, travailler de manière tactile, seuls ou à plusieurs que nous avons proposé de prendre en considération le contexte d'usage pour les tables interactives. L'originalité de nos travaux réside donc également dans la prise en considération du contexte d'usage pour les tables interactives. Les plateformes étant relativement innovantes, les interactions également nouvelles, nous estimons qu'il est alors pertinent de prendre en compte de contexte d'usage et d'adapter l'interface de celle-ci en fonction des situations d'utilisation ; au même titre que les nombreuses recherches déjà effectuées et visant à adapter les interfaces des ordinateurs ou des appareils mobiles en fonction du contexte.

Finalement, l'ultime point fort de nos travaux réside dans nos évaluations menées. La première évaluation en laboratoire a permis de démontrer l'intérêt de prise en compte du contexte. Notre seconde évaluation menée directement en milieu scolaire, dans une école maternelle du Nord de la France a quant à elle permis de démontrer l'intérêt des nouvelles plateformes telles que les tables interactives ainsi que l'utilisation du tangible, par exemple pour l'apprentissage et l'éducation des enfants. L'utilisation du tangible ne nécessitant pas de phase d'apprentissage, les enfants ont su immédiatement travailler avec la table interactive et les résultats ont montré que les tables interactives pouvaient s'intégrer dans le milieu scolaire. Notons que les professeurs relativement enthousiastes nous ont proposé de nouvelles applications que nous avons développées, et que nous espérons également évaluer en école.

... et leur limites

Même si nous avons proposé et évalué notre proposition de prise en considération du contexte d'usage pour les tables interactives, de nombreuses perspectives ont pu être proposées (*cf.* chapitre 5, §5.4).

Nos travaux se sont en effet portés sur la prise en compte du contexte sur une table interactive seule, dans des situations d'utilisation classiques. Un ensemble de situations d'adaptation a donc été proposé mais il semble évident que de nombreuses autres situations, et par conséquent adaptations peuvent être proposées. Remarquons également que les technologies nouvelles et l'informatique ubiquitaire invitent de plus en plus les utilisateurs à rester connectés que ce soit à la maison ou au travail. Nous pensons donc qu'il serait intéressant de permettre aux tables interactives de se connecter entre-elles, voire de connecter les tables interactives à d'autres plateformes (tablettes, smartphones, *etc.*).

L'adaptation au contexte prendrait alors une tout autre vision puisqu'un nouveau problème, celui de la consistance des objets tangibles sur les tables formes distantes, devrait être résolu.

Nos travaux actuels (entrant dans le cadre du projet ANR IMAGIT) visent donc à proposer cette utilisation multi-tables interactives. L'objectif sera donc de permettre aux tables interactives de s'adapter au contexte d'usage, où cette fois deux contextes devront être pris en compte : la situation d'utilisation locale et la situation distante.

Synthèse

Pour conclure, nos recherches nous ont donc amenés à proposer de prendre en compte le contexte d'usage pour les tables interactives. L'utilisation de la table interactive *Tangi-Sense* qui utilise la technologie RFID et permet d'interagir avec des objets virtuels et/ou tangible nous a amenés à proposer une application dans le domaine de l'éducation. Cette application a pour objectif l'apprentissage et à la reconnaissance des couleurs pour les enfants de classes maternelles. Cette application étant développée et conçue par nos soins, c'est sur celle-ci que nous avons proposé d'intégrer l'adaptation au contexte d'usage. Les évaluations menées finalement ont permis de valider nos propositions. Toutefois, notre proposition de prise en compte du contexte pour les tables interactives étant relativement nouvelle dans le domaine des IHM, de nombreuses perspectives ont pu être proposées et nous espérons pouvoir prendre en considération celles-ci dans nos recherches futures.

Annexe A

Systeme Multi-Agents : définition simple

Un Systeme Multi-Agent (SMA) (Fig. A.1) est un ensemble d'agents situés dans un environnement et interagissant selon une organisation. Les environnements sont multiples et peuvent servir lors d'interactions [53].

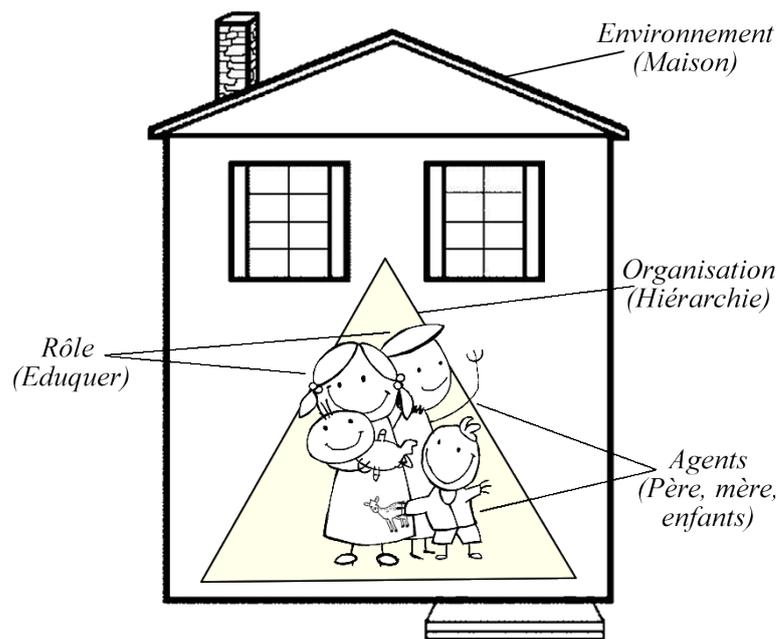


FIGURE A.1 – Modélisation simpliste d'un Systeme Multi-Agents

Dans un SMA, un agent est un programme autonome, il se base sur la perception qu'il a de son environnement et il est à la poursuite d'un ou de plusieurs objectifs. C'est une entité conceptuelle qui perçoit et agit avec initiative ou en réaction dans un environnement où d'autres agents existent et interagissent les uns avec les autres, sur la base de connaissances partagées de communication et de représentations. L'intelligence d'un agent se base sur sa capacité de raisonner, d'apprendre, de comprendre et de planifier [194].

En ce qui concerne l'environnement, il désigne le monde dans lequel les agents évoluent. Dans un environnement, un agent possède la capacité de perception (connaissance des objets selon leurs positions, leurs relations), et d'action (modification de l'état du système en modifiant les relations entre les objets). L'environnement d'un agent est donc constitué de tout ce qui l'entoure : les objets et/ou les autres agents.

La notion de rôle des agents et leurs relations, sont souvent décrites par une série de concepts et de relations sociales dans les SMA [176]. Les rôles ont différents types de comportement. Le rôle d'un objet est un ensemble de propriétés et peuvent évoluer en acquérant de nouveaux rôles [54].

C'est pourquoi la relation entre les rôles et les agents peut imposer une certaine structuration. En effet, l'organisation représente un moyen d'arriver à réaliser un ou plusieurs but(s) et, par conséquent de réaliser des objectifs qui sont établis par des sous buts, qui identifient les rôles qui sont joués dans l'organisation. [1] Les objectifs constituent donc le composant essentiel des rôles pour les agents.

Annexe B

Exemple d'utilisation des questionnaires utilisés lors des évaluations

Questionnaire 0 d'utilisation de la table interactive

(EXEMPLE D'UTILISATION)

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 : 25

SEXE : M

Problème visuel (non corrigé) : Non

EXEMPLE D'UTILISATION : Aimez-vous le chocolat ? – Réponse : « pas vraiment » et « je suis certain » de ma réponse !

Pas du tout X Tout à fait

Pas du tout certain X Totalemt certain

Remarques : Je suis malade quand je mange du chocolat.

Annexe C

Questionnaires utilisé lors de l'évaluation de l'adaptation au contexte d'usage de la table interactive *TangiSense*

(A remplir par chaque utilisateur)

Questionnaire 1 d'utilisation de la table interactive

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 :

Problème visuel (non corrigé) :

1. Avez-vous déjà utilisé des tables ou tablettes interactives ?

<p>Pas du tout Tout à fait</p> <p>Pas du tout certain Totalemt certain</p> <p><i>Remarques :</i></p>
--

2. Vous semble-t-il pertinent de travailler à plusieurs sur un espace commun sur une table interactive ?

 <p>Pas du tout Tout à fait</p>  <p>Pas du tout certain Totalement certain</p> <p>Remarques :</p>

3. Vous semble-t-il pertinent de travailler à plusieurs, chacun ayant son espace sur une table interactive ?

 <p>Pas du tout Tout à fait</p>  <p>Pas du tout certain Totalement certain</p> <p>Remarques :</p>

Questionnaire 2 d'utilisation de la table interactive

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.

1. L'utilisation avec la table et les objets a-t-elle été facile ?

◆	◆
Pas du tout	Tout à fait
◆	◆
Pas du tout certain	Totalement certain
<i>Remarques :</i>	

2. Le principe d'interaction avec les objets a-t-il été évident ?

◆	◆
Pas du tout	Tout à fait
◆	◆
Pas du tout certain	Totalement certain
<i>Remarques :</i>	

3. Vous semble-t-il pertinent de travailler à plusieurs sur l'espace commun offert par la table interactive ?

◆	◆
Pas du tout	Tout à fait
◆	◆
Pas du tout certain	Totalement certain
<i>Remarques :</i>	

4. Vous semble-t-il pertinent de travailler à plusieurs, chacun ayant son espace sur une table interactive ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalelement certain

Remarques :

5. La surface de travail est-elle adaptée à une personne seule ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalelement certain

Remarques :

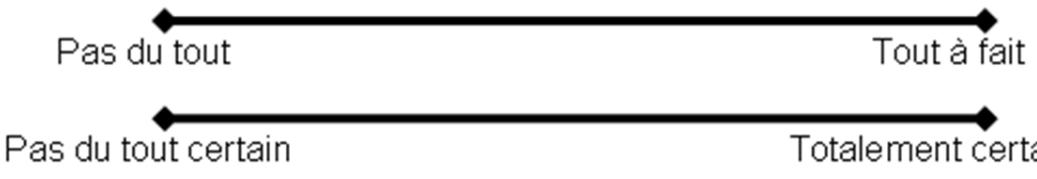
6. La surface de travail est-elle adaptée pour 2 personnes ?

Pas du tout Tout à fait

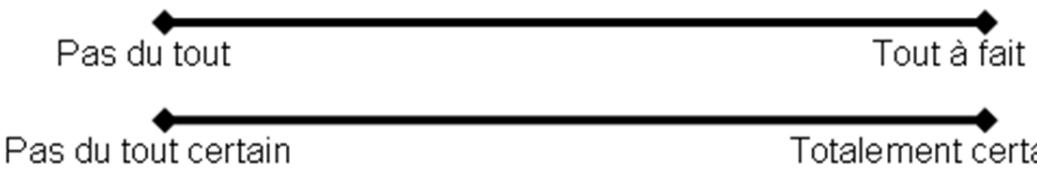
Pas du tout certain Totalelement certain

Remarques :

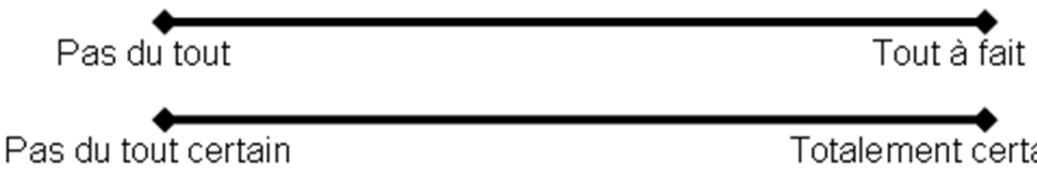
7. La surface de travail est-elle adaptée pour 3 personnes ?


<i>Remarques :</i>

8. La surface de travail est-elle adaptée pour 4 personnes ?


<i>Remarques :</i>

9. Le travail sur espace commun est-il perturbant en termes de collision physique possible avec les autres utilisateurs ?


<i>Remarques :</i>

10. Le travail sur espace commun est-il perturbant en termes d'empiètement possible sur le ou les "territoires" voisins des autres utilisateurs ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalement certain

Remarques :

11. Le travail sur espace dédié est-il perturbant en termes de collision physique possible avec les autres utilisateurs ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalement certain

Remarques :

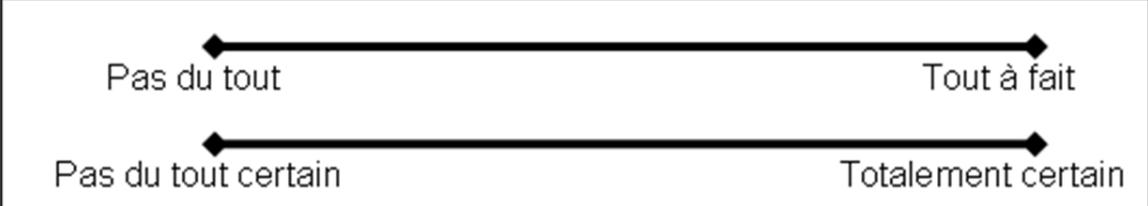
12. Le travail sur espace dédié est-il perturbant en termes d'empiètement possible sur le "territoire" voisin avec les autres utilisateurs ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalement certain

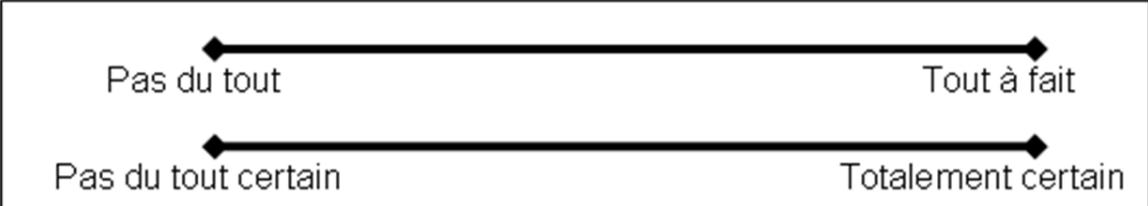
Remarques :

-
13. Lors du partage de l'espace, avez-vous dû corriger votre position par rapport à la table ?



Remarques :

14. En perspective, pensez-vous qu'adapter le partage en fonction de votre position serait plus confortable, à l'instar de la situation actuelle qui impose votre position ?



Remarques :

Questionnaire 3 d'utilisation de la table interactive

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.

1. Avez-vous aimé travailler sur un espace commun ?

--

2. Avez-vous aimé travailler sur un espace dédié ?

--

3. Avez-vous préféré travailler sur un espace commun ou dédié ?

--

Annexe D

Questionnaire utilisé lors de l'évaluation de l'application *Apprentissage et reconnaissance des couleurs* en école maternelle

(A remplir par le professeur des écoles)

Questionnaire d'observation des évaluations

GROUPE :

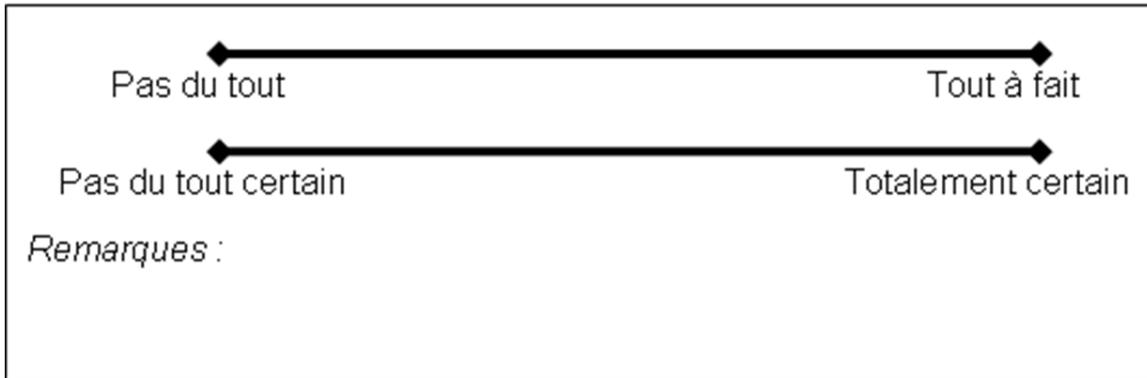
NOMS des enfants :

SEXE : Masculin(s) - Féminin(s)

1. Les enfants se sont-ils familiarisés avec la table ?

<p>Pas du tout</p> <p>Tout à fait</p> <p>Pas du tout certain</p> <p>Totalement certain</p> <p><i>Remarques :</i></p>
--

2. La table modifie-t-elle le comportement des enfants ?


--

3. La table semble-t-elle faciliter le travail aux enfants ?



4. La table est-elle perçue comme un simple ordinateur ?


--

5. La table est-elle perçue comme un jouet ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalemment certain

Remarques :

6. Le choix des images est-il adapté aux enfants ?

Pas du tout Tout à fait

Pas du tout certain Totalemment certain

Remarques :

7. La taille des images est-elle adaptée aux enfants ?

Pas du tout Tout à fait

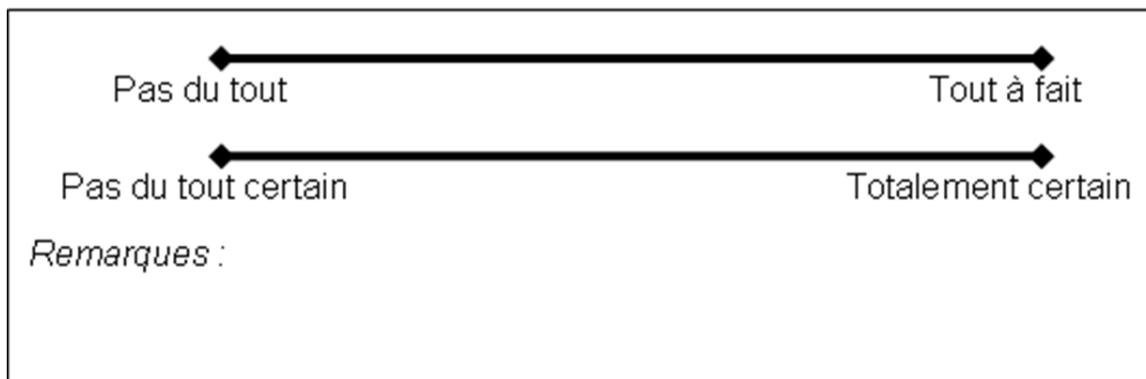
Pas du tout certain Totalemment certain

Remarques :

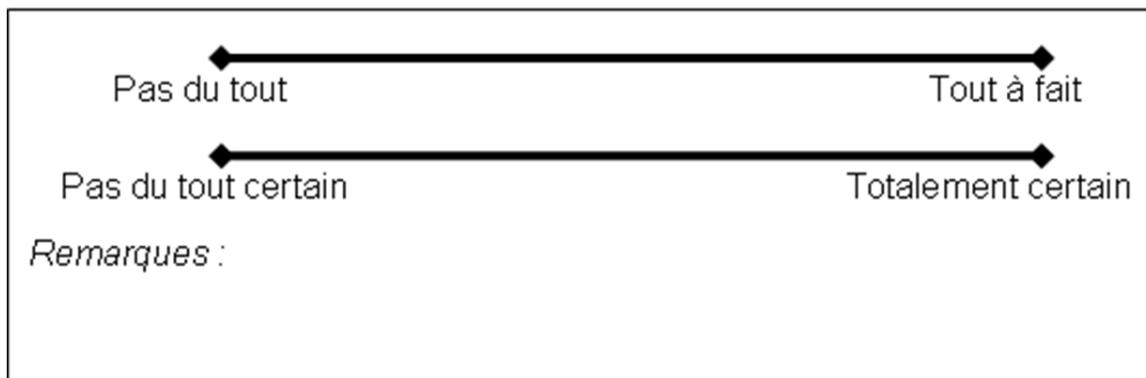
8. Les objets sont-ils adaptés aux enfants ?


--

9. La table facilite-t-elle le travail de groupe ?



10. La table facilite-t-elle le travail individuel ?


--

Bibliographie

- [1] Emmanuel Adam and René Mandiau. Flexible roles in a holonic multi-agent system. In V. Marik, V. Vyatkin, and A.W. Colombo, editors, *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, Third International Conf. on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2007*, pages 59–70, Regensburg, Germany, 2007. Springer.
- [2] Evoluce AG. Evoluce. <http://www.evoluce.com/de/index.php>, 2010.
- [3] Charbel Akhras, Peter van Lanschot, Zoomy Zhang, and John Basklavanis. Dominotes. <http://www.dominotes.org.uk/>, 2007.
- [4] Olivier Bau, Ivan Poupyrev, Ali Israr, and Chris Harrison. Teslatouch : electrovibration for touch surfaces. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User Interface Software and Technology*, pages 283–292, New York, NY, USA, 2010. ACM Press.
- [5] Patrick Baudisch, Torsten Becker, and Frederik Rudeck. Lumino : tangible blocks for tabletop computers based on glass fiber bundles. In *CHI '10 : 28th international conference on Human factors in computing systems*, pages 1165–1174, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [6] Nicolas Beaufort, François Charpillet, Olivier Rochel, and Olivier Simonin. Interactive table to study interactions between swarm of robots and active environments. Technical report, INRIA, 2011.
- [7] Steffi Beckhaus, Roland Schröder-Kroll, and Martin Berghoff. Back to the sandbox : playful interaction with granules landscapes. In *TEI '08 : Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 141–144, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [8] Mohammed Belatar and François Coldefy. Techniques d’interaction collaborative autour d’une table interactive. In *IHM '10 : Conference Internationale Francophone sur l’Interaction Homme-Machine*, pages 241–244, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [9] Fabio Bellifemine, Giovanni Caire, Agostino Poggi, and Giovanni Rimassa. JADE - A White Paper. Technical report, TiLab, <http://jade.tilab.com/papers/WhitePaperJADEEXP.pdf>, 2003.
- [10] Fabio Bellifemine, Agostino Poggi, and Giovanni Rimassa. Developing multi-agent systems with a FIPA-compliant agent framework. *Software : Practice and Experience*, 31(2) :103–128, 2001.

- [11] Ross Bencina, Martin Kaltenbrunner, and Sergi Jorda. Improved Topological Fiducial Tracking in the reactIVision System. In *CVPR '05 : Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Workshops*, page 99, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- [12] Peter Benett, Sean Toru, and Lisa Tutte-Scali. Blip-Tronic 3000. <http://www.petecube.com/bliptronic3000/>, 2005.
- [13] Steve Benford, Holger Schnadelbach, Boriana Koleva, Bill Gaver, Albrecht Schmidt, Andy Boucher, Anthony Steed, Rob Anastasi, Chris Greenhalgh, Tom Rodden, and Hans Gellersen. Sensable and Desirable : a Framework for Designing Physical Interfaces. Technical report, University College London, 2003.
- [14] Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, and Ravin Balakrishnan. Sphere : multi-touch interactions on a spherical display. In *UIST '08 : 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 77–86, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [15] François Berard. The Magic Table : Computer Vision Based Augmentation of a Whiteboard for Creative Meetings. In *IEEE Workshop on Projector-Camera Systems, in conj. with ICCV (PROCAM)*. ACM Press, 2003.
- [16] Rodney Berry, Mao Makino, Naoto Hikawa, and Masumi Suzuki. The Augmented Composer Project : The Music Table. In *ISMAR '03 : Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, page 338, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [17] Guillaume Besacier, Gaétan Rey, Marianne Najm, Stéphanie Buisine, and Frédéric Vernier. Paper Metaphor for Tabletop Interaction Design. In J. Jacko, editor, *HCHI '07 : Human-Computer Interaction International*, pages 758–767, Beijing, PR China, 2007. Lecture Notes in Computer Science 4551, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [18] Guillaume Besacier, Frédéric Vernier, Olivier Chapuis, and Nicolas Roussel. Redirection d'applications existantes et nouvelles interactions pour des usages collaboratifs co-localisés sur une table interactive. In *IHM '07 : 19ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 271–274, IRCAM, Paris, 2007. ACM Press.
- [19] Markus Bischof, Bettina Conradi, Peter Lachenmaier, Kai Linde, Max Meier, Philipp Pötzl, and Elisabeth André. Xenakis : combining tangible interaction with probability-based musical composition. In *TEI '08 : Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 121–124, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [20] Alan F. Blackwell, George Fitzmaurice, Lars Erik Holmquist, Hiroshi Ishii, and Brygg Ullmer. Tangible user interfaces in context and theory. In *CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 2817–2820, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [21] François Bérard, Joëlle Coutaz, and James L. Crowley. Suivi du doigt en vision par ordinateur : Application au bureau numérique. In *Sixièmes journées de l'Ingénierie des Interfaces Homme-Machine*, Lille, France, 1994.

-
- [22] Oliver Brdiczka. Context-Aware Services in Smart Environments : A Review. *eMinds : International Journal on Human-Computer Interaction*, 1(3), 2007.
- [23] Peter J. Brown. The Stick-e Document : a framework for creating Context-aware applications. In *EP'96 : Electronic Publishing*, pages 259–272, Laxenburg, Austria, 1996. IFIP.
- [24] Peter J. Brown, John D. Bovey, and Xian Chen. Context-Aware applications : From the Laboratory to the Marketplace. *IEEE Personal Communications*, 4(5) :58–64, 1997.
- [25] Dermot Browne, Mike Norman, and Dave Riches. Why Build Adaptive Interfaces. In Dermot Browne, Peter Totterdell, and Mike Norman, editors, *Adaptive User Interfaces*, pages 15–57. Academic Press, 1990.
- [26] Patrick Brézillon. Expliciter le contexte dans les objets communicants. In Claude Kintzig, G. Poulain, Guy Privat, and Pierre-Noel Favennec, editors, *Les Objets Communicants*, pages 295–303. Hermès, 2002.
- [27] Patrick Brézillon. Context Modeling : Task Model and Practice Model. In Boicho Kokinov, Daniel C. Richardson, Thomas R. Roth-Berghofer, and Laure Vieu, editors, *Modeling and Using Context - 6th International and Interdisciplinary Conference, CONTEXT'07*, Lecture Notes in Computer Science 4635, pages 122–135, Roskilde, Denmark, 2007. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [28] Patrick Brézillon and Jean-Charles Pomerol. Contextual Knowledge Sharing And Cooperation In Intelligent Assistant Systems. *Le Travail Humain*, 62(3) :223–246, 1999.
- [29] Pierre Bucher and Stéphane Chatty. Qu'est-ce qu'une surface d'affichage : une analyse rétrospective. In *IHM '09 : 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pages 3–12, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [30] Gaëlle Calvary and Joëlle Coutaz. Métamorphose des IHM et plasticité. *Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM)*, pages 35–60, 2007. David, B., Kolski, C. (Eds), Europa (Publ.), Volume 8, Numéro 1, ISSN 1289-2963.
- [31] Gaëlle Calvary, Alexandre Demeure, Joëlle Coutaz, and Olfa Dâassi. Adaptation des Interfaces Homme-Machine à leur contexte d'usage. *Revue d'intelligence artificielle*, 18(4) :577–606, 2004.
- [32] M. Cicconet, I. Paterman, P. Carvalho, and L. Velho. The blues machine. In *SIGGRAPH '09 : SIGGRAPH '09 : Posters*, page 1, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [33] Alexis Clay, Nadine Couture, and Laurence Nigay. eMotion : un outil pour personnaliser la reconnaissance d'émotions. In *Proceedings of the Ergonomie et Informatique Avancee Conference, ErgoIA'10*, Biarritz, France, 2010.
- [34] Francois Coldefy and Stéphane Louis dit Picard. DigiTable : an interactive multiuser table for collocated and remote collaboration enabling remote gesture visualization. In *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference*, pages 1–8, Los Alamitos, CA, USA, 2007. IEEE Computer Society.

- [35] Nadine Couture, Guillaume Rivière, and Patrick Reuter. GeoTUI : a tangible user interface for geoscience. In *TEI '08 : Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 89–96. ACM Press, 2008.
- [36] Nadine Couture and Guillaume Rivière. Table interactive et interface tangible pour les géosciences : retour d’expérience. In *IHM'07 : 19ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 23–26, Paris, France, 2007. ACM Press.
- [37] Nadine Couture, Guillaume Rivière, and Patrick Reuter. Tangible interaction in mixed reality systems. In Emmanuel Dubois, Philip Gray, and Laurence Nigay, editors, *The Engineering of Mixed Reality Systems*, Human-Computer Interaction Series, pages 101–120. Springer London, 2010.
- [38] Jean-Baptiste de la Rivière, Cédric Kervégant, Nicolas Dittlo, Mathieu Courtois, and Emmanuel Orvain. 3D multitouch : when tactile tables meet immersive visualization technologies. In *SIGGRAPH '10 : ACM SIGGRAPH 2010 Talks*, page 56. ACM, 2010.
- [39] Manon Demyttenaere. Développement d’applications et d’un module d’analyse provenant d’interactions sur table interactive RFID permettant la manipulation d’objets tangibles et virtuels. Technical report, LAMIH, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2011.
- [40] Anind K. Dey. *Providing architectural support for building context-aware applications*. PhD thesis, College of Computing, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2000. Director-Gregory D. Abowd.
- [41] Anind K. Dey. Understanding and Using Context. *Personal Ubiquitous Computing*, 5(1) :4–7, 2001.
- [42] Anind K. Dey. Usability in Context-Aware Applications. In *Invited talk abstract in the AAAI Technical Report WS-06-12 AAAI Workshop on Modeling and Retrieval of Context*, pages 1–2, 2006.
- [43] Anind K. Dey, Gregory D. Abowd, and Daniel Salber. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. *Human-Computer Interaction*, 16 :97–166, 2001.
- [44] Anind K. Dey and Jennifer Mankoff. Designing mediation for context-aware applications. *Human-Computer Interaction*, 12(1) :53–80, 2005.
- [45] Anind K. Dey, Daniel Salber, Masayasu Futakawa, and Gregory D. Abowd. An Architecture To Support Context-Aware Applications. *GVU Technical Reports*, 1999. <http://hdl.handle.net/1853/3390>.
- [46] Anind K. Dey, Timothy Sohn, Sara Streng, and Justin Kodama. iCAP : Interactive Prototyping of Context-Aware Applications. In *Proceedings of the the fourth international conference on pervasive computing*, pages 254–271, Dublin, Ireland, 2006.
- [47] H. Dieterich, U. Malinowski, T. Kühme, and M. Schneider-Hufschmidt. State of the art in adaptive user interfaces. In M. Schneider-Hufschmidt, T. Kühme, and U. Malinowski, editors, *Adaptive User Interfaces : Principles and Practice*, pages 13–48. North-Holland, Amsterdam, 1993.

-
- [48] Paul Dietz and Darren Leigh. DiamondTouch : A MultiUser Touch Technology. In *UIST '01 : Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 219–226, Orlando, Florida, 2001. ACM Press.
- [49] Paul Dourish. Seeking a foundation for context-aware computing. *Human-Computer Interaction*, 16(2) :229–241, 2001.
- [50] Paul Dourish. What we talk about when we talk about context. *Personal Ubiquitous Computing*, 8(1) :19–30, 2004.
- [51] Florian Echtler, Manuel Huber, and Gudrun Klinker. Shadow tracking on multi-touch tables. In *AVI 08 : Proceedings of the working conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 388–391, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [52] Epson. X-Desk. http://www.impressx.com/downloads/9076_Epson_impressx_xdesk-Broschuere_en.pdf, 2009.
- [53] Jacques Ferber. *Les Systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective*. Inter-Edition, Paris, Septembre 1995.
- [54] Jacques Ferber, Olivier Gutknecht, and Fabien Michel. Agent-oriented software engineering iv. In Paolo Giorgini, Jörg P. Müller, and James Odell, editors, *4th International Workshop, Agent-Oriented Software Engineering (AOSE)*, volume 2935 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 214–230, Melbourne, Australia, July 2003. Springer Verlag.
- [55] Rebecca Fiebrink, Dan Morris, and Meredith Ringel Morris. Dynamic mapping of physical controls for tabletop groupware. In *CHI '09 : 27th international conference on Human factors in computing systems*, pages 471–480, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [56] F. W. Fikkert, M. C. Hakvoort, P. E. van der Vet, and A. Nijholt. Experiences with interactive multi-touch tables. In A. Nijholt, D. Reidsma, and G. H. W. Hondorp, editors, *Proceedings 3rd International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (INTETAIN 09)*, volume 9 of *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 193–200, Amsterdam, the Netherlands, 2009. Springer Verlag.
- [57] George W. Fitzmaurice. Situated information spaces and spatially aware palmtop computers. *Communications of the ACM*, 36 :39–49, 1993.
- [58] George W. Fitzmaurice and William Buxton. An empirical evaluation of graspable user interfaces : towards specialized, space-multiplexed input. In *CHI '97 : conference on Human factors in computing systems*, pages 43–50, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- [59] George W. Fitzmaurice, Hiroshi Ishii, and William A. S. Buxton. Bricks : laying the foundations for graspable user interfaces. In *CHI '95 : conference on Human factors in computing systems*, pages 442–449, New York, NY, USA, 1995. ACM Press / Addison-Wesley Publishing Co.
- [60] Florian Fuchs and Sybille Neumeyer. Sand Spuren. <http://netzspannung.org/cat/servlet/CatServlet?cmd=netzkollektor&subCommand=showEntry&lang=en&entryId=406700>, 2007.

- [61] Kusunoki Fusako, Yairi Ikuko, and Nishimura Takuichi. MultiAudable : Interactive Table with Individual Audio Feedback For Collaborative Work. In Joho Shori Gakkai Shinpojiumu Ronbunshu, editor, *Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment*, number 5 in ACE '04, pages 279–286, 2004.
- [62] Vincent Ganneau, Gaëlle Calvary, and Rachel Demumieux. Métamodèle de Règles d'Adaptation pour la Plasticité des Interfaces Homme-Machine. In *IHM'2007 Actes de la 19ème Conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 91–98, Paris, France, 2007.
- [63] William W. Gaver, John Bowers, Andrew Boucher, Hans Gellerson, Sarah Pennington, Albrecht Schmidt, Anthony Steed, Nicholas Villars, and Brendan Walker. The drift table : designing for ludic engagement. In *CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 885–900, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [64] Tom Geller. Interactive Tabletop Exhibits in Museums and Galleries. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(5) :6–11, 2006.
- [65] Eitan Glinert, Nozomi Kakikuchi, Jason Furtado, Tiffany Wang, and Ben Howel. Zen Waves. <http://sites.google.com/a/eitanglinert.com/www/projects>, 2008.
- [66] Omega Glas GMBH. Vipro Interactive Table. <http://www.omegaglas.de/wb-neu/index.php>, 2009.
- [67] Talaganov Goce, Cruz Mario Alberto, Lorensen Christen Lau, Thomsen Peter Pozza, and Fredslund Anders. ConDio. <http://media.aau.dk/~gtal05/condioProject.html>, 2005.
- [68] Daniel Guse and Manuel Hollert. TangibleTable. www.tangibletable.de, 2007.
- [69] Michael Haller, Daniel Leithinger, Jakob Leitner, and Thomas Seifried. Coenostoryboard : An Augmented Surface for Storyboard Presentations. In *Mensch & Computer*, pages 4–7, 2005.
- [70] Jefferson Y. Han. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, pages 115–118. ACM Press, 2005.
- [71] Jean-Baptiste Haué and Pierre Dillenbourg. Do fewer laptops make a better team? In Pierre Dillenbourg, Jeffrey Huang, and Mauro Cherubini, editors, *Interactive Artifacts and Furniture Supporting Collaborative Work and Learning*, volume 10 of *Computer-Supported Collaborative Learning Series*, pages 1–24. Springer US, 2009.
- [72] Sibylle Hauert and Daniel Reichmuth. Rosen & Spademan Enterprise. <http://www.instantcity.ch>, 2004.
- [73] Paul Hertz. Oraï/Kalos (Crossworld). <http://collaboratory.nunet.net/phertz/portfoli/oraikalo.htm>, 2002.
- [74] Otmar Hilliges, Shahram Izadi, Andrew D. Wilson, Steve Hodges, Armando Garcia-Mendoza, and Andreas Butz. Interactions in the air : adding further depth to

-
- interactive tabletops. In *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '09, pages 139–148, New York, NY, USA, 2009. ACM Press.
- [75] Jordan Hochenbaum and Owen Vallis. Brick. <http://bricktable.wordpress.com/about/>, 2008.
- [76] Marcus Holzmayr and Cornelius Pöpel. LOOPLEX : Interaktives Sound Interface. In *Workshop-Proceedings der Tagung Mensch & Computer*, pages 163–166, 2009.
- [77] Eva Hornecker. A design theme for tangible interaction : Embodied facilitation. In *Proceedings of the ninth conference on European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pages 23–43. Springer, 2005.
- [78] Chen-Je Huang, Ellen Yi-Luen Do, and Mark D. Gross. MouseHaus Table, a Physical Interface for Urban Design. In *16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 41–42, Vancouver, BC, Canada, 2003.
- [79] Ideum. Intuiface. <http://www.ideum.com/>, 2010.
- [80] Interactive Scape. HDTML. <http://www.interactive-scape.com/>, 2008.
- [81] Intuilab. Intuiface. <http://www.intuilab.com/>, 2002.
- [82] IO Agency. Sensitive Table. <http://www.geome-structuresgonflables.com/sensitive-table-interactive.php>, 2007.
- [83] Hiroshi Ishii. Tangible bits : beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pages 25–35, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [84] Hiroshi Ishii, Ali Mazalek, and Jay Lee. Bottles as a minimal interface to access digital information. In *CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 187–188, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [85] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *CHI '97 : SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 234–241, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- [86] ITS'09. Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, 2009.
- [87] Daniel Jackson, Tom Bartindale, and Patrick Olivier. FiberBoard : compact multi-touch display using channeled light. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '09, pages 25–28. ACM Press, 2009.
- [88] Yvonne Jansen. Mudpad : fluid haptics for multitouch surfaces. In *CHI EA '10 : 28th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 4351–4356, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [89] Yvonne Jansen, Thorsten Karrer, and Jan Borchers. Mudpad : Tactile feedback and haptic texture overlay for touch surfaces. In *ITS '10 : International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 11–14, New York, NY, USA, 2010. ACM Press.
- [90] Jewish Museum Berlin. Floating Numbers. <http://www.artcom.de/projekte/projekt/detail/floatingnumbers/>, 2004.

- [91] Sergi Jordà, Martin Kaltenbrunner, Günter Geiger, and Marcos Alonso. The reac-Table : a tangible tabletop musical instrument and collaborative workbench. In *SIGGRAPH '06 : ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*, page 91, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [92] Fujii Kensaku, Shimamura Jun, Arakawa Kenichi, and Arikawa Tomohiko. Tangible search for stacked objects. In *CHI '03 : extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 848–849, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [93] Daniel Klinkhammer, Markus Nitsche, Marcus Specht, and Harald Reiterer. Adaptive personal territories for co-located tabletop interaction in a museum setting. In *ITS'11 : Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 107–110. ACM Press, 2011.
- [94] Aleksander Krzywinski, Haipeng Mi, Weiqin Chen, and Masanori Sugimoto. Robo-Table : a tabletop framework for tangible interaction with robots in a mixed reality. In *ACE '09 : Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pages 107–114. ACM Press, 2009.
- [95] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, and Christophe Kolski. Evaluation of an interactive table with tangible objects : Application with children in a classroom. In *2nd Workshop on Child Computer Interaction "UI Technologies and Educational Pedagogy"*, at *CHI'2011*, Vancouver, Canada, 2011.
- [96] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, and Christophe Kolski. RFID-driven situation awareness on TangiSense, a table interacting with tangible objects. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2011. DOI : 10.1007/s00779-011-0442-9.
- [97] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, and Jean Caelen. Towards New Human-Machine Systems in contexts involving interactive table and tangible objects. In *11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, Valenciennes, France, 2010.
- [98] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, Christian Perrot, and Jean Caelen. TangiSense : présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables. In *IHM '09 : Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pages 351–354, Grenoble, France, 2009. ACM.
- [99] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, Yoann Lebrun, Philippe Dos Santos, Christophe Kolski, and Jean Caelen. New Human-Computer Interactions Using Tangible Objects : Application on a Digital Tabletop with RFID Technology. In Julie A. Jacko, editor, *Human-Computer Interaction*, LNCS 5612, pages 446–455. Springer, 2009.
- [100] Sébastien Kubicki, Lebrun Yoann, Lepreux Sophie, Emmanuel Adam, Christophe Kolski, and René Mandiau. Exploitation de la technologie RFID associée à une table interactive avec objets tangibles et traçables, Application à la gestion de trafic routier. *Génie Logiciel*, 31 :41–45, 2009.
- [101] Gordon Kurtenbach and William Buxton. User learning and performance with marking menus. In *CHI '94 : Conference on Human factors in computing systems : celebrating interdependence*, pages 258–264, New York, NY, USA, 1994. ACM.

-
- [102] Larousse. Encyclopédie en ligne. www.larousse.fr, 2011.
- [103] Catalin Lazia. *Living Jukebox : A Tactile Modular Soft Interface for Exploring Music in a Living Room Environment*. PhD thesis, Parsons School of Design, 2005.
- [104] Le Petit Robert. Le petit robert. Le nouveau Petit Robert de la langue française 2011, 2011.
- [105] Yoann Lebrun, Emmanuel Adam, Sébastien Kubicki, and René Mandiau. A Multi-Agent System Approach for Interactive Table Using RFID. In *PAAMS 2010, 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems*, volume 70, pages 125–134, Salamanca, Spain, 2010.
- [106] Hyun-Jean Lee, Madhur Khandelwal, and Ali Mazalek. Tilting table : a movable screen. In *TEI '07 : Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 93–96, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [107] Jakob Leitner, James Powell, Peter Brandl, Thomas Seifried, Michael Haller, Bernard Dorray, and Paul To. Flux : a tilting multi-touch and pen based surface. In *CHI EA '09 : 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 3211–3216, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [108] Sophie Lepreux, Sébastien Kubicki, Christophe Kolski, and Jean Caelen. A step towards the distribution of tangible and virtual objects. In José Antonio Gallud, Ricardi Tesoriero, and Victor Ruiz Penichet, editors, *Distributed User Interfaces*, pages 133–143. Springer, 2011. ISBN : 978-1-4471-2270-8.
- [109] Sophie Lepreux, Sébastien Kubicki, Christophe Kolski, and Jean Caelen. Distributed interactive surfaces using tangible and virtual objects. In *CHI'11 : Workshop DUI'2011 "Distributed User Interfaces"*, pages 65–68, Vancouver, Canada, 2011.
- [110] Golan Levin. The Table is The Score : An Augmented-Reality Interface for Real-Time, Tangible, Spectrographic Performance. In *Proceedings of the International Conference on Computer Music 2006 (ICMC'06)*, New Orleans, 2006.
- [111] Pedro Lopes, Ricardo Jota, and Joaquim A. Jorge. Augmenting touch interaction through acoustic sensing. In *ITS '11 : Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 53–56. ACM Press, 2011.
- [112] Martin Maguire. Context of Use within Usability Activities. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55 :453–483, 2001.
- [113] Andrew Manches, Claire O'Malley, and Steve Benford. Physical manipulation : evaluating the potential for tangible designs. In *TEI '09 : 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, pages 77–84, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [114] Nicolai Marquardt, Miguel Nacenta, James Young, Sheelagh Carpendale, Saul Greenberg, and Ehud Sharlin. The Haptic Tabletop Puck : Tactile Feedback for Interactive Tabletops. In *Tabletop and interactive Surfaces 2009 (Tabletop'09)*, 2009.
- [115] Paul Emile Martin. Pupitre du 21ème siècle pour la classe du 21ème siècle. *Revue de l'Enseignement Public et Informatique*, 97 :89–98, 2000.

- [116] Thomas Masson. Développement d'une application éducative sur table interactive RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et virtuels et module d'analyse. Technical report, LAMIH, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2011.
- [117] Yasushi Matoba, Toshiki Sato, and Hideki Koike. Enhanced interaction with physical toys. In *ITS'11 : Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 57–60. ACM P, 2011.
- [118] Mitsunori Matsushita, Makoto Iida, Takeshi Ohguro, Yoshinari Shirai, Yasuaki Kakehi, and Takeshi Naemura. Lumisight table : a face-to-face collaboration support system that optimizes direction of projected information to each stakeholder. In *CSCW '04 : Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 274–283, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [119] Ali Mazalek, Matthew Reynolds, and Glorianna Davenport. TViews : An Extensible Architecture for Multiuser Digital Media Tables. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 26 :47–55, September 2006.
- [120] Mediamatic. Symbolic Table : 100% interface-free media player. <http://www.mediamatic.net/page/11344/en>, 2006.
- [121] Microsoft. Surface. <http://www.microsoft.com/surface/>, 2011.
- [122] Mindstorm. iBar. <http://www.mindstorm.com/products/ibar>, 2006.
- [123] Michihito Mizutani. Tasting Music. <http://www.michihito.com/11tastingmusic.html>, 2002.
- [124] Philipp H. Mohr, Nick Ryan, and Jon Timmis. Capturing Regular Human Activity through a Learning Context Memory. In *Proceedings of the 3rd International Workshop of Modelling and Retrieval of Context (MRC 2006) in conjunction with AAAI-06*, page 6, Boston, USA, 2006.
- [125] James Ashton Nichols. Dubtable. <http://www.dubtable.net/>, 2009.
- [126] Rune Nielsen, Jonas Fritsch, Kim Halskov, and Martin Brynskov. Out of the box : exploring the richness of children's use of an interactive table. In *IDC '09 : 8th International Conference on Interaction Design and Children*, pages 61–69, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [127] Haruo Noma, Yasuyuki Yanagida, and Nobuji Tetsutani. The Proactive Desk : A New Force Display System for a Digital Desk Using a 2-DOF Linear Induction Motor. In *VR '03 : Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2003*, page 217, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [128] Giorgio Olivero and Peggy Thoeny. Tableportation. Master's thesis, Interaction Design Institute Ivrea, 2003. <http://www.nastypixel.com/prototype/tableportation>.
- [129] Olufemi Omojola, Rehmi Post, Matthew D. Hancher, Yael Maguire, Ravikanth Pappu, Bernd Schöner, Peter Russo, Richard Fletcher, and Neil Gershenfeld. An installation of interactive furniture. In *IBM Systems Journal*, volume 39, 2000.
- [130] Panasonic. Intelligent Table. <http://en.akihabaranews.com/7007/household/hdtv-the-interactive-and-intelligent-table-by-panasonic>, 2006.

-
- [131] Gian Pangaro, Dan Maynes-Aminzade, and Hiroshi Ishii. The actuated workbench : computer-controlled actuation in tabletop tangible interfaces. In *UIST '02 : 15th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 181–190, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [132] Jason Pascoe. Adding Generic Contextual Capabilities to Wearable Computers. In *ISWC '98 : Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pages 92–99, Washington, DC, USA, 1998. IEEE Computer Society.
- [133] Jason Pascoe, Kirsten Thomson, and Helena Rodrigues. Context-Awareness in the Wild : An Investigation into the Existing Uses of Context in Everyday Life. In *OTM Workshops*, pages 193–202, 2007.
- [134] Fabio Paterno. *Model-Based Design and Evaluation of Interactive Applications*. Springer-Verlag, London, UK, 1999.
- [135] James Patten, Hiroshi Ishii, Jim Hines, and Gian Pangaro. Sensetable : a wireless object tracking platform for tangible user interfaces. In *CHI '01 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 253–260, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [136] James Patten, Ben Recht, and Hiroshi Ishii. Audiopad : a tag-based interface for musical performance. In *NIME '02 : Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression*, pages 1–6, Singapore, Singapore, 2002. National University of Singapore.
- [137] Esben Warming Pedersen and Kasper Hornbaek. mixiTUI : a tangible sequencer for electronic live performances. In *TEI '09 : Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, pages 223–230, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [138] Esben Warming Pedersen and Kasper Hornbaek. Tangible bots : interaction with active tangibles in tabletop interfaces. In *CHI '11 : conference on Human factors in computing systems*, pages 2975–2984, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [139] Tommy Perman and Simon Kirby. Etiquette. <http://etiquette.surfacepressure.net/>, 2007.
- [140] Philips. Password. *Philips Research technology magazine*, 26 :24–27, 2006.
- [141] Front Pictures. I.M. Table. <http://frontpictures.com/index.php/en/imtable>, 2009.
- [142] PQ Labs. iTable. <http://multi-touch-screen.com/itable.html>, 2008.
- [143] Jun Rekimoto. SmartSkin : an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *CHI '02 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 113–120, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [144] Jun Rekimoto, Brygg Ullmer, and Haruo Oba. DataTiles : a modular platform for mixed physical and graphical interactions. In *CHI '01 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 269–276, New York, NY, USA, 2001. ACM.

- [145] Patrick Reuter, Nadine Couture, and Guillaume Rivières. ArcheoTUI. In *IHM'08 : 20ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 221–222, Metz, 2008. ACM Press.
- [146] Gaëtan Rey. *Contexte en Interaction Homme-Machine : le contexteur*. PhD thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 2005.
- [147] Gaëtan Rey. Méthode pour la modélisation du contexte d'interaction. *Ingénierie des systèmes d'information*, 11(5) :141–166, 2006.
- [148] Guillaume Rivière, Nadine Couture, and Fabrice Jurado. Tangible User Interfaces for geosciences. *Society of Exploration Geophysicists, Technical Program Expanded Abstracts*, 28(1) :1137–1141, 2009.
- [149] Guillaume Rivière and Nadine Couture. The Design of a Tribal Tabletop. In *Adjunct Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*, pages 29–30, Amsterdam, The Netherlands, NL, 2008.
- [150] Gerard Roma and Anna Xambó. A tabletop waveform editor for live performance. In *NIME08*, Geona, Italy, 2008.
- [151] Nicolas Roussel and Olivier Chapuis. Metisse : un système de fenêtrage hautement configurable et utilisable au quotidien. In *IHM 2005 : 17th international conference on Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 279–282, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [152] Nick Ryan, Jason Pascoe, and David Morse. Enhanced Reality Fieldwork : the Context-Aware Archeological Assistant. In V. Gaffney, M. van Leusen, and S. Exxon, editors, *CAA '97 : Computer Applications in Archaeology*, pages 269–274, Birmingham, 1997. Archaeopress.
- [153] Stéphane Safin, Christelle Boulanger, and Pierre Leclercq. Premières évaluations d'un bureau virtuel pour un processus de conception augmenté. In *IHM 2005 : 17th international conference on Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 107–114, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [154] Satoshi Sakurai, Yoshifumi Kitamura, Sriram Subramanian, and Fumio Kishino. A visibility control system for collaborative digital table. *Personal Ubiquitous Computing*, 13 :619–632, 2009.
- [155] Bill Schilit, Norman Adams, and Roy Want. Context-Aware Computing Applications. In *WMCSA '94 : Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pages 85–90, Santa Cruz, CA, 1994. IEEE Press.
- [156] Dominik Schmidt, Ming Ki Chong, and Hans Gellersen. HandsDown : hand-contour-based user identification for interactive surfaces. In *6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction : Extending Boundaries*, pages 432–441, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [157] Ramon Schreuder. Social Soundmachine. <http://www.feelingthemusic.com/>, 2007.
- [158] Stacey D. Scott and Sheelagh Carpendale. Interacting with Digital Tabletops. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 26(5) :24–27, 2006.

-
- [159] J. Serpa, E. Nobre, I. Franco, N. Cardoso, A. Lobo, M. Costa, and A. S. Câmara. TangiTable : 80 000 Simulating Pollutant Dispersion. In *Proceedings of Human-Computer Interaction International 2003*, Athens, Greece, 2003.
- [160] Chia Shen, Mark S. Hancock, Clifton Forlines, and Frédéric D. Vernier. CoR2Ds. In *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1781–1784, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [161] Chia Shen, Frédéric Vernier, Clifton Forlines, and Meredith Ringel. DiamondSpin : An Extensible Toolkit for Around-the-Table Interaction. In *CHI '04 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 167–174, Vienna, Austria, 2004. ACM.
- [162] Ben Shneiderman. Direct manipulation : A step beyond programming languages. *Computer*, 16(8) :57–69, 1981.
- [163] Jérôme Simonin and Noëlle Carbonell. Interfaces adaptatives - Adaptation dynamique à l'utilisateur courant. In Imad Saleh and Djefr Regottaz, editors, *Interfaces numériques*, pages 37–54, Paris, 2007. Hermès.
- [164] Smart Technologies. Smart Table. <http://smarttech.com/us/Solutions/Education+Solutions>, 2009.
- [165] Rachel Charlotte Smith and Ole Sejer Iversen. When the museum goes native. *interactions*, 18 :15–19, 2011.
- [166] Olov Ståhl, Anders Wallberg, Jonas Söderberg, Jan Humble, Lennart E. Fahlén, Adrian Bullock, and Jenny Lundberg. Information exploration using The Pond. In *CVE '02 : Proceedings of the 4th international conference on Collaborative virtual environments*, pages 72–79, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [167] Aurélien Tabard, Juan-David Hincapié-Ramos, Morten Esbensen, and Jakob E. Bardram. The eLabBench : an interactive tabletop system for the biology laboratory. In *ITS'11 : Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 202–211. ACM Press, 2011.
- [168] Tabletop'08. Third IEEE International Workshop on Tabletops and Interactive Surfaces, 2008.
- [169] Keiko Takahashi and Shinji Sasada. Diorama table. In *MULTIMEDIA '05 : Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia*, pages 1077–1078. ACM Press, 2005.
- [170] Anthony Tang, Michel Pahud, Sheelagh Carpendale, and Bill Buxton. VisTACO : visualizing tabletop collaboration. In *ITS '10 : International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 29–38, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [171] David Thevenin and Joëlle Coutaz. Plasticity of User Interfaces : Framework and Research Agenda. In C. Johnson, editor, *Interact'99*, pages 110–117, Edinburgh, 1999. IFIP IOS Press.
- [172] TouchTable Inc. TouchTable. <http://www.touchtable.com/>, 2005.
- [173] Edward Tse, Johannes Schöning, Yvonne Rogers, Chia Shen, and Gerald Morrison. Next generation of HCI and education : Workshop on UI technologies and educational pedagogy. In *CHI EA '10 : 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 4509–4512, 2010.

- [174] Edward Tse, Johannes Schöning, Jochen Huber, Lynn Marentette, Richard Beckwith, Yvonne Rogers, and Max Mühlhäuser. Child computer interaction : 2nd workshop on UI technologies and educational pedagogy. In *CHI EA '11 : 29th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 2445–2448, 2011.
- [175] William Turner, Stéphanie Buisine, Jean-Gabriel Ganascia, Laurine Eveque, Karan Fouladi, Julie Marlier, and Mauricio Retamales. La conception innovante des objets à intelligence incorporée. In J.M. Noyer and B. Juanals, editors, *Les technologies intellectuelles au coeur de la transformation socio-technique*, Paris, 2010. Lavoisier Hermès Science.
- [176] Jean-Dany Vally and Rémy Courdier. A conceptual "role-centered" model for design of multi-agents systems. In *PRIMA '98 : Selected papers from the First Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents, Multiagent Platforms*, pages 33–46, London, UK, 1999. Springer-Verlag.
- [177] Andries van Dam. Post-WIMP user interfaces. *Commun. ACM*, 40 :63–67, 1997.
- [178] Peter Vandoren, Tom Van Laerhoven, Luc Claesen, Johannes Taelman, Fabian Di Fiore, Frank Van Reeth, and Eddy Flerackers. Dip-it : digital infrared painting on an interactive table. In *CHI '08 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 2901–2906, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [179] Bauke De Vries, Henri Achten, Maciej Orzechowski, Amy Tan, Nicole Segers, Vincent Tabak, and Joran Jessurun. The tangible interface : Experiments as an integral part of a research strategy. *International Journal of Architectural Computing*, 1(2) :133–152, 2003.
- [180] Walker Art Center. Dialog Table. <http://blogs.walkerart.org/newmedia/category/dialog-table/>, 2003.
- [181] Josh Wall. Demo I Microsoft Surface and the Single View Platform. In *CTS '09 : Proceedings of the 2009 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems*, pages 31–32, Washington, DC, USA, 2009. IEEE Computer Society.
- [182] Andy Ward, Alan Jones, and Andy Hopper. A New Location Technique for the Active Office. *IEEE Personnal Communications*, 4(5) :42–47, 1997.
- [183] Mark Weiser. The Computer for the 21st Century. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 3(3) :3–11, 1999.
- [184] Malte Weiss, Florian Schwarz, Simon Jakubowski, and Jan Borchers. Madgets : actuating widgets on interactive tabletops. In *UIST '10 : 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 293–302, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [185] Malte Weiss, Simon Voelker, Christine Sutter, and Jan Borchers. BendDesk : dragging across the curve. In *ITS '10 : ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 1–10. ACM Press, 2010.
- [186] Malte Weiss, Julie Wagner, Yvonne Jansen, Roger Jennings, Ramsin Khoshabeh, James D. Hollan, and Jan Borchers. SLAP widgets : bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops. In *CHI '09 : 27th international conference*

-
- on *Human factors in computing systems*, pages 481–490, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [187] Pierre Wellner. The DigitalDesk calculator : tangible manipulation on a desk top display. In *UIST*, pages 27–33. ACM Press, 1991.
- [188] Pierre Wellner. Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communication of the ACM*, 36(7) :87–96, 1993.
- [189] Raphael Wimmer, Fabian Hennecke, Florian Schulz, Sebastian Boring, Andreas Butz, and Heinrich Hußmann. Curve : revisiting the digital desk. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction : Extending Boundaries*, NordiCHI '10, pages 561–570, Reykjavik, Iceland, 2010. ACM.
- [190] Terry Winograd. Architectures for context. *Human-Computer Interaction*, 16(2) :401–419, 2001.
- [191] Andy Wu and Ali Mazalek. Tangible Tracking Table : an interactive tabletop display. In *Tabletop'08 : IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer System*, 2008.
- [192] Naomi Yamashita, Hideaki Kuzuoka, Keiji Hirata, Shigemi Aoyagi, and Yoshinari Shirai. Supporting fluid tabletop collaboration across distances. In *CHI '11 : Conference on Human factors in computing systems*, pages 2827–2836, Vancouver, Canada, 2011. ACM.
- [193] Jong yi Hong, Eui ho Suh, and Sung-Jin Kim. Context-aware systems : A literature review and classification. *Expert Systems with Applications*, 36(4) :8509 – 8522, 2009.
- [194] Hayfa Zgaya. Conception et optimisation distribuée d'un système d'information d'aide à la mobilité urbaine : Une approche multi-agent pour la recherche et la composition des services liés au transport. Master's thesis, Ecole centrale, Lille, 2007.

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine. Elle vise à prendre en considération le contexte d'usage pour les nouvelles plateformes de type table interactive. Par la notion de table interactive, on laisse supposer un espace de travail collaboratif et co-localisé permettant de faire intervenir plusieurs utilisateurs en même temps mais également de nouvelles interactions mêlant objets tangibles, virtuels voire tactiles. C'est face à ce constat et à l'engouement accordé à ces nouvelles plateformes que nous avons proposé de recenser puis de caractériser les tables interactives en nous appuyant sur un modèle que nous avons proposé.

Le contexte est une notion utilisée depuis longtemps dans la conception d'applications interactives. Les recherches en Interaction Homme-Machine ont apporté de nombreux éléments permettant de le définir et de le qualifier de manière approfondie. Notre proposition se base sur la prise en considération du contexte d'usage pour les tables interactives. Pour cela, nous avons dans un premier temps modélisé le contexte d'usage tel qu'il peut être défini dans la littérature puis augmenté cette modélisation afin de l'adapter à l'utilisation des tables interactives. Un ensemble de formalismes permettant de définir le contexte et une situation d'utilisation pour les tables interactives sont également présentés, ceux-ci nous amenant à proposer un système d'adaptation au contexte d'usage puis un ensemble de règles d'adaptation. Nous réalisons l'adaptation au contexte d'usage en utilisant la table interactive TangiSense, résultat du projet ANR TTT. Pour cela nous utilisons et implémentons nos règles d'adaptation proposées afin de permettre à la table interactive TangiSense de s'adapter en fonction du contexte et des situations d'utilisation. Afin d'évaluer l'ensemble des éléments proposés dans cette thèse, deux études ont été menées : la première en laboratoire, la seconde dans un environnement naturel en école maternelle. Un ensemble de perspectives de recherche termine le mémoire.

Mots-clés: Interaction Homme-Machine, Table interactive, Contexte, Adaptation, TangiSense, RFID, objet tangible

Abstract

This thesis contributes to the Human-Computer Interaction domain. It aims to take into account the context of use for the new platforms like the interactive tables. By the concept of interactive table, one can suppose a collaborative and co-localized workspace allowing several users to work at the same time but also new interactions mixing tangible, virtual objects even tactile. That is due to these observations and to the interest granted to these new platforms that we proposed to characterize and to list the interactive tables by using a model that we proposed.

The context is a concept used for a long time in the interactive applications design. Research in Human-Computer Interaction brought many elements making it possible to define and to qualify it thoroughly. Our proposal aims so to take into account the context of use for the interactive tables. For that, we initially modelled the context of use such as it can be defined in the literature. Then we increased this model in order to adapt it to the use of the interactive tables. A set of formalisms making it possible to define the context and a situation of use for the interactive tables are also presented, those bring up us to propose an adaptation system to the context of use then a set of adaptation rules. We carry out the adaptation to the context of use by using the TangiSense interactive table, result of ANR TTT project. For that we use, and implement our suggested adaptation rules in order to allow the TangiSense interactive table to adapt itself according to the context and to the situations of use. In order to evaluate the whole of the elements proposed in this thesis, two studies were conducted : the first one in laboratory, the second one in a natural environment in nursery school. A set of research prospects finishes the report.

Keywords: Human-Computer Interaction, Interactive table, Context, Adaptation, TangiSense, RFID, tangible object