

Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs avec une table interactive

Jonathan Chaboissier

▶ **To cite this version:**

Jonathan Chaboissier. Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs avec une table interactive. Autre [cs.OH]. Université Paris Sud - Paris XI, 2011. Français. NNT : 2011PA112335 . tel-00672516

HAL Id: tel-00672516

https://theses.hal.science/tel-00672516

Submitted on 21 Feb 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.

Thèse

Présentée pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Paris-Sud 11

Discipline : **Informatique**

Préparée au Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les sciences de l'Ingénieur
Dans le cadre de l'Ecole Doctorale d'informatique de l'Université Paris Sud (ED427)

Auteur :

Jonathan CHABOISSIER

Titre :

Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs avec une table interactive

Dirigée par :

Yacine BELLIK	Maître de conférences HDR à l'université Paris-sud
Frédéric VERNIER	Maître de conférences à l'université Paris-Sud

Jury de thèse :

Benoit MARTIN	Maître de conférences HDR, Université de Lorraine (rapporteur)
Stéphane NATKIN	Professeur au CNAM (rapporteur)
Christophe KOLSKI	Professeur à l'université de Valenciennes (examinateur)
Nicolas ROUSSEL	Directeur de Recherche à l'INRIA (examinateur)
Anne VILNAT	Professeur à l'université Paris-Sud (examinateur)

Version finale – 22 janvier 2012

Aux « Gourous » Laurent Simon et Frédéric Vernier ;-)

LEODAGAN
Qu'est-ce que c'est que cette lubie de vous faire construire une table ?

PERCEVAL
D'autant qu'il y en a déjà une dans la salle à manger !

ARTHUR
Là, c'est une table ronde, pour que les chevaliers de Bretagne se réunissent autour. De toute façon, autant vous y faire, parce qu'à partir de maintenant on va s'appeler : « Les chevaliers de la table ronde ».

PERCEVAL
Les « chevaliers de la table ronde » ?

LEODAGAN*:*
Encore une chance qu'on ne se soit pas fait construire un buffet à vaisselle…

ALEXANDRE ASTIER
Kaamelott – Livre I épisode 64 : *La table de Breccan*

RESUME

Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans le domaine de l'interaction homme-machine (IHM) de la discipline Informatique. Le sujet de ce mémoire concerne l'utilisation d'une nouvelle forme d'ordinateur appelée table interactive ou « tabletop ». Une table interactive est une table dont le plateau est à la fois un écran et une surface de détection multi-tactile. Les tables interactives ouvrent de nouveaux usages de l'informatique en permettant des applications multi-utilisateurs en coprésence. Les utilisateurs d'une même table interactive ont naturellement envie d'interagir simultanément sur la surface partagée. Cette simultanéité est toutefois difficile à observer dans un contexte collaboratif et non artificiel. En conséquence les études existantes n'ont pas suffisamment analysé les problèmes rencontrés ni cherché comment le système peut aider à gérer les accès simultanés.

Notre approche consiste à étudier la modalité des interactions simultanées en sortant du cadre habituel des applications où les utilisateurs définissent leur rythme d'utilisation. Nous avons préféré nous orienter vers des situations originales où la couche applicative du système exerce une forte pression sur le rythme d'utilisation. Nous justifions ainsi l'utilisation d'un jeu vidéo comme outil d'exploration et comme plate-forme expérimentale. Ce mémoire retrace la conception et le développement de *RealTimeChess*, un jeu pour 2 à 4 joueurs, adapté aux caractéristiques des tables interactives, et inspiré des échecs dans une version s'affranchissant du tour par tour. Nous rapportons les résultats d'expériences menées sur des groupes de 2 à 4 participants en situations de coopération et de compétition, qui ont permis de mettre en évidence des problèmes :

- de gênes physiques et d'accessibilité aux objets distants ;
- de perception des informations importantes en contexte dynamique ;
- et de contrôle du rythme de l'interaction.

Notre première contribution est la conception et l'évaluation de techniques d'interaction à distance pour le contrôle et la sélection d'objets. Nous nous appuyons sur les résultats de plusieurs expériences pour montrer l'adéquation et la complémentarité de l'interaction directe habituelle avec l'interaction à distance.

Notre seconde contribution repose sur l'utilisation de signaux visuels inspirés des interfaces graphiques de systèmes de contrôle aérien, dans une version adaptée à un usage multi-utilisateur. Nous décrivons dans cette partie comment ces signaux permettent de résoudre les problèmes de non perception d'évènements importants durant une tâche dynamique.

Notre troisième contribution, rapportée en annexe du mémoire, consiste en deux mécanismes de pression pour influencer la simultanéité et la performance du groupe dans une application collaborative de séance de créativité médiée par la table interactive. Le premier mécanisme est une pression temporelle encourageant les utilisateurs à être plus productifs. Le second mécanisme est une pression sociale forçant les collaborateurs à comparer leurs performances et introduisant un sentiment de compétition pour augmenter leur motivation.

Ce mémoire se termine par les leçons apprises dans le cadre de cette thèse, élargissant les principes de conception d'application pour table interactive reconnus dans la littérature, au niveau de l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs, des aspects de territorialité, des comportements collaboratifs et enfin en proposant des recommandations de Game Design pour tables interactives.

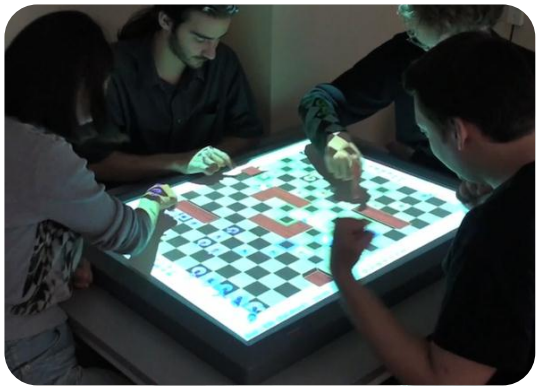


TABLE DES MATIERES

Résumé 6

Table des matières 7

Remerciements 9

Introduction 11

1 Positionnement scientifique 13
1.1 Interaction tactile 13
1.2 Tables interactives 18

2 État de l'Art 21
2.1 Technologies matérielles 21
2.2 Recherche en Interaction Homme-Machine 25
2.3 Conclusions de l'état de l'art 33

3 Démarche scientifique 35
3.1 Jeu vidéo sur table interactive 35
3.2 Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs 41
3.3 Démarche exploratoire 44

4 Le projet RealTimeChess 47
4.1 Construction de la démarche exploratoire 47
4.2 La conception de *RealTimeChess* 52
4.3 Les expériences 63
4.4 Conclusion du chapitre 74

5 Interaction à distance 75
5.1 Un problème d'accessibilité 75
5.2 Interaction à distance : contrôle d'un objet 80
5.3 Sélection à distance 85
5.4 Interaction directe et interaction à distance 99
5.5 Conclusions 111

6 Signaux visuels 113
6.1 Un problème de perception 113
6.2 Un signal visuel global dans *RealTimeChess* 117
6.3 Evaluation du signal en arc orienté vers un utilisateur 121
6.4 Conclusions et perspective 131

7 Conclusion 133
7.1 Bilan 133
7.2 Perspectives 139
7.3 Vers la diffusion des tabletops auprès du grand public 141

8 Travaux annexes Contrôle du rythme d'interaction 142
8.1 Inciter la simultanéité 142
8.2 Tables interactives et séance de créativité 145
8.3 Mécanismes de pression dans une activité de créativité 150
8.4 Discussion 158

Bibliographie 161

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement mes directeurs de thèse, Yacine et Frédéric, qui m'ont laissé choisir mes sujets de recherche selon mes aspirations et mes besoins, en dépit de quelques maladresses. Merci de m'avoir accordé toute votre confiance lorsque j'ai voulu baser mon travail sur le jeu vidéo. Merci Fred, pour tes idées, tes conseils et nos nombreuses conversations. Merci Yacine, pour tes suggestions et tes questions qui m'ont aidé à prendre du recul tout au long de ma thèse. Je remercie les personnes avec qui j'ai eu la chance de collaborer : Stéphanie et Lara de l'ENSAM, et Tobias du LIMSI. Un grand merci à Stéphanie pour son aide précieuse lors de mes expérimentations ; un grand merci à Tobias pour sa qualité de rédaction scientifique qui a permis une publication internationale décisive.

Je remercie Stéphane Natkin et Benoit Martin d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ma thèse, pour leurs commentaires toujours intéressants et plein d'à-propos. Je remercie les autres membres de mon jury : Fred, Yacine, Anne, Christophe Kolski et Nicolas Roussel, pour l'intérêt porté à mes travaux, leur curiosité et la longue et passionnante discussion lors de ma soutenance.

Je remercie les membres du groupe AMI. J'ai une pensée affectueuse pour tous mes collègues - amis - croisés au cours de ces trois années : Matthieu *Shaderman*, Rami mon compagnon de galère canadienne, Guillaume, Céline, Ning, Christian ; les stagiaires puis doctorants Tifanie, Marc, Lionel, Maxime, Gaëtan (x2), Houda et mademoiselle Béatrice ; les Ronaldo en herbe Mathieu, Yoren, Jean, Adrien, Florimond… ; Michael, Nadège, Annelies, Cyril et toute l'équipe geste ; mes collègues de l'IUT ; et tous les autres dont j'ai omis les prénoms mais pas ce que nous avons partagé. Je remercie sincèrement tous ceux qui ont été participants à l'une (parfois plusieurs !) de mes expériences.

Je dédie ce mémoire aux « gourous » Laurent Simon et Fred Vernier, ici en tant que professeur, en souvenir du jour où vous aviez lancé à ma promotion d'ingénieurs un appel à faire un Master 2 Recherche et une thèse pour devenir chercheur – appel que j'ai été le seul à entendre alors que je traversais une période de questionnements existentiels. Et si la thèse ne m'aura pas amené à devenir chercheur, elle m'aura cependant permis de trouver la clé d'entrée du monde du jeu vidéo. Et pour cela, je ne vous remercierai jamais assez.

Je remercie chaleureusement ma famille : mes parents, ma sœur Aude et mon « beauf » Yann. Merci pour votre soutien et votre compréhension durant ces trois longues années. Je remercie en particulier ma mère pour avoir jeté à œil à mon mémoire et pour les corrections qu'elle m'a suggérées. J'ai une pensée émue Vanessa qui sera toujours ma « grande » sœur.

Je remercie mes meilleurs amis : Mickael, Erwin et Marion. J'ai une tendre pensée pour Amandine qui m'a aidé et supporté au début de ma thèse. J'ai une pensée amoureuse pour Nina qui m'a donné la force de finir en trois ans. Je salue amicalement mes chers colocs Michael, Luciano et Zak. Je tiens à remercier mes grands amis de la troupe *Cassiopée* pour toutes les aventures partagées, nos rêves fous et nos projets fantastiques. Je pense aussi à mes amis ingénieurs par état – artistes par vocation – de CinéFIPS et de la TIPS. Toutes ces expériences m'ont aidé à grandir.

Et pour terminer, j'ai une pensée particulière pour le poète Arthur Rimbaud, dont la recherche du *lieu* et de *la formule* a inspiré ma quête personnelle. En cette fin de thèse, je crois avoir trouvé la formule. Je peux commencer à envisager les lieux… ☺

Ainsi, cher lecteur, transmettez cette pensée à vos enfants : *rien n'est plus beau que Rimbaud, quand on a dix-sept ans*.

INTRODUCTION

Le sujet de cette thèse est l'étude des problèmes d'interaction homme-machine posés lorsqu'un système contraint ou encourage plusieurs utilisateurs à agir en même temps sur la surface tactile d'une table interactive. Nous opposons ainsi deux modalités d'utilisation d'une table interactive : la modalité des interactions simultanées de plusieurs utilisateurs et la modalité plus traditionnelle, le « tour par tour », où chaque utilisateur doit attendre qu'un autre ait fini d'interagir avec le système avant de pouvoir le faire.

Nous observons que les systèmes interactifs tactiles se sont largement répandus ces dernières années, notamment par la démocratisation des Smartphones et plus récemment des tablettes tactiles. Les tables interactives sont une nouvelle forme d'ordinateur matérialisée par une table dont le plateau est à la fois un écran et une surface de détection des contacts. La surface des tables interactives est largement plus grande qu'un Smartphone ou une tablette et permet à plusieurs personnes d'interagir avec le même système informatique. L'intérêt d'une table tactile repose ainsi sur une configuration où plusieurs utilisateurs prennent place autour d'un espace partagé. Dans cette condition, il a été constaté que les utilisateurs ont naturellement envie d'agir en simultané avec une table interactive. Toutefois cette interaction simultanée est limitée aux cas les plus simples (sur des parties très distinctes de l'interface) pendant la prise en main du dispositif et de l'Interface Homme-Machine.

En conséquence, la plupart des études que nous avons relevées n'ont pas permis d'atteindre un degré d'expertise suffisant pour analyser en profondeur comment les utilisateurs se coordonnent et quels problèmes ils rencontrent lorsque la simultanéité devient la règle plutôt que l'exception. La question importante qui se pose est la suivante : Comment le système pourra-t-il aider à gérer les accès simultanés à cette surface partagée sans que les utilisateurs n'aient à mettre en place des protocoles sociaux les contraignants à interagir au tour par tour ?

Cette thèse fait le pari que la simultanéité deviendra un problème aigu lorsque l'utilisation des tables interactives sera quotidienne et qu'il est possible d'attiser cette simultanéité en utilisant le jeu vidéo comme domaine d'expérimentation. Le jeu vidéo sort du cadre habituel et nous oriente vers des situations originales qui exercent une pression forte sur le rythme d'utilisation.

Nous avons en conséquence basé nos travaux sur la conception d'un jeu et sur l'observation d'utilisateurs en situation de jeu. Le jeu est un système interactif immersif et engageant pour l'utilisateur. En outre, il permet au concepteur de créer et de paramétrer des situations particulières en modifiant les règles du jeu. Ces situations permettront de pousser les tables interactives dans leurs retranchements par un rythme soutenu des interactions simultanées. Nous avons cherché à mettre en évidence des problèmes nouveaux en étudiant les comportements et les difficultés des utilisateurs en situation de collaboration, de coopération et de compétition.

Ce mémoire est structuré en sept chapitres. Trois chapitres courts d'état de l'art de plus en plus précis vers notre sujet de recherche, puis un chapitre charnière qui élabore notre projet à partir d'une expérimentation initiale et enfin trois chapitres de contribution.

Dans le chapitre 1 intitulé « Positionnement scientifique », nous retracerons les évolutions du domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM) qui ont abouti aux interactions tactiles et aux tables interactives.

Dans le chapitre 2 intitulé « État de l'Art », nous synthétiserons l'état de l'art des travaux pertinents sur les tables interactives afin de mieux cerner ce domaine de recherche naissant.

Dans le chapitre 3 intitulé « Démarche scientifique », nous étayerons notre programme de recherche en nous appuyant sur les travaux plus précisément liés aux jeux vidéo sur tables interactives et aux interactions simultanées de plusieurs utilisateurs.

Dans le chapitre 4, nous présenterons notre logiciel *RealTimeChess*, le jeu de stratégie conçu et implémenté pour mener nos premières explorations des interactions simultanées de plusieurs utilisateurs

avec une table interactive : sa conception, ses mécanismes et les différentes expériences menées. Cette première phase d'expérimentation nous a amené à remettre en question trois principes importants liés aux tables interactives.

Le chapitre 5 propose et évalue des techniques d'interaction à distance pour résoudre les problèmes de gêne et d'accessibilité mis en évidence. Ce travail remet partiellement en question le paradigme de l'interaction **en entrée** directe.

Enfin, nous rapporterons dans le chapitre 6 les résultats d'une étude sur des signaux visuels efficaces pour alerter un utilisateur des événements importants. Ce travail remet en question la conscience du travail du groupe censée être très forte lorsque le travail de groupe s'effectue en coprésence.

Nous avons décidé d'exposer dans un chapitre supplémentaire des travaux annexes à cette thèse. Ils concernent des mécanismes issus du jeu vidéo développés et évalués pour favoriser la simultanéité dans une application autre que vidéoludique : les séances de créativité. Ce travail fait suite à la remise en question de l'hypothèse sur le désir inconditionnel des utilisateurs à interagir en simultané lorsque c'est possible.

1 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

INTERACTION HOMME-MACHINE ET TABLES INTERACTIVES MULTI-TACTILES

Dans ce premier chapitre du mémoire, nous exposons le contexte de cette thèse en Interaction Homme-Machine, puis nous expliquons quelles sont les nouvelles formes de systèmes interactifs basés sur l'interaction tactile. Enfin, nous présentons les caractéristiques des tables interactives et les défis qu'elles représentent.

1.1 Interaction tactile

Cette thèse en informatique a pour domaine l'*Interaction Homme-Machine* et comme cadre d'étude : *les tables interactives multi-tactiles*. Dans cette première partie, nous définissons l'Interaction Homme-Machine puis nous présentons les nouvelles formes d'ordinateurs qui s'utilisent avec des techniques d'interaction tactiles dont les tables interactives font partie.

1.1.1 Interaction Homme-Machine

Nous définissons une *Interaction* comme l'action pouvant s'établir entre deux entités ou plus, suivie d'un ou de plusieurs effets. En Interaction Homme-Machine (IHM), nous appelons *Interaction* le phénomène ayant lieu entre l'utilisateur et un système informatique. Une interaction peut être l'action d'un utilisateur sur son ordinateur et la réaction de ce dernier pour informer de la réussite ou de l'échec du traitement demandé. Inversement, une interaction a aussi lieu lorsque le système envoie un message et que son utilisateur y répond.

Ainsi, l'IHM est la discipline de l'informatique qui étudie comment un humain contrôle et communique avec un ordinateur ; mais aussi comment plusieurs humains communiquent entre eux à l'aide d'ordinateurs. La recherche en IHM vise à concevoir ou améliorer les systèmes interactifs de façon à les rendre plus faciles à utiliser, plus efficaces et adaptés à leur contexte d'utilisation. Les travaux en IHM sont centrés sur les utilisateurs et se basent sur leur observation en situation, sur la récolte de leurs impressions ainsi que sur l'analyse statistique de leurs performances.

En quelques dizaines d'années, les besoins des utilisateurs de systèmes interactifs ont nettement évolué. Nous relevons notamment trois axes :

- la quantité des données à traiter a augmenté ;
- il y a de plus en plus de formes d'expertises parmi les utilisateurs ;
- de nouveaux utilisateurs, novices et réfractaires, apparaissent au fur et à mesure que les outils informatiques deviennent incontournables ;
- les dispositifs utilisés au quotidien se sont multipliés et diversifiés : ordinateurs portables, Smartphones, tablettes tactiles, etc.

Ces évolutions ont introduit de nouvelles formes d'interaction qui représentent des défis en IHM. Le rôle des chercheurs est de concevoir et d'évaluer des modèles et de nouvelles techniques d'interaction [Beaudouin-Lafon 2004].

1.1.2 Vers de nouvelles formes d'ordinateurs

L'informatique est désormais intégrée au quotidien de centaines de millions d'utilisateurs, professionnels et particuliers. Longtemps outil le plus répandu, l'ordinateur de bureau (PC) a été rejoint par les

téléphones mobiles, les PDA et plus récemment les tablettes tactiles. Les acteurs de l'industrie développent de nouveaux produits pour tenter de répondre à de nouveaux besoins, c'est pourquoi nous pensons que ces nouvelles formes d'ordinateur ne remplaceront pas le PC.

En effet, le PC reste l'outil le plus efficace pour de nombreuses activités. Par exemple, il convient au traitement de textes : le clavier permet de saisir et de modifier des mots rapidement ; la souris est pratique pour cibler des zones précises du document ou utiliser des outils ; et l'écran vertical est quant à lui adapté à la lecture. Néanmoins, le PC ne peut pas répondre avec la même efficacité à toutes les tâches. Par exemple, deux individus souhaitant travailler en collaboration sur la réalisation d'un diagramme vont préférer utiliser des feuilles et des stylos plutôt qu'un ordinateur dont l'interface est difficile à partager.

Les tables interactives multi-tactiles, entre autres, font partie de ces nouvelles formes d'ordinateurs, fondamentalement différentes à la fois dans leur conception et dans leur utilisation, ce qui leur permet notamment d'assister les utilisateurs dans des activités dont le contexte n'est pas suffisamment bien supporté par le PC. Les tables interactives sont dérivées des technologies tactiles.

1.1.3 Surface interactive multi-tactile – ou multitouch

Dans cette partie, nous décrivons dans un premier temps les caractéristiques des surfaces tactiles puis nous présentons un historique des technologies développées depuis les quarante dernières années.

1.1.3.1 Qu'est-ce qu'une surface interactive ?

Une surface interactive est une forme d'ordinateur dont l'écran est capable de détecter à sa surface le contact d'un doigt, d'un stylet, d'une main ou autre. L'affichage (sortie) et le dispositif de contrôle (entrée) sont alors réunis (voir Figure 1).

Les PC s'utilisent classiquement avec un clavier et une souris. La souris se pose généralement sur le bureau à côté de l'écran. En la manipulant, l'utilisateur contrôle un curseur à l'écran et peut agir sur un point donné de l'interface : on parle d'interaction indirecte. En revanche, dans le cas des surfaces interactives, l'utilisateur interagit directement avec les artefacts virtuels sur lesquels il travaille : il s'agit alors d'interaction directe car un seul et même dispositif sert à la fois d'entrée et de sortie. Les *trackpads* des ordinateurs portables sont des surfaces tactiles mais pas des surfaces interactives car ils fonctionnent sur le même mode indirect que la souris.

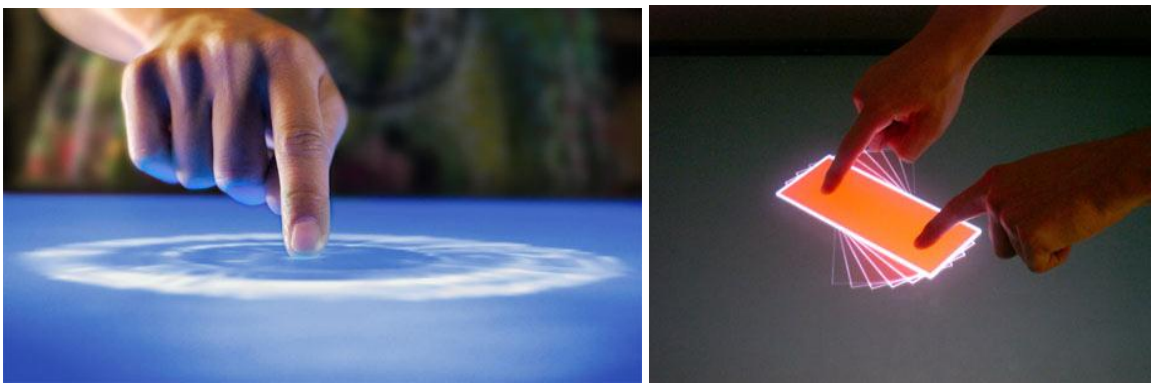


Figure 1 - Interactions à un ou deux doigts sur une surface tactile.

Une surface interactive est dite multi-tactile si elle peut détecter plusieurs contacts simultanément : plusieurs contacts du même utilisateur (deux doigts, deux mains, deux objets) ou plusieurs contacts d'utilisateurs différents. L'*iPhone* et l'*iPad* d'Apple sont par exemple deux dispositifs multi-tactiles largement démocratisés. De la même façon, certains trackpads des ordinateurs portables les plus récents détectent plusieurs doigts, ce qui rend possible des interactions pour zoomer ou défiler dans un document. A l'inverse, un écran tactile qui n'accepte qu'un seul doigt ou qu'un seul stylet comme moyen d'interaction n'est pas multi-tactile. Ainsi, par exemple, les bornes tactiles que l'on trouve dans les gares ne sont pas multi-tactiles car elles ne détectent qu'un seul point de contact.

Quotidiennement, les individus utilisent des gestes pour interagir avec les objets physiques, par exemple : appuyer sur un bouton, faire glisser une feuille, saisir un crayon, couper un morceau de viande en tenant un couteau et une fourchette dans chaque main, etc. Toutes ces actions constituent des acquis. Les

surfaces interactives multi-tactiles peuvent détecter ce type de gestes : toucher avec un doigt ou plusieurs, une main ou les deux, à l'aide d'objets, etc. sont des formes d'interaction que l'on peut exploiter pour constituer un vocabulaire expressif riche. Ainsi, les surfaces multi-tactiles offrent des opportunités aux concepteurs de systèmes interactifs d'utiliser ces acquis pour proposer des techniques d'interactions naturelles, faciles à prédire, à utiliser et à apprendre.

Il existe une multitude de formes de surfaces multi-tactiles. Certaines sont répandues auprès du grand public : téléphones mobiles, tablettes ; tandis que d'autres sont réservées à des utilisations encore trop spécifiques pour répondre à un besoin de la majorité des utilisateurs (tables, tableaux, sols).

Nous avons identifié comme surfaces interactives multi-tactiles les dispositifs suivants :

- Smart phone (*iPhone, Android…*)
- Tablettes tactiles (*iPad)*
- Les écrans tactiles d'ordinateur de bureau et d'ordinateurs portables
- Les écrans de télévisions multi-tactiles
- Les tables interactives
- Les tableaux interactifs
- Les sols interactifs

Chaque dispositif a ses propres caractéristiques, son propre design. Chacune de ces surfaces se distingue des autres au niveau de son utilité d'une part et de son utilisation d'autre part. Les propriétés que nous retenons pour les différencier sont :

- La taille de la surface interactive. Elle détermine quelles techniques d'interaction sont possibles (depuis un stylet ou un doigt jusqu'aux mains voir tout le corps), le nombre d'utilisateurs naturellement acceptés, le poids et la mobilité du système.
- Son orientation (horizontale ou verticale) et sa position dans l'espace. Elles affectent la manière dont les utilisateurs vont interagir avec elle et de quels points de vue ils vont chercher à accéder aux informations. Par exemple, les tableaux tactiles et les tables tactiles n'ont pas les mêmes contraintes de lisibilité.

Ce qui est valable pour une surface peut ne pas être adapté à une autre. Pour ces raisons, et malgré tous les points communs que l'on peut trouver entre ces surfaces tactiles, chaque dispositif devrait être étudié en profondeur indépendamment des autres. Dans cette thèse, nous nous concentrons sur les tables interactives multi-tactiles.

1.1.3.2 Evolution des surfaces interactives

Bien que l'émergence des technologies multi-tactiles paraisse récente aux yeux du grand public, les écrans tactiles existent dans les laboratoires d'électronique et d'informatique depuis des dizaines d'années [Buxton 2007]. Nous présentons ici un historique non exhaustif, en choisissant parmi tous les projets connus ceux qui, selon nous, illustrent le mieux l'évolution des technologies tactiles en quarante années, depuis la première surface tactile jusqu'aux tables interactives que nous connaissons aujourd'hui.

1972	***PLATO IV Touch Screen Terminal*** (Computer-based Education Research Laboratory) Surface tactile encore séparée de l'écran. Possibilité d'interagir sur l'écran avec un seul doigt. Aucune détection de niveau de pression. Tableau 16x16 de cases sensibles au toucher ;
1982	***Flexible Machine interface*** (Nimish Mehta , University of Toronto) Premier système multi-tactile ;
1983	***Video Place / Video Desk*** (Myron Krueger) Système basé sur la reconnaissance vidéo. Il permet l'interaction avec plusieurs doigts, les mains et des gestes par identification visuelle des formes (pas de contact). Plusieurs implémentations : murs, tables ;
1984	***Multi-touch Screen*** (Bob Boie, Bell Labs, Murray Hill NJ) Écran multi-tactile capacitif. On peut manipuler des objets graphiques entre ses doigts ;
1985	***Multi-touch tablet*** (Input Research Group, University of Toronto)

Plusieurs touchés en simultané. Système capacitif. Le premier Macintosh est commercialisé la même année ;

1985 ***Sensor Frame*** (Carnegie Mellon University)
Senseurs optiques aux coins de l'écran. Détection jusqu'à 3 doigts ;

1991 ***DigitalDesk*** (Pierre Wellner, Rank Xerox EuroPARC, Cambridge)
Première table interactive. L'affichage est projeté par le haut. La détection des contacts se fait par techniques optiques et acoustiques des doigts, mains et objets. Cette table permet la translation et l'homothétie d'objets graphiques à deux doigts (voir Figure 2) [Wellner 1991] ;

1992 ***Simon*** (IBM & Bell South)
Premier SmartPhone. Écran tactile qui ne détecte qu'un seul toucher ;

1992 ***Wacom*** (entreprise japonaise)
Mini tablette capable de détecter plusieurs objets simultanément permettant des techniques d'interaction bi-manuelles ;

1997 ***Active Desk*** (Input Research Group / Ontario Telepresence Project,University of Toronto)

Tabletop avec affichage projeté par en haut et détection des contacts par reconnaissance vidéo : position du stylet et des poses de la main gauche, ce qui autorise des interactions bi-manuelles ;

1997 ***T3*** (Alias|Wavefront, Toronto)
Nouvelle tablette multi-tactile, sur laquelle il est possible de tourner les objets graphiques à deux doigts, technique qui sera largement réutilisée ;

1998 ***Portfolio Wall*** (Alias / Wavefront,Toronto On, Canada)
Mur interactif contrôlable avec un doigt seulement permettant d'organiser et d'annoter des images puis de faire une présentation en public ;



Figure 2 - *DigitakDesk* de Pierre Wellner

2001 ***DiamondTouch*** (Mitsubishi Research Labs, Cambridge MA)
Surface multi-tactile dont la particularité est de pouvoir distinguer les contacts de plusieurs utilisateurs, permettant au système de réagir différemment selon l'identité détectée [Dietz 2001] ;

2002 ***SmartSkin*** (Jun Rekimoto Sony Computer Science Laboratories)
Electrodes capacitives pour détecter les touchers mais aussi objets tangibles à la surface [Rekimoto 2002] ;

2003 ***JazzMutant*** (Entreprise française située à Bordeaux)

Tablette multi-tactile détectant plusieurs doigts, utilisée avec le Lémur pour la régie audio en direct. Utilisée par des groupes de musique lors de concerts (voir Figure 3) ;

2005 ***Réflexion infrarouge « FTIR »*** (Jeff han, New York University)
Invention d'une technologie basée sur la détection vidéo de rayons infrarouges réfléchis au niveau de la surface. Elle permet le développement à faible coût de surfaces multi-tactiles ;

2007 ***Apple iPhone***
SmartPhone multi-tactile grand public. Plusieurs techniques d'interaction sont inspirées de la littérature, comme par exemple le pincement à deux doigts (*pinch*) pour zoomer ou dézoomer. Accès à internet et navigateur Web intégrés. Il démocratise la technologie multi-tactile (voir Figure 3) ;



Figure 3 - A gauche : JazzMutant / Au centre : Apple iPhone / A droite : Apple iPad

2007 ***Microsoft Surface***
Table interactive basée sur FTIR. Elle détecte les doigts, les mains, les objets posés à sa surface. Issue des départements de recherche de Microsoft, elle est surtout utilisée lors de démonstrations pour promouvoir l'image de la société. Elle est commercialisée malgré le peu d'applications développées pour ce support (voir Figure 4) ;

2008 ***N-trig*** (Japon)
Exemple de technologie multi-tactile intégrée aux écrans d'ordinateurs de bureau et aux portables ;

2010 ***Apple iPad***
Tablette multi-tactile d'Apple comparée à un iPhone plus grand. Son succès commercial prouve l'intérêt du grand public pour les technologies tactiles (voir Figure 3) ;

2011 ***Microsoft Surface 2***
Nouvelle version de la table interactive de Microsoft développée en collaboration avec Samsung (voir Figure 4).



Figure 4 - A gauche : Microsoft Surface / A droite : Microsoft Surface 2

1.2 Tables interactives

Dans cette partie, nous définissons ce que sont les tables interactives puis nous exposons les défis technologiques et les défis de conception qu'elles représentent.

1.2.1 Définition

Une table interactive est une table dont le plateau est constitué d'une surface tactile dotée d'un large écran. Comme dans toutes les surfaces tactiles, les dispositifs d'affichage et de contrôle sont réunis. Les tables interactives sont parfois associées au concept de « réalité augmentée » : le virtuel (l'interface graphique) se superpose au réel (le plateau de la table).

Les tables de mobilier permettent à plusieurs personnes de se réunir et de travailler ensemble. De la même façon, les tables interactives sont avant tout des systèmes interactifs favorisant la collaboration et les interactions sociales.

Les tables interactives sont communément appelées ***tabletops***, en clin d'œil aux ordinateurs de bureau : *Desktop*s et ordinateurs portables : *laptop*s.

Les tables interactives sont une nouvelle forme de système informatique et se distinguent des traditionnels ordinateurs de bureau. Elles sont caractérisées par des spécificités techniques et ergonomiques. Ces particularités sont étudiées par les chercheurs en IHM depuis une vingtaine d'années environ. Dans cette partie sont présentés les caractéristiques des tabletops et les défis à relever par les concepteurs pour que les tables interactives deviennent un jour correctement utilisables.

1.2.2 Aspect matériel

En premier lieu, la réalisation d'une tabletop représente un défi technologique. Une table interactive est un système informatique complet, et à l'instar d'un ordinateur de bureau, elle contient pour être fonctionnelle une unité de calcul, de la mémoire vive, un processeur graphique, des périphériques d'entrées, un écran, etc. Elle se distingue principalement du PC par sa forme horizontale et son système d'interaction remplaçant le clavier et la souris : la surface multi-tactile. En outre, les personnes peuvent se placer tout autour d'elle, ce qui contraint l'écran à être correctement lisible depuis un angle de vue plus ou moins rasant. Enfin, réussir à créer une table interactive relativement fine donnera la possibilité aux utilisateurs de s'asseoir autour plus confortablement en glissant leurs jambes en dessous.

1.2.2.1 Un plateau écran

La surface d'une tabletop correspond à l'écran de l'ordinateur. Accueillir les activités de plusieurs collaborateurs implique que sa surface soit relativement large. De plus, il sera difficile pour cet écran d'être confortable et d'afficher en détail une grande quantité d'informations sans disposer d'une résolution élevée.

1.2.2.2 La détection des contacts à la surface

Comme nous l'avons expliqué, l'interaction tactile autorise beaucoup d'expressivité. Une table interactive sera meilleure si les utilisateurs peuvent interagir avec leurs doigts, leurs mains, ou à l'aide d'objets réels (interaction tangibles). Par ailleurs, une tabletop convenant particulièrement au travail collaboratif, il serait intéressant qu'elle détecte les contacts de plusieurs utilisateurs simultanément, et si possible qu'elle distingue ces différents utilisateurs entre eux, ce qui permettrait de personnaliser les interactions. Plusieurs solutions de détection et d'affichage ont été explorées par la communauté scientifique et les acteurs de l'industrie des nouvelles technologies. Cette thèse se concentre sur les problèmes situés au niveau conception d'applications.

1.2.3 Défis de l'aspect logiciel

Les caractéristiques particulières des tables interactives conduisent à de nouveaux enjeux de recherche en IHM, que nous présentons dans cette partie : interaction avec une surface tactile horizontale, plusieurs utilisateurs en coprésence, partage des ressources et des informations et intégration dans le monde réel.

1.2.3.1 L'interaction tactile et l'interaction tangible

Dans une tabletop, l'affichage et le contrôle sont spatialement confondus, ce qui permet des interactions manuelles directes, naturelles et intuitives pour les utilisateurs. Les possibilités d'interaction sont plus variées que sur PC : l'utilisateur peut utiliser ses doigts et ses mains dans différentes positions. Les gestes statiques (une main posée immobile) se distinguent des gestes dynamiques, comme par exemple la technique, appelée *Pinch*, qui consiste à pincer ou à écarter deux doigts pour zoomer ou dézoomer dans une image.

Par ailleurs, on observe aussi des techniques d'interactions basées sur la manipulation d'objets réels posés sur la surface : les interactions tangibles. Celles-ci donnent l'opportunité d'associer un objet à une commande, comme s'il s'agissait d'un outil [Eden 2002, Mazalek 2006].

1.2.3.2 Un système multi-utilisateur

Les ordinateurs de bureau et les ordinateurs portables n'ont pas été conçus pour la collaboration en co-présence : leur écran est orienté vers une seule personne ; le clavier et la souris ne conviennent généralement pas à plusieurs utilisateurs. De ce point de vue, les logiciels eux-mêmes manquent de flexibilité parce qu'ils ne sont pensés que pour un seul utilisateur : un seul curseur, une seule sélection possible, un seul état, etc. Lors d'une collaboration autour d'un PC, les utilisateurs adoptent malgré eux un fonctionnement au tour par tour, qui peut être inconfortable, peu fluide et qui ne facilite pas la communication.

Dans le monde réel, les tables jouent un rôle critique dans le travail en collaboration. Des observations rapportent que les personnes souhaitant collaborer ont développé le réflexe de chercher une surface horizontale plane pour poser leur matériel dessus [Brodie 2002]. Sans cette surface, la collaboration n'est pas initiée : c'est donc un prérequis. Une fois installés, les collaborateurs occupent l'espace en le couvrant de tout ce qu'ils ont : ordinateurs, matériel de travail, etc. Nous remarquons en outre qu'il est conventionnel dans notre société de s'asseoir autour d'une table lorsque l'on souhaite se réunir.

Par ailleurs, lorsque plusieurs individus souhaitent collaborer, ils privilégient le papier à un autre support. Le papier est léger, maniable et jetable. Il est possible d'y écrire ou d'y modifier des informations sous forme de textes, de dessins ou d'images. Plusieurs personnes travaillent parfois simultanément sur la même feuille de papier. Grâce à ses capacités de traitements informatiques, une tabletop peut potentiellement améliorer la collaboration en la rendant plus efficace et plus productive :

- Sa taille permet d'accueillir plusieurs utilisateurs assis autour d'elle dans une atmosphère conviviale ;
- elle donne des opportunités pour créer un environnement de collaboration car les gens sont habitués à s'asseoir autour d'une table pour travailler ensemble, à s'installer face à face pour discuter ;
- sa surface peut être divisée en plusieurs zones et les ressources réparties entre les collaborateurs pour mener plusieurs activités en parallèle [Scott 2004] ;
- ses utilisateurs partagent une vue et un accès aux mêmes informations ;
- c'est un support adapté à la pédagogie, entre autres parce qu'un utilisateur expérimenté peut montrer à un novice comment interagir ;
- plusieurs positionnement des utilisateurs autour de la table sont possibles : face à face, côte à côte, etc.

Une surface suffisamment large peut accueillir plusieurs activités simultanément. L'espace non utilisé peut être comblé d'informations déjà traitées ou à traiter. Enfin, une surface de grande taille permet de multiplier les schémas, les visualisations, etc. pour aider à la décision. Nous pensons que les tabletops ont les atouts potentiels pour devenir un médium efficace à la collaboration.

1.2.3.3 L'importance de l'orientation des informations

L'horizontalité de la tabletop permet à plusieurs utilisateurs de se placer autour d'elle. Chacun d'eux a alors un point de vue différent sur les informations affichées. Les textes et les images sont plus ou moins difficiles à lire selon la position de l'utilisateur et certains composants graphiques peuvent même devenir ambigus [Scott 2006] (Voir Figure 5). Il est généralement considéré que la lecture d'un texte affiché sur une table interactive est acceptable jusqu'à un angle de vision d'environ 45° par rapport à l'utilisateur

[Wigdor 2005]. Les informations qui ne peuvent pas facilement être lues par tout le monde ont un impact négatif sur la dynamique, la lisibilité et la performance du groupe [Shen 2006].

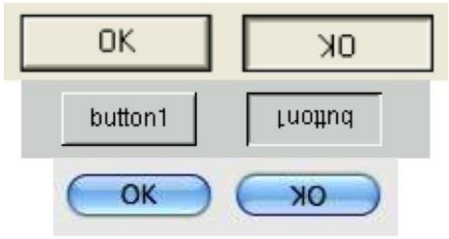


Figure 5 - Le composant standard "bouton" devient ambigu quand il est observé à l'envers (haut : boîte à outils Windows XP, milieu : boîte à outils GTK+, bas : boîte à outils Aqua de Mac OS X)

Il est essentiel que la conception d'un système pour table interactive prenne en compte le point de vue de chaque participant. Ainsi, l'orientation des artefacts doit être adaptée ou être rendue ajustable dynamiquement [Magerkurth 2002].

1.2.3.4 S'intégrer dans le monde réel

La solidité de l'écran est un autre défi important. En effet, nous pensons qu'il sera difficile pour une table interactive de s'intégrer efficacement dans le monde réel si elle ne semble pas aussi pratique que des tables de mobilier. Rappelons que celles-ci servent avant tout de support physique à tous les matériaux de travail que les utilisateurs posent dessus. En outre, on y dépose parfois des objets qui n'ont pas de lien avec la tâche : un verre ou une tasse de café, de la nourriture, des sacs, etc. Pour ces raisons, les capacités de détection d'une tabletop seront meilleures si elles font abstraction des contacts des objets étrangers.

Par ailleurs, autour d'une table, les collaborateurs s'échangent naturellement les ressources qu'ils ont apportées avec eux. Nous imaginons un scénario où lorsque deux collaborateurs sont installés, ils sortent leurs ordinateurs portables, leurs clés USB ou leurs disques durs et importent simplement leurs documents de travail sur la table interactive. Echanger de façon fluide les données entre la tabletop et d'autres appareils offrirait la liberté aux utilisateurs de collaborer plus naturellement. L'interopérabilité entre tous les dispositifs évoqués est un défi [Brodie 2002].

1.2.3.5 Quelles applications pour les tables interactives ?

Les concepteurs et vendeurs de tabletops cherchent à prouver leur utilité. Il est techniquement facile de porter un logiciel PC sur une tabletop, mais son utilisation n'est selon nous pas confortable et relativement limitée parce que les caractéristiques des tables interactives évoquées jusqu'ici rendent les interfaces des applications existantes sur PC non adaptées. En effet, celles-ci ont été conçues pour un environnement différent en de nombreux points : fondamentalement mono-utilisateur, contrôles à la souris et au clavier, interface graphique visible d'un seul point de vue, etc.

Notre approche face à ce défi consiste à concevoir des applications spécialement pour tabletop, qui d'une part répondent aux besoins des utilisateurs et d'autre part exploitent intelligemment leur design. Nous pensons que les tabletops ne pourront pas se démocratiser tant qu'elles ne concerneront que des utilisations exceptionnelles. Ainsi, les acteurs de l'industrie « tabletop » se demandent quel type d'applications donnera aux tabletops un intérêt indubitable et quelle sera la *Killer App* ?

Nous avons dans ce chapitre exposé le contexte de cette thèse, défini les termes importants et souligné les nombreux défis qui se présentent à nous. Afin de comprendre pourquoi notre démarche est innovante et peut aboutir à des résultats novateurs, nous présenterons dans le chapitre suivant une synthèse de l'état de l'art des travaux sur les tables interactives.

2 ÉTAT DE L'ART

TRAVAUX EXISTANTS SUR LES TABLES INTERACTIVES

Avant d'expliquer plus en détail la démarche scientifique de notre thèse, nous pensons qu'il est nécessaire de présenter une synthèse de l'état de l'art des recherches sur les tables interactives. Bien que les premières tabletops aient été inventées entre 1980 et 1990, l'effervescence des travaux en Interaction Homme-Machine dans ce domaine a débuté il y a dix ans environ. Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les travaux du point de vue matériel, puis du point de vue conception logicielle, domaine d'application et utilisabilité. Nous résumons enfin les forces et les faiblesses connues des tables interactives.

2.1 Technologies matérielles

Comme nous l'avons vu, les tabletops existent depuis vingt-cinq années environ mais un verrou technologique a longtemps retardé leur l'avancée dans la recherche et dans l'industrie. En effet, aucune forme de table n'était produite et commercialisée, ce qui contraignait chaque acteur à construire la sienne et surmonter les barrières technologiques : affichage, détections, architecture logicielle, etc. En conséquence, chaque exploration se faisait dans une direction différente [Eden 2002, Cho 2005, Carpendale 2006, Al Mahmud 2007, Zhang 2007, Gross 2008, Hornecker 2008]. Les directions prises nous semblent en grande partie dépendre des moyens disponibles dans les laboratoires : interaction avec un stylet, interaction au doigt, interaction via des objets tangibles, contrôle distant avec des PDAs, etc. Les problèmes n'étaient pas toujours abordés de la même manière et les solutions proposées étaient trop spécifiques pour s'adapter à d'autres environnements.

2.1.1 Tables interactives dans le monde académique

Il n'est pas possible de citer toutes les formes de tables interactives ayant été développées et présentées. Dans cette partie, nous citons, sans entrer dans les détails, les technologies qui nous paraissent les plus innovantes et qui se sont les plus répandues.

2.1.1.1 Les premières tables interactives

Les premières tables interactives étaient basées sur des systèmes de détection des doigts, des stylets ou d'objets par caméra vidéo. Le *DigitalDesk* de Wellner est considéré comme étant la première table interactive connue [Wellner 1991]. Critiquant ces méthodes, notamment peu robustes aux variations de luminosité, d'autres équipes ont par la suite exploré des voies exploitant par exemple des électrodes capacitives réparties de façon homogène sous la surface et qui réagissent à l'approche d'un doigt sur la table [Rekimoto 2002]. Cette technologie a pu d'ailleurs s'appliquer aux premières tablettes tactiles. La surface de captation n'étant néanmoins pas transparente, l'image devait être projetée par dessus. Déjà, les chercheurs se demandaient quelles techniques d'interaction seraient adaptées aux surfaces tactiles et pensaient qu'il faudrait concevoir les systèmes interactifs différemment de ceux basés sur la souris. Avec les premières tabletops sont apparus les gestes d'interaction tactiles qui sont aujourd'hui utilisés dans la plupart des Smartphones multi-tactiles comme le *Pinch* [Rekimoto 2002].

2.1.1.2 L'interaction tangible

La *ReacTable* [Jordà 2007], l'une des premières tabletops popularisées par la diffusion de vidéos de démonstration sur internet, est un instrument de musique électronique sous forme de table interactive. Sa

technologie permet à plusieurs utilisateurs d'interagir simultanément pour faire de la musique électronique collaborativement. Elle est composée d'une plaque ronde translucide qui permet à l'image d'être projetée par dessous. Les contacts sont détectés par une caméra placée sous la plaque [Kaltenbrunner 2007] (voir Figure 6). Toute l'interaction s'effectue avec un ensemble d'objets tangibles que l'on peut poser, retirer, déplacer, faire tourner sur eux-mêmes et enfin retourner. Le son est synthétisé en temps–réel en fonction des objets en présence et de leur position les uns par rapport aux autres. Plusieurs autres tables ont été développées sur le même principe d'interactions tangibles comme la *TViews* [Mazalek 2006] (voir Figure 6). Notons enfin la table Tangisense équipée de la technologie RFID et présentée par Kubicki [Kubiski 2011]

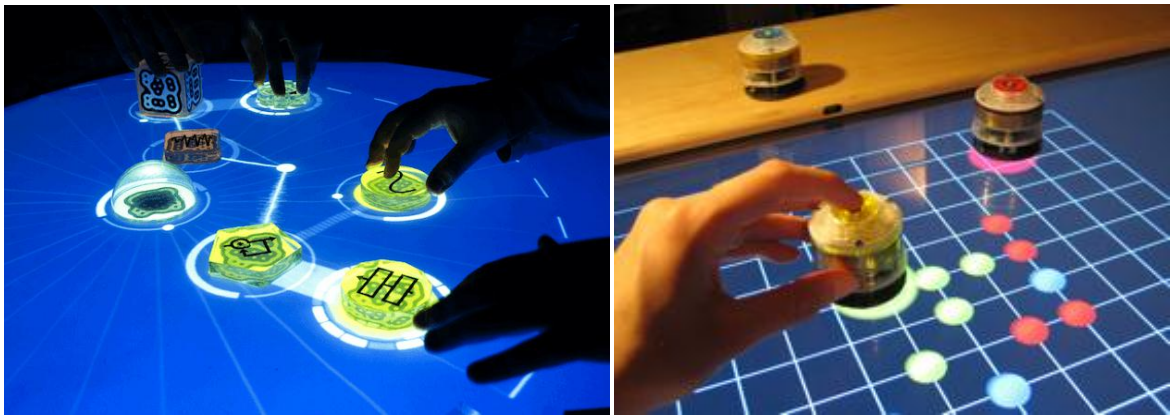


Figure 6 - Interaction tangible sur la *ReacTable* (à gauche) et la *TViews* (à droite)

2.1.1.3 La distinction des utilisateurs de la DiamondTouch

Développée et vendue depuis 2001, la *DiamondTouch* est une surface multi-tactile multi-utilisateur pour système tabletop à projection frontale. Sa technologie de distinction permet à plusieurs utilisateurs d'interagir simultanément sans interférer les uns avec les autres. La surface de la table est constituée d'une couche de petites antennes isolées les unes des autres et d'une couche dure protectrice. La table transmet des signaux électriques à travers toute sa surface ; quand un utilisateur la touche, les signaux électriques sont capacitivement couplés entre le point de contact et un récepteur unique placé sur la chaise, passant donc à travers le corps de l'utilisateur. Le récepteur détermine quelle zone de la surface est touchée… et par qui.



Figure 7 - *DiamondTouch* (MERL)

Ainsi, le grand avantage de la *DiamondTouch* est qu'elle peut distinguer les utilisateurs les uns des autres, ce qui d'une part favorise les interactions simultanées et d'autre part permet aux concepteurs d'applications d'adapter le comportement du système selon l'utilisateur. C'est la seule tabletop qui dispose de cette fonctionnalité. La *DiamondTouch* convient parfaitement aux tâches collaboratives, aux applications vidéoludiques et globalement à toutes les applications nécessitant des interactions en simultané des utilisateurs [Dietz 2001] (voir Figure 7).

2.1.1.4 Autres technologies

D'autres moyens pour détecter les contacts sur une surface ont été inventés ces dernières années. Entre autres, une méthode de plus en plus répandue qui est basée sur l'émission de rayons infrarouges dans une plaque de plexiglas : « FTIR » pour « *Frustrated Total Internal Reflection* » [Han 2005]. Lorsqu'un doigt, une main ou un objet entre en contact avec la plaque, les rayons sont alors réfléchis et captés par une caméra vidéo infrarouge placée sous la dalle. Un traitement vidéo permet de repérer et d'interpréter en temps réel tous les contacts. Il est en outre techniquement possible de suivre un point de contact se déplaçant à la surface de la table en lui affectant temporairement un identifiant. Ce type de tabletop repose sur des matériaux et des appareils relativement accessibles et à un coût raisonnable pour un particulier, ce qui a permis une certaine notoriété à cette technologie en lui donnant l'image d'une recette facile à mettre en œuvre. Le *NuiGroup* est une communauté d'entraide sur internet, qui met à disposition des modes d'emploi et des kits de développement pour créer sa propre surface interactive (http://nuigroup.com).

2.1.1.5 Quelques dispositifs originaux

A. Wilson a proposé une solution de tabletop mobile sous forme d'un petit appareil intégrant à la fois le processeur central et les systèmes de projection et de détection des actions. Le projet, nommé *PlayAnywhere*, s'apparente à une boite qui peut se poser sur n'importe quelle table de mobilier et projette une image tout en étant capable de détecter les interactions tactiles grâce à un algorithme d'analyse des ombres [Wilson 2005].

Dans un autre registre, Wigdor et al. ont présenté l'étude théorique d'un système qui serait capable de détecter les contacts à la fois sur et en dessous de la surface tactile. Ils ont expliqué quelques exemples de techniques d'interactions bi-manuelles pratiques pour ce dispositif. Selon eux, ce mode d'interaction serait naturel et permettrait de plus de limiter les gênes entre les utilisateurs en cas d'interaction simultanée [Wigdor 2006].

2.1.2 Les tables interactives dans le monde industriel

Plusieurs entreprises du secteur de l'innovation ont produit des tabletops pour tenter de les commercialiser. Parmi ces entreprises, on compte, entre autres, Microsoft, Smart et Phillips.

Le département de recherche en IHM de Microsoft s'est beaucoup impliqué dans les travaux sur les tables interactives. Microsoft a ainsi développé et mis en vente une tabletop nommée *Surface* (http://www.microsoft.com/surface/) à partir de 2007 et a récemment présenté sa deuxième version en 2011. La première se basait sur un système de détection par caméra vidéo (FTIR [Han 2005]). Les deux versions détectent les doigts, formes de mains ainsi que la présence d'objets posés sur la surface. Certains objets, comme des cartes ou des téléphones mobiles par exemple, sont d'ailleurs identifiables s'ils possèdent un symbole particulier.



Figure 8 - *Phillips Entertaible*. Une table interactive spécialement dédiée au divertissement [Leonen 2007].

Nous estimons néanmoins que Microsoft a surtout investi dans cette table pour afficher l'image d'un acteur majeur du marché de l'innovation. En effet, bien que la *Surface* ait été le sujet de nombreuses démonstrations et de vidéos publicitaires, il nous semble qu'il manque encore de réelle proposition d'applications pour le grand public qui permettraient de démocratiser cette table. Actuellement, la *Surface* est vendue à des universités, des laboratoires de recherche et à de rares établissements comme des hôtels luxueux, cafés restaurants, etc.

Smart a produit la *SmartTable* (http://smarttech.com/table) en se basant sur des technologies similaires à celles de la Microsoft Surface. Par ailleurs, Phillips a annoncé en 2007 une tabletop conçue spécialement pour le jeu de plateau à plusieurs joueurs, nommée *Entertaible* [Loenen 2007] (voir Figure 8). La société ne communique plus sur ce produit aujourd'hui.

2.2 Recherche en Interaction Homme-Machine

Nous avons donné un aperçu des technologies utilisées pour la réalisation matérielle des tables interactives. Nous présentons dans la partie qui suit les travaux les plus importants produits par la communauté scientifique sur les tables interactives : informaticiens, concepteurs et psychologues ergonomes. Nous tâchons de répondre aux questions suivantes : comment interagir avec une tabletop ? Qui interagit avec une tabletop et comment se comporte un utilisateur novice ? Enfin, quelles sont les applications possibles des tables interactives ?

2.2.1 L'interaction avec les tables interactives

2.2.1.1 La place des tables de mobilier

De nombreuses équipes de recherche ont mené des observations dans des lieux publics, dans les entreprises, chez des particuliers, etc. pour étudier comment les humains interagissent naturellement avec les tables de mobilier [Brodie 2002]. Les activités accueillies, l'utilisation de la surface, le comportement et le placement des collaborateurs varient selon le type de table. Ces différences ont inspiré des principes de conception des tabletops en fonction de leur environnement [Magerkurth 2002].

Les stratégies de partionnement de la surface ont été étudiées en analysant par exemple les participants en situation de collaboration sur des tables réelles. Scott et al. ont distingué trois territoires : l'espace personnel, l'espace de groupe et l'espace de stockage. Ces zones de travail, implicitement formées par les collaborateurs, aident à l'organisation de la surface et interviennent aussi comme médiateurs des interactions sociales. On peut par ailleurs en déduire quelles zones de la surface sont plus adaptées à la tâche principale, aux activités indépendantes et au stockage des ressources [Scott 2004, Pinelle 2008] (voir Figure 9). En ce sens, il a été prouvé que les tables rectangulaires sont plus adaptées aux tâches collaboratives que les tables circulaires car il est plus facile de partitionner la surface des premières [Scott 2003].

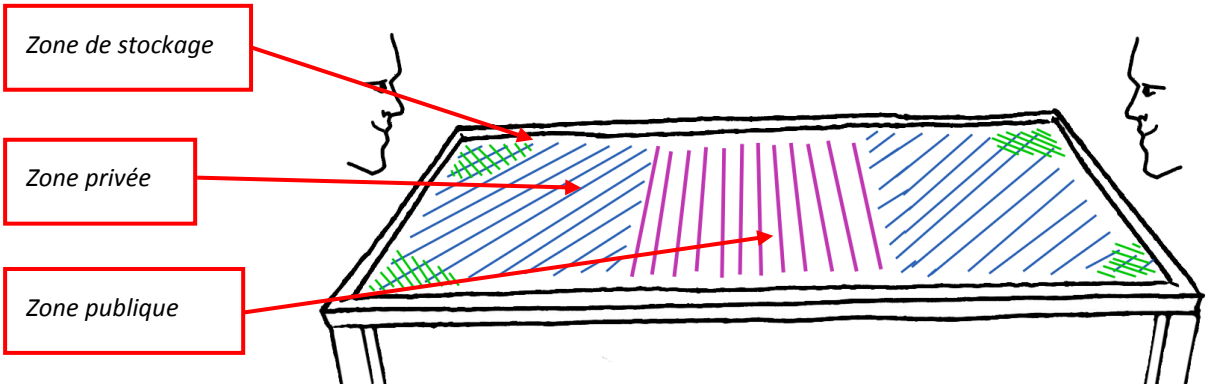


Figure 9 - Les différentes zones de travail sur une table interactive

2.2.1.2 Premiers principes de conception

A partir des précédentes observations, et des travaux de l'époque (2003), Scott et al. ont résumé les contraintes des tabletops et ont proposé des règles de conception génériques et indépendantes du matériel utilisé [Scott 2003] qu'il nous semble important de traduire et de reporter ici :

- Supporter l'interaction sociale entre les utilisateurs. Il ne faut pas imposer ou contraindre les processus de communications ;
- Supporter des transitions fluides entre les activités. En n'utilisant par exemple qu'un dispositif en entrée commun à toutes les activités proposées ;
- Supporter les transitions entre travail personnel et travail de groupe. Permettre aux utilisateurs de distinguer et maintenir plusieurs zones d'interactions : privées et publiques. Le territoire privé peut être représenté par un espace proche de l'utilisateur au bord, ou par un dispositif personnel extérieur (une tablette ou un PDA par exemple). Il ne faut aucune transition lors du passage d'un espace à un autre ;
- Supporter la transition entre la tabletop et le travail externe. Le transfert des données doit être simple avant comme après la session de travail sur tabletop ;

- Supporter des objets physiques réels : les interfaces tangibles sont efficaces et pratiques car les utilisateurs associent symboliquement un objet à une tâche. Il faut anticiper la présence d'objets étrangers qui ne doivent pas interférer avec la tâche : verres, stylos, feuilles, etc. et donner l'impression aux utilisateurs qu'ils travaillent sur une réelle table augmentée informatiquement et non sur un écran fragile ;
- Supporter l'accès partagé aux artefacts : partager les ressources améliore le processus de travail. L'orientation des artefacts étant un problème, il convient de limiter leur nombre et de mettre à disposition des techniques de rotations. Il faut enfin anticiper les occlusions involontaires des bras des utilisateurs ;
- Supporter différentes dispositions des utilisateurs autour de la table pour leur laisser la liberté de s'asseoir comme ils le souhaitent ;
- Supporter les interactions simultanées car sinon les utilisateurs seront contraints d'agir au tour par tour alors qu'ils souhaitent pouvoir collaborer de manière synchrone.

2.2.1.3 Interactions au doigt et aux mains

Une grande majorité des travaux de recherche a porté sur les techniques d'interactions avec les tabletops. Wang et Ren ont analysé les propriétés du doigt humain pour savoir comment au mieux les exploiter dans les systèmes tactiles et ont proposé une classification : position, vélocité, taille, forme, orientation, pression [Wang 2009]. Cho et al. ont classé des primitives d'interaction: sélection, manipulation, contrôle (menu, confirmation, etc.) en partant de la décomposition théorique d'une action [Cho 2005]. Ces taxonomies forment un référentiel très simple mais très utile pour concevoir des applications sur surface tactile.

Par ailleurs, l'interaction tactile à plusieurs doigts et plusieurs mains a été étudiée. Ainsi, F. Poirier a présenté un espace de conception des techniques d'interaction bi-manuelles, où chaque main est considérée comme une modalité indépendante [Poirier 2007]. Il donne les dimensions suivantes : nombre et types d'effecteurs (doigt ou main), localisation, composition du geste, nombre d'utilisateurs, temporalité des gestes, dimension et signification ou non de la forme. Epps et al. ont réalisé une étude pour connaître les manières d'interagir préférées des utilisateurs. Les participants devaient utiliser une tabletop pour effectuer des tâches courantes de l'informatique. D'après les résultats, les utilisateurs préfèrent n'utiliser que leur index bien que certaines des fonctions les plus complexes seraient plus faciles à exécuter avec des gestes bi-manuels [Epps 2006].

E. Tse a exploré l'interaction basée sur des techniques bi-manuelles couplées à des commandes vocales. Il a de plus mis en évidence que cette combinaison multimodale assistait de façon implicite la communication entre les collaborateurs, ce qui améliorait la conscience de groupe [Tse 2006, Tse 2007 a, Tse 2007 b]. Wu, Balakrishnan et al. ont proposé une multitude de techniques d'interaction innovantes exploitant plusieurs doigts, la forme des mains et des gestes dessinés. Les techniques avec les mains utilisent leurs formes et la façon dont elles sont posées. Par exemple : la main ouverte posée sur la tranche, la main à plat, les deux mains posées face à face, les deux mains pliées en angle droit et formant un cadre rectangulaire, etc. [Wu 2003].

Shen et Forlines ont établi un modèle d'interaction gestuelle bi-manuelle pour surfaces interactives multi-tactiles. Ce modèle permet de générer de nouvelles techniques d'interactions et s'appuie sur trois principes : amorçage, relaxation et réutilisabilité (« registration, relaxation & reuse »). L'amorçage correspond à une phase de démarrage qui permet d'enclencher un mode. L'effet de l'autre main sur la table dépend alors du mode enclenché. La main ayant amorcé la technique peut alors être retirée de la surface, c'est la relaxation. Le principe de réutilisation revient à limiter le nombre de postures de mains et de n'en garder que des primitives réutilisables dans les différents modes [Wu 2006]. Enfin, Hancock et al. ont développé des techniques d'interaction bi-manuelles pour manipuler des objets (les *Sticky Tools*, que nous détaillons juste après) en trois dimensions avec six degrés de liberté (translation et rotation) [Hancock 2009].

L'approche la plus courante revient à constituer un lexique où un geste correspond à une fonction. Toutefois, certains travaux s'intéressent plutôt à l'analogie possible entre les tables interactives et le monde réel. Ainsi, Wilson et al. se sont inspirés de la richesse des manipulations quotidiennes d'objets divers pour l'interaction avec les artefacts virtuels. En simulant les comportements des objets soumis à des forces (pression, friction, etc.) via un moteur physique, ils ont développé un système d'interactions manuelles plus naturelles et plus intuitives pour les utilisateurs [Wilson 2008, Cao 2008, Wilson 2009]. Dans le même axe de recherche, Sato et al. ont étudié le « flicking » (pichenette), geste souvent utilisé dans

des jeux comme le jeu de billes. Les auteurs de cet article ont essayé de le reproduire sur table avec un système de reconnaissance vidéo [Sato 2008].

2.2.1.4 Interfaces et interacteurs (widgets)

Nous avons présenté quelques uns des principaux travaux sur les techniques d'interaction tactiles. A un plus haut niveau du logiciel, nous relevons des travaux de recherche pertinents sur des interfaces et des interacteurs adaptés aux systèmes de tabletops.

Presque toutes les applications PC ont été développées sur le modèle WIMP. Ce modèle n'est pas adapté aux nouvelles formes d'ordinateur multi-tactiles. Il faut donc inventer de nouveaux moyens de conception d'interfaces. Plusieurs chercheurs ont proposé des boites à outils logicielles pour aider la communauté à développer des projets plus simplement et plus rapidement. Ainsi, Vernier et al. ont mis au point *DiamondSpin*, une boîte à outils développée pour la *DiamondTouch* pour la création rapide et simple de nouvelles applications adaptées aux tabletops. *DiamondSpin* intègre la gestion des entrées et des sorties, et permet de créer des interfaces à base d'objets graphiques (comme des fenêtres par exemple) dont on peut ajuster la position, la taille et l'angle et qui sont associés à un propriétaire. Plusieurs modes d'orientation ont été développés. Ainsi, selon le choix du ou des utilisateurs, un objet peut entre autres s'orienter automatiquement vers le destinataire ou bien varier dynamiquement en fonction de sa position. Par exemple, si un utilisateur donne un objet à un collaborateur en le faisant glisser dans sa direction, l'objet se tournera automatiquement vers le receveur. Il est possible de plier les fenêtres comme des feuilles de papier et d'y insérer d'autres objets pour créer une pile d'éléments. *DiamondSpin* supporte enfin les interactions concurrentes et interdit par exemple de saisir un objet tant qu'il est encore utilisé par un collaborateur [Shen 2004, Shen 2006]. Plus récemment, Hansen et al. ont présenté *PyMT* : Python MultiTouch, une boite à outils pour réaliser des interfaces graphiques multi-tactiles avec le langage Python. Flexible et basée sur le protocole TUIO [Kaltenbrunner 2005], elle permet avec une grande liberté le développement de prototypes originaux ou de nouvelles techniques d'interaction indépendantes du matériel utilisé [Hansen 2009].

Moscovich et al. ont décidé d'explorer les façons d'utiliser plusieurs doigts de la main pour le contrôle de curseurs et ont implémenté trois techniques différentes. Ces techniques apportent plus de précision et plus de contrôle que la simple manipulation directe à un doigt [Moscovich 2006].

Shen et al. ont développé une solution de menus pop-up pour tabletop, nommés CoR2DS (pour *Context-Rooted Rotatable Draggables for Tabletop Interaction*). Ils sont visuellement connectés à l'objet d'origine, par exemple un document textuel, une image ou l'espace entier, via un large trait semi-transparent. Le menu lui-même peut-être déplacé, retaillé et réorienté. Les options disponibles dans le menu dépendent de l'objet ciblé [Shen 2005] (voir Figure 10).

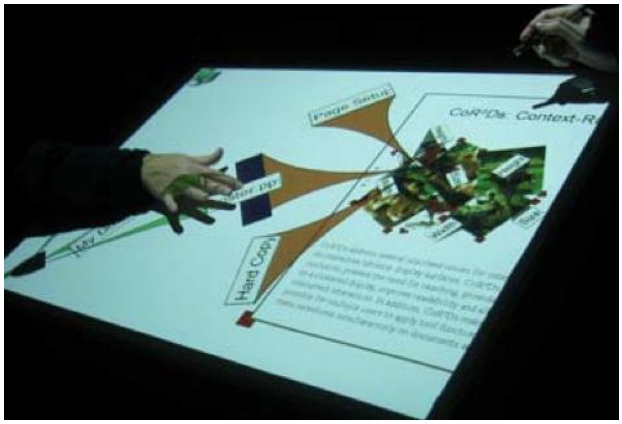


Figure 10 - *CoR2DS* : un menu Pop-up adapté aux caractéristiques des tables interactives

Comme nous l'avons déjà expliqué, l'orientation des éléments sur tabletop joue un rôle important : elle influence la compréhension et la coordination des utilisateurs. De nombreuses techniques d'interaction pour tourner et déplacer des objets ont été proposées.

M. Beaudouin-Lafon a présenté des techniques d'interaction pour manipuler les fenêtres d'une interface de PC en leur donnant des réactions s'inspirant de la métaphore des feuilles de papiers [Beaudouin-Lafon

2001, Beaudouin-Lafon 2004]. Appliqué au table, Kruger et Carpendale ont développé RnT, « Rotate and Translate », une technique d'interaction, indépendante du matériel utilisé, pour effectuer une rotation et une translation simultanément à partir d'un seul point de contact [Kruger 2005]. Hancock et al. ont défini un espace de conception des techniques pour déplacer et tourner les éléments, et ont comparé cinq techniques aux dimensions différentes issues de la littérature [Hancock 2006].

Des métaphores du monde réel ont été utilisées pour proposer des techniques d'interactions que nous trouvons intéressantes. Notamment, Hancock et al. ont présenté les *Sticky Tools* (évoqués précédemment), des objets virtuels chargés d'une sémantique leur confiant le rôle d'outils. Ils se manipulent aux doigts et peuvent s'entrechoquer. Les contacts « physiques » détectés appliquent des fonctions selon la forme de l'objet sélectionné. En plus de l'aspect interaction bi-manuelle, les *Sticky Tools* mettent en œuvre une métaphore cohérente car il existe différents types d'objets, chacun ayant une utilité particulière [Hancock 2009]. Dans un autre style, Besacier et al. ont étudié la métaphore du papier, souvent utilisé dans les tâches du monde réel, pour trouver de nouvelles techniques d'interaction aidant à l'organisation, à la transmission et à la duplication des éléments d'une interface tabletop [Besacier 2007].

2.2.1.5 Organisation de l'espace et visualisation

La notion de territoire est importante dans la conception de systèmes pour tabletops. Dans le monde réel, les collaborateurs utilisent la zone juste devant eux comme un espace personnel, et le centre de la table est souvent réservé aux activités du groupe [Scott 2004]. On est habitué à organiser son espace, à déplacer des objets, les échanger et les retirer. Plusieurs travaux ont cherché comment porter cette flexibilité sur tabletop. Par exemple, Carpendale et al. ont développé les *Storage bins* et les *Sticky boards*, deux types d'interacteurs pour rassembler plusieurs objets dans un même groupe, afin de les manipuler tous en même temps. Par ailleurs, ils ont proposé l'*Interface current* qui facilite les échanges d'objets d'un utilisateur à l'autre et s'apparente à un flux continu faisant le tour intérieur de la tabletop, comme une rivière dans laquelle couleraient des éléments. Les utilisateurs peuvent y déposer ou y retirer des objets, qui vont ainsi circuler et devenir accessibles à tous [Carpendale 2006, Isenberg 2007]. Pinelle et al. ont quant à eux présenté une technique d'interface similaire appelée *TableTray*, représentant des plateaux virtuels mobiles et paramétrables sur lesquels les utilisateurs placent ou retirent librement des objets pour réorganiser l'espace de travail. D'une part, la répartition des ressources peut être structurée et adaptée au travail collaboratif qui alterne souvent entre tâches individuelles et tâches collectives ; d'autre part, ces solutions réduisent l'encombrement en libérant de l'espace [Pinelle 2008]. Enfin, Tse et al. ont exploré la division de la surface en deux avec deux vues différentes. Ils ont envisagé différentes configurations : face à face, côte à côte ou encore une vue perpendiculaire à l'autre [Tse 2007].

Plusieurs chercheurs ont étudié des techniques de visualisation et de représentation des informations adaptées aux tables. Autour d'une tabletop, les utilisateurs ont un point de vue différent, parfois opposé, ce qui est source des problèmes de lisibilité déjà abordés. Ceux-ci affectent d'ailleurs la lisibilité de formes géométriques en trois dimensions puisque l'interprétation d'une perspective dépend d'un point de vue prédéfini. Hancock et al. ont comparé plusieurs techniques pour le rendu de la perspective sur tabletop, entre autres le partionnement des perspectives ou encore une perspective combinée donnant l'effet d'une sphère [Hancock 2007]. Hesselmann et al. se sont intéressés au problème du menu hiérarchique et ont présenté le *Stacked Half-Pie Menu*, un menu pouvant contenir un nombre illimité d'options et conçu pour répondre aux spécificités des tabletops. Il prend la forme d'un collier de perles placé sur le bord dont on ne verrait émerger qu'une partie. Ce menu peut convenir à la navigation dans de grands ensembles de données par exemple un système de fichiers [Hesselmann 2009].

L'interaction à plusieurs pose problème dans le cadre des applications de cartographie permettant la visualisation de cartes, de plans, etc. Chaque utilisateur veut regarder à un endroit différent et souhaite zoomer pour accéder aux détails alors que le zoom change la vue, ce qui fait perdre les avantages d'une visualisation globale et de plus gêne tous les autres utilisateurs. Forlines et al. ont développé les *DTLens*, des outils sous forme de lentilles personnelles paramétrables, une par utilisateur, permettant de zoomer et dézoomer à un endroit seulement et indépendamment des autres [Forlines 2005].

Plus original, Hancock et al. ont étudié les influences des feedbacks sur un groupe dans un système tabletop. Ils ont observé une difficulté des utilisateurs à identifier à qui est destiné le son, toutefois les signaux audio confèrent à chacun le sentiment de bien suivre l'activité globale. En cas de signal d'une erreur, chaque utilisateur se sentait viser ce qui ralentissait tout le groupe [Hancock 2005].

2.2.1.6 Des techniques pour apprendre

Les technologies multi-tactiles donnent aux concepteurs la possibilité d'inventer des vocabulaires d'interaction naturels. Toutefois, lorsque les fonctionnalités d'un système sont nombreuses ou trop abstraites, il est indispensable de passer un certain temps pour les apprendre. Par ailleurs, il a été remarqué dans le cas particulier des tabletops installées dans les lieux publics, comme des musées ou des expositions, que les utilisateurs sont novices et abandonnent à la moindre difficulté. Pour ces raisons, des équipes ont cherché comment montrer le plus simplement possible aux utilisateurs quelles sont les techniques contextuellement disponibles pour qu'ils apprennent par eux-mêmes sans interrompre leur activité. Ringel Morris et al. ont proposé les *ShadowGuides*, outils d'assistance à la demande, qui consistent à afficher sur la tabletop, à côté de la main de l'utilisateur, un guide dynamique. Ce guide visuel indique les poses initiales et les mouvements possibles à partir de la position courante. Il apparaît lorsque l'utilisateur reste immobile quelques secondes, ce qui est interprété comme un geste d'hésitation [Freeman 2009]. Vanacken ont aussi développé un système d'aide intégré pour d'apprentissage des gestes, appelé *TouchGhost*. Il est invoqué en appuyant sur un bouton dans le coin de l'interface. Un PieMenu récursif présente alors les différentes fonctions disponibles. Une fois l'option sélectionnée, un guide sous forme de dessin animé apparaît, représentant une main se déplaçant à la surface et interagissant avec les éléments de l'interface. L'utilisateur apprend en reproduisant le geste [Vanacken 2008].

2.2.1.7 Plusieurs utilisateurs en même temps

Un des enjeux de la conception de systèmes pour tabletop est de permettre à plusieurs utilisateurs en co-présence d'accéder simultanément à un espace partagé. De nombreux travaux ont porté sur les comportements des utilisateurs autour d'une table interactive, sur des techniques facilitant la collaboration ou encore sur les moyens de supporter plusieurs interactions en parallèle.

Ringel Morris et al. ont étudié le comportement des utilisateurs de tables interactives. Ils ont constaté qu'accéder directement à une ressource proche est tentant, y compris lorsqu'elle se localise dans la zone personnelle d'un collaborateur. Ils expliquent que des protocoles sociaux normaux tels que le tour à tour et la politesse se manifestent lors d'un travail à plusieurs dans la vie réelle quand le partage des outils et supports s'impose. Pourtant, selon eux, se reposer sur ces protocoles sociaux ne suffit plus à modérer un d'utilisateurs sur une table interactive. Les conflits d'accès surviennent par confusion ou par accident. En outre, plus la taille du groupe va augmenter, plus les négociations et la médiation seront difficiles et les accès concurrents vont se multiplier [Ringel Morris 2004]. Shen et al. ont constaté que, dans une activité collaborative, l'orientation possède un rôle sémantique : un objet orienté vers un utilisateur est reconnu comme lui appartenant. Lorsqu'un utilisateur souhaite partager un objet, il l'oriente vers son collaborateur. Le changement d'orientation annonce un changement de statut de privé à public [Shen 2003].

Shen et al. se sont intéressés à la collaboration en face à face au moyen d'une tabletop à laquelle on connecterait nos ordinateurs portables pour discuter, partager et échanger des données importées depuis nos ordinateurs. Ils ont présenté *UbiTable*, un outil informatique pour assister à la collaboration. Il est notamment basé sur trois niveaux d'accès aux données : privé (seul l'utilisateur peut le voir, c'est encore sur sa machine), personnel (l'objet est sur la table mais seul son propriétaire peut interagir avec) et partagé (l'objet est dans la zone au milieu de la table et les deux collaborateurs peuvent interagir avec) [Shen 2003]. Shen, Vernier et al. ont proposé des techniques pour signifier aux autres qu'un objet est disponible à l'échange [Ringel 2004]. Ainsi, Ringel Morris et al. ont cherché comment le système pourrait assister la modération, la médiation et la négociation. Ils ont mis au point une politique de coordinations gérées par le système pour fournir aux applications une structure de comportements prédictibles et plus flexibles qu'un simple système de privilèges. Par exemple : en cas de conflit, plus aucun utilisateur ne peut interagir tant que tout le groupe ne s'est pas coordonné par un vote ; ou bien lorsque plusieurs collaborateurs tentent d'accéder au même objet en même temps, ce dernier devient inactif et est visuellement déchiré, forçant les utilisateurs à se mettre d'accord [Ringel Morris 2004]. Par ailleurs, Jun et al. se sont intéressés au passage d'artefacts d'un utilisateur à un autre et en supposant que le système pouvait assister l'échange, ils ont proposé une technique nommée *ForceField* qui facilite le transfert d'un objet en élargissant sa zone d'influence lorsque qu'il est déplacé d'un utilisateur vers un autre [Jun 2008]. Nacenta et al. ont remarqué la forte influence du choix d'une technique d'interaction sur la coordination d'un groupe d'utilisateur : communication et perception des actions des autres [Nacenta 2007].

Il arrive que plusieurs collaborateurs autour d'une table aient besoin accéder aux mêmes objets, aux mêmes fonctionnalités, aux mêmes ressources au même instant. Lorsque cela se produit, ils interfèrent malgré eux sur les activités des autres. De nombreuses équipes de recherche ont étudié ce problème. Shen et al. ont notamment proposé un menu dupliqué pour chaque utilisateur qui s'affiche dans la zone privée. Selon son rôle, l'utilisateur a accès à des fonctions différentes [Shen 2006]. Ringel Morris et al. ont avancé que la solution qui consiste à répliquer les artefacts ne convient pas toujours et a des défauts : consommation d'espace, isolation des utilisateurs et communication plus difficile. Il conviendrait donc de laisser les collaborateurs se partager les ressources. Toutefois, grâce à un système comme la DiamondTouch [Dietz 2001], capable de différencier les utilisateurs lors de chaque contact, on peut connaître quel utilisateur fait quelle action. Ryall Morris et al. ont présenté les *idWidgets*, des interacteurs s'adaptant dynamiquement à l'utilisateur. La variation intervient au niveau des fonctions et des propriétés : apparence, comportement, accès [Ryall 2005].

2.2.2 Qui les utilise ?

La plupart des travaux de la littérature portent sur la conception des systèmes tabletop et sur des techniques d'interactions avec les surfaces multi-tactiles. Néanmoins, on peut aussi y lire des études sur les utilisateurs.

2.2.2.1 Participation des utilisateurs à la conception des systèmes

Les mains sont capables d'une grande expressivité : un doigt ou plusieurs, une ou deux mains, des dessins, des formes, etc. Définir l'association d'un geste à une action n'est pas évident et implique des choix de la part des concepteurs. Le problème est de créer un langage qui soit à la fois efficace et intuitif. Ainsi, certains chercheurs ont mis des utilisateurs débutants au cœur de la conception en leur demandant d'imaginer et de proposer pour plusieurs effets quels gestes conviendraient. Ringel Morris et Wilson ont par exemple réalisé une expérience pour faire émerger les gestes les plus naturels, les réflexes les plus fréquents pour constituer un vocabulaire « des novices », ceci dans le but d'éclairer les concepteurs de techniques d'interactions gestuelles. Ils ont sélectionné des participants n'ayant aucune expérience des technologies multi-tactiles et n'étant ni informaticiens ni ergonomes. L'expérience consistait à mettre l'utilisateur face à une tabletop, à lui montrer un effet simple (par exemple : le déplacement d'un carré d'un côté à l'autre de la surface) puis de lui demander de proposer une action reproduisant le même effet. A partir des enregistrements, les auteurs ont dégagés les propositions les plus fréquentes pour un total de vingt-sept commandes de contrôle (déplacer, tourner, changer de taille, ouvrir, fermer, copier, coller, etc.). Bien que les utilisateurs novices ne soient pas des concepteurs, Wobbrock, Ringel Morris et Wilson ont estimé que recourir à leur naïveté aide à trouver des idées originales [Wobbrock 2009]. Micire et al. ont conduit une étude similaire, appliquée cette fois-ci au contrôle à distance de robots : drones militaires, robots aéronautique ou spatial, robot ménager, etc. Leurs résultats suggèrent entre autres qu'il est judicieux de fournir aux utilisateurs plusieurs moyens de faire une même action. De plus, certaines instructions devraient s'effectuer par une séquence de gestes simples, plutôt que par une seule technique complexe. Les participants ont exprimé le besoin d'invoquer certaines fonctions au doigt en écrivant ou en dessinant une forme symbolique [Micire 2009].

2.2.2.2 La table interactive en dehors du laboratoire

Plusieurs équipes de recherche ont souhaité observer son utilisation in situ : au travail, au foyer ou dans un lieu public. Ringel Morris et al. ont observé comment peut être utilisé un dispositif interactif horizontal dans le travail quotidien. Une première étude a été réalisée avec huit participants mais elle ne portait pas sur les tabletops, seulement sur un écran tactile placé sous l'écran principal d'un ordinateur de bureau. Les utilisateurs ont majoritairement rapporté un inconfort, notamment parce que la surface horizontale prenait trop de place et n'était pas pratique. Il semblait en effet difficile de travailler avec deux plans différents [Ringel Morris 2008]. La seconde étude ne concernait qu'un seul utilisateur et a duré treize mois, durant lesquels il se servait d'une tabletop à la place de son ordinateur personnel. La souris était émulée à plusieurs doigts et il utilisait un clavier virtuel intégré au système d'exploitation pour taper des textes. Les résultats n'ont pas indiqué de différence significative entre ses utilisations via tabletop et via son ordinateur habituel [Wigdor 2007]. Mazalek et al. ont quant à eux apporté une tabletop chez des particuliers pour savoir comment elle serait utilisée au quotidien. Contrairement aux précédents travaux cités, la tabletop proposait des applications originales : jeu, multimédia, cartographie. Ils ont expliqué que la table impressionnait beaucoup les utilisateurs novices et ont rapporté quelques évènements

particuliers, notamment qu'au bout de quelques jours, les personnes posaient des objets dessus, comme sur une table de mobilier ordinaire, suggérant que le plateau et l'écran soit solide [Mazalek 2007].

Hornecker et al. ont placé un système tabletop dans un musée et ont analysé les réactions, impressions et difficultés des visiteurs. Ils ont noté que le moindre problème d'interaction était fatal, les utilisateurs abandonnant à la première difficulté rencontrée. Néanmoins, la tabletop semblait très attractive et suscitait la curiosité des visiteurs, qui essayaient spontanément plusieurs moyens d'interagir différents [Hornecker 2008].

2.2.3 Quelles applications ?

Enfin, des applications possibles des tabletops ont été proposées. De par leur disposition horizontale et leur design propice aux activités collaboratives, les tabletop semblent mieux adaptées à certains domaines.

2.2.3.1 Conception

Dans la littérature, nous avons trouvé des applications qui exploitent les atouts des tabletops pour le dessin [Ringel Morris 2006, Vandoren 2008, Vandoren 2009], le design [Shen 2006] et l'architecture [Eden 2002, Wu 2003, Ajaj 2009]. Une utilisation des tabletops très régulièrement mise en avant concerne le partage de données multimédia telles que des images et des vidéos [Burleson 2002, Grant 2002, Shen 2003] ainsi que le storytelling [Shen 2003 b, Hancock 2009]. Il est d'autre part prouvé que les tabletops sont un excellent médium lors de séances de créativité (brainstorming) [Buisine 2007, Montferrat 2007]. Enfin, nous pensons que la *ReacTable* est un bon exemple de l'utilisation d'une table interactive en tant qu'instrument de musique [Jordà 2007].

2.2.3.2 Réunion, prise de décision et communication

Parmi les applications collaboratives envisagées sur tabletop, on trouve les systèmes d'assistance aux réunions et d'aide à la prise de décision [Shen 2006, Isenberg 2007, Wang 2008, Wigdor 2009]. L'horizontalité de l'écran offre par ailleurs des avantages considérables pour les applications de cartographie [Shen 2006] et en conséquence les tabletops sont aussi adaptées à la stratégie militaire [Obradovich 2002] et au contrôle de trafics aéronautiques [Garron 2006, Vales 2007]. Plus original, on trouve aussi des utilisations pour la collaboration à distance [Tuddenham 2008] ou en domotique, en tant que panneau de commande des dispositifs d'une maison (télévision, lumière, électroménager) [Seifried 2009].

2.2.3.3 Ventes, démonstrations et santé

Les tables tactiles sont adaptées au partage de multimédias. Ainsi, par exemple, elles sont envisagées comme intermédiaire pour la vente [Burleson 2002]. En effet, certains clients ont besoin de communiquer avec un vendeur pour obtenir des précisions. De l'autre côté, le vendeur a besoin d'être en contact étroit avec ses clients malgré le fait que ce qu'il a à leur proposer se trouve généralement dans une base de données incompréhensible de l'utilisateur. Nous avons connu la situation où le vendeur et ses clients sont dans la situation inconfortable où, assis face à face, ils doivent partager un écran de PC et changer son orientation à chaque question posée. D'après les descriptions des tables interactives données jusque là, celles-ci répondent en théorie aux besoins et aux limitations physiques précédentes. Dans un cadre professionnel radicalement différent car sans but marchand, on retrouve les mêmes problématiques dans le domaine de la médecine, dans lequel les tables interactives sont déjà évoquées en tant que médium adapté [Spindler 2009].

2.2.3.4 Transmission de connaissances

Les activités liées au transfert de connaissances font souvent intervenir, d'une part, à la fois des documents écrits et du matériel concrets, et d'autre part un discours entre un dépositaire de la connaissance et un ou plusieurs individus cherchant à s'instruire. Par exemple, dans un musée, un guide explique les particularités d'une toile de maître à des visiteurs ; à l'école, l'instituteur s'appuie sur le manuel pour donner une leçon aux élèves, etc.

En réponse à la complexité et à la quantité des connaissances, des outils informatiques ont été développés, permettant entre autres la recherche et l'organisation des informations. Pourtant, les systèmes interactifs

pour la transmission du savoir sont encore assez peu répandus. Les tables interactives sont envisagées comme un lieu d'échange qui ne sacrifie rien à l'aspect humain de la transmission de connaissances. Par exemple, un système tabletop pourrait être utilisé dans des musées ou des salles d'exposition [Hornecker 2008]. Par ailleurs, des travaux de recherche ont exploré les possibilités du dispositif comme support d'un éducateur donnant des leçons à ses élèves [Ringel Morris 2006 b, Jiang 2009, Hancock 2009] et nous avons relevé qu'une tabletop avait été utilisée pour des séances de travail sociale avec enfants atteints de troubles sociaux comme l'autisme [Al Mahmud 2007].

2.2.3.5 Applications vidéoludiques

La table interactive est à l'intersection de deux mondes du jeu : le jeu vidéo, en raison de ses capacités informatiques ; et le jeu de plateau ou jeu de société, par les interactions sociales qu'elle favorise. Nous notons que beaucoup d'applications vidéoludiques sur tabletop, souvent développées pour prouver l'efficacité d'un nouveau matériel ou d'une boite à outils logicielle [Regan 2002, Magerkurth 2003, Magerkurth 2004, Nilsen 2005, Esenther 2005, Piper 2006, Tse 2006, Bakker 2007, Loenen 2007, Mazalek 2007, Mazalek 2007 b, Tse 2007 b, Zhang 2007, Gross 2008]. Le jeu vidéo étant une part importante de cette thèse, nous reviendrons plus en détails dans le chapitre suivant sur les atouts des tables interactives pour ce type d'application.

2.2.3.6 Portage des logiciels de bureautique existants

La plupart des logiciels existants dans le parc informatique PC sont des applications autant utilisées dans le domaine professionnel (bureautique, communication, logiciels de production) que dans le domaine particulier (navigateurs web, multimédia). Ce sont des applications auxquelles les utilisateurs sont très attachés. Pour beaucoup de chercheurs, il semble indispensable de réutiliser ce vaste champ logiciel. Toutefois, l'interaction avec un PC et l'interaction avec une tabletop sont radicalement différentes, ce qui rend un portage direct des applications problématique, en particulier en raison du nombre d'utilisateurs et de leurs différents points de vue possibles. A l'opposé, reprendre tout le travail sur les interfaces à zéro est une solution trop coûteuse. Certains chercheurs ont étudié comment s'interfacer avec des logiciels PC pour les utiliser sur tabletop en émulant les interactions souris et clavier [Tse 2006, Tse 2007 a, Tse 2007 b]. Besacier et al. ont quant à eux trouvé comment reprogrammer certains modules d'entrées et de sorties des logiciels fondamentalement conçus pour PC pour en faire des versions plus adaptées aux contraintes des tabletops [Besacier 2009].

En conclusion, nous observons que de nombreux domaines d'applications sont proposés et étudiés. Toutefois, nous faisons le constat que la majorité des applications des tables interactives actuellement envisagées ne concernent qu'une utilisation de l'informatique relativement spécifique, voire exceptionnelle du point de vue d'un particulier : réunion, musée, commerce, etc. Nous pensons qu'il reste encore à découvrir quelles applications permettront aux tabletops de se démocratiser. Dans la partie suivante, nous résumons les atouts et les faiblesses des tables interactives.

2.3 Conclusions de l'état de l'art

Dans cette partie du mémoire, nous avons présenté les tables interactives, aussi appelées tabletops. Nous avons listé leurs caractéristiques ainsi que les défis auxquels les concepteurs doivent faire face pour inventer les systèmes de demain. Cet état de l'art évoque les travaux les plus importants du domaine : d'une part la recherche des technologies matérielles et d'autre part les études sur l'interaction entre les utilisateurs et la tabletop. Nous résumons pour finir leurs forces et leurs faiblesses.

2.3.1 Forces

- L'affichage et le contrôle se confondent ce qui permet des interactions directes et naturelles au doigt, à la main et des interactions gestuelles ;
- Les tabletops représentent une opportunité pour créer de nouveaux environnements dynamiques de collaboration. Les hommes et les femmes sont habitués à s'asseoir autour d'une table pour travailler ensemble et à s'installer face à face pour discuter ;
- Une tabletop est un support qui favorise l'apprentissage, les utilisateurs novices pouvant observer les experts interagir pour les imiter et les plus expérimentés peuvent aider les débutants lorsqu'ils les voient en situation d'échec ;
- La large surface interactive bien utilisée peut accueillir plusieurs activités, styles de mécaniques ou de dynamiques de travail ;
- Nous constatons que les tabletops attisent la curiosité du grand public. Elles ont d'ailleurs souvent été utilisées dans des œuvres de sciences-fictions, et nous pensons que cette curiosité est un atout pour passer le cap, parfois difficile, de la prise en main.

2.3.2 Faiblesses

- La technologie nécessaire à la réalisation d'une table interactive est encore chère. De plus, en raison de ses dimensions, une tabletop est imposante et peu mobile ;
- Les contrôles et les interfaces graphiques des logiciels PC ne sont pas adaptés aux tabletops ;
- Disposés autour d'une tabletop, les utilisateurs ont chacun un point de vue différent ce qui pose un problème d'orientation des informations. Lire un texte ou reconnaître certaines images peut être difficile, ce qui a un impact négatif sur la dynamique et la performance du groupe ;
- L'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs amène des conflits lors de l'accès concurrent à une même ressource. Nous imaginons pourtant que les utilisateurs souhaiteraient pouvoir travailler en parallèle sans interférer les uns avec les autres ;
- On constate des problèmes d'occlusion de la surface quand les utilisateurs ont leurs mains au-dessus d'elle. De même, un doigt cache souvent l'artefact sur lequel il se pose ;
- Une large surface implique un problème d'accessibilité aux informations distantes ;
- Bien que de nombreuses applications différentes des tables interactives soient envisagées, celles qui pourront démocratiser ce type de système auprès du grand public ne semblent pas être connues.

Cet état de l'art a présenté les caractéristiques des tables interactives et a tenté de synthétiser les travaux existants de la littérature. Dans le chapitre suivant, nous exposerons notre démarche scientifique. Nous reviendrons sur les motiverons de ce sujet de thèse afin d'expliquer notre programme de recherche.

3 DEMARCHE SCIENTIFIQUE

ETUDE PREALABLE DU JEU VIDEO ET DE L'INTERACTION SIMULTANEE

Dans ce chapitre, nous situons le sujet de cette thèse par rapport aux travaux existants en nous focalisant sur deux domaines de la recherche sur les tables interactives : le jeu vidéo et les interactions simultanées de plusieurs utilisateurs.

Dans un premier temps, nous présentons l'état des lieux du jeu vidéo sur tabletop et nous tentons de répondre aux questions : quels types de jeux ont été abordés, dans quel but et avec quelles conclusions ? Que peut-on encore explorer ? Dans un second temps, nous définissons la notion d'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs et relions cette définition avec les travaux existants, quels problèmes ont été identifiés et quelles solutions ont été proposées. Nous listons enfin les questions qui nous semblent actuellement sans réponse.

3.1 Jeu vidéo sur table interactive

Comme nous l'avons évoqué lors de notre état de l'art sur les tables interactives, ces dispositifs sont particulièrement adaptés à la collaboration et donc par extension aux jeux vidéos multijoueurs. Les jeux vidéo multijoueurs datent de nombreuses années avant même les débuts des réseaux informatiques. Les premiers jeux multijoueurs nécessitaient un partage des dispositifs (par exemple chaque joueur utilisant une moitié du clavier) ou un tour par tour (chaque joueur venant tour a tour devant l'ordinateur pour jouer). L'arrivée d'Internet a permis de lever les contraintes physiques liées a ces modes de fonctionnement mais en perdant l'avantage de la coprésence. De nombreuses extensions aux jeux multijoueurs ont tenté de recréer le sentiment de coprésence (visioconférence, avatar, chat room) mais sans jamais les rendre équivalents. Les tabletops offrent donc à première vue une perspective très intéressante pour les jeux multijoueurs et nous voyons des opportunités d'inventer des jeux novateurs qui reposent sur cette coprésence. Si nous considérons que le but des utilisateurs/joueurs est un divertissement agréable, le développement des jeux laisse une grande latitude sur les moyens pour y parvenir et donc une grande latitude sur la conception de l'interaction.
Nous présentons dans cette partie les jeux développés pour tabletop qui nous paraissent les plus pertinents, puis nous faisons une analyse des aspects de la conception de jeux qui ont donc été abordés.

3.1.1 Le jeu vidéo dans les travaux de recherche

Les travaux existants peuvent se classer en deux catégories. La première catégorie de travaux que nous présentons motive en amont les jeux sur tabletop et avancent de nombreuses réflexions sur le processus de conception. La seconde catégorie de travaux se présente sous la forme de rapports d'expérience de développement de différents jeux. Pour ces travaux, nous avons analysé quels buts semblaient poursuivis et les enseignements qui pouvaient être retenus pour la conception de jeu sur tabletop.

3.1.1.1 Adéquation des tables tactiles

Les jeux de plateau existent depuis des millénaires. Jouer est une activité de divertissement, de détente et parfois d'éducation. Les jeux de plateau ont encore aujourd'hui du succès parce qu'ils sont à l'origine de riches interactions sociales et d'échanges émotionnels entre les joueurs : joie, fierté, abnégation, défi, peur, jalousie, rancœur, etc. Les jeux traditionnels de plateaux, de société et de cartes se jouent autour d'une table ; pour se retrouver, on organise des événements. Ces jeux sont composés d'un plateau, de cartes et de pièces auxquelles les joueurs peuvent s'identifier ou identifier des aspects du jeu. Ils prennent du

plaisir à les toucher, parfois même à les collectionner [Nilsen 2005, Magerkurth 2004]. Par ailleurs, en position face à face, les joueurs se voient et interprètent leurs réactions. La perception des émotions des autres fait partie du jeu, et intervient dans les stratégies [Al Mahmud 2007].

En comparaison, les jeux vidéo sur ordinateur ou sur consoles, permettent difficilement ces interactions sociales. Certains peuvent certes être joués à plusieurs via le réseau Internet, mais les joueurs ne retrouvent pas les sensations du contact humain. En contrepartie, les jeux vidéo disposent de nombreux avantages : leurs capacités de calcul, d'affichage et de rendu audiovisuel participent à la création d'un environnement virtuel crédible. Ils immergent le joueur dans un univers riche. Les jeux vidéo procurent des expériences originales. Les tables interactives rendent possible la réunion des avantages du jeu de plateau et ceux du jeu vidéo.

Whalen et al. énoncent les points communs entre jeux de plateau et systèmes de tabletop. Dans les jeux sur table : les joueurs se placent autour du plateau et ont différents points de vue. Aucune orientation n'est favorisée, la lisibilité des informations est pensée quelque soit la position du joueur. De plus, ces jeux sont faits pour être utilisés à plusieurs. Les règles prennent en compte la spécificité des tables et leur flexibilité [Whalen 2003].

Plusieurs équipes de recherche ont étudié le jeu sur tables interactives en tant que forme hybride du jeu vidéo et des traditionnels jeux de plateau. Magerkurth et al. évoquent les apports possibles de l'informatique [Magerkurth 2003, Magerkurth 2004] :

- L'ordinateur peut administrer les sessions : pause, interruption, sauvegarde et chargement de l'état d'une partie ;
- L'environnement peut évoluer au cours du temps : le terrain se modifie, les lieux se découvrent, les éléments changent d'état, etc. ;
- L'ordinateur se charge des tâches répétitives non amusantes comme mélanger et distribuer des cartes, ranger le plateau, générer des données aléatoires, etc. ;
- Les informations peuvent être réorientées selon la position du joueur courant ;
- On peut programmer des visualisations dynamiques et des animations riches.

Dans le contexte évoqué par Magerkurth, les règles du jeu sont gérées automatiquement. Par exemple, certains jeux de rôles papiers possèdent des règles complexes basées sur des calculs intégrant les statistiques des personnages, les propriétés du terrain et des lancers multiples de dés. Ces règles passionnent les experts mais découragent les débutants. Elles ralentissent aussi le rythme du jeu. Avec une tabletop, le déroulement du jeu serait plus fluide, plus accessible et plus crédible [Magerkurth 2004, Mazalek 2007 b].

3.1.1.2 Exemples de jeux conçus pour table interactive

Les tabletops ont inspiré le développement de nombreux jeux assez simples que nous ne pouvons pas tous référencer ici. Dans cette sous-partie, nous donnons une vue d'ensemble des jeux ayant fait l'objet d'une communication dans les journaux de recherche reconnus et les actes de conférence de notre domaine. Sans entrer dans les détails, nous expliquons les règles, le fonctionnement et les modalités d'interaction de ces jeux afin d'en retirer des enseignements sur la conception de l'interaction.

Nous classons les jeux suivants dans la tradition du jeu de plateau. Magerkurth et al. ont adapté le classique *Monopoly* sur table interactive, en ajoutant entre autres la rotation des textes, le mélange automatique des cartes et une visualisation des données financières. Les joueurs disposaient en plus d'un PDA personnel qu'ils pouvaient utiliser pour communiquer entre eux ou s'échanger des fonds clandestinement [Magerkurth 2004].

Pour explorer un hybride de jeu de plateau et jeu vidéo, Bakker et al. ont développé *Weathergods* : dans le désert saharien où les dieux du climat se font la guerre, chaque joueur incarne un représentant de village voyageant en quête d'offrandes. L'interaction se fait au tour par tour à l'aide de pièces tangibles. Ses auteurs ont d'ailleurs comparé la perception qu'ont les joueurs des pièces de jeux : les pièces iconiques (la forme représente la fonction de l'objet) et les pièces symboliques (la forme est abstraite, le lien à la fonction doit être appris). Les résultats indiquent que la forme n'affecte ni la compréhension générale ni l'amusement, mais que les utilisateurs ont en majorité préféré les pièces iconiques [Bakker 2007, Bakker 2007 b].

Pour Mandryk et al, le jeu sur tabletop représente surtout l'opportunité de créer des interactions sociales. Ils ont conçu un jeu appelé *False Prophet* pour deux équipes de trois joueurs. Le but est de découvrir à

quelle équipe appartient chaque joueur et pour cela ils se déplacent sur un plateau et doivent récolter des indices disséminés sur les cases. Les interactions se font encore avec des objets tangibles [Regan 2002]. D'autre part, en illustration des capacités de l'Entertaible [Loenen 2007], Loenen et al. ont mis au point *YellowCab*, un jeu où l'on incarne un conducteur de taxi dans Manhattan. L'environnement représente un quartier vu du ciel. Le véhicule est contrôlé à l'aide d'un pion tangible. Le but est de prendre des clients et de les mener à leur destination [Loenen 2007].

Les projets suivants s'inspirent du jeu de rôle. Magerkurth et al. ont présenté *Knight mage*, où les joueurs explorent des donjons en quête de trésors. Un utilisateur désigné « maître du jeu » a une interface spéciale pour gérer l'emplacement et le comportement des ennemis [Magerkurth 2004]. Avec la même motivation, Mazalek et al. ont étudié comment porter sur tabletop l'expérience du jeu de rôle papier sans la dénaturer : convivialité, spontanéité, imagination, dialogues et incarnation des personnages. Comme dans le travail précédent, un des joueurs est le maître du jeu et contrôle une interface de gestion via un ordinateur auxiliaire. Il peut définir le comportement des personnages non joueurs. Le jeu se joue au tour par tour à l'aide d'interactions tangibles [Mazalek 2007 b].

Nous avons répertorié des jeux pour enfants. Piper and al ont travaillé sur la réalisation d'un jeu pour aider les adolescents de 11 à 14 ans atteints de troubles de la personnalité. L'objectif était de leur faire pratiquer une activité en groupe afin de développer leurs comportements sociaux. Ce jeu de type puzzle coopératif appelé *S.I.D.E.S*, avait pour vocation d'encourager la négociation, le tour par tour et l'écoute les autres. Chaque joueur a des cartes représentant des flèches et le but est de construire à plusieurs, en juxtaposant les bonnes cartes, un chemin qui va permettre à une grenouille d'aller d'un point A à un point B. D'après les résultats des expériences, la tabletop avait assuré le rôle d'arbitre dans certains conflits entre joueurs, ce qui avait rendu le jeu plus objectif mais aussi plus facile pour tous [Piper 2006]. D'un autre côté, Al Mahmud et al. ont exploré la conception de jeu pour enfants (7-11 ans) sur table interactive en exploitant en outre des senseurs physiologiques pour « écouter » des signaux des corps des joueurs (stress, respiration, température, pouls). Le jeu mettait en avant les interactions sociales et faisait notamment intervenir le bluff [Al Mahmud 2007]. Les deux projets cités se jouaient encore au tour par tour avec des objets tangibles.

On compte de rares jeux d'adresse, où les joueurs interagissent directement aux doigts avec la surface sans s'identifier à un avatar. Esenther et Wittenburh rapportent avoir créé des jeux simples : *Ballpits* : les joueurs déplacent, poussent ou jettent des boules pour découvrir une cible cachée en dessous. *Spaceballs* : des bulles circulent sur la surface et les joueurs doivent les éclater toutes en tapant à un doigt ou plusieurs selon leur taille. Certaines bulles ne peuvent être cassées que si plusieurs utilisateurs différents la tapent en même temps [Esenther 2005]. Par ailleurs, Gross et al. ont développé une version de *Pong* pour quatre joueurs en deux équipes de deux mêlant ainsi compétition et coopération. Renommé *Puh Game*, le nouveau design de ce grand classique place chaque équipe sur un petit bord de la table. Chaque joueur ne peut interagir que dans une zone en forme de demi-cercle devant lui, ce qui l'oblige à se coordonner avec son partenaire [Gross 2008].

Nous n'avons pas trouvé de véritables jeux de stratégie. Citons néanmoins les projets suivants qui s'en rapprochent. Zhang et al. ont conçu *SheepGame*, un jeu dont l'environnement évolue en continu à un rythme plus ou moins rapide, pour étudier le comportement des utilisateurs lorsque le temps est critique. La table représente un terrain sur lequel errent plusieurs troupeaux de moutons de manière autonome. Les joueurs posent ou déplacent de petits palets tangibles qui effraient les moutons, permettant de les diriger dans les directions voulues. Le but du jeu est de conduire son troupeau vers des zones cibles marquées et d'éviter d'autres zones dangereuses [Zhang 2007].

Ed Tse a adapté le célèbre jeu de stratégie temps-réel PC *Warcraft III* sur tabletop [Tse 2007 b], en interfaçant plusieurs modalités avec les évènements souris et clavier du jeu. On pouvait interagir avec les doigts, les mains et des commandes vocales (voir Figure 11).

Bien qu'il ne concerne pas directement l'interaction avec les tabletop, citons enfin le projet *TankWar* de Nilsen et Looser, basé sur la réalité virtuelle. L'environnement de ce jeu de guerre ne pouvait être perçu qu'à travers des lunettes spéciales et se déroulait autour d'une large table. Les joueurs contrôlaient des tanks avec des joysticks et il n'y avait aucune interaction tactile [Nilsen 2005].

Dans tous les cas, ces travaux rapportent les résultats de tests utilisateurs peu étayés, relevant surtout ce que les participants apprécient et les manifestations d'interactions sociales. Les rares problèmes mis en évidence semblent factuels et étroitement liés à l'interface du jeu ou au matériel utilisé.



Figure 11 - Portage du jeu Warcraft III sur une table interactive et conception de nouvelles techniques d'interaction adaptées.

3.1.2 Apports et limites des travaux existants

Nous pouvons déduire par recoupement des exemples précédents quels axes sont évidents à privilégier lors de la conception d'un jeu pour tabletop. Nous pouvons néanmoins regretter le peu de retours d'expérience, la volonté de ressembler aux jeux traditionnels et en conséquence une modalité d'interaction au tour par tour presque systématique.

3.1.2.1 Principes de conception d'application vidéoludique

De ces expériences, il ressort comme point central que le jeu sur tabletop doit se concentrer en premier lieu sur les interactions sociales. Elles constituent l'aspect fondamental de la conception. Ainsi, les mécanismes doivent stimuler, anticiper et permettre la communication [Nilsen 2005]. De plus, il faut éviter de donner l'impression aux joueurs qu'ils utilisent un jeu sur ordinateur. D'une part, tout rappel des interfaces du PC est à éviter, d'autre part il faut s'assurer que les joueurs aient accès à toutes les fonctionnalités sans recours au clavier ni à la souris [Magerkurth 2004]. En outre, il ne faut pas tout automatiser sous prétexte que cela est faisable [Regan 2002]. Magerkuth donne l'exemple du lancer un dé, qui a toujours fait partie des jeux de plateau et est une source de plaisir pour les joueurs. Pareillement, dans certains jeux de rôle, des Personnages Non Joueurs (PNJ) agrémentent l'histoire et bien qu'ils puissent être gérés par une intelligence artificielle, il semble plus judicieux de laisser un maître du jeu ayant préparé son scénario s'en charger [Magerkurth 2004].

Les jeux de plateau sont très flexibles et les joueurs trouvent des variations ou inventent des « règles maisons ». Une équivalence sur table interactive serait de proposer un très large éventail de règles possibles et de pouvoir paramétrer le plus grand nombre possible d'aspects du jeu pour laisser les joueurs libres de choisir leur fonctionnement préféré [Magerkurth 2004].

Concernant l'interface graphique, il faut veiller à ce que les textes et les images restent lisibles quelque soit l'angle. Plusieurs solutions sont envisagées : combiner les orientations ; minimiser l'usage d'objets fortement orientés et préférer des icônes (comme dans le *Trivial Pursuit* par exemple, où le plateau ne contient aucun texte) ; distinguer les objets par des couleurs ou en les regroupant dans des zones distinctes [Whalen 2003].

Enfin, le système informatique d'une tabletop peut être utilisé comme un arbitre de jeu, il assure le respect des règles, l'exactitude des comptes et empêche la tricherie. Il peut aussi équilibrer le jeu entre les débutants et les experts en proposant plusieurs niveaux de difficultés ou des handicaps.

3.1.2.2 Assez peu de retours d'expérience

Nous constatons que la communauté scientifique a rapidement utilisé la capacité des tabletops à supporter le jeu. Des chercheurs ont présentés leurs idées, certains ont porté des jeux existants pour valider les bénéfices de l'informatique, d'autres ont essayé de créer de nouveaux concepts en fusionnant les principes du jeu de plateau avec des traitements automatisés.

Cependant, une grande majorité de ces projets ont été développés pour valider une architecture logicielle ou pour prouver la robustesse d'un nouveau matériel.

Nous n'avons pas trouvé de principes de conception généralisables. D'une part, le rapport de l'expérience subjective des utilisateurs/joueurs est pour la plupart du temps limité à des appréciations ponctuelles,

par exemple : « les participant ont bien aimé », « ils ont compris vite », « ils ont joué le jeu », etc. ce qui ne nous permet pas d'en déduire quels aspects ont été jugés les plus intéressants par les joueurs. D'autre part, nous n'avons rien trouvé concernant les problèmes d'interaction homme-machine dans ces situations nouvelles : l'engagement des utilisateurs suscité et les interactions originales produites. Nous avons ainsi l'impression qu'un créateur de jeu doit repartir de zéro car des règles de conception n'ont pas été proposées à partir de ces exemples pratiques.

3.1.2.3 Peu de recommandations pour le Game Design

Les jeux vidéo ne sont pas des logiciels comme les autres. Comparons un jeu vidéo avec un logiciel de production dont le but est d'aider un utilisateur à accomplir une tâche réelle. Dans l'idéal, ce logiciel doit être transparent, simple et utilisable pour faciliter au possible l'activité de l'utilisateur. A l'opposé, on peut définir un jeu vidéo comme un système qui propose une tâche artificielle dans un univers fictif. L'utilisateur essaie d'atteindre des objectifs tandis que le système interpose des obstacles de plus en plus difficiles à surmonter.

Bien qu'un jeu soit considéré comme un système interactif à part entière, on constate que les théories habituelles d'IHM ne permettent pas de comprendre les systèmes vidéoludiques [Barr 2007] :

- les objectifs sont motivés dans le jeu et non par l'extérieur ;
- le jeu impose des contraintes aux utilisateurs ;
- les feedbacks audiovisuels n'ont pas forcément d'utilité fonctionnelle et soutiennent l'immersion ;
- contrairement à un logiciel de production, l'intérêt porte sur le processus d'utilisation plutôt que sur le résultat produit ;
- un jeu veut être innovant et original alors qu'un logiciel veut être le plus accessible et réutiliser le plus d'éléments standard possible ;
- dans un jeu, le joueur recherche une multitude d'expériences différentes alors que l'utilisateur d'un logiciel de production attend que celui-ci soit simple et constant.

Les travaux cités précédemment n'avancent pas de modèles d'interaction du jeu sur table interactive. Ils ne proposent pas non plus de démarche de conception, d'invention, de création de nouvelles expériences vidéoludiques. Ils apportent quelques conseils sur l'interface, informent d'un existant et insistent enfin sur l'importance des interactions sociales qui sont fondamentalement centrales dans toutes activités multi-utilisateurs sur tabletop.

Définir le concept de « jeu » est délicat et sujet à la discussion. Nous remarquons que la conception d'un jeu vidéo suit néanmoins quelques principes génériques :

1) Le jeu donne un objectif clair au joueur ;
2) Il lui indique quels obstacles il doit franchir ;
3) Il l'informe des différents choix possibles ;
4) La tentative du joueur aboutit à une réussite ou un échec ;
    a. L'échec réinitialise la boucle ;
    b. La réussite permet de continuer ;
5) Le joueur reçoit une récompense ;
6) La boucle recommence ; de nouveaux paramètres sont ajoutés, la difficulté augmente.

Dans le contexte des tabletops, ces principes restent valides. Cependant de nouveaux paramètres s'ajoutent aux règles précédentes :

- il y plusieurs joueurs. Leurs objectifs peuvent être communs (coopération) ou en contradiction (compétition) ;
- ils sont invités à jouer en même temps et interagissent donc sur et à travers le même environnement virtuel. Chaque action d'un joueur influe potentiellement sur tous les autres ;
- ils jouent en coprésence. Ils ont la possibilité de se voir, d'analyser leurs réactions, de communiquer naturellement entre eux, de s'écouter les uns les autres, de faire des feintes, de bluffer, etc. ;
- le système interactif prend la forme d'une surface horizontale autour de laquelle les joueurs se positionnent dans différentes configurations. Ils partagent la vue sur les informations ;
- cette surface est plus ou moins large et quand la taille augmente, la visibilité et l'accessibilité aux objets peuvent décroitre.

Dans ce contexte particulier, nous posons les questions suivantes : quels sont les mécanismes qui rendent un jeu de table interactive plaisant et engageant ? Peut-on définir des principes de conception ?

Comment exploiter au mieux l'aspect multijoueur d'une table interactive ? Dans un jeu coopératif, comment se manifeste la collaboration entre utilisateurs ? Est-elle naturelle ou faut-il l'encourager ? Les joueurs sont-ils à l'écoute les uns des autres ? A l'opposé, dans un jeu compétitif, quel est l'impact de la compétition sur l'interaction ?

Lorsqu'on s'affranchit du tour par tour, dans un jeu où tous les joueurs interagissent en même temps, vont-ils se gêner les uns les autres ? Les joueurs trouveront-ils cette expérience stimulante ou au contraire inconfortable ?

3.1.3 Vers un jeu de stratégie pour table interactive

Les tables interactives inspirent de nombreuses applications différentes et semblent notamment adaptées au jeu. Au contraire des jeux de plateau traditionnels se jouant au tour par tour, les capacités de traitement automatique d'une tabletop donnent l'opportunité d'imaginer de nouvelles modalités de jeu.

Nous pensons que les tabletops se prêtent aux contextes stratégiques et que l'on peut par exemple imaginer la surface représentant un champ de bataille contenant des troupes que les joueurs déplaceraient à la main, à l'image de petits soldats de plomb. En outre, comme nous avons relevé précédemment, les utilisateurs de table tactile trouvent que la modalité tour par tour est artificielle et ennuyeuse. Ainsi, nous pensons que des jeux de stratégie en temps-réel, comme on en trouve sur PC : *Starcraft* (Blizzard Entertainment - 1998) ou *Age of Empire* (Microsoft - 1997), et dans lesquels les joueurs interagissent simultanément, pourraient être une expérience vidéoludique très intéressante sur une table interactive. Dans ce type de jeu, les décisions se prennent à chaque instant et les qualités d'un bon joueur sont la réactivité et la spontanéité. Ils se jouent souvent à plusieurs sur internet ou en réseau et les coéquipiers essayent de communiquer pour se coordonner.

Dans le cas d'une tabletop, les joueurs sont réunis autour du même espace. Nous avançons l'hypothèse que cette disposition permet plus facilement d'établir des stratégies de groupe et de jouer en équipe. Toutefois, nous pouvons nous demander si interagir à plusieurs simultanément peut créer des problèmes. En un certains sens, les jeux sont très compétitifs, engagent les joueurs les uns contre les autres et les motivent à se surpasser, à agir plus vite. Nous voulons éviter une situation où des joueurs passionnés pousseraient les mains des autres, adopteraient un comportement violent et envahissant car cela semble contraire à l'esprit des jeux de stratégie. En cherchant comment éviter cet extrême, nous nous sommes demandé comment l'on pourrait modérer le rythme d'un jeu sans le ramener à un tour par tour contraint.

Nous avons mené une réflexion sur des concepts de jeux à la fois originaux, plaisants et dont les mécanismes seraient accessibles et faciles à apprendre. Nous souhaiterions dégager de notre expérience des règles de conception de jeu pour tabletop complémentaires des lignes directrices données [Scott 2003] pour les systèmes de tables interactives.

3.2 Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs

Nous exposons dans cette partie la notion d'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs avec une table interactive. Nous définissons cette expression puis nous motivons l'étude de ce problème avant de préciser quels aspects ont déjà été abordés dans la littérature.

3.2.1 Un problème d'interaction homme-machine

3.2.1.1 Définition

Dans la modalité d'interaction « au tour par tour », les utilisateurs interagissent alternativement. Lorsque l'un d'eux prend la parole ou la main sur le système, les autres ne peuvent agir tant qu'il n'a pas fini son tour. La fin d'un tour peut-être volontaire ou commandée par le système.

A l'opposé, nous appelons interaction simultanée, et parfois « simultanéité », la modalité dans un système multi-utilisateur qui permet à tous d'interagir simultanément. Dans le cas des tabletops, cela se concrétise par l'action simultanée de plusieurs collaborateurs sur le même espace, accédant ou non aux mêmes ressources.

La simultanéité est une notion importante du travail en équipe. L'activité de groupe se compose généralement d'une variété de styles de collaboration incluant : le travail séquentiel, au tour par tour, dans des tâches fortement couplées ; le travail en parallèle dans des tâches indépendantes ; et le travail impliquant plusieurs rôles, par exemple un opérateur et un superviseur. Pour supporter ces différents styles d'interactions, les systèmes tabletop doivent permettre une collaboration synchrone. Si les contraintes technologiques empêchent plusieurs interactions concurrentes, les utilisateurs sont contraints au tour par tour [Scott 2003].

3.2.1.2 Implications

L'interaction multi-utilisateur concurrentielle est un problème matériel et logiciel. Premièrement, le dispositif de table interactive doit posséder des capteurs capables de détecter plusieurs contacts simultanément. Une technologie capable de distinguer les utilisateurs les uns des autres est optionnelle, mais offre un avantage considérable dans la mesure où elle permet de gérer les interactions de chaque utilisateur indépendamment.

Au niveau logiciel, le système doit supporter l'interaction avec plusieurs composants à la fois. D'ailleurs, par définition, les utilisateurs vont interagir en même temps avec le même espace physique. Bien que la taille de la surface puisse être relativement large, il faut envisager les cas où ils vont tenter d'accéder aux mêmes zones ou aux mêmes ressources au même instant. Les interactions simultanées sont sources de **concurrences**.

Selon nous, les interactions simultanées ouvrent la voie à des organisations de travail en parallèle : chacun peut travailler dans son coin de la table puis présenter ses résultats au groupe. Elles offrent des opportunités intéressantes en terme de collaboration, de coopération, voir de compétition dans un cadre ludique car les temps d'attente sont à l'opposé de la philosophie du jeu qui vise à occuper l'esprit.

3.2.1.3 Motivations

Hors tables interactives, il a déjà été remarqué que les collaborateurs travaillent souvent simultanément sur une table [Brodie 2002, Magerkurth 2002]. Plus précisément, Tang a observé qu'approximativement de 50% à 70% des activités autour d'une table dans une tâche collaborative impliquent l'accès simultané par plus d'une personne à l'espace partagé [Tang 1991]. Dans le cas des tabletops, plusieurs travaux rapportent ce souhait des utilisateurs [Scott 2003, Esenther 2005, Shen 2006, Hornecker 2008] même lorsque cela n'était pas possible techniquement [Magerkurth 2004]. Pape et al. ont de même constaté que le tour par tour était jugé artificiel et ennuyeux pour les utilisateurs [Pape 2004].

Nous en concluons que les tabletops appellent naturellement à l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs et ne sont pas adaptées à l'interaction au tour par tour. Notre hypothèse est que le tour par tour est toléré autour d'une table lorsque les objets physiques ne sont pas adaptés à une utilisation simultanée. Cette tolérance intrinsèque n'existe plus – ou alors ce phénomène est considéré comme artificiel – sur une table interactive.

Bien que le travail en collaboration exige des phases de discussion, de présentation et de synchronisation, nous pensons que les utilisateurs souhaitent garder la possibilité d'agir sans être bloqué. D'ailleurs, aujourd'hui cette accessibilité de l'information est indispensable à toutes innovations informatiques : la société occidentale semble suivre le chemin de l'immédiateté à l'image des modalités de communication (SMS, mail, discussion instantanée), des formes de consommation (achats sur internet, téléchargements) et de moyens d'accès aux connaissances (Google, Wikipédia, etc.).

L'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs avec un système tabletop est un sujet intéressant. Nous prévoyons que la liberté d'agir tous en même temps avec le même espace va créer des problèmes, des gênes physiques et des gênes perceptives. De nouveaux conflits et frustrations pourront émerger entre les utilisateurs quand ils essaieront de mener des actions incompatibles entre elles [Stewart 1999]. L'étude de ces problèmes d'IHM potentiels constitue un défi en ergonomie que nous proposons de relever.

3.2.2 Travaux sur la simultanéité

L'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs sur table interactive a déjà été étudiée : quelques problèmes ont été mis en évidence et des solutions ont été proposées.

3.2.2.1 Le cas des collecticiels

Les collecticiel (ou *groupwares*) sont des logiciels distribués. Ils existent depuis plus longtemps que les tables interactives. Ce sont des systèmes interactifs multi-utilisateurs consistant à connecter plusieurs utilisateurs distants pour leur permettre de collaborer. Les problèmes sont donc différents. Citons par exemple la gestion des accès concurrents causés par les latences entre les réseaux éloignés géographiquement [Greenberg 1994] et le maintien de la conscience des actions du groupe [Gutwin 1998]. Résoudre ces issues relève essentiellement de la modélisation informatique et de la visualisation des informations [Schuckmann 1999, Gutwin 1998].

3.2.2.2 Accès concurrent et résolution des conflits

Dans la littérature des tabletops, la plupart des systèmes étudiés se ressemblent parce qu'ils se rapportent aux mêmes domaines d'applications : la conception, le dessin, la visualisation et l'échange de données multimédias, etc. Ils placent les utilisateurs dans un contexte où l'activité repose essentiellement sur la manipulation d'objets graphiques et dont les ressources sont souvent partagées entre les utilisateurs. Dans ces situations, le principal problème des interactions simultanées est l'accès concurrent à un même élément, ce qui est source de conflits, de confusions et d'interférences [Ringel Morris 2004].

Plusieurs solutions sous formes de politiques de coordination ont été envisagées. On trouve par exemple un système de privilège qui détermine pour chaque objet quel utilisateur peut y accéder [Ryall 2005]. Autrement, différentes stratégies de résolution du conflit ont été imaginées : un utilisateur est désigné pour décider comment libérer la situation ; ou alors tous les utilisateurs doivent se mettre d'accord par un vote ; ou encore le système lui-même devient l'arbitre [Ringel Morris 2004]. Dans la plupart des cas, les interactions simultanées sont perçues comme un phénomène que le système doit discipliner [Gutwin 2004, Ringel Morris 2006 b].

D'autres solutions plus contraignantes consistent à forcer les utilisateurs à se synchroniser grâce à des techniques d'interactions coopératives [Ringel Morris 2006] ou alors à diviser totalement l'environnement en plusieurs zones pour que chaque utilisateur possède sa propre vue et la liberté d'interagir, au dépend de la coordination du groupe [Tse 2007 a].

3.2.2.3 Simultanéité et communication

Zhang et al. ont développé le jeu *SheepGame* (déjà décrit dans ce chapitre, dans la partie 3.1.1.2) et étudié les systèmes multi-utilisateurs à « temps critique » dans lesquels chacun doit accomplir une tâche dans un temps imparti. Plus le temps passe, moins la probabilité de réussite est grande. Ce type de systèmes, similaires en plusieurs points à des jeux vidéo, met les utilisateurs dans des conditions plus ou moins stressantes. Leurs observations ont permis d'établir un modèle comportemental des utilisateurs de tabletops dans une situation où le temps est contraint. Ils ont constaté que la pression affectait la collaboration réduisant les communications, les entraides et l'attention aux autres [Zhang 2007]

En résumé, la simultanéité sur tabletop est un phénomène connu, observé et analysé. On sait qu'elle peut être bénéfique pour la collaboration, que les utilisateurs la désirent et que la supporter permet de

paralléliser les activités. En contrepartie, les interactions simultanées sont aussi perçues comme une source de concurrences et d'interférences que l'on ne trouve pas dans le tour par tour. Les solutions apportées prennent essentiellement la forme de systèmes d'arbitrage, de politiques de privilèges d'accès ou d'assistance à la résolution de conflits.

Les études référencées ci-dessus ne répondent pas à toutes les questions : il reste des situations à explorer, des problèmes à découvrir et des solutions à proposer, notamment en ce qui concerne les gênes physiques et leur impact sur le comportement des utilisateurs, les moyens logiciels capables de contrôler la simultanéité, l'influence de l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs sur la collaboration et enfin les applications possibles reposant sur la simultanéité.

Dans la partie suivante, nous présentons la démarche adoptée pour cette thèse.

3.3 Démarche exploratoire

Dans cette partie, nous présentons la démarche exploratoire que nous avons adoptée. Nous avons décidé de fonder notre recherche sur la conception d'un jeu et sur l'observation d'utilisateurs en situation.

3.3.1 Un système interactif pertinent

Un jeu vidéo est un système interactif à part entière : le joueur est un utilisateur qui veut accomplir une tâche proposée par le système. Bien que la conception d'un jeu s'intéresse aussi à proposer un défi intéressant et équilibré, son interface d'utilisation doit être irréprochable car le joueur est un utilisateur volatile qui a beaucoup d'alternatives pour atteindre son objectif de détente.

3.3.2 Interaction simultanée et jeu vidéo

Il existe beaucoup de jeux, et notamment les jeux de plateau (*Monopoly*, *Othello*, etc.), dont la modalité d'interaction est le tour par tour. Cependant, la plupart des jeux vidéo adoptent le temps-réel comme fonctionnement : l'environnement évolue en continu et le joueur doit s'adapter à chaque instant, faire des choix plus ou moins rapidement et suivre le rythme imposé par le système.

3.3.3 Un cadre nouveau

La simultanéité a été étudiée dans un cadre unique : l'interaction avec des outils virtuels sur des données graphiques partagées entre les utilisateurs. En effet, nous pouvons raisonnablement admettre qu'une majorité des applications possibles des tabletops est incluse dans l'ensemble suivant : conception, dessin, architecture, maquettage, partage d'informations, éducation, etc.

A l'opposé, lors de la conception d'un jeu, le concepteur a une grande liberté d'imagination et peut créer des situations d'interactions originales. En observant des situations où les tabletops sont poussées dans leur retranchement par le rythme des interactions simultanées, nous espérons mettre en évidence des problèmes originaux. Par ailleurs, un cadre suffisamment paramétrable permettra de fabriquer les situations que nous souhaitons observer et répondre à des hypothèses précises en fonction du nombre d'utilisateurs, du type de collaboration, des moyens d'interaction et de la nature de l'activité.

Les tabletops supportent les systèmes multi-utilisateurs et nous espérons, grâce au jeu, étudier et comparer les comportements et les difficultés des utilisateurs en situation de collaboration, de coopération et de compétition.

3.3.4 Des interfaces innovantes

Les jeux vidéo proposent des formes d'interaction parfois radicalement différentes de celle qu'un utilisateur rencontre dans un logiciel de production et nous avançons d'ailleurs que les interfaces graphiques des jeux sont généralement les plus innovantes. D'un côté, les systèmes d'exploitation se basent depuis des dizaines d'années sur un modèle de fenêtrages presque inchangé et les mêmes contrôleurs car les activités se ressemblent et les tâches sont redondantes. De l'autre côté, lors de la conception d'un nouveau jeu, l'interface est parfois totalement repensée en fonction de son univers et des objectifs donnés aux joueurs. La réalisation d'un jeu vidéo consacre des efforts à la visibilité et à la clarté de l'interface parce que la quantité d'informations à afficher est grande et qu'elles évoluent en continu. Les concepteurs cherchent à introduire des difficultés liées à des objectifs à atteindre et non pas liées à une interface mal conçue qui rend les informations inaccessibles aux joueurs ou les choix difficiles à exprimer. En outre, les interactions sont variées et les tâches diversifiées.

Le monde de la recherche en IHM propose depuis près de trente ans des améliorations d'interfaces, des techniques d'interactions et des nouveaux contrôleurs, que le monde du jeu vidéo s'est progressivement approprié. Par exemple, on retrouve de plus en plus souvent des *PieMenus* [Hopkins 1988] dans des jeux : *les Sims*, *Mass Effect*, *Dragon Age*, etc.

3.3.5 Des utilisateurs joueurs

Le travail de recherche en IHM comprend entre autres une phase d'évaluation des systèmes et des techniques par des utilisateurs extérieurs à l'équipe, voir extérieurs au laboratoire. Le chercheur souhaite

observer les participants interagir naturellement et s'assurer qu'ils testent les systèmes comme ils les utiliseraient quotidiennement. Cependant, les conditions d'évaluation sont couramment artificielles et par conséquent le comportement de l'utilisateur peut être biaisé. Dans un cadre hypothétique, les participants seraient immergés, intéressés et motivés par la tâche.

Nous avons constaté qu'une expérience basée sur un jeu vidéo a l'avantage d'engager presque immédiatement les utilisateurs [Chaboissier 2008]. Le contexte vidéoludique confère à la tâche un enjeu qui implique l'utilisateur et le motive à donner le meilleur de lui-même, à relever le défi. Il devient alors plus facile pour l'expérimentateur de détecter les problèmes d'interaction. Enfin, nous pensons que l'utilisateur se sentira plus facilement concerné par son activité. En effet, un joueur de jeu vidéo cherchant à se divertir peut ressentir de la frustration lorsqu'il rencontre des difficultés à atteindre ses objectifs. Nous croyons qu'en cas d'échec, le joueur sera plus enclin à remettre en cause le système plutôt que ses propres facultés. Le chercheur attend enfin que l'utilisateur exprime le plus franchement possible ses difficultés et qu'il fasse des suggestions d'amélioration : « Si j'avais pu faire autrement, j'aurais été meilleur ».

3.3.6 Application des résultats aux systèmes non ludiques

Explorer à partir du jeu vidéo va nous permettre de trouver dans un premier temps des solutions adaptées et spécifiques au jeu. Dans un second temps, généraliser ces solutions permettra de dégager des principes de conception.

Nous pouvons nommer des applications pour tabletops ayant des similitudes avec des jeux vidéo. Par exemple, le domaine de la décision militaire : les utilisateurs s'appuient sur la représentation d'une carte stratégique. De même, on peut citer les systèmes de contrôle de trafic aéronautique. Ce sont généralement des systèmes où les utilisateurs doivent se coordonner et pour prendre rapidement les bonnes décisions.

Nous avons expliqué dans ce chapitre la démarche initiale de cette thèse. Dans le suivant, nous présenterons la conception du démonstrateur *RealTimeChess* et la première expérience réalisée pour étudier l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs avec une table interactive.

4 LE PROJET REALTIMECHESS

ETUDE DE LA SIMULTANEITE A PARTIR D'UN JEU DE STRATEGIE TEMPS-REEL

Ce chapitre du mémoire présente la première étude de cette thèse. Nous avons choisi de créer, d'observer et d'analyser l'expérience des utilisateurs sur un jeu que nous avons conçu spécifiquement pour table interactive : *RealTimeChess*.

RealTimeChess est une adaptation originale des échecs dans une version stratégie temps-réel pour deux à quatre joueurs. Avant de donner les détails de sa conception, nous motivons dans un premier temps notre démarche en précisant les prérequis qui nous ont conduits à ce choix. Dans un second temps nous expliquons le protocole des évaluations réalisées ; et pour finir nous discutons des problèmes dégagés et des perspectives.

4.1 Construction de la démarche exploratoire

Cette première partie retranscrit les différentes étapes qui ont amenée à concevoir *RealTimeChess* comme plate-forme d'expérimentation : nos besoins, nos hypothèses la conception de ce logiciel.

4.1.1 Avant-propos

Au commencement de cette thèse sur les tables interactives, nous avons adopté une démarche d'exploration, sans faire d'hypothèses sur les verrous liés à l'interaction simultanée sur table.

4.1.1.1 Notre objet d'étude : les interactions simultanées

Notre objet d'étude est l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs sur une table interactive. Nous avons cherché à analyser les influences de l'interaction simultanée au niveau de l'interaction entre un utilisateur et la tabletop (accès, perception, difficultés, etc.) mais aussi au niveau des interactions entre les différents utilisateurs (communication, interférences, partage, etc.).

4.1.1.2 Notre moyen : le Jeu

Le choix d'utiliser le jeu vidéo comme moyen d'exploration a soulevé le défi motivant de concevoir un jeu sur une nouvelle forme d'ordinateur. Les jeux vidéo sont des systèmes interactifs évolués, paramétrables et originaux, et donnent l'opportunité de repousser les technologies dans leurs retranchements. Enfin, les évaluations basées sur des expériences ludiques immergent facilement les participants.

4.1.1.3 Notre objectif : faire des petites expériences et observer les utilisateurs

Notre objectif était de développer une plate forme d'expérimentation basée sur l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs pour conduire des sessions d'évaluation et d'observation de participants dans une situation crédible. Notre démarche consiste à mener des observations pour mettre en évidence des particularités et des problèmes de l'interaction simultanée sur tabletop.

4.1.2 Un jeu de stratégie en temps-réel comme outil d'observation

Nous avons choisi de concevoir un jeu de stratégie en temps-réel pour notre exploration. Il s'agit d'un type de jeu de stratégie particulier qui, par opposition au jeu de stratégie au tour par tour, n'utilise pas un

découpage arbitraire du temps en tours de jeu. Toutes les entités (joueurs et modules d'intelligence artificielle) interagissent simultanément. Dans cette partie, nous motivons ce choix.

4.1.2.1 Adapté aux tabletop

Un jeu de stratégie peut être un jeu de société ou un jeu vidéo. Le but est de réaliser un objectif connu : augmenter sa domination territoriale, combattre un ou plusieurs ennemis sur un terrain de jeu, faire propérer une entité, etc. L'accent n'est pas mis sur l'adresse du joueur mais sur la planification de l'action, c'est-à-dire la stratégie. Le terrain peut être de tout type. Le joueur est souvent considéré comme un dieu ou un général, visualisant l'ensemble de ses unités depuis le ciel et leur donnant des ordres.

Nous pensons que le jeu de stratégie est tout à fait adapté aux tables interactives. L'horizontalité d'une table ne convient pas aux jeux de type FPS (pour *First Person Shooter*, par exemple : *Doom, Half Life, Call of Duty*, etc.) ou aux jeux dont la gravité est un élément essentiel (*Tetris* par exemple). En revanche, elle convient très bien à la vue « géographique » habituelle des jeux de stratégie. D'ailleurs, de nombreux jeux de simulation de guerre (jeux de société ou dits « de plateau »), comme *Warhammer* par exemple, se jouent autour d'une table représentant le terrain des affrontements.

4.1.2.2 Un jeu multi-utilisateur

Le jeu de stratégie est généralement joué à plusieurs joueurs, sur ordinateur ou sur table réelle. Il incite à former des ou rompre des alliances, faire des stratégies de groupe, se répartir des tâches, etc. Dans le cas des tabletops, la proximité entre les utilisateurs permet de communiquer facilement, par le geste ou la parole, et d'établir des tactiques collaborativement.

4.1.2.3 Stratégie « temps-réel » pour des interactions simultanées

Dans le cadre de notre recherche, la dimension « temps-réel » de ce type de jeu de stratégie est centrale. Pour comprendre cette notion de temps-réel, il convient de décrire le système au tour par tour puis d'en expliquer les différences.

Dans le jeu de stratégie au tour par tour, l'issue d'une confrontation est structurée par étapes, un combat en succédant un autre, de manière à laisser à chaque joueur le temps de réfléchir sur la prochaine étape. Une confrontation est une suite de combats successifs et isolés. Sur ce socle commun sont ensuite définies les règles et les mécanismes qui viennent se greffer à chaque jeu en particulier. Le jeu de stratégie en temps réel est exclusif au domaine du jeu vidéo, et demande en plus de la réflexion, une certaine dose de réactivité, de spontanéité voire de réflexes pour les jeux les plus rapides. Cela entraine des exigences d'efficacité sur les techniques d'interaction avec le système.

Dans un jeu de stratégie temps réel multijoueur, chaque joueur interagit librement sans avoir à attendre son tour. En conséquence, il doit à la fois agir rapidement et réagir à ce que font ses concurrents et partenaires. Deux adversaires peuvent se feinter, essayer de bluffer, chercher à piéger les autres dans le temps.

4.1.2.4 Retour sur les jeux de stratégie en temps-réel

De création relativement récente, le genre a été initié au début des années 1990 grâce au jeu *Dune II* développé en 1992 par le studio Westwood. Petit à petit, les jeux de stratégie en temps réel ont acquis une popularité supérieure aux jeux de stratégie au tour par tour auprès du grand public, avec des licences phares telles que la série des *Warcraft* et *Starcraft* des studios *Blizzard Entertainment* ou celle des *Age of Empires* des studios *Ensemble Studios* (édité par *Microsoft Games*). Dans la presse spécialisée, ces jeux sont souvent appelés « STR » pour Stratégie en Temps Réel. Ce style de jeu est particulièrement développé sur PC. En multijoueur, il se pratique sur Internet ou en réseau local.

Les qualités d'un bon joueur sont la réactivité, la faculté à gérer plusieurs paramètres en parallèle (gestion de ses ressources, de ses armées, etc.), la prise de risque, la prise d'informations et la précision de ses contrôles pour les jeux les plus dynamiques. Les stratégies gagnantes consistent à se développer plus vite que son adversaire et à faire des choix technologiques qui contrent les siens. Généralement, chaque action possède un coût en temps et en ressources dans le jeu (énergie, richesse, etc.)

4.1.2.5 Nos hypothèses

Lorsque nous avons décidé de concevoir un jeu de stratégie temps-réel pour table interactive afin de mener des expériences sur des utilisateurs joueurs, nos hypothèses d'observation étaient :

- les joueurs interagiront simultanément, ce qui leur procurera une expérience amusante et excitante ;
- les joueurs prendront le temps de réfléchir et de faire des stratégies ;
- les coéquipiers communiqueront pour se coordonner et élaboreront des tactiques en groupe ;
- il sera possible de modérer le rythme d'interaction pour fluidifier l'interaction ;
- les utilisateurs pourront agir et réagir sur l'ensemble de la surface sans difficulté ;
- les interactions simultanées seront sources de gênes physiques, peut-être des chocs entre les mains et les bras ;
- ces gênes seront désagréables et sources de conflits ;
- certains utilisateurs trouveront le jeu physiquement fatigant.

4.1.3 Les besoins

Dans cette partie, nous présentons nos besoins expérimentaux.

4.1.3.1 Interactions simultanées et stratégie

Le jeu de stratégie en temps réel est le moyen d'étudier et d'observer les interactions simultanées de plusieurs joueurs. Les règles un jeu doivent donc mener les utilisateurs à interagir en même temps sans qu'il n'aient à attendre leur tour. Le jeu doit toutefois se fonder sur des mécanismes de jeu privilégiant la réflexion à l'action, supportant différentes tactiques possibles. Il doit donner aux utilisateurs l'impression que la réussite ne dépend pas de la vitesse physique en dépit de la dimension temps-réel du jeu.

Nous avons donc choisi d'intégrer au jeu un système permettant de supporter le dialogue entre les utilisateurs : lorsqu'un joueur vient d'effectuer une action, nous souhaitons laisser un temps aux autres joueurs pour la percevoir et pour y réagir. Nous avons conçu un système de modération du rythme des interactions qui ne revient pas à un mode d'interaction alternative.

4.1.3.2 Multijoueur, deux à quatre joueurs simultanément

Nous avons décidé que le jeu pourrait se jouer de deux à quatre joueurs simultanément et supporter différentes configurations de groupes : chacun pour soi, deux contre deux, plusieurs contre un, etc. Nous voulions en effet créer des opportunités de stratégies de groupe, de coopération et de collaboration.

4.1.3.3 Facilité d'apprentissage

Un jeu de stratégie est difficile à comprendre pour un joueur débutant si ses règles sont complexes, qu'il s'appuie sur des caractéristiques, des statistiques et de nombreux paramètres à gérer. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes limités à la conception d'un jeu simple à comprendre et qui immerge les participants rapidement. En effet, il nous a semblé très difficile de demander aux utilisateurs qu'ils consacrent des heures d'apprentissage avant de devenir opérationnels. Notre objectif était que n'importe quel utilisateur puisse comprendre les mécanismes et s'amuser à tenter des interactions après quelques minutes d'entraînement afin d'optimiser le temps d'observation.

Pour trouver le bon compromis entre stratégie et simplicité, nous nous sommes appuyés sur les trois principes de conception :

- des mécanismes de base connus des utilisateurs ;
- des représentations graphiques simples et explicites ;
- peu de notions et de règles à mémoriser.

4.1.3.4 Une plate-forme générique

Malgré son apparente simplicité, le système expérimental doit toutefois permettre de créer toutes les situations que nous souhaitons étudier. Notre but est de développer une plate-forme d'expérimentation sous forme de jeu et dont les mécanismes pourront être paramétrés, par exemple :

- le nombre de joueurs : deux, trois ou quatre ; et leur position autour de la table ;

- la relation entre eux : en équipe (collaboration) ou non (compétition) ;
- les objectifs et les moyens pour y parvenir (remporter une bataille, construire une armée, etc.) ;
- le rythme d'interaction : très lent proche du tour par tour jusqu'à très rapide sans aucun temps mort.

Afin de contrôler l'apprentissage des concepts du jeu, nous avons intégré un didacticiel pour permettre aux participants d'apprendre comment jouer par étapes successives.

4.1.3.5 Un développement court

Un jeu vidéo est un système interactif complexe fondé sur des mécanismes originaux et des interactions variées. Son interface graphique, riche et dynamique, se compose de représentations conçues spécialement pour le jeu selon son univers. Développer un jeu tout entier, à partir d'une idée originale, demande énormément de temps et de compétences variées : conception et programmation des mécanismes du jeu, réalisation des graphismes en 2D ou 3D ainsi que des animations, implémentation et test des interactions, etc. Cependant, inventer des règles simples, équilibrées et intéressantes est difficile.

Pour réaliser ce travail dans le cadre d'une thèse, nous avons choisi de réutiliser un univers de jeu existant pour limiter le travail de conception graphique.

Pour satisfaire tous les besoins présentés ci-dessus, notre approche a consisté à utiliser et étendre un jeu de stratégie existant pour exploiter ses qualités tout en le transformant en profondeur.

4.1.4 RealTimeChess

Nous avons décidé de développer une adaptation des échecs en « temps-réel », c'est-à-dire en supprimant la modalité fondamentale du tour par tour. Nous avons ainsi nommé ce projet *RealTimeChess*. Dans cette partie, nous expliquons ce choix : dans un premier temps, nous dégageons les avantages à partir des règles et de l'aspect visuel du jeu d'échecs, et dans un second temps nous détaillons quelles transformations nous avons choisies de réaliser pour atteindre nos objectifs.

4.1.4.1 La base du jeu d'échecs

Les mécanismes du jeu d'échecs sont très éprouvés. L'aspect des pièces d'échecs (*roi*, *reine*, *tour*, *fou*, etc.) ainsi que leur déplacements sont généralement connus ou simples à apprendre. Ces avantages correspondent à nos besoins de mise en œuvre rapide et à l'investissement limité de la part des participants. D'autre part, le plateau en damier et les pièces de couleurs différentes selon le joueur sont aussi facilement reconnaissables. Ces raisons assurent l'accessibilité de notre projet. Enfin, les règles des échecs se basent sur des stratégies combinatoires et sont suffisamment complexes pour supporter de nombreuses possibilités tactiques et laisser une part importante à la réflexion.

Par ailleurs, le choix d'une version « augmentée » des échecs, en temps-réel, est une bonne illustration de la transformation possible d'un jeu de plateau classique en utilisant le traitement informatique. En outre, pour des raisons techniques spécifiques aux tabletop, les interactions avec les pièces sur un damier assez grossier réduit le risque d'imprécision car les pièces et les cases sont raisonnablement plus larges que le doigt d'utilisateur.

4.1.4.2 Disparition du tour par tour

Des échecs, nous n'avons gardé que la représentation du plateau et des pièces ainsi que leur façon de se déplacer. En revanche, nous avons modifié le déroulement traditionnel au tour par tour pour en faire un jeu de stratégie « temps réel » capable d'accueillir les interactions de plusieurs utilisateurs simultanément.

Les jeux de stratégies au tour par tour offrent un temps de réflexion aux joueurs. Ce temps de réflexion peut en outre représenter le déroulement de périodes symbolisant l'univers du jeu, comme par exemple des journées ou des saisons qui se passent. Nous avons observé que les règles des jeux au tour par tour s'accompagnent souvent de procédures à exécuter à la fin de ces périodes : récolte ou répartition de ressources, prise ou fin d'effets d'actions réalisées auparavant, etc. En résumé, la fin d'un tour marque les changements dans l'environnement. Ces mécanismes plus ou moins complexes n'auraient pas de sens sans tour par tour.

Dans le cas précis des échecs, le tour par tour a pour but d'assurer un temps de réflexion avant la prise de décision et de garantir l'équilibre entre les joueurs en terme de nombre de déplacements effectués.

Cependant, les tours ne représentent pas de périodes et ne s'accompagnent pas de procédures particulières nécessaires au fonctionnement d'une partie.

Ainsi, il semble possible de s'affranchir du tour par tour dans les échecs sans bouleverser l'univers du jeu. En pratique, les joueurs peuvent déplacer leurs pièces plusieurs fois de suite sans attendre l'action d'autres joueurs.

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté notre démarche scientifique : notre objet d'étude : l'interaction simultanée ; notre moyen : le jeu ; et comment nos besoins ont inspiré un jeu de stratégie en temps-réel basé sur les échecs. Dans la partie suivante, nous détaillons de la conception de *RealTimeChess* et expliquons notre solution pour modérer le rythme d'une partie afin d'éviter un jeu dont le but serait simplement de déplacer une pièce plus vite que l'adversaire.

4.2 La conception de *RealTimeChess*

Dans cette partie, nous présentons *RealTimeChess* : un jeu de stratégie temps réel inspiré des échecs pour l'étude des interactions simultanées de plusieurs utilisateurs sur tabletop. Dans un premier temps, nous expliquons comment nous nous sommes affranchis du tour par tour tout en modérant le rythme du jeu pour assurer des temps de réflexion, puis nous parlons du design graphique, des mécanismes originaux et des interactions possibles.

4.2.1 Travaux existants sur le jeu d'échecs en temps-réel

Le jeu d'échecs envisagé dans une modalité « temps-réel » a déjà été abordé et testé mais dans des contextes différents.

Alwis et al. ont fait la démonstration d'une architecture logicielle sur un nouveau dispositif multi-tactile capable de gérer plusieurs accès concurrents sur une surface tactile en ayant développé une version temps-réel des échecs [Alwis 2009]. Ces travaux n'introduisaient pas de règles supplémentaires ni de design particulier, mais démontraient simplement le fait de déplacer les pièces simultanément. Il s'agissait d'une preuve de robustesse de leur technologie.

Stanley et al. ont aussi utilisé une version temps-réel des échecs pour une étude sur le jeu pervasif : les candidats portaient sur eux différents capteurs enregistrant leurs habitudes quotidiennes (distance parcourue à la marche, niveau de luminosité environnante) ; ces données avaient un impact sur les caractéristiques de leurs pièces lors de sessions de jeu d'échecs hebdomadaires [Stanley 2008]. Dans ces travaux, ils ont montré que les habitudes des joueurs changeaient pour être plus performants en jeu. Toutefois, peu de détails ont été donnés sur leur adaptation des échecs.

Enfin, sans rapport avec les échecs, mais en lien direct avec le jeu de stratégie temps-réel, Tse [Tse 2006, Tse 2007 b] a adapté très populaire jeu *Warcraft III* sur une tabletop DiamondTouch en interfaçant le contrôle en jeu avec des commandes gestuelles et vocales. Les retours d'expériences laissent supposer que le portage d'un jeu conçu initialement pour PC n'est pas correctement jouable sur tabletop dans un contexte multijoueur. Ces travaux relèvent qu'un joueur irait plus vite et serait plus précis avec une souris et un clavier. Par ailleurs, le jeu ne peut pas gérer correctement plusieurs curseurs en parallèle et donc plusieurs utilisateurs. Nous avons tenté de répliquer la même expérience avec le jeu *Starcraft* et nous sommes arrivés aux mêmes conclusions. Dans le cadre de notre exploration, nous avons donc décidé de travailler sur un système conçu spécialement pour table interactive.

4.2.2 Comment passer du jeu alterné au jeu simultané ?

Le premier défi de la conception de *RealTimeChess* est de trouver le bon moyen de transformer le jeu d'échecs, bien éprouvé quand il est joué au tour par tour, en un jeu nouveau jeu de stratégie en temps-réel tout en gardant à l'esprit les avantages et limitations des tables interactives.

Le problème consiste à permettre les interactions simultanées – en l'occurrence la liberté de jouer sans attendre son tour, afin de donner au joueur la sensation stimulante d'être toujours en action - sans que le jeu ne bascule dans l'excès et le désordre. Nous avons cherché une solution qui supporte un dialogue interactif entre les joueurs et empêche qu'un seul utilisateur monopolise la surface.

D'autre part, en supprimant le tour par tour et en autorisant chaque joueur à déplacer ses pièces à volonté, nous risquons de dénaturer les dimensions stratégiques pour favoriser la vitesse physique et le réflexe, ce à quoi certains types de joueurs pourraient ne pas adhérer. En résumé, nous voulons que notre conception satisfasse les contraintes suivantes :

- le joueur doit avoir l'impression qu'il a toujours la possibilité d'agir ;
- le système doit s'adapter à tous les niveaux d'expertise. Les joueurs débutants auront besoin de d'avantage de temps de réflexion, d'observation et d'analyse des actions possibles ;
- Le jeu ne doit pas être perçu comme une course de vitesse ; les temps de réflexion et le dialogue entre utilisateurs doivent être préservés.

Modérer le rythme d'interaction revient à limiter le nombre d'interactions dans le temps. Dans le jeu d'échecs, une action est le déplacement d'une pièce. En nous basant sur le concept de coût d'une action présent dans de nombreux jeux vidéo, nous avons implémenté un système de rechargement des pièces jouées.

Notre système de modération intervient lorsqu'un joueur vient de déplacer une de ses pièces. Le système désactive la pièce qui se « recharge » pendant quelques secondes. La pièce est toujours en jeu mais elle ne peut plus être déplacée tant qu'elle n'est totalement rechargée. Pour ne pas obtenir un mode de tour par tour dissimulé (chaque joueur devant attendre après avoir joué ses pièces), il est en contrepartie possible de déplacer d'autres pièces tandis que la première se recharge.

Cette solution a plusieurs avantages notables. Du point de vue du joueur, il y a toujours des pièces à contrôler. En outre, ce système de coût en temps s'additionne aux contraintes spatiales des échecs : les déplacements de chaque pièce étant contraints par la position des autres sur le plateau (une tour ne peut pas traverser un pion par exemple). Il faut attendre que les pièces bloquantes aient été déplacées pour avancer celles qui sont derrières. Du point de vue du joueur adverse, lorsqu'une pièce ennemie vient d'être déplacée et qu'elle menace ses positions, le temps de recharge de la pièce laisse le temps de trouver et de mettre en œuvre une action de défense.

Dans le jeu vidéo, ce concept de temps de rechargement est couramment utilisé pour donner de la valeur aux fonctions disponibles. Un coût en temps implique que ces techniques ou compétences virtuelles ne sont pas constamment disponibles. Le joueur est invité à réfléchir avant de les utiliser et de les économiser. Plus le temps de recharge d'une compétence est long, plus elle a de la valeur.

4.2.3 Design de RealTimeChess

Dans la suite de cette partie, nous présentons nos choix de conception sur l'interface graphique, les mécanismes de jeu et jeux et sur les techniques d'interaction disponibles. Nous nous sommes basés sur l'état de l'art et en particulier sur les règles de conception de Scott et al. [Scott 2003].

4.2.3.1 Interface graphique

Nous avons choisi de respecter la règle qui veut que tous les joueurs aient une vue du jeu équitable quelque soit leur position autour de la table. Dans leurs travaux sur les points de vue et affichages dans les applications en trois dimensions sur tabletop, Hancock et al. [Hancock 2007] comparent plusieurs perspectives différentes. Nous avons décidé d'opter pour une représentation du plateau par une vue du dessus, aérienne, pour rester le plus fidèle possible à la vue que des joueurs auraient en se plaçant autour d'une table sur laquelle serait posé un plateau centré sur la table. Nous avons ainsi tenté d'atténuer l'impression d'utiliser un jeu sur ordinateur [Magerkurth 2004].

Les pièces et le plateau de *RealTimeChess* sont modélisés en trois dimensions. Ainsi, les pièces sur les côtés ont l'air penchée et les pièces au centre sont vues à travers une perspective orthogonale. L'utilisation de la 3D permet d'assurer une perspective agréable à l'œil quelque soit la position de la pièce et la position de l'utilisateur. L'aspect des pièces garde celui du jeu d'échecs existant afin que les joueurs les identifient facilement et associent leur forme à leur mode de déplacement (voir Figure 12).



Figure 12 - Modèles des pièces dans *RealTimeChess* - De gauche à droite : Cavalier / Tour / Reine / Roi / Fou / Pion.

A chaque utilisateur correspond une couleur : bleu, vert, violet ou jaune (voir Figure 13). La couleur intervient dans la représentation des pièces et de tous les feedbacks destinés à un joueur : indications sur

le plateau, textes affichés, etc. La couleur rouge est utilisée pour les représentations de dangers, d'erreurs ou d'actions impossibles.

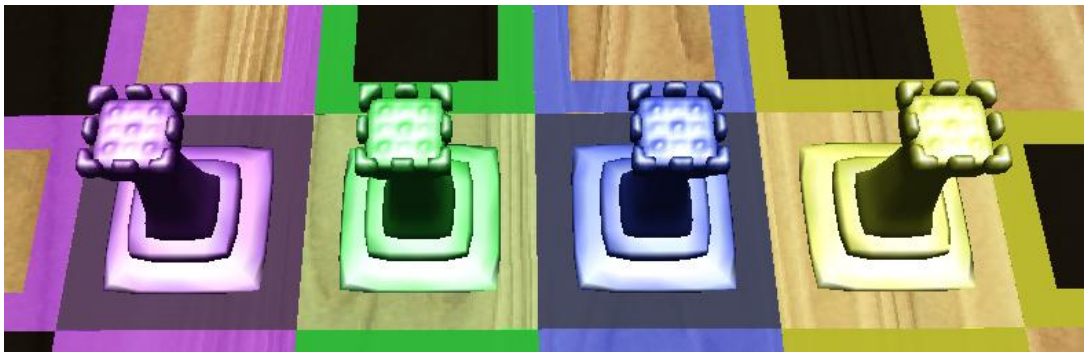


Figure 13 - Une tour de chaque couleur pour le mode 4 joueurs.

Nous avons utilisé dans la conception de *RealTimeChess* les concepts de zone privée et de zone de groupe. La zone de groupe est l'ensemble du plateau de jeu au centre de la table. Les pièces en jeu se trouvent sur le plateau et les joueurs peuvent interagir avec leurs pièces sur l'ensemble du plateau. Par ailleurs, chaque joueur possède une zone personnelle où sont affichées des informations personnalisées : son nom, la durée de la partie en cours et ses objectifs, orientées vers lui. En outre, comme dans un jeu d'échecs traditionnel, les pièces prises par le joueur sont affichées près de lui, à l'extérieur du plateau, les unes à côté des autres (voir Figure 14).



Figure 14 - Vue d'ensemble du jeu *RealTimeChess*

Nous avons limité le nombre d'artefacts fortement orientés comme suggéré par Whalen [Whalen 2003]. Les seuls éléments visuels affectés par l'orientation ne sont que les textes et les feedbacks destinés à un seul joueur.

Enfin, les utilisateurs naviguent dans l'application au travers d'un menu en anneaux conçu spécialement pour les tables interactives [Chaboissier 2010] (voir Figure 15).

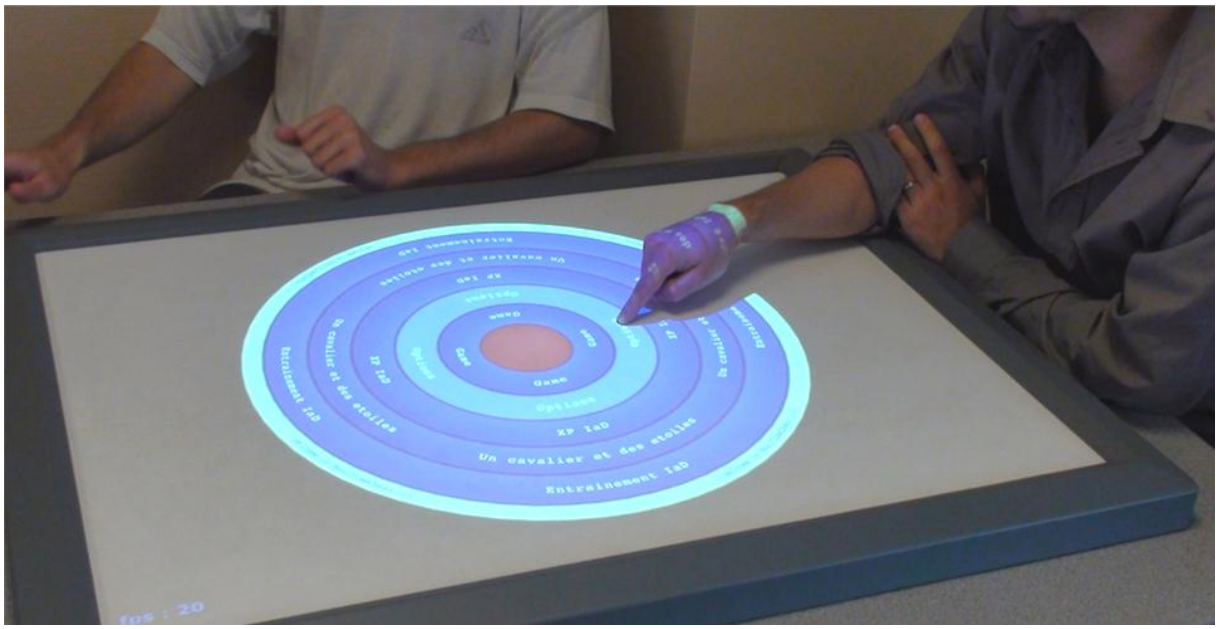


Figure 15 - *RingMenu* : menu collaboratif pour paramétrer les parties de *RealTimeChess*. Quelque soit la position d'un utilisateur autour de la table, il peut lire quelles options du menu sont choisies par le responsable du groupe et peut éventuellement intervenir.

4.2.3.2 Les plateaux de jeu et les cases bloquantes

Nous avons conçu *RealTimeChess* de façon à pouvoir créer des plateaux de jeu variés et différents du damier classique de soixante quatre cases. Ainsi, un plateau est défini par un nombre de cases en largeur et en hauteur, et peut adopter une forme rectangulaire aussi bien que carrée. Nous avons pu ainsi créer des scénarios originaux pour deux, trois ou quatre joueurs (voir Figure 16). La taille du plateau ainsi que la position des pièces à l'initialisation d'une partie sont paramétrables et dépendent de chaque scénario.

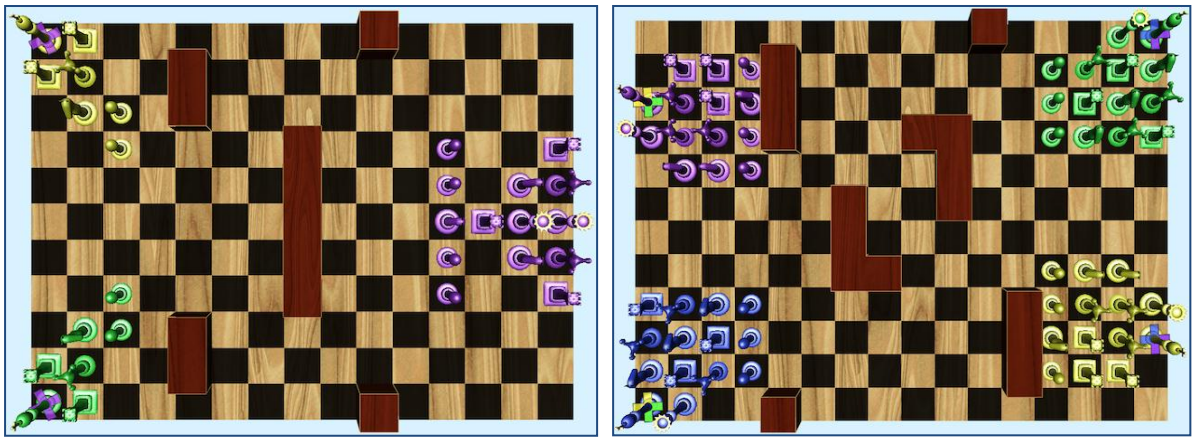


Figure 16 - Exemples de plateaux originaux - A gauche : 2 contre 1 / A droite : 2 contre 2

Nous avons rendu possible de définir certaines cases du plateau comme inaccessible aux pièces du jeu. Nous les appelons *Cases bloquantes*. Elles sont représentées par des blocs « murs » (voir Figure 17). Les joueurs doivent les prendre en considération dans leurs stratégies. Elles permettent aussi, en bloquant

l'accès à des zones précises du plateau, de forcer les joueurs à se rencontrer ou au contraire de séparer les joueurs les uns des autres. Enfin, dans certains scénarios, le plateau a des cases murs dont la position change aléatoirement à chaque nouvelle partie, ce qui renouvelle l'expérience de jeu et force les joueurs à adapter leurs stratégies.



Figure 17 - Exemple de cases bloquantes dans un plateau pour 4 joueurs. Les cases bloquantes sont représentées par des blocs marrons.

4.2.4 Mécanismes et règles du jeu

Nous venons de présenter les nouveautés graphiques de *RealTimeChess*. Nous expliquons maintenant les mécanismes du jeu : le déroulement d'une partie, le système de temps de recharge et les variantes de jeu.

4.2.4.1 Déroulement d'une partie

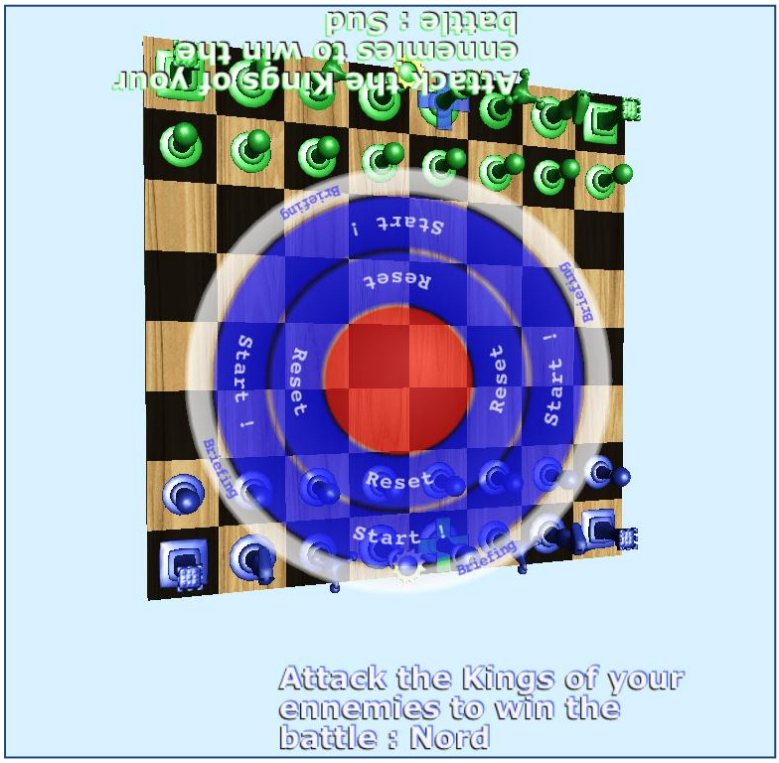


Figure 18 – Préparation d'une partie - Les objectifs sont affichés en face de chaque joueur. La partie commence lorsque l'un des joueurs touche l'anneau "Start".

Un des principes de conception d'une application sur table interactive est de supporter les interactions sociales entre les utilisateurs [Nilsen 2005, Scott 2003]. Nous avons donc programmé un temps pour discuter du plateau et des règles du jeu avant le début d'une partie en permettant de discuter du plateau. Une vue de celui-ci est affichée et la partie ne commence que lorsque tous les utilisateurs sont prêts, ce qu'ils indiquent en appuyant sur un bouton du menu en anneaux. Un compte à rebours de quelques secondes est affiché en face de chaque joueur pour donner le top de départ du jeu (voir Figure 18).

4.2.4.2 Déplacements des pièces

Lorsqu'une pièce est sélectionnée, les destinations possibles sont visuellement indiquées aux joueurs dans sa couleur (voir Figure 19). Cette assistance aide les joueurs débutants qui ne connaissent pas les déplacements des pièces d'échecs par cœur. De plus, cela rend de plus le jeu plus clair et soulage les joueurs parce qu'il n'ont plus à se concentrer sur la faisabilité d'un déplacement de pièce, seulement sur les bons choix à effectuer.

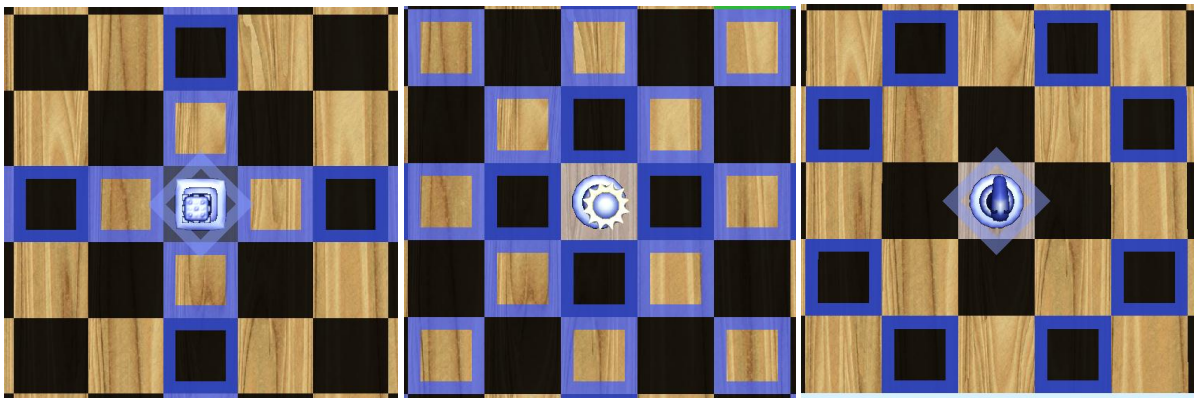


Figure 19 - Affichage des déplacements possibles de la pièces sélectionnée. A gauche : une tour / Au centre : une reine / A droite : un cavalier.

Nous avons par ailleurs inventé de nouvelles pièces avec des déplacements non conventionnels et notamment utilisées lors des parties à quatre joueurs et dans les scénarios avec des cases bloquantes : un pion pouvant se déplacer d'une case dans toutes les directions ;et le prince, qui est une version évolué du roi, se déplaçant de deux cases à chaque mouvement.

4.2.4.3 Diversité des objectifs

Comme nous venons de l'évoquer, nous avons implémenté plusieurs scénarios de jeu différents. Ils sont définis par la forme et la taille du plateau, les pièces en jeu mais aussi et avant tout par l'objectif donné aux joueurs. *RealTimeChess* comprend un mode bataille « classique » qui s'apparente au jeu d'échecs de base. Néanmoins, nous avons choisi de mieux expliciter l'objectif traditionnel qui consiste à mettre le roi adverse en échec et mat. Dans ce mode, le but devient d'attaquer et de prendre le roi ennemi comme s'il s'agissait d'un pion ordinaire. Il existe des variantes consistant à jouer en équipe (1 contre 2, 1c3 et 2c2) et des contraintes comme atteindre ses objectifs en temps limité. Nous proposons également un mode original consistant à déplacer ses pièces sur des cases cibles apparaissant sur le plateau. Ce mode est notamment utilisé lors des phases d'entraînement.

4.2.4.4 Gestion des temps de recharge d'une pièce

Le point central de *RealTimeChess* repose dans le système de temps de recharge des pièces qui détermine l'aspect « stratégie temps-réel » du jeu et nous permet de contrôler l'interaction simultanée. Comme cela a été expliqué précédemment, le principe de ce système consiste à rendre inactive une pièce pendant un laps de temps une fois qu'elle a été déplacée, durant lequel elle doit se recharger. Une fois le temps de rechargement écoulé, la pièce peut être déplacée à nouveau.

L'interface graphique permet au joueur de distinguer une pièce en recharge d'une pièce active. Une pièce en cours de recharge apparaît légèrement transparente et grisée ; de plus, deux feedbacks au niveau de la pièce indiquent le temps restant à attendre sous forme d'un indicateur alpha numérique couplé à un indicateur visuel apparenté à une horloge circulaire (voir Figure 20).

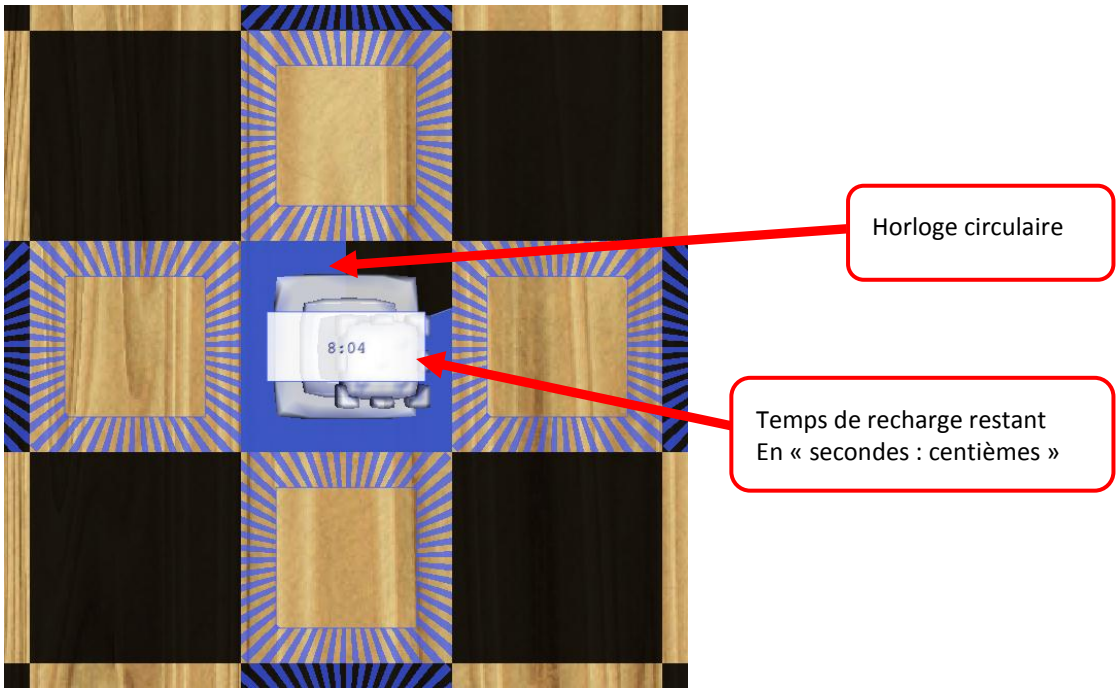


Figure 20 - Indications du temps à attendre avant que la recharge soit effectuée.

Par ailleurs, les cases destinations sont différemment représentées selon que la pièce peut-être déplacée immédiatement ou non (voir Figure 21).

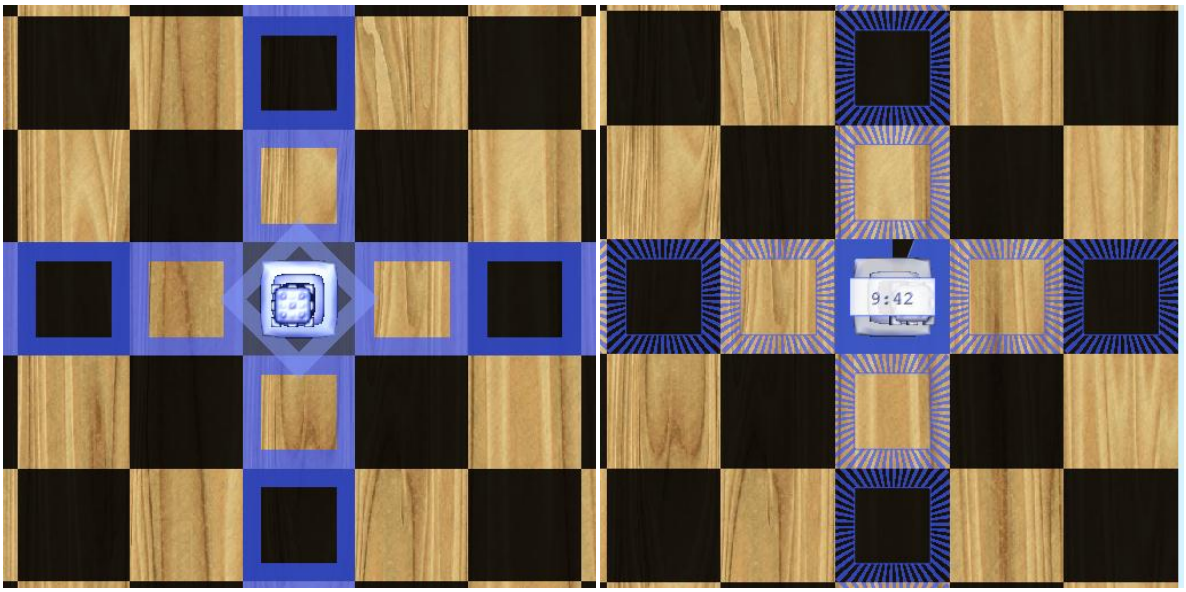


Figure 21 - Les destinations possibles sont hachurées tant que la pièce est en cours de recharge. A gauche : une tour déplaçable / A droite : une tour en cours de recharge.

Il existe plusieurs types de recharges. Le premier, évoqué précédemment, est la recharge au niveau d'une pièce : la pièce qui vient d'être jouée ne peut plus être déplacées pendant quelques secondes. Il existe aussi un déclencheur global au niveau de toutes les pièces : quand une pièce est déplacée, toutes les pièces du joueur sont immobilisées pendant un laps de temps néanmoins plus court. Ce système est utilisé pour empêcher qu'un joueur très entraîné n'enchaine trop rapidement les déplacements de différentes pièces et monopolise physiquement l'espace au dessus du plateau.

La durée des temps de recharge est paramétrable. *RealTimeChess* comprend plusieurs rythmes de jeu prédéfinis, correspondant aux temps de recharge des pièces : très lent : les pièces sont longues à se recharger (jusqu'à une minute) à très rapide : les pièces se rechargent presque instantanément (moins

d'une seconde). Le plus lent laisse le temps au débutant de comprendre le mécanisme, de discuter, d'appréhender la situation et d'apprendre à jouer sans trop de pression. Le plus rapide a été conçu pour les joueurs les plus expérimentés qui préfèrent un rythme élevé d'interactions.

4.2.4.5 Altération des temps de recharge

Les principes de conceptions de jeux nous indiquent que les joueurs s'approprient les jeux et en modifient le fonctionnement et les règles [Magerkurth 2004]. Dans *RealTimeChess*, nous avons rendu possible le paramétrage de la vitesse de jeu (qui affecte le temps de rechargement de toutes les pièces) pour avoir un rythme plus ou moins rapide. En outre, et afin de varier l'expérience de jeu, nous avons ajouté deux mécanismes antinomiques qui modifient la durée de temps de recharge des pièces au cours de la partie : les *Grades* et la *Fatigue*. Ces mécanismes sont optionnels. Il est difficile de laisser les utilisateurs « inventer leurs règles maisons » mais ce sont des exemples de personnalisations possibles du jeu.

Les *Grades* représentent le niveau d'une pièce. Ils s'acquièrent lorsqu'une pièce a été utilisée pour prendre des pièces adverses. Une pièce gradée se recharge plus rapidement par la suite à raison d'une diminution de 10% du temps initial par niveau de grade atteint. Ce mécanisme encourage le joueur à utiliser la même pièce pour attaquer afin qu'elle deviennent de plus en plus puissante. C'est autrement un moyen d'augmenter l'attachement du joueur à certaines de ses pièces en symbolisant l'expérience acquise par un soldat au cours de la bataille. En outre, les grades assurent un rythme élevé en fin de partie, en compensant le faible nombre de pièces restantes par une plus grande vitesse de rechargement Visuellement, le grade atteint est indiqué par des étoiles sur la pièce, évoquant les médailles sur la tenue d'un général (voir Figure 22).

A l'opposé, la *Fatigue* s'accumule à chaque déplacement d'une pièce et diminue quand elle demeure immobile. A l'inverse des grades, la fatigue augmente la durée des temps de recharge suivants. Plus un joueur déplace une pièce, plus celle-ci est longue à se recharger. La fatigue varie entre 0 et 100%. Au niveau 100%, le prochain rechargement va durer deux fois plus longtemps. Elle est affichée sous forme d'une jauge sous la pièce du joueur (voir Figure 22). Le but de ce mécanisme est de motiver le joueur à varier les pièces qu'il déplace et essayer de nouvelles stratégies.



Figure 22 - Altération des temps de recharge des pièces. A gauche : les pièces "gradées" se rechargent plus vite ; le niveau de grade est indiqué par le nombre d'étoiles sous la pièce / A droite : la fatigue augmente le temps de rechargement des prochains déplacements ; elle est représentée par la jauge jaune sous la pièce.

4.2.5 Les interactions à la disposition des joueurs

Nous venons d'expliquer les mécanismes de jeu, en particulier le système de recharge des pièces. Dans cette partie, nous présentons toutes les techniques d'interactions disponibles dans *RealTimeChess*. Conformément aux principes de conception de système pour table interactive [Magerkurth 2004], toutes les interactions se font au doigt ou avec les mains. Il n'est jamais nécessaire d'utiliser une souris ou un clavier.

4.2.5.1 Interaction avec le jeu – le cycle de base

Dans *RealTimeChess*, le champ d'action se résume au déplacement des pièces en jeu. Ainsi, le cycle d'interactions est :

1) l'utilisateur considère la configuration du plateau, la disponibilité de ses pièces et l'état actuel de la partie, c'est-à-dire la disposition des pièces adverses, les menaces potentielles et les moyens d'atteindre ses objectifs ;
2) lorsqu'il a pris sa décision, l'utilisateur sélectionne une pièce ;
3) L'utilisateur indique au système la case destination ;
4) si la pièce n'est pas en cours de rechargement, elle effectue le déplacement demandé et prend la pièce ennemie s'il y en a une sur la case destination, la pièce prise sort du jeu. La recharge de la pièce jouée commence et éventuellement, le temps de recharge global. La pièce reste sélectionnée ce qui peut éviter l'étape 2 au prochain cycle si le joueur décide d'attendre pour rejouer la même pièce.

Nous décrivons maintenant les différentes techniques d'interaction proposées pour contrôler les pièces.

4.2.5.2 Sélection d'une pièce

La sélection d'une pièce est une action articulatoire dans *RealTimeChess*. Pour sélectionner une pièce, un utilisateur pose son doigt directement sur la pièce qu'il souhaite utiliser.

Lorsqu'une pièce est sélectionnée, les cases destinations possibles sont mises en valeur ainsi que l'état de cette pièce : disponible ou en cours de recharge, et le temps restant le cas échéant

4.2.5.3 Déplacement par glisser déposer (drag'n'drop)

Le drag'n'drop, ou « glisser déposer », est une technique d'interaction répandue dans les systèmes PC et s'utilise à la souris. Il consiste à enfoncer le bouton de la souris (cliquer) sur un objet, maintenir le bouton de la souris enfoncé tout en déplaçant l'objet sélectionné vers une destination et enfin relâcher le bouton de la souris.

Le drag'n'drop s'inspire d'un geste naturel qui convient tout à fait aux tabletops. Nous l'avons implémenté dans *RealTimeChess* pour le déplacement des pièces. Après avoir sélectionné une pièce, l'utilisateur maintient son doigt au contact de la surface et le fait glisser vers une case destination. Une image transparente de la pièce sélectionnée suit son doigt et un curseur sur le plateau indique si le déplacement sur cette case là est possible ou non (voir Figure 23). Quand l'utilisateur relâche le doigt, sa pièce se déplace en glissant jusqu'à la destination. Le drag'n'drop peut être interrompu si la pièce sélectionnée est prise par un joueur adverse avant que le doigt n'ait été relevé.

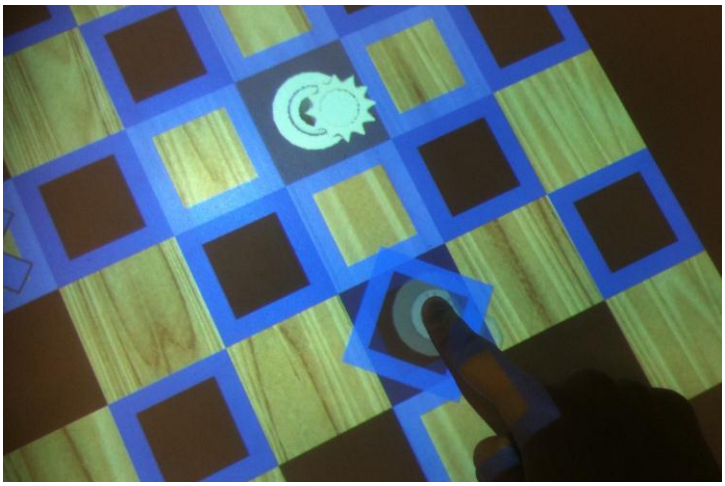


Figure 23 - Déplacement d'une pièce de type Reine avec la technique Drag'n'Drop. Une image transparence de la pièce sélectionnée suit le doigt de l'utilisateur. Le déplacement s'effectue, s'il est autorisé, lorsque le doigt est relevé de la surface.

4.2.5.4 Déplacement tap'n'tap

Au contraire du drag'n'drop, le tap'n'tap est une technique spécifique aux surfaces tactiles. On appelle « tap » l'équivalent au doigt du clic à la souris. Le tap'n'tap consiste à taper de son doigt un premier point puis un second pour définir une origine et une destination. Dans *RealTimeChess*, le tap'n'tap sert à déplacer une pièce plus rapidement et plus confortablement qu'en utilisant le drag'n'drop car elle limite les frottements au minimum.

Le premier tap sélectionne la pièce. Les destinations possibles sont colorées dans la couleur du joueur. Le second tap désigne la destination. A l'instant où le doigt est relevé lors du second tap, si la case ciblée est une destination valide pour la pièce, le déplacement est effectué.

Dans un contexte multi-utilisateur, cette technique n'est possible que si le système est capable de différencier les utilisateurs les uns des autres. Nous avons pu l'utiliser parce que nous travaillons sur une tabletop *DiamondTouch* qui dispose de cette capacité [Dietz 2001].

4.2.5.5 Animation au déplacement d'une pièce

Quand un joueur déplace une pièce, et quelle que soit la technique d'interaction utilisée, une animation permet à tout le monde de suivre le mouvement de la pièce. Même si au niveau système, le déplacement est considéré comme instantané, l'interface montre qu'une pièce prend quelques dizaines de millisecondes pour atteindre sa destination.

Une pièce est prise si elle se trouve sur la case destination d'un adversaire. Cette attaque est représentée par le choc des deux pièces, la pièce attaquante éjectant la pièce attaquée hors du plateau.

4.2.5.6 Programmation du déplacement suivant

Il est possible dans *RealTimeChess* de définir le déplacement suivant d'une pièce encore en cours de recharge. Bien que la pièce soit considérée comme inactive pendant encore quelques secondes, son possesseur peut la sélectionner et cibler une case destination. Une flèche apparaît qui indique que le système a bien enregistré le futur déplacement de la pièce vers sa destination. Lorsque la recharge est terminée, la pièce se déplace automatiquement vers la case qui était enregistrée si le déplacement est encore possible. Le joueur peut annuler un coup programmé en tapant deux fois sur une pièce. Il n'est pas possible de programmer plusieurs coups futurs de suite.

4.2.6 Conception participative

La conception de *RealTimeChess* a été itérative et participative. Le design a beaucoup évolué durant les premières semaines de développement parce que nous le faisions tester à des personnes extérieures à l'équipe pour récolter leurs impressions, constater ce qui fonctionnait et ce qui ne fonctionnait pas, observer leurs difficultés et surtout prendre en compte leurs suggestions. Plusieurs fonctionnalités du jeu ont été apportées au fur et à mesure grâce à leurs retours, et le développement a très rapidement adopté une méthode de conception participative [Beaudouin-Lafon 2004].

Parmi les fonctionnalités demandées, nous avons notamment ajouté l'interaction au glisser déposer et la possibilité programmer le déplacement à effectuer par une pièce une fois son temps de recharge terminé. Au niveau de l'interface aussi nous avons pris en compte les suggestions qui nous été formulées. Concernant la modélisation des pièces, nous avons cherché à proposer des représentations plus iconographiques que symboliques pour qu'elles soient facilement reconnaissables. Par exemple, dans sa version d'origine, le fou se confondait avec le pion alors nous avons changé sa forme en nous inspirant de l'apparence des bouffons de cour.

Par ailleurs, une amélioration de l'interface a été apportée assez tôt quand nous nous sommes rendu compte que les utilisateurs avaient des difficultés à distinguer si une pièce pouvait être déplacée ou non. Cette confusion s'opérait entre les pièces encore en recharge et quand la recharge était terminée. Les joueurs avaient tendance à essayer de déplacer toutes leurs pièces sans savoir si cette action était possible ou non malgré les feedbacks au niveau de la pièce elle-même. Nous avons constaté que les utilisateurs regardent peu l'objet (la pièce) qu'ils veulent contrôler (déplacer) mais leur objectif (la destination). Nous avons donc adapté l'affichage les cases destinations possibles selon l'état de la pièce. Lorsqu'une pièce en recharge est sélectionnée, les cases de destinations possibles sont affichées avec des hachures (voir Figure 21).

4.2.7 Un didacticiel intégré

Afin de faciliter et de contrôler la prise en main du logiciel, nous avons intégré des didacticiels à *RealTimeChess*. Ceux-ci sont nécessaires à la bonne appréhension de la table interactive et de son fonctionnement car la majorité des utilisateurs découvre ce type de système pour la première fois. À travers plusieurs étapes à la complexité croissante, les joueurs découvrent les pièces, les interactions possibles, la signification de l'interface et les règles (pièce, déplacement, jeu simultané, rechargement, objectifs). Le didacticiel alterne entre des phases d'essai libre en solitaire (déplacement, interaction) et des phases ludiques en groupe (courses de vitesse, bataille). Il existe une version pour deux joueurs et une autre pour quatre joueurs.

4.2.8 Architecture logicielle

Le projet *RealTimeChess* a été développé en Java en utilisant l'API JOGL basée sur OpenGL pour le rendu graphique en deux ou trois dimensions. Les pièces d'échecs ont été modélisées à l'aide Blender. La modélisation du logiciel s'inspire du modèle MVC (Modèle-Vue-Contrôleur). Nous avons conçu des classes pour que de nouveaux types de pièces, nouveaux plateaux et nouvelles règles du jeu puissent être ajoutées sans avoir à modifier le code existant. Nous avons développé et testé le jeu sur une table *DiamondTouch* (86 cm x 65cm) en utilisant un driver réalisé en C qui traite les signaux émis par la table puis les communique à l'application via le protocole standard TUIO (*Tangible User Interface Objects*) [Kaltenbrunner 2005].

L'interaction simultanée de plusieurs personnes implique le traitement parallèle des différents évènements : un joueur accède et modifie l'environnement en même temps que les autres. Les actions de chaque utilisateur sont gérées dans des processus différents. Par ailleurs, le rendu graphique et la gestion de l'état de la partie, du plateau et des pièces sont tous autant de processus parallèles.

Nous venons de présenter la conception de *RealTimeChess* en détails : choix de conception, mécanismes du jeu, interface graphique et techniques d'interaction. Dans la partie suivante, nous détaillons les expériences que nous avons conduites sur *RealTimeChess*, nos résultats et les observations que nous avons faites.

4.3 Les expériences

Dans cette partie, nous présentons les observations à partir des expériences d'utilisation de *RealTimeChess* que nous avons menées sur des groupes de deux et quatre joueurs (voir Figure 24). Nous expliquons les objectifs, les résultats attendus et le déroulement détaillé de ces expériences. Nous discutons enfin des observations effectuées et des retours donnés par les utilisateurs.

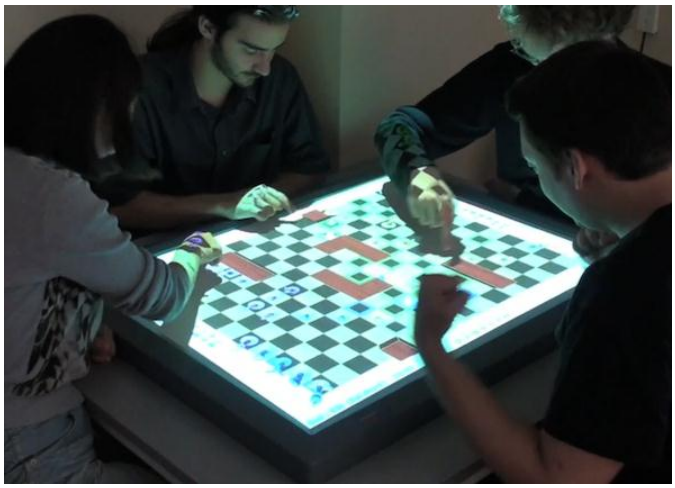


Figure 24 - Quatre utilisateurs autour de la table et jouant à *RealTimeChess* en 2 contre 2.

4.3.1 Objectifs de ces expériences

Le but de ces expériences était de mettre des utilisateurs, engagés et motivés par la tâche proposée, en situation d'interaction simultanée. Nous avons observé ces séances et questionné les participants pour mettre en évidence les problèmes d'interaction spécifiques de la simultanéité des interactions.

Nous avons organisé 11 sessions pour deux joueurs et 2 sessions pour quatre joueurs. Les huit participants des sessions pour quatre joueurs avaient précédemment participé aux sessions pour deux joueurs. Une session durait entre 30 et 45 minutes. Nous avons fait varier le nombre de participants en supposant que plus il y aurait d'utilisateurs, plus les problèmes d'interaction seraient évidents à observer. Nous nous sommes intéressé aux problèmes de gênes et de compréhension du système. Nous avons étudié l'influence de la durée des temps de rechargement des pièces du jeu d'échecs (courts ou longs) sur le rythme du jeu ainsi que les différences de perception des utilisateurs en fonction de la taille d'affichage du plateau (petit ou grand) (voir Figure 25).

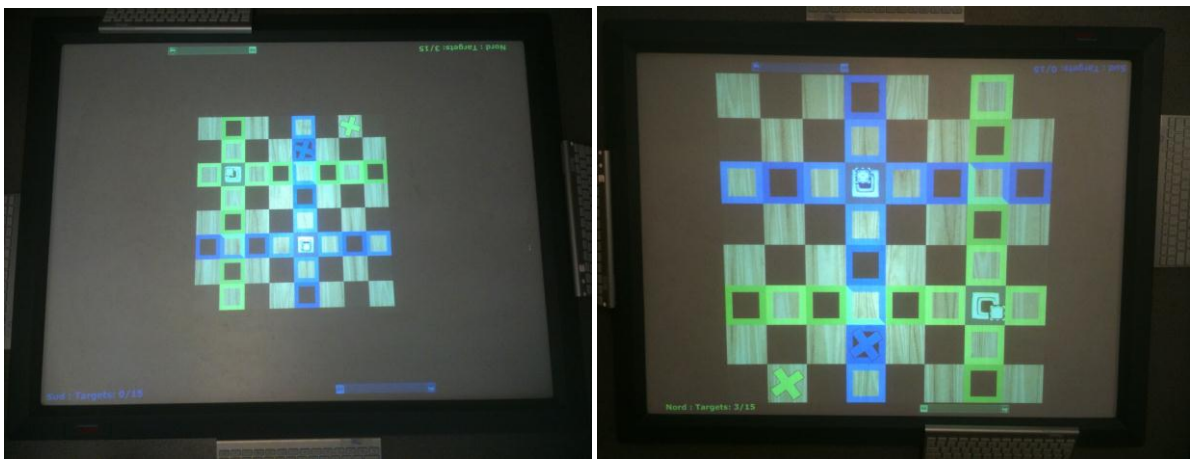


Figure 25 - Taille de l'affichage du plateau par rapport à la surface totale de la tabletop – A gauche : le plateau est affiché en petit et occupe moins d'espace / A droite : le plateau est affiché en grand et occupe presque tout l'espace de la table interactive.

Pendant les sessions, nous avons demandé aux utilisateurs d'exprimer leurs pensées à haute voix [Ericsson 1980]. Nous avons observé chaque joueur et avons pris des notes (pas de film) en portant notre attention sur sa manière de déplacer les pièces, ses réactions aux feedbacks du jeu, ses erreurs, ses stratégies, ses interactions orales ou gestuelles avec les autres participants ainsi que ses expressions de satisfaction et de frustration. Après les sessions de jeu, afin de récolter l'impression subjective des joueurs, nous les interviewions en abordant les points suivants : interaction avec le jeu, interaction avec les autres joueurs, interface du jeu, difficultés rencontrées et suggestions.

4.3.2 Hypothèses opérationnelles de recherche

Avant les séances d'utilisation de *RealTimeChess* sur notre table *DiamondTouch*, nos hypothèses étaient les suivantes :

A) *RealTimeChess* supportera l'interaction simultanée de tous les joueurs d'une façon transparente ;

B) Le système de rechargement des pièces modérera le rythme de la partie : des temps longs accentueront la réflexion et les stratégies à long terme, les temps courts favoriseront la réactivité et les actions à court terme ;

C) Les joueurs prendront le temps d'analyser la disposition des pièces sur le plateau et élaborerons des stratégies d'attaque ou de défense ;

D) Les joueurs de la même équipe communiqueront verbalement ensemble pour synchroniser leurs actions et faire des stratégies d'équipes ;

E) Les interactions simultanées provoqueront des gênes physiques, peut-être des chocs entre les mains et les bras ; ces gênes seront ressenties comme désagréables et seront sources de conflits ;

F) Chaque joueur sélectionnera et déplacera ses pièces quelle que soit leur localisation sur le plateau de jeu ;

G) Un joueur défensif aura tendance à rester dans sa zone privée. Un joueur agressif déplacera ses pièces jusqu'aux bords opposés de la table ;

H) La taille du plateau de jeu aura une influence : petit, il sera plus accessible mais les utilisateurs manqueront de précision dans leur contrôle ; large, les contrôles seront plus confortables mais les utilisateurs rencontreront des difficultés à atteindre les zones éloignées ;

I) Le jeu sera excitant et amusant même pour les non initiés.

Nous présentons dans un premier temps les expériences sur les groupes deux participants et dans un second temps les expériences sur quatre participants. Dans chaque cas, nous expliquons le protocole, le déroulement des sessions et les résultats.

4.3.3 Expérience sur groupes de deux joueurs

Dans l'expérience sur des groupes de deux participants, nous avons observé les effets de la simultanéité des interactions sur un effectif réduit au minimum. Le face-à-face autour d'une tabletop sur un jeu vidéo compétitif ne demande pas de collaboration.

4.3.3.1 Protocole

22 personnes ont participé aux sessions de jeu, 5 femmes et 17 hommes, âgés entre 21 à 40 ans, 21 participants étaient membres du laboratoire et 1 participant extérieur au laboratoire. Sur tous les participants, seules 6 personnes ne connaissaient pas les règles des échecs tandis qu'un seul utilisateur était expert (au moins une partie d'échecs par semaine). Un expérimentateur encadrait les participants, répondait à leurs questions et leur venait en aide en cas de difficulté avec le matériel ou le jeu.

Les sessions pour deux joueurs commençaient par une phase de découverte en cinq étapes de complexité croissante (nombre de pièces, taille du plateau et recharge des pièces). L'objectif était de déplacer des pièces sur des cases cibles apparaissant aléatoirement sur le plateau (voir Figure 26). Les joueurs ne pouvaient pas prendre les pièces des autres. Cependant, les pièces pouvaient se bloquer entre elles. Le système de rechargement était également expliqué au cours de l'entraînement.



Figure 26 – Deux étapes de l'entraînement au déplacement d'une pièce. 1ère étape à gauche : le plateau est divisé en deux par une ligne de cases bloquantes ainsi les deux joueurs peuvent s'entraîner chacun de leur côté sans se gêner. 2ème étape à droite : le plateau est entièrement accessible et les joueurs découvrent le problème du partage du même espace interactif.

Après cette phase didactique, des parties sur deux plateaux différents étaient jouées. Le but de ces parties était de prendre le roi adverse. Le premier plateau reprenait le même agencement de pièces que les échecs originales et le second comprenait des cases bloquantes disposées aléatoirement et les joueurs n'avaient accès qu'à un nombre restreint de type de pièces : un roi, une reine et des pions. Ce second plateau proposait une partie accessible aux joueurs novices des échecs. Pour chaque plateau, les joueurs étaient libres de recommencer une partie tant qu'ils le souhaitaient.

Les phases d'entrainement et d'attaque étaient répétées au moins deux fois, et plus si les utilisateurs le demandaient. Nous faisions varier la taille du plateau et le temps de recharge des pièces à chaque répétition.

Voici les résultats des expériences avec des groupes de deux joueurs. Nous classons les observations et retours dans participants dans les thèmes suivants : les gênes exprimées, la compréhension du système de rechargement, les interactions sociales entre les joueurs, l'interaction en simultané avec d'autres utilisateurs, la conscience des participants du plateau, les problèmes d'interaction avec le système et pour finir les différentes stratégies des joueurs.

4.3.3.2 Expressions de gênes

En premier lieu, nous avons remarqué chez la plupart des participants des expressions de gênes en raison de la simultanéité des interactions. Ces gênes étaient en premier lieu physiques : les mains se croisaient constamment mais ne s'entrechoquaient que rarement. Nous avons relevé plusieurs réactions : le rire dans plus de la moitié des groupes, des expressions d'agressivité chez les participants les plus engagés (« Mais pousse ta main ! ») et parfois de la passivité et du désinvestissement : (« On ne peut pas jouer c'est pas possible »). Enfin, nous avons observé des joueurs s'excusant d'avoir gêné l'autre. Toutefois, les gênes physiques n'ont pas semblé empêcher les utilisateurs d'accomplir leurs tâches. Certains utilisateurs ont d'ailleurs rapporté que les interactions simultanées n'était pas si gênantes car ils trouvaient toujours un moyen contourner les bras de l'autre. Les utilisateurs s'adaptaient en utilisant par exemple leurs deux mains alternativement.

Au delà de la gêne physique, nous avons observé des gênes visuelles en raison de l'occlusion des bras et mains au dessus de la table, empêchant les joueurs de voir correctement le plateau. Les joueurs ne se rendaient pas compte que leurs mains, bras et parfois têtes pouvaient masquer des zones du plateau et certains s'en plaignaient (« Tu me gênes avec ton ombre ! », « pousse toi », etc). Les effets de l'occlusion

ont été accentués par la disposition de notre installation où l'image vient d'un vidéoprojecteur placé au dessus de la table, ce qui forme des ombres sous les mains des utilisateurs.

Lors des interviews, plusieurs participants ont affirmé qu'ils avaient considéré ces différentes gênes comme une dimension du jeu et ont dit avoir trouvé amusant de pouvoir gêner l'autre.

4.3.3.3 Compréhension du système de recharge

Les participants ont tous assimilé le principe de rechargement des pièces après chaque déplacement. Cependant, pour certains, et notamment au début, il n'était pas évident de distinguer quand une pièce pouvait être déplacée ou non. En conséquence, les utilisateurs tentaient de déplacer les pièces et étaient parfois surpris de la voir rester immobile. Nous avons noté deux comportements : soit l'utilisateur attend que la pièce soit rechargée pour la jouer, soit il renonce à la déplacer et transfère son attention sur une autre pièce. Lors des interviews, quelques utilisateurs ont exprimé leur frustration à essayer d'interagir avec une pièce rendue immobile. Par ailleurs, lorsque les recharges étaient plus longues, certains utilisateurs ont fait part d'un ennui à attendre que les pièces soient à nouveau disponibles.

4.3.3.4 Interactions sociales

La plupart des interactions sociales que nous avons relevées lors de ces sessions avec deux participants prenaient la forme d'interventions orales pour signaler à l'adversaire qu'il était en train de le gêner. Dans un des groupe où les deux joueurs s'étaient très engagés car fortement motivés par la victoire, nous avons observé un cas unique mais remarquable d'agressivité (dans une humeur positive néanmoins), un joueur saisissant la main de l'autre pour la dégager de la table.

Il y avait peu de communication entre joueurs, les parties pour deux ne sollicitant pas de collaboration. Nous avons noté que quelques participants se sont nargués ou se sont plaints du jeu. Plus rare, certains participants sont intervenus pour aider l'autre à comprendre les déplacements des pièces ou la programmation d'un coup futur, en lui expliquant comment faire et en lui montrant de son côté.

4.3.3.5 Simultanéité, vitesse et complexité du jeu

Comme nous en faisions l'hypothèse, la possibilité d'interagir en simultané et la durée plus ou moins longue des rechargements induisaient un rythme de partie plus ou moins rapide. Les réactions face à la vitesse du jeu ont varié d'un groupe à l'autre. Ainsi, les interviews étaient partagées entre une impression de stimulation ou de frustration. Pour certains, le jeu était intéressant car il obligeait à réfléchir vite ; les parties ne pouvaient pas « aller trop lentement » car la vitesse était considérée comme une dimension du jeu. Pour d'autres, l'interaction simultanée avec l'adversaire rendait difficile la gestion de ses pièces en parallèle de la surveillance de celles de l'autre : « j'avais l'impression de réfléchir dans le vide ». De plus, plusieurs participants ont évoqué un sentiment de stress, de frustration et d'énervement lorsque l'adversaire était trop rapide pour eux : « j'ai besoin de temps pour réfléchir », « j'ai rien compris, c'est déséquilibré » et « il triche, il va trop vite ». Un participant a expliqué qu'il y avait un problème d'apprentissage dans ce système où tout le monde agit en simultané parce qu'on n'a plus le temps de regarder les autres et d'apprendre en copiant.

Nous avons constaté que le rythme des parties variait en fonction de chaque utilisateur. Une participante a estimé que la connaissance des échecs d'une part et l'habitude de jouer aux jeux vidéo d'autre part influaient sur la rapidité d'action dans *RealTimeChess*.

Dans un seul groupe sur les 11, nous avons observé un comportement inattendu. Deux participantes ne jouaient pas du tout le jeu de la compétition et se laissaient jouer l'une après l'autre, lentement, en prenant le temps d'observer et de réagir. Bien qu'elles auraient pu agir plus vite, elles ont naturellement adopté une alternance d'interaction qui s'apparentait à du tour par tour. Changer les temps de recharge des pièces n'a pas modifié leur façon de jouer.

4.3.3.6 Conscience de l'environnement selon la taille du plateau

Nous avons questionné les participants sur l'influence de la largeur du plateau (petit ou grand) par rapport à l'ensemble de la surface interactive. Aucune taille n'est ressortie comme étant la préférée par tous les utilisateurs. Les faiblesses du petit plateau concernaient les erreurs de précision accrues : il arrivait que les joueurs déplacent leurs pièces sur des mauvaises cases. En outre, le petit plateau concentrait les interactions des deux joueurs au même endroit de la surface, augmentant la fréquence des

gênes. En revanche, certains participants ont trouvé que le petit plateau augmentait la vitesse de jeu et minimisait les efforts physiques pour déplacer ses pièces tout en donnant une vision d'ensemble du jeu.

Avec le grand plateau, les utilisateurs ont estimé que la gêne était plus fréquente et qu'il fallait produire un effort pour atteindre les bords opposés. Les pièces qui avaient été déplacées jusqu'à des emplacements éloignés semblaient par la suite ignorées ou abandonnées. Par ailleurs, deux personnes ont dit avoir l'impression de « vertige » face à la table, tandis qu'une autre a au contraire affirmé se sentir « complètement immergée ».

Enfin, nous avons constaté des difficultés à se concentrer sur toute la surface et à percevoir l'ensemble des changements, notamment les mouvements de l'adversaire. Par exemple, des joueurs ne semblaient pas remarquer ce qui pouvait se dérouler ailleurs que là où ils regardaient. Une participante a dit avoir eu des difficultés à surveiller le jeu de son adversaire tout en jouant de son côté. Plusieurs joueurs ont perdu sans se rendre compte de la menace qui les a mené à leur perte. Ces joueurs ont exprimé leurs regrets ou ont accusé le jeu d'être déséquilibré, estimant que ce n'était pas de leur faute s'ils avaient manqué des informations. Trois participants ont suggéré d'avoir leur propre échiquier réduit dans la zone privée et de pouvoir éventuellement interagir directement dessus pour résoudre ces problèmes de visibilité et d'accessibilité des pièces.

Plusieurs joueurs ont eu le sentiment d'être avantagés dans leur terrain, c'est-à-dire dans leur zone privée, face à eux près du bord.

4.3.3.7 Interaction avec la table

Nous n'avons pas remarqué d'utilisateur ayant eu un problème à sélectionner et déplacer ses pièces. Un des joueurs a reconnu être influencé par l'utilisation de son téléphone tactile et a intuitivement essayé de lancer une pièce en pensant qu'il y aurait une simulation physique de l'inertie.

Enfin, certains participants se sont plaints du manque de réactivité de la table interactive lorsqu'ils essayaient de déplacer leurs pièces très vite.

4.3.3.8 Stratégies des joueurs et comparaison aux échecs

Nous avons porté une attention particulière aux stratégies des joueurs afin de savoir s'ils privilégient la réflexion à la vitesse. Le comportement a varié selon les individus. Quelques participants semblaient tout miser sur la vitesse pour surprendre l'adversaire, alors que d'autres procédaient par étape et prenaient le temps d'observer avant d'agir, parfois en déplaçant successivement plusieurs pièces rapidement. Le rythme variait au sein d'une même partie. Un joueur s'est plaint de ne pas avoir le temps de réfléchir autant qu'il le désirait.

Nous avons observé que la faculté d'établir des stratégies et d'analyser les mouvements de l'adversaire ne venaient qu'après quelques parties de jeu, le temps de bien comprendre tous les concepts de *RealTimeChess*. Le rythme diminuait et les joueurs passaient plus de temps à regarder l'autre et à attendre pour réagir. Une participante, consciente que son adversaire la regardait jouer, a essayé de feinter pour surprendre son adversaire en mimant un déplacement de pièce. Un autre joueur procédait par petites attaques ponctuelles, déplaçant rapidement quelques pièces avant de les ramener en sécurité dans sa zone privée, et en ainsi avançant progressivement. Une joueuse a révélé à haute voix avoir fait une erreur et a involontairement averti son adversaire qui a pu exploiter cet faille alors qu'il ne l'avait pas remarquée.

Un des participants était expert des échecs, jouant chaque semaine et ayant participé à des tournois. Lors de son interview, il a expliqué avoir analysé le rythme du jeu comme étant composé de phases d'attaque et de phases d'observation. Il ne parvenait à se concentrer que sur un plan en même temps, mais pensait qu'avec plus d'entraînement il pourrait mener plusieurs stratégies en parallèle. Selon lui, les ouvertures classiques des échecs ne sont pas applicables à *RealTimeChess*. Il a expliqué ne pas avoir été influencé par les mouvements de son adversaire parce que ses stratégies étaient fixées par avance mais qu'il regardait du coin de l'œil ses réactions pour voir si ses attaques étaient remarquées ou non. Un autre joueur a estimé que savoir jouer aux échecs de l'avait pas aidé, tandis que les participants novices au échecs expliquaient qu'ils avait du mal à distinguer les pièces et à se souvenir de leur mode de déplacement.

Cette première partie de l'expérience consacrée à l'observation d'utilisateurs par groupes de deux joueurs nous a donné l'impression que le jeu proposait des aspects stratégiques riche, et par ailleurs que les participants prenaient du plaisir à jouer. Ils s'engageaient enfin dans l'application comme nous en avions fait l'hypothèse. Dans la partie suivante, nous présentons le déroulement des sessions pour quatre

participants ainsi que nos observations. Après cela, nous comparons les résultats des deux expériences à nos hypothèses de départ.

4.3.4 Expérience sur groupes de quatre joueurs

Les sessions pour quatre joueurs ont permis d'évaluer les interactions simultanées dans une situation avec un plus grand nombre d'individus. Nous avons créé des situations de collaboration et de compétition en répartissant les joueurs en deux équipes.

4.3.4.1 Protocole

Pour les sessions à quatre joueurs, nous avons porté notre attention sur la communication entre les joueurs de la même équipe. Notre hypothèse était que les coéquipiers allaient s'entraider et se coordonner. Nous supposions d'ailleurs que le système de rechargement allait permettre de modérer le rythme et de supporter les interactions sociales en laissant aux joueurs le temps de se synchroniser.

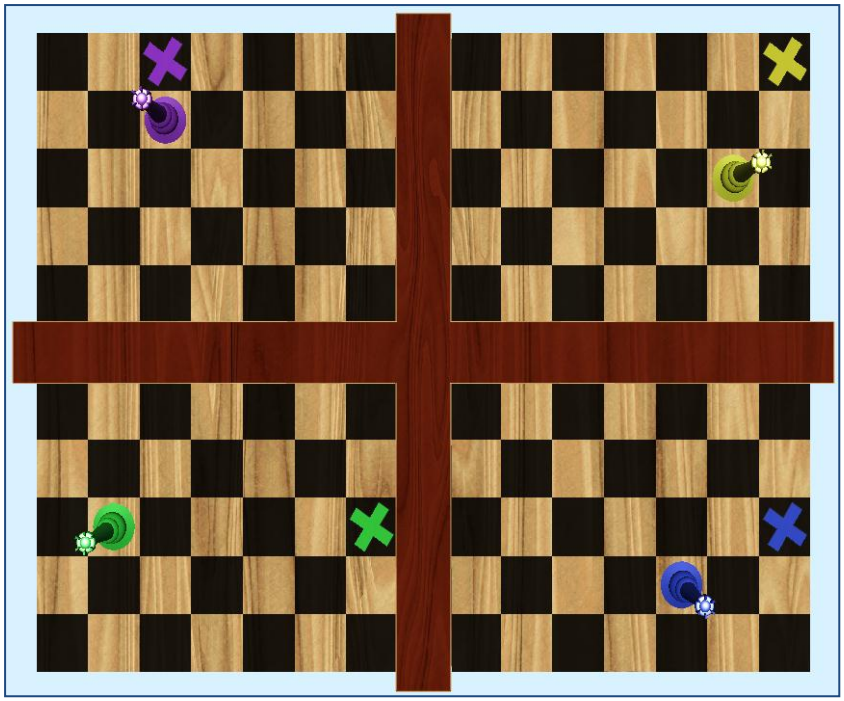


Figure 27 - Entraînement au déplacement d'une pièce pour quatre joueurs. Comme pour deux utilisateurs, le plateau est divisé en quatre ce qui permet aux joueurs de s'entraîner de leur côté.

Deux sessions de quatre joueurs furent organisées. La totalité des participants avait participé à la première expérience pour deux joueurs. Les quatre participants étaient assis aux quatre côtés de la table. Les sessions pour quatre joueurs ayant eu lieu quelques semaines après celles pour deux joueurs, nous avons proposé aux joueurs un rappel des techniques de déplacement et des mécanismes de rechargement des pièces en adaptant les plateaux de deux joueurs pour une utilisation à quatre (voir Figure 27).

L'entrainement s'effectuait sur un plateau petit puis sur un plateau large. Suivaient ensuite deux parties de bataille en deux contre deux, la première avec les deux coéquipiers positionnés l'un à côté de l'autre, la seconde avec les deux coéquipiers positionnés en face à face (voir Figure 28).



Figure 28 - Deux versions du même plateau de 2 contre 2 : les joueurs bleu et violet sont opposés aux joueurs vert et jaune. A gauche : les coéquipiers sont assis côte à côte / A droite : les coéquipiers sont assis face à face.

Enfin, nous avons observé les participants dans des configurations d'équipes à trois joueurs contre un, en modifiant les durées des rechargements à la faveur du joueur seul (ses pièces étaient plus rapides), pour étudier des situations moins symétriques (voir Figure 29).



Figure 29 - Plateau 3 contre 1 : le joueur bleu doit résister aux assauts simultanés des joueurs vert, violet et jaune.

Voici les résultats des sessions pour quatre joueurs. Nous classons nos observations en plusieurs catégories : réactions aux gênes, adaptation à l'interaction en simultanée, stratégie de groupe, communication entre les joueurs, conscience du plateau et des actions des autres et enfin influence du positionnement des utilisateurs autour de la table.

4.3.4.2 Réactions aux gênes

La simultanéité des interactions de tous les utilisateurs a provoqué des gênes physiques et visuelles, entraînant des difficultés à percevoir l'état du plateau et à agir à son rythme. Les ombres des bras et des mains cachaient souvent une grande partie du jeu mais les joueurs contournaient le problème en faisant des efforts physiques, par exemple en tordant, en passant par dessus ou par dessous les bras des autres, et quelques uns en poussant volontairement des mains. De plus, à cause des ombres, les joueurs étaient parfois obligés de toucher la table sans voir d'image sur la surface. Toutes ces gênes ont été accueillies par le rire, comme un défi à relever. Sur les huit participants, un seul n'a pas apprécié et a indiqué avoir trouvé le jeu « injouable ».

Un utilisateur a proposé que chacun ait devant lui une version réduite du plateau sur laquelle il pourrait interagir sans être contraint par les autres utilisateurs.

4.3.4.3 Interaction simultanée et rythme de jeu

Tous les participants ont joué simultanément. Nous n'avons pas observé de retrait significatif d'un joueur face aux autres. Plusieurs participants se sont plaints d'un manque de réactivité du dispositif lorsqu'ils tentaient de faire plusieurs déplacements à la suite dans un très court laps de temps.

Dans la dernière phase de l'expérience quand un joueur a des temps de recharge moins long que les autres, le déséquilibre a augmenté le rythme des interactions. Tous les participants ont eu à tour de rôle l'impression d'être désavantagés quel que soit leur position (attaquant ou défenseur). Ils ont exprimé leur frustration « on ne peut rien faire », « ce n'est pas équilibré », etc.

4.3.4.4 Stratégie de groupe

Lors des parties en compétition par équipe, nous n'avons pas remarqué de stratégie de groupe, ni même de collaboration entre utilisateurs. Les participants semblaient préférer une tactique individuelle défensive, s'observant les uns les autres. Lors de l'interview, ils ont pointé la difficulté d'établir des stratégies tout en étant encore novice. Plusieurs utilisateurs ont rapporté s'être concentré sur la défense plutôt que l'assaut. Un utilisateur a dit avoir eu tendance à se concentrer sur l'ennemi le plus proche, juste à côté de soi.

4.3.4.5 Communications

Lors de la phase d'entraînement, les joueurs ont ri et ont commenté l'activité en parlant du dispositif, du système, des interactions et en s'amusant des gênes. Dès les étapes de compétition, les communications orales et gestuelles se sont significativement raréfiées, tant au niveau global qu'entre deux coéquipiers. En deux contre deux, le premier à perdre son roi et qui ne pouvait donc plus jouer avait tendance à aider son coéquipier en lui donnant des conseils, des avertissements et des instructions. Notre interprétation des résultats est que la concentration sur le jeu les empêchait de parler en même temps.

Lors de l'interview, nous avons leur avons demandé pourquoi ils n'avaient pas cherché à communiquer d'avantage et un groupe a expliqué ne pas avoir besoin de parler pour sentir la présence de son coéquipier à ses côtés et comprendre ce qu'il était en train de faire. Par ailleurs, à la question « Vous êtes-vous censurés, de peur d'être entendus par vos adversaires ? », les 8 participants ont répondu non.

4.3.4.6 Conscience du plateau et des autres joueurs

Les 8 participants ont montré leur préférence pour un plateau de grande taille. Sur le petit plateau, les actions étaient trop concentrées et les gênes trop fréquentes. Concernant la conscience de l'état du jeu et des autres joueurs, nous avons remarqué que des joueurs perdaient quelques pièces – et parfois la partie entière – sans s'en rendre compte, parce qu'ils étaient concentrés sur une autre zone de la table. Par ailleurs, nous avons observé que les joueurs en équipe ne semblaient pas s'intéresser aux pièces de leur allié et se concentraient sur les leurs.

4.3.4.7 influence du positionnement

Les joueurs se comportaient différemment selon la position de leur coéquipier, en face à face ou côte à côte. D'après les participants, être côte à côte donnait un sentiment de confiance et permettait de jouer en collaboration. En contrepartie, le face à face a rapidement suscité des réactions de craintes : « c'est plus

difficile de sortir », « on est moins aventurier ». Les joueurs ont indiqué que la perte de la proximité avec l'allié leur donnait l'impression d'être seuls et entourés d'adversaires.

4.3.5 Résumé des observations

Voici en résumé les observations que nous retenons des sessions pour deux et pour quatre participants, concernant les interactions simultanées de plusieurs utilisateurs dans *RealTimeChess*. Les points positifs étaient :

- les participants ont indiqué avoir été positivement impressionnés par la table interactive ;
- les utilisateurs ont indiqué avoir aimé le jeu et l'expérience ;
- la possibilité d'interagir simultanément a été très appréciée ;
- plusieurs participants ont trouvé le rythme « temps-réel » excitant et stimulant ;
- les joueurs ont expliqué avoir appris facilement les mécanismes ;
- les rechargements de pièces ont modéré le rythme des interactions ;
- les gênes physiques et visuelles ont été interprétées comme faisant « partie du jeu » ;
- les utilisateurs ne connaissant ou n'aimant pas les échecs se sont tout de même amusés.

Les problèmes rencontrés par les joueurs étaient :

- l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs provoque des gênes physiques et visuelles dont la fréquence augmente avec le nombre d'utilisateurs ;
- certains groupes ont opéré au tour par tour parce que les joueurs n'étaient pas forcés d'interagir simultanément ;
- il y a avait peu de communication entre les utilisateurs. Les joueurs en équipe ne faisaient pas de stratégie de groupe.
- plusieurs participants ont trouvé le rythme « temps-réel » stressant et frustrant ;
- les utilisateurs ont eu des problèmes d'accès à leurs pièces soit parce qu'elles se trouvaient trop loin d'eux soit parce que les autres utilisateurs faisaient obstacles ;
- les utilisateurs avaient du mal à rester attentifs à l'ensemble du plateau, ils n'avaient pas toujours conscience des actions des autres dont celles de leur coéquipier ;

4.3.6 Confrontation des résultats aux hypothèses

En résumé, parmi les hypothèses formulées avant l'expérience, trois ne sont pas validées et une n'a été validée que partiellement.

A.	*RealTimeChess supportera l'interaction simultanée de tous les utilisateurs d'une façon transparente*	**OUI**
B.	*Le système de rechargement des pièces modérera le rythme de la partie : des temps longs accentueront la réflexion et les stratégies à long terme, les temps courts favoriseront la réactivité et les actions à court terme*	**En Partie**
C.	*Les joueurs prendront le temps d'analyser la disposition des pièces sur le plateau et élaborerons des stratégies d'attaque ou de défense*	**NON**
D.	*Les joueurs de la même équipe communiqueront verbalement ensemble pour synchroniser leurs actions et faire des stratégies d'équipes*	**NON**
E.	*Les interactions simultanées provoqueront des gênes physiques, peut-être des chocs entre les mains et les bras ; ces gênes seront désagréables et sources de conflits*	**OUI**
F.	*Chaque joueur sélectionnera et déplacera ses pièces quelle que soit leur localisation sur le plateau de jeu*	**NON**
G.	*Un joueur défensif aura tendance à rester dans sa zone privée. Un joueur agressif devra déplacer ses pièces jusqu'aux bords opposés*	**OUI**
H.	*La taille du plateau de jeu aura une influence : petit, il sera plus accessible mais les utilisateurs manqueront de précision dans leur contrôle ; large, les contrôles seront plus confortables mais les utilisateurs rencontreront des difficultés à atteindre les zones physiquement éloignées*	**OUI**
I.	*Le jeu sera excitant et amusant même pour les non initiés*	**OUI**

4.3.7 Discussion

Nous avons rapporté nos observations lors des expériences utilisateurs avec *RealTimeChess*. Dans cette partie, nous présentons notre interprétation des résultats. Nous exposons enfin quelles pistes nous avons envisagées pour résoudre les problèmes soulevés.

4.3.7.1 Interactions simultanées et rythme du groupe

Le système des temps de recharge nous a semblé efficace pour limiter le nombre d'interactions dans le temps tout en laissant aux utilisateurs la possibilité d'interagir simultanément. La durée des rechargements influait sur le rythme maximum d'une partie. En revanche, il n'a pas garanti un rythme minimum : certains groupes agissaient plus lentement que d'autres, un groupe a même adopté inconsciemment des interactions alternées, au tour par tour.

Le rythme varie d'un groupe à l'autre mais nous pensons qu'il suffit d'un utilisateur plus rapide pour entrainer les autres. Tous les participants ne voulaient pas interagir à la même fréquence et la durée des temps de recharge n'était pas ajustée à tout le monde. Un temps trop long rendait pour certains le jeu ennuyant, un temps trop court inhibait pour d'autres la dimension stratégique et n'encourageait que la réactivité et la vitesse. Ce qui était excitant pour les uns s'est avéré stressant pour les autres et nous avons observé des réactions de frustration, d'agressivité ou de désengagement. Enfin, Il existe une limite au niveau de notre matériel qui n'a pas la réactivité nécessaire pour supporter les interactions très rapides.

Le bon niveau de rythme, suffisamment lent pour supporter la réflexion et assez stimulant pour motiver l'utilisateur, varie d'un individu à l'autre. Nous pensons qu'il est possible de concevoir un système s'adaptant à un utilisateur, en fonction de son niveau de réussite, pour ajuster en temps réel le rythme d'interaction. Toutefois, dans le cas des tables interactives où plusieurs utilisateurs aux niveaux d'expertise hétérogènes interagissent simultanément, il semble difficile de déterminer dynamiquement le bon niveau de modération pour synchroniser tous les utilisateurs entre eux.

4.3.7.2 Problèmes d'accès aux objets

Les utilisateurs ont été gênés de différentes façons : visuellement, physiquement et par l'éloignement des objets disposés sur les côtés opposés.

Concernant le problème d'occlusion, nous pensons qu'il est spécifique au matériel de notre expérience. La projection vidéo par le dessus provoque des ombres sur la surface dès qu'un utilisateur place sa main au dessus de la table. D'autres matériels réunissent l'affichage et la détection des contacts par dessus ce qui ne prévient des ombres sous les bras des utilisateurs. Bien qu'une main cache ce qu'il y a derrière, les utilisateurs peuvent voir l'information en changeant légèrement leur angle de vue. Cependant, ces systèmes ne sont pas capable d'identifier les utilisateurs.

La gêne physique provoquée par la possibilité d'interagir simultanément est un problème. Même si plusieurs participants ont interprété la gêne comme une dimension du jeu et que la plupart ont réagi en riant, nous pensons qu'en dehors du cadre vidéoludique, la gêne physique sera une source importante de conflits entre les collaborateurs. Une conséquence possible est, d'après l'interprétation de nos observations, le retrait et le désengagement d'une partie des utilisateurs.

D'autre part, la table que nous utilisons est suffisamment large pour que, selon la position du joueur, le côté opposé soit hors de portée du bras sans effort. Les participants se sont effectivement plaints de ne pouvoir atteindre les pièces trop éloignées. En conséquence, ils ne les utilisaient plus. Dans une application réelle, comme un système de contrôle aérien développé sur tabletop, un contrôleur ne pourrait pas se permettre de négliger un avion parce que sa représentation virtuelle est physiquement trop éloignée de ses mains.

Quelques solutions ont été suggérées lors de l'expérience. Plusieurs participants ont demandé une version réduite du plateau par joueur, affichée devant soi et avec laquelle ils pourraient interagir directement et indépendamment. Cette perspective supprimerait les gênes mais sacrifierait en contrepartie tous les avantages des tables interactives en terme de partage du même espace interactif : visualisation commune, sémantique de l'échange d'artefacts, etc. Dans un autre ordre, quelques utilisateurs, inspirés par les téléphones tactiles, ont essayé de lancer physiquement leurs pièces pour la faire glisser sur le plateau et atteindre des cases éloignées

4.3.7.3 Conscience du plateau de jeu

Les expériences ont révélé la difficulté des utilisateurs à rester attentifs aux évolutions du plateau et aux déplacements de toutes les pièces. Nous avons remarqué que les joueurs se concentraient sur un ensemble restreint de pièces. Nous pensons que considérer les actions de ses partenaires et de ses adversaires en même temps que réfléchir à ses stratégies demande un haut niveau d'expertise.

Les utilisateurs semblent avoir une perception du plateau limitée et plusieurs événements déterminants se produisant en parallèle sont fréquemment non perçus. En outre, plus il y a d'utilisateurs, plus la fréquence des évènements est élevée et plus la quantité d'informations non perçues est considérable. Les applications basées sur les interactions simultanées affichent en continue un nombre élevé d'informations. Les utilisateurs ont besoin de rester conscients du travail du groupe pour réussir la tâche.

4.3.7.4 Communication et collaboration entre utilisateurs

L'une de nos hypothèses initiales était que les joueurs de la même équipe communiqueraient ensemble et collaboreraient pour élaborer des stratégies de groupe. Nos observations ont montré que ce n'était pas le cas : les joueurs restaient la plupart du temps silencieux et n'ont pas cherché à se coordonner. Ils avaient au contraire tendance à se concentrer sur leurs propres pièces. Nous pensons que les règles et les plateaux étaient peut-être trop complexes, et le système rechargement de pièce n'était pas toujours bien ajusté pour supporter des temps de réflexion et des temps de communication. La collaboration n'était pas suffisamment encouragée.

D'une certaine façon, l'interaction simultanée semble difficilement compatible avec un travail collaboratif où la communication serait centrale : partage des opinions, proposition d'idées et négociation. Nous en concluons que l'interaction simultanée déplace le curseur de collaboration vers coopération : l'objectif est commun mais chaque partenaire agît indépendamment des autres.

Dans cette partie, nous avons présenté l'expérience qui a constitué le point de départ des travaux de cette thèse. Nous avions fait des hypothèses sur les comportements et les réactions des utilisateurs. Nous avons mené une évaluation lors de sessions de jeux. Nos observations directes et les interviews des joueurs ont confirmé certaines hypothèses tandis qu'elle en on invalidé d'autres, mettant en évidence des problèmes de l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs sur table interactive.

4.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présenté le travail exploratoire qui a servi de fondation à cette thèse. Nous avons dans un premier temps expliqué la conception de *RealTimeChess*, un jeu de stratégie en temps-réel inspiré des échecs pour deux à quatre joueurs **en simultané**. Dans un deuxième temps nous avons donné les résultats de deux expériences utilisateurs, la première sur des groupes de deux joueurs et la seconde sur des groupes de quatre joueurs. Cette mise en situation d'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs dans le cadre vidéoludique nous a permis d'observer leurs comportements, leurs difficultés et de recueillir leurs impressions.

Les résultats ont mis en évidence plusieurs problèmes d'interaction dont certains étaient inattendus. Parmi les problèmes rencontrés, certains nous ont paru plus intéressants à étudier parce qu'ils étaient selon nous généralisables à toute application sur table interactive impliquant l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs. Ces problèmes ont donné les pistes suivantes pour la suite de la thèse.

En premier lieu, le chapitre suivant est consacré à l'étude d'une modalité d'interaction à distance, en faisant l'hypothèse que des techniques appropriées seraient des solutions aux situations de gênes physiques et visuelles.

Les problèmes suivants étaient inattendus au début de cette thèse.

Le chapitre 6 présente la recherche d'une solution au problème de la mauvaise perception de certains évènements importants ayant lieu hors du champ de vision de l'utilisateur, ce qui diminue la conscience du groupe.

Enfin, le chapitre 7 expose la conception de mécanismes pour imposer un rythme minimum dans une application pour table interactive. Nous avons en effet observé que même dans le cadre engageant et stressant du jeu vidéo, certains utilisateurs peuvent ne pas interagir aller aussi vite que le concepteur l'avait prévu. Dans un contexte non vidéoludique, moins immersif et peut-être moins motivant, nous pensons que cette différence sera encore plus marquante.

Après avoir détaillé la conception du jeu *RealTimeChess* et les deux premières expériences réalisées dans le cadre de cette thèse, nous présenterons dans le chapitre suivant notre travail sur l'interaction à distance.

5 INTERACTION A DISTANCE

SOLUTIONS POUR LA DIMINUTION DES GENES PHYSIQUES

Dans ce chapitre, nous exposons notre proposition d'interaction à distance comme solution pour diminuer les gênes entre les utilisateurs, afin de mieux supporter l'interaction simultanée. Dans un premier temps, nous présentons l'état de l'art de l'interaction à distance en IHM et sur table interactive. Dans un second temps, nous expliquons notre approche qui a consisté à développer et évaluer plusieurs techniques. Enfin, nous discutons de l'intégration de la solution retenue dans *RealTimeChess* et nous rapportons les résultats d'une étude de l'adéquation de l'interaction directe avec l'interaction à distance dans le cadre du jeu.

5.1 Un problème d'accessibilité

Dans cette première partie, nous rappelons le problème qui nous a conduit à étudier l'interaction à distance et l'existant en matière d'interaction à distance en IHM en général puis plus précisément sur tabletops.

5.1.1 Rappel des problèmes soulevés lors des expériences RealTimeChess

Lors du travail exploratoire sur *RealTimeChess* présenté dans le chapitre précédent, plusieurs problèmes d'accessibilité ont été mis en évidence.

5.1.1.1 L'interaction simultanée est source de gênes

Quand plusieurs utilisateurs interagissent en même temps avec une table interactive, leurs bras se croisent, se gênent et parfois s'entrechoquent (voir Figure 30). Ce phénomène est d'autant plus présent dans un cadre vidéoludique qui motive les joueurs à interagir rapidement.

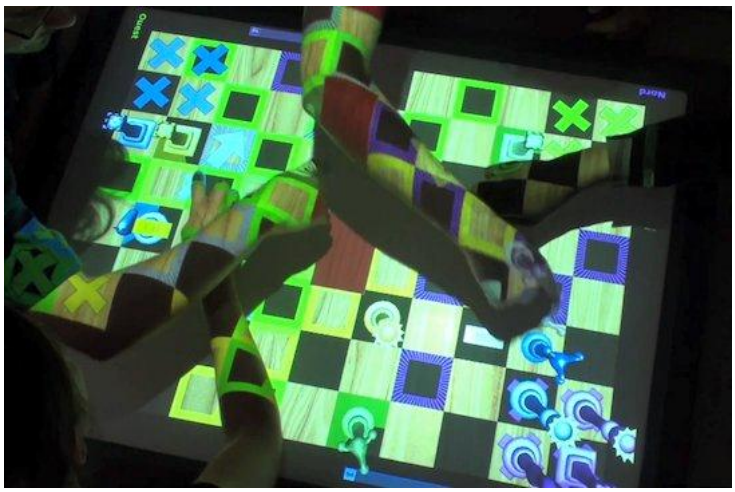


Figure 30 – Dans *RealTimeChess*, l'interaction simultanée des joueurs provoque une gêne physique au dessus de la surface.

Les réactions que nous avons observées étaient variées : certains apprécient la gêne comme faisant partie du jeu, d'autres sont au contraire énervés et frustrés. Les derniers enfin vont avoir tendance à se mettre

en retrait en attendant que l'espace au dessus de la table se libère. En dehors du jeu vidéo, la gêne ne peut pas être considérée comme un paramètre ludique et nous pensons que toute application tabletop avec de nombreuses interactions simultanées se doit de proposer des techniques d'interaction à distance.

5.1.1.2 Les utilisateurs cherchent l'économie d'effort

Lors de nos très nombreuses séances de jeu avec de nouveaux participants, nous avons observé que les personnes qui découvrent une table interactive sont impressionnées par l'interaction tactile et les sensations de réalité augmentée. Lorsque l'effet de surprise est passé, ils cherchent naturellement à diminuer leurs efforts physiques et nous avons parfois entendu des participants expliquer que le clavier et souris sont plus confortables, notamment parce qu'ils n'exigent pas de tendre bras. Plusieurs personnes préféré n'interagir qu'avec la zone de la surface proche, juste devant eux.

Lorsqu'un utilisateur veut interagir avec un objet éloigné, il fait l'effort de s'appuyer sur la table et de tendre son bras, ce qui risque de gêner les autres. Une solution pour l'utilisateur est de se lever puis de faire le tour de la table, ce n'est qui n'est pas souhaitable non plus.

5.1.1.3 Une version miniature de la table ?

Certains joueurs de *RealTimeChess* ont proposé que chacun ait une version réduite du plateau devant lui, avec laquelle il pourrait interagir sans être gêné et sans gêner les autres. L'idée exprimée par nos participants correspond à diviser le jeu en quatre jeux affichés sur quatre tablettes tactiles individuelles juxtaposées. D'autres travaux de la littérature ont rapporté le même souhait : avoir une copie de tous les éléments devant eux plutôt que de devoir les partager et y accéder au centre [Wigdor 2007]. Le problème de cette solution est qu'elle s'affranchit des avantages inhérents aux tabletops : partage de repères spatiaux, cohésion du groupe, facilité de communication, apprentissage en regardant les autres interagir, etc.

5.1.1.4 Vers l'interaction à distance

L'interaction à distance permet de pointer et contrôler des zones et des artefacts éloignés. A l'inverse de l'interaction directe, elle donne aux utilisateurs la possibilité d'interagir avec la surface de la table toute entière sans avoir à tendre ses bras.

L'hypothèse de notre travail était qu'en trouvant des techniques d'interaction adéquates, nous résoudrions les problèmes évoqués ci-dessus et nous favoriserions l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs sur table interactive.

5.1.2 État de l'art de l'interaction à distance

En IHM, les techniques d'interaction à distance ont été étudiées dès l'apparition des écrans muraux interactifs. Les utilisateurs ont besoin de techniques d'interaction pour définir et manipuler sans effort des données physiquement éloignées d'eux.

5.1.2.1 Ecrans larges et tableaux interactifs

Le problème de l'accessibilité des données est rencontré par exemple dans les cas des « murs écrans » ou des tableaux interactifs. La surface peut être grande, ce qui contraint l'utilisateur à se déplacer en permanence pour interagir avec l'interface.

Myers et al. ont réalisé l'étude comparative de plusieurs techniques de pointages laser dans un contexte de salle ubiquitaire avec plusieurs écrans larges aux murs. Leur analyse des performances ont indiqué que ce type de techniques ne sont ni précises ni appréciées des utilisateurs [Myers 2002]. Forlines et al. ont mis au moins une technique de pointage au stylet, appelée *Hybrid Pointing*, pour faciliter le contrôle des objets éloignés. Cette technique permet d'alterner simplement entre un pointage absolu (direct) et un pointage relatif (distant) [Forlines 2006]. Vodel et al. ont étudié comment interagir à distance avec un mur-écran en utilisant la main sans être en contact direct avec le mur. Ces travaux révèlent que les systèmes interactifs doivent fournir des techniques d'interaction directes et des techniques d'interaction à distance, et faire en sorte que passer d'un mode à l'autre s'effectue simplement (sans changer de périphérique par exemple). Dans leur système, l'utilisateur déplaçait sa main dans l'espace pour déplacer un pointeur et déclenchait des clics en pinçant le pouce et l'index [Vogel 2005].

Toujours sur tableau interactif, Baudisch et al. ont proposé deux nouvelles techniques d'interaction pour faciliter le déplacement d'objets virtuels sur tableaux interactifs. La première, le drag-and-pop consiste à glisser un objet dans une direction, le système détecte alors les cibles potentielles et en affiche des représentations près de la main de l'utilisateur ce qui limite la distance à parcourir. La seconde technique, le drag-and-pick, étend la même idée dans un cas différent : l'utilisateur pose son stylet dans une zone vide et les interacteurs (boutons par exemple) se déplacent jusqu'à lui [Baudisch 2003]. Hascoët et al. ont proposé plusieurs techniques d'interactions appelées « Push-and-throw », « Slingshot » et « Pantograph » pour déplacer un objet sur une zone éloignée en utilisant la métaphore du lance pierre [Hascoët 2003, Collomb 2005]. De même, Geissler a lui aussi étudié ce concept de lancer d'objet pour interagir avec les écrans larges et met en avant la nécessité de diminuer tout effort physique des utilisateurs [Geissler 1998].

Plusieurs techniques s'inspirent du drag-n-pop [Baudisch 2003] en reprenant le concept de représentations locales d'éléments distants. Bezerianos et al. ont par la suite présenté le « vacuum », une technique inspirée de la métaphore d'un aspirateur pour attirer les objets à soi. D'après ces travaux, les techniques existantes ne permettent pas d'agir plusieurs fois de suite sur les objets éloignés. Visuellement, le vacuum ressemble à un rayon laser dont on pourrait orienter le faisceau et paramétrer la largeur pour définir un arc d'influence. Tous les objets compris dans cet arc sont alors déplacés à proximité de l'utilisateur pour lui permettre d'agir directement dessus [Bezerianos 2005] (voir Figure 31).

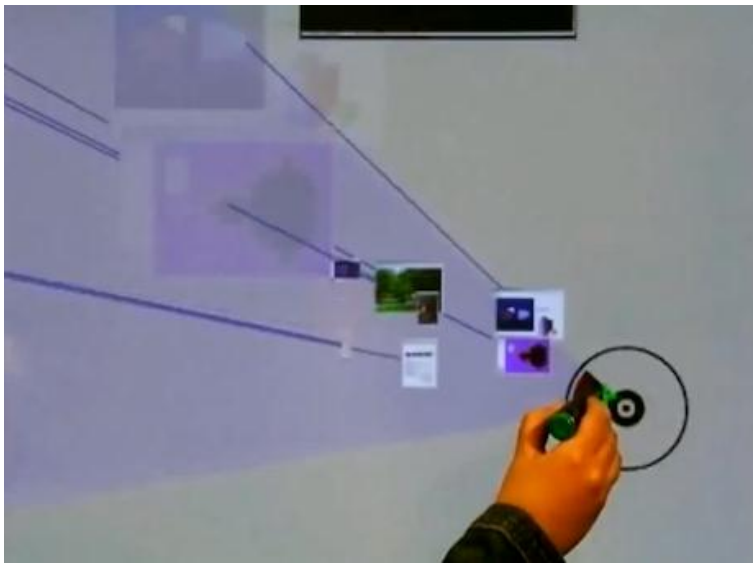


Figure 31 - Le Vacuum [Bezerianos 2005]

Khan et al. ont présenté une nouvelle technique d'interaction appelée *Frisbe* dont le principe est de contrôler une zone distante à partir d'un « portail » proche de l'utilisateur. Le portail évoque une fenêtre à l'intérieur de laquelle on peut agir directement sur les objets éloignés. Il peut être paramétré : destination, position, taille, etc. [Khan 2004]. A l'inverse, Swaminathan et Sato ont utilisé la métaphore de la maison de poupée (« dollhouse metaphor ») pour permettre le contrôle d'un pointeur sur un écran très large. L'idée est de représenter dans une partie l'écran une version réduite de son ensemble. Les actions effectuées dans l'espace réduit sont proportionnellement appliquées dans l'espace globale [Swaminathan 1997].

5.1.2.2 Techniques d'interaction à distance pour table interactive

Le problème de l'interaction à distance sur table interactive et la nécessité de techniques d'interaction adaptées ont été abordé dans la littérature. Karen Parker et al. ont présenté TractorBeam, une technique d'interaction au stylet qui sert à l'acquisition de cibles distantes tout en gardant le stylet utilisable directement avec des objets proches. Quand on le soulève, le stylet devient un pointeur laser pour saisir les objets distants [Parker 2005 a, Parker 2005 b]. Néanmoins, cette technique est liée à l'existence d'un stylet. Cette technique n'est pas adaptée aux tabletops qui se contrôlent aux doigts et aux mains.

Similairement, Abednego et al. ont conçu le « I-Grabber », une autre technique pour attraper des objets distants, les ramener à soi et permettre de les manipuler directement. Cette technique a la particularité de

s'utiliser avec deux doigts. Elle prend la forme d'une pince que l'on manipule comme un outil (poignées, extenseur, pinces) [Abednego 2009] (voir Figure 32).

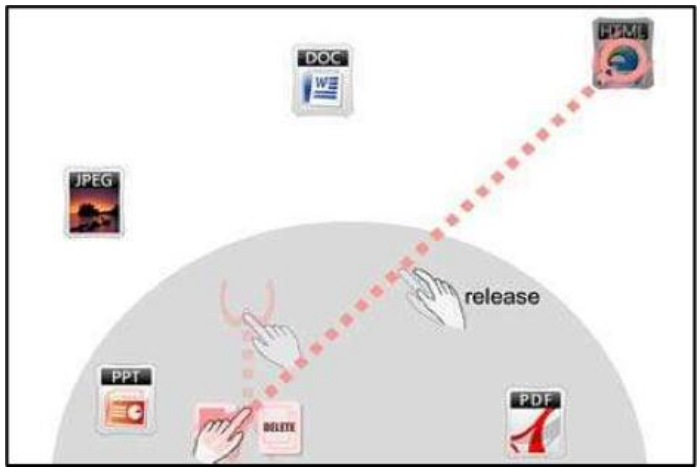


Figure 32 - Utilisation du I-Grabber [Abednego 2009]

Nacenta et al. ont comparé plusieurs techniques pour déplacer des objets entre différents appareils présents dans une salle comprenant une tabletop et plusieurs écrans verticaux. Ils proposent une classification de toutes les techniques existantes qu'ils distinguent selon les caractéristiques suivantes : portée, topologie, espace visuel et espace physique. Six techniques sont finalement comparées : *pantograph, slingshot, pick-and-drop, corresponding gestures,* la *RadarView* et *press-and-flick*. Une évaluation en deux étapes a été réalisée : la première où les cibles sont à portée de main, la seconde où les cibles sont plus éloignées. Dans les deux cas, la RadarView a été la meilleure des techniques car plus rapide, plus précise et préférée des utilisateurs. Selon les auteurs, le principal défaut de la *RadarView* réside dans sa petite taille qui ne permet pas de lire clairement les petites représentations [Nacenta 2005].

5.1.2.3 Techniques inadaptées à une utilisation fréquente et rapide

De nombreuses techniques d'interaction à distante ont été proposées dans la littérature, et la plupart du temps pour résoudre le problème du pointage et de la sélection d'objets à distance. D'après leur conception, ces techniques s'utilisaient en plusieurs temps (par exemple, le vacuum exige qu'on définisse un arc d'influence en plusieurs étapes), ce qui ne permet de choisir des objets où qu'ils soit sur la table puis de les contrôler rapidement. Notons pour la suite de ce chapitre que selon différentes études comparatives, la *RadarView* ressortait comme étant la technique la plus efficace parmi celles évoquées précédemment [Nacenta 2005, Reetz 2006, Nacenta 2007].

Plusieurs des techniques, dont le Vacuum, le I-Grabber et le pick-and-drop, se basent sur le concept de représentations locales d'objets distants. Ce concept nous semble problématique dans un contexte multi-utilisateur car la duplicité des représentations peut provoquer des incompréhensions. Sur tabletop, l'unicité des objets garantit un contrôle d'accès entre les utilisateurs. Compte tenu des problèmes engendrés par le manque de contrôle d'accès, nous préconisons d'éviter la multiplication des représentations des objets quand tout le monde interagit simultanément avec eux.

Nous relevons qu'il manque à la littérature une évaluation de l'interaction à distance dans un cas d'utilisation plus concret, en particulier pour savoir comment les utilisateurs alternent entre interaction directe et interaction distante.

5.1.3 Notre approche

Afin de savoir si les gênes relevées dans l'étude précédente peuvent être compensées par un système adapté, nous avons décidé de concevoir et d'évaluer des techniques d'interactions qui visent à diminuer les gênes et supporter l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs. Notre hypothèse était que disposer de ce type de techniques, couplées à des techniques d'interaction directes, donnerait aux utilisateurs les moyens d'interagir simultanément avec la table sans être gênés les uns par les autres.

5.1.3.1 Notre modèle d'interaction

En observant l'utilisation de *RealTimeChess* et en cherchant à rapprocher nos observations des systèmes décrits dans la littérature, nous constatons que les utilisateurs ont besoin de déplacer, manipuler, paramétrer des objets d'une part, et de délimiter, pointer, spécifier des zones de la surface d'autre part. Dans *RealTimeChess*, les actions des utilisateurs sont de deux types : la sélection et le déplacement d'une pièce. Nous avons décidé de baser notre travail sur un modèle d'interaction qui sépare les interactions envisageables en deux catégories : le contrôle et le pointage.

5.1.3.2 Contrôle à distance par un geste de lancer inertiel

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au problème du déplacement d'une pièce à distance dans *RealTimeChess*. Nous avons cherché à répondre aux deux questions suivantes : comment envoyer une pièce sur une case éloignée et comment la ramener à soi ?

Lors des expériences décrites dans le chapitre précédent, nous avons remarqué plusieurs joueurs qui tentaient de lancer leurs pièces en les faisant glisser sur la surface du plateau. Ce geste nous a semblé inspiré par l'utilisation des Smartphone tactiles. Nous avons donc implémenté un geste de jeter dans *RealTimeChess* et l'avons amélioré étape par étape afin de parvenir à une proposition de technique de contrôle à distance pour tabletop.

5.1.3.3 Étude comparative de plusieurs techniques pour la sélection à distance

Dans un second temps, nous avons étudié le problème de la sélection à distance des pièces. Nous nous sommes inspirés de plusieurs techniques de la littérature pour en concevoir de nouvelles, plus adaptées aux contraintes du plateau d'échecs. Nous avons enfin réalisé une expérience pour comparer quatre techniques de sélection à distance qui est décrite au paragraphe 5.3.2 de ce chapitre.

5.1.3.4 Adéquation de l'interaction directe et de l'interaction à distance

Enfin, nous avons intégré à *RealTimeChess* la meilleure technique afin d'observer les utilisateurs jouer soit directement soit par l'intermédiaire de techniques d'interaction à distance. Nous avons donc réalisé une dernière expérience pour analyser l'adéquation de ces deux modes d'interaction selon le nombre d'utilisateurs autour de la table.

5.2 Interaction à distance : contrôle d'un objet

Cette partie présente notre travail sur une technique de déplacement à distance des pièces dans *RealTimeChess* inspirée du geste de lancer inertiel. Nous décrivons ici notre implémentation de cette technique et comment nous l'avons évaluée.

5.2.1 Définition

Contrôler un objet virtuel dans une interface consiste à modifier ses caractéristiques. Par exemple : déplacer sa position, modifier sa taille, son orientation, etc. Le contrôle s'effectue généralement soit par un geste imitant le monde réel (le déplacement), soit par un geste métaphorique, soit via des interacteurs symboliques : boutons, menus, etc.

Sur tabletop, le contrôle direct de l'objet pose problème dès lors que celui est éloigné. Le Vacuum par exemple [Bezerianos 2005] permet d'agir sur une représentation locale de l'objet comme s'il était devant soi. Mais afin d'éviter toute ambigüité générée par la duplication des représentations dans un cadre multi-utilisateur, nous ne souhaitons pas adopter cette solution.

Une solution au problème consiste à ce que chaque utilisateur dispose d'une télécommande virtuelle, placée près du bord de la table, qui permette d'agir à distance sur l'objet actuellement ciblé. Une autre solution est d'utiliser un ensemble de commandes gestuelles correspondant aux actions possibles sur l'objet.

Dans *RealTimeChess*, le contrôle d'objets correspond uniquement au déplacement d'une pièce. Les participants de nos expériences ont exprimé le besoin d'une technique pour déplacer la pièce sélectionnée sur une case éloignée ou ramener une pièce éloignée sur une case proche. Une telle technique doit pouvoir s'intégrer au jeu existant, c'est-à-dire sans interférer avec les techniques existantes : la sélection et le déplacement « directs ». Le contexte du jeu tout autant que le contexte général de l'utilisation d'une tabletop pousse à ce que la technique de déplacement à distance soit simple et apprendre et à utiliser, tout en étant rapide.

5.2.2 Proposition : le lancer inertiel

Nous avons décidé d'utiliser la métaphore du lancer d'objet sur une surface horizontale pour concevoir et évaluer une technique de déplacement à distance appelé le « lancer inertiel ».

5.2.2.1 Travaux reliés

Utiliser l'inertie physique est courant sur une surface tactile, parce que les utilisateurs pensent naturellement à faire glisser les objets virtuels pour se les échanger ou les écarter [Geissler 1998] mais peu de chercheurs ont approfondi cette question ou cherché à intégré l'inertie physique dans une application fonctionnelle.

Sato et al. ont implémenté sur tabletop une « pichenette » à l'aide d'un système de reconnaissance vidéo capable d'estimer la puissance et la direction du lancer. D'après eux, le résultat n'était pas convaincant en raison du matériel utilisé (manque de réactivité, précision non satisfaisante) [Sato 2008].

Par ailleurs, Reetz et al. se sont intéressés au déplacement d'objets vers une zone éloignée physiquement mais contrairement aux autres techniques inspirées du lance pierre [Hascoët 2003], ils ont imité un vrai lancer, à la manière d'une pièce de monnaie que l'on ferait glisser sur un table, en utilisant la vélocité et la direction du geste, car il s'agissait d'une façon d'agir rapide et naturelle. Appelée *Superflick*, leur technique permet de déplacer un objet en deux temps : premièrement, on le projette dans une direction ; ensuite, on repose le doigt et on peut alors déplacer cet objet relativement (comme le trackpad d'un ordinateur portable) pour affiner sa position finale [Reetz 2006]. Le *Superflick* ne convient pas à notre cas d'étude parce que nous souhaitons une technique rapide pour déplacer les pièces en un seul geste.

5.2.2.2 Notre implémentation

Nous avons décidé d'implémenter notre propre version du lancer pour déplacer une pièce sur le plateau.

Dans notre première implémentation, pour utiliser cette technique : une pièce devait être sélectionnée ; l'utilisateur posait son doigt sur la pièce à lancer ; il le glissait rapidement dans une direction ; il relevait

rapidement son doigt. Le système détectait l'accélération et l'angle à partir du vecteur formé par les deux derniers points au contact de la surface. La destination était alors calculée en fonction de l'orientation du lancer, de la force du lancer et des déplacements possibles de la pièce sélectionnée (voir Figure 33).

Lors de nos premiers tests, nous avons constaté qu'il était très difficile de doser avec précision la force du lancer. Cette action est d'une part relativement difficile dans le monde réel et donc encore plus sur un objet virtuel car on ne sent ni son poids ni la résistance de la surface. D'autre part parce que la table interactive que nous utilisions pour nos développements ne possédait pas une capacité de détection suffisante pour assurer un calcul très précis de la vélocité des doigts de l'utilisateur. Le résultat était en conséquence imprévisible et approximatif. Un autre problème était que l'utilisateur pouvait envoyer une pièce vers une destination éloignée mais ne pouvait pas réutiliser cette technique sans poser le doigt sur la pièce.

Nous avons modifié deux caractéristiques de la technique :

- seule la direction du lancer est utilisée et plus la force. La destination de la pièce est estimée par le système en fonction des règles du jeu. Ainsi, quand un utilisateur lance une pièce, elle va le plus loin possible dans la direction du lancer, jusqu'à être arrêtée par le bord du plateau, une case bloquante ou une autre pièce ;
- il n'est plus nécessaire à l'utilisateur de poser son doigt sur la pièce, il peut recourir au lancer inertiel à partir de n'importe quel point de la surface – à condition qu'il n'y ait pas déjà une autre de ses pièces à cet endroit.

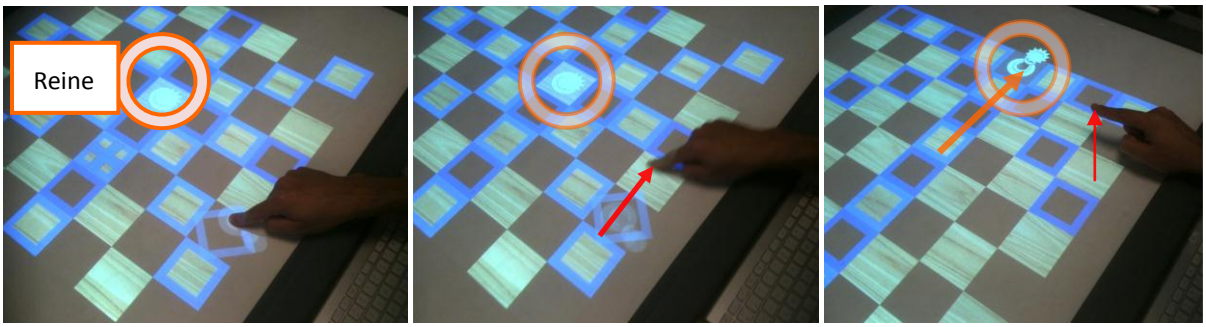


Figure 33 - Utilisation du lancer inertiel pour déplacer une reine.
A gauche : l'utilisateur pose son doigt sur la table devant lui.
Au milieu : il glisse son doigt rapidement dans une direction.
A droite : lorsqu'il relève son doigt, la reine se déplace dans la direction donnée, le plus loin possible.

5.2.2.3 Avantages et limites

Cette technique permet aux utilisateurs d'envoyer ou de ramener leurs pièces vers des cases éloignées, en agissant directement dans leurs zones privées, ce qui suffit à diminuer les gênes physiques. De plus, nous pensons que cette technique de déplacement est prédictible car l'angle du lancer peut facilement être discrétisé en huit directions différentes de façon robuste (verticales, horizontales et diagonales) ce qui correspond à l'ensemble des directions possibles pour le jeu d'échecs (cavalier exclu).

Néanmoins, cette technique se limite à certains cas d'utilisation. Elle est pratique quand l'utilisateur veut se déplacer jusqu'à une extrémité, mais pas s'il veut seulement se déplacer de quelques cases. Un autre problème apparaît lorsque l'utilisateur qui veut faire un lancer pose son doigt sur une de ses pièces. Dans ce cas particulier, le système interprète cette action comme la sélection de la pièce, ce qui ne correspond pas aux intentions de l'utilisateur.

5.2.3 Evaluations informelles

Nous avons réalisé deux expériences non contrôlées pour tester si la technique était utilisable. La première est conçue pour un seul utilisateur qui déplace à distance une seule pièce. La seconde expérience met en jeu deux joueurs en compétition sur des plateaux les obligeant à déplacer leurs pièces loin d'eux.

5.2.3.1 Mise à l'épreuve du lancer inertiel

Nous avons mis en place une expérience avec neuf participants (stagiaires et doctorants du laboratoire) qui connaissaient déjà *RealTimeChess* pour avoir participé aux tests antérieurs ou à des démonstrations. Nos hypothèses étaient que la technique était facile à comprendre, à utiliser, et qu'elle satisferait les utilisateurs. En outre, nous voulions récolter leurs impressions et leurs suggestions d'amélioration. L'autre but de cette expérience était de calibrer la technique de façon à ce qu'elle convienne à une majorité d'utilisateurs, en testant plusieurs combinaisons de seuils de détection : vitesse du glissé du doigt à la surface, temps du mouvement et distinction avec un simple drag'n'drop. Ces seuils doivent en effet être bien ajustés pour que la technique soit facile à exécuter.

La première expérience était conçue pour un utilisateur seul contrôlant une unique pièce sur un plateau vide. La consigne était d'amener la pièce sur une case cible marquée par une croix. Une fois la pièce sur la case cible, une nouvelle case cible apparaissait ailleurs. La pièce était successivement une Tour (déplacement dans les quatre directions : haut, bas, gauche et droite) puis une Reine (huit directions : ceux de la Tour et les quatre diagonales). L'intérêt de faire varier le type de pièce était de tester deux cas où la précision de la direction n'a pas la même incidence : la Reine exige d'être plus précis que la Tour.

A tout moment de l'expérience, l'utilisateur pouvait utiliser le déplacement direct ou le déplacement à distance. A la demande de l'utilisateur, nous faisions varier les seuils de détection du lancer jusqu'à trouver les paramètres de vitesse qui lui convenaient.

Les 9 participants ont tous rapporté qu'ils appréciaient la technique. La première réaction était la satisfaction de pouvoir déplacer une pièce sur toute la table sans tendre le bras. Certains ont évoqué la ressemblance avec un trackpad d'ordinateur portable. Nous avons toutefois constaté que la fréquence d'échantillonnage de la DiamondTouch était trop faible pour les utilisateurs rapides : si l'utilisateur faisait glisser son doigt beaucoup trop brièvement sur la surface (comme on est aujourd'hui habitué à le faire avec les Smartphones tactiles), la table ne détecte aucun contact.

Nous avons noté que les joueurs avaient plus de difficultés à exécuter ce geste dans certaines directions en raison de contraintes physiques de rotation du poignet. Il est apparu qu'il est plus difficile et désagréable d'utiliser cette technique pour déplacer une pièce vers le haut que vers le bas, et vers l'extérieur (vers la droite pour un droitier) que vers l'intérieur (vers la gauche pour un droitier). De plus, les utilisateurs avaient du mal à être très précis dans l'angle et le déplacement de la Reine était plus hasardeux que celui de la tour car le système de détection mélangeait parfois deux directions.

Après cette première validation, nous avons testé le lancer de pièces dans des conditions de jeu pour deux joueurs en compétition.

5.2.3.2 Utilisation du lancer inertiel en situation de jeu à deux

Nous voulions observer si les joueurs allaient préférer la technique de lancer où le déplacement direct (faire l'effort de bouger le bras au dessus de la table) dans un cadre moins artificiel que l'évaluation précédente. Dans un jeu compétitif, les joueurs oublient très vite le contexte expérimental et cherchent avant tout à être le plus efficaces pour gagner la partie. Nos interrogations étaient :

- Est-ce que cette technique est utilisée et convient à un jeu à deux en compétition ?
- Est-ce que la sensibilité qui avait été définie à la suite des premiers tests convenait toujours à nouveau niveau d'exigence ?

Nous avons ajouté à *RealTimeChess* deux nouveaux plateaux où les deux joueurs sont disposés face à face et assis sur les petits côtés de la table rectangulaire, afin que le coté opposé soit le plus éloigné possible. Les deux plateaux de jeux opposaient les joueurs l'un à l'autre. Dans le premier plateau, chaque joueur avait le même nombre de pièces : des tours, des fous, des reines (des types de pièces qui peuvent effectuer de grands déplacements) et deux rois. L'objectif était de prendre les rois de l'adversaire. Des cases bloquantes étaient aléatoirement disposées au centre du plateau pour que chaque partie soit différente et que les joueurs puissent utiliser ces cases murs comme pivots pour déplacer leurs pièces en les lançant (voir Figure 34).

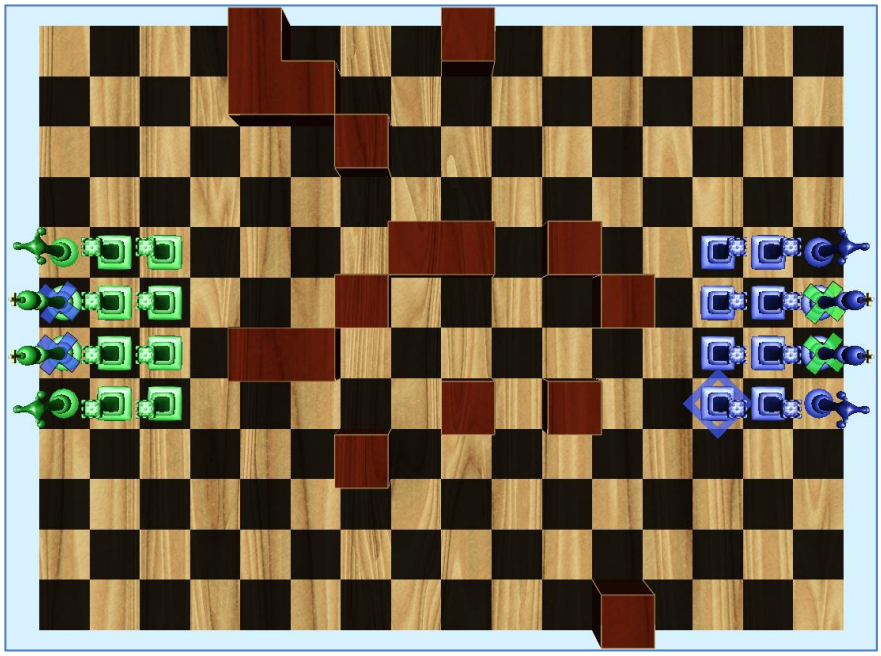


Figure 34 - Un plateau de jeu à 1 contre 1 sur la longueur de la table. Le but est d'attaquer l'adversaire sur son terrain. Le scénario a été conçu de façon à motiver les joueurs à utiliser le lancer inertiel.

Le deuxième plateau reprenait la même configuration sauf qu'un des deux joueurs n'avait que deux pièces et avait comme consigne de survivre pendant 2 minutes aux attaques de l'adversaire. Le but de celui-ci était de prendre les deux pièces de son adversaire en moins de 2 minutes. L'un des deux joueurs devait donc défendre, tandis que l'autre était forcé d'attaquer. Chaque joueur jouait l'attaquant et le défenseur à tour de rôle (voir Figure 35).

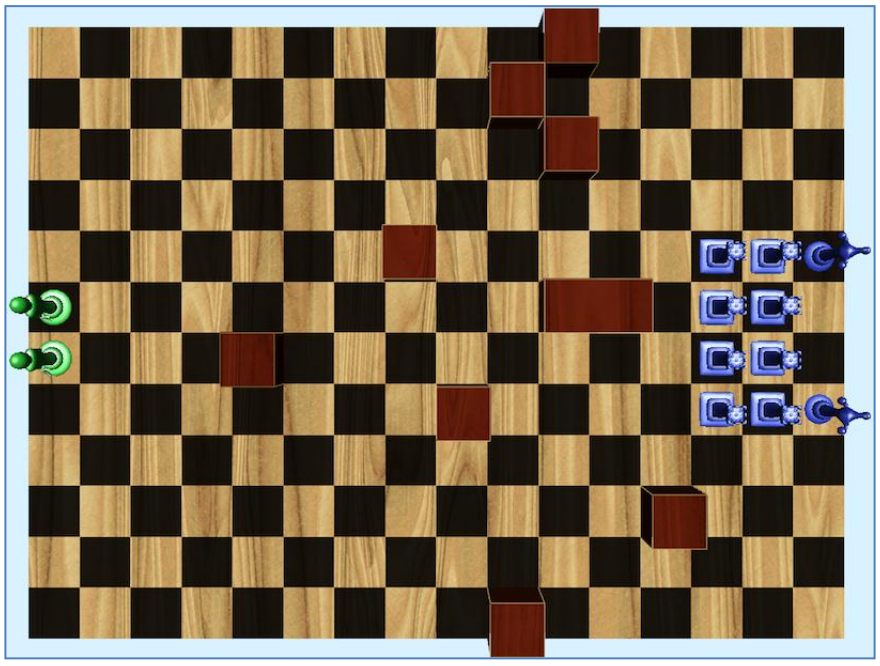


Figure 35 - Un plateau de jeu à 1 contre 1 sur la longueur de la table. Le but est pour le joueur bleu de prendre les deux pièces du joueur vert en moins de deux minutes. Dans ce scénario, le joueur vert défend plus facilement dans sa zone privée, contraignant le joueur bleu à interagir à distance.

Quatre groupes de deux participants ont fait cette expérience. Tous avaient participé à la première phase et étaient donc formés à utiliser le lancer inertiel. Nous avons essayé de former les groupes en fonction du niveau des joueurs pour que les parties soient équilibrées.

Voici les observations résultant de l'expérience :

- la compétition pressait les joueurs, qui précipitaient leurs gestes. Ils semblaient avoir plus de mal faire le déplacement à distance. Nous avons du augmenter la sensibilité, c'est-à-dire réduire le seuil de vitesse à dépasser pour activer un lancer ;
- les utilisateurs de tabletop sont conscients que lorsqu'ils passent leur bras au dessus de la table pour atteindre un élément éloigné, ils se font remarquer par les autres. Nous avons constaté que certains joueurs utilisaient justement l'interaction à distance pour rester discrets lors d'attaques et surprendre l'adversaire ;
- les joueurs rencontraient systématiquement le même problème à chaque fois qu'ils envoyaient une pièce sur le côté opposé de la table : s'ils sélectionnaient alors une autre pièce, la première pièce devait à nouveau être sélectionnée avant d'être déplacée, mais les joueurs ne le faisaient que très rarement. En conséquence, ces pièces éloignées n'étaient plus jouées.

5.2.4 Bilan du lancer inertiel

Nous avons proposé un moyen pour déplacer la pièce sélectionnée en utilisant une technique inspirée du geste de lancer sur une surface. Cette technique s'utilise en complément du déplacement direct. Nous avons testé et calibré cette technique à l'aide de 9 participants dans deux expériences, dont une dans un jeu compétitif pour deux joueurs. Les utilisateurs ont apprécié cette technique supplémentaire demandant moins d'efforts, pour atteindre le côté opposé de la table ou pour rester plus discret durant le jeu.

Nous pensons que cette technique s'applique surtout au design de *RealTimeChess* et on peut s'interroger sur son efficacité dans un autre type de jeu, quand il n'y a par exemple plus le damier comme matrice des actions possibles, ou quand il ne s'agit plus du tout d'un jeu. Notre but n'était pas de proposer une technique qui permettrait de tout contrôler à distance et dans tous les cas d'application. Nous avons cherché un compromis qui plairait aux utilisateurs, qui répondrait à une majorité des besoins de notre contexte, et qui a permis aux utilisateurs de déplacer leurs pièces sur des zones partagées de la table sans se gêner. L'interaction directe reste dans ce cas nécessaire car elle est plus précise et satisfait certains cas que notre technique d'interaction à distance ne peut pas assurer.

Enfin, comme dans *RealTimeChess* il n'est possible de contrôler qu'une seule pièce en même temps et que celle-ci doit être auparavant sélectionnée, les joueurs éprouvaient des difficultés à envoyer une pièce loin d'eux, en déplacer une seconde, puis reprendre le contrôle de la première désormais hors d'atteinte. Ce problème nous a amené à chercher une technique complémentaire : la sélection à distance.

5.3 Sélection à distance

L'ajout d'une technique pour déplacer les pièces à distance a entraîné le besoin d'une autre pour sélectionner les pièces éloignées sur le plateau. Dans le paragraphe 5.1.2.2, nous avons décrit plusieurs techniques de pointage et de sélection mais aucune ne convient telle quelle à l'interaction simultanée. Nous avons décidé d'en concevoir plusieurs et de mener une expérience avec des utilisateurs pour les comparer.

5.3.1 Besoin

Dans *RealTimeChess*, le problème de la sélection à distance correspond à celui de la sélection d'une pièce. En interaction directe, l'utilisateur sélectionne une pièce en posant son doigt dessus. Dans une vraie partie, il peut y avoir un nombre de pièces élevé (jusqu'à 60 quand il y a quatre joueurs) et elles peuvent être placées à tout endroit de la table. La sélection d'une pièce est une tâche articulatoire qui doit rester une technique simple et brève pour ne pas gêner le déroulement d'une partie.

5.3.2 Comparaison de plusieurs techniques

Nous avons cherché quelle technique de sélection serait la plus adaptée à *RealTimeChess*. Nous avons implémenté et testé plusieurs techniques pour sélectionner un objet éloigné parmi un ensemble de distracteurs. Avant de décrire chacune des techniques envisagées, nous explicitons les règles de conception que nous avons suivies.

5.3.2.1 Design des techniques choisies

Nous avons choisi les règles de conception suivantes comme guides :

- la technique doit s'utiliser près du bord de la table pour que les utilisateurs n'aient pas d'efforts physiques à faire comme tendre le bras ;
- la technique doit s'effectuer avec un seul doigt car les techniques d'interaction sont plus faciles à apprendre et à exécuter à un doigt [Wobbrock 2009] ;
- la technique doit être prévisible et sa visualisation constante ;
- la technique d'interaction doit pouvoir se faire un en seul geste;
- la technique doit pouvoir s'intégrer de façon transparente à toute tâche, et doit interférer au minimum avec l'interaction directe. On cherche à ne pas introduire de modes afin qu'alterner entre interaction directe et interaction distante soit facile ;
- la technique ne doit pas empêcher plusieurs utilisateurs d'interagir simultanément, et ne pas crée d'interférences entre eux ;
- la technique ne doit pas être liée au jeu d'échec et doit s'appliquer à toutes applications tabletop dans laquelle ils y auraient des objets interactifs sélectionnables.

Nous avons exploré un large nombre de techniques, couvrant différentes utilisations de la géométrie de la table et basées sur des métaphores diverses. Nous avons finalement conservé les quatre techniques décrites ci-dessous.

5.3.2.2 Le « Doigt Laser »

La première des techniques s'inspire de l'idée qu'on pointe un objet pour le désigner. En posant son doigt sur la table, l'utilisateur voit un rayon qui jaillit de son doigt et qui permet de viser un objet uniquement en positionnant et en orientant son doigt lumineux (voir Figure 36).

Afin d'introduire une forme de tolérance, lorsque l'utilisateur pose son doigt sur la table, c'est un cône de lumière qui apparaît. L'origine du cône est le point de contact entre le doigt et la table. Si le doigt se déplace, l'origine le suit. La direction du cône suit celle du doigt. Un objet est considéré comme visé lorsqu'il est à l'intérieur du cône affiché. Si plusieurs objets sont dans le cône, l'objet le plus proche de la bissectrice du cône est considéré comme visé. L'objet visé est mis en évidence. La sélection devient effective quand le doigt se retire de la table avec un objet mis en évidence par le système.

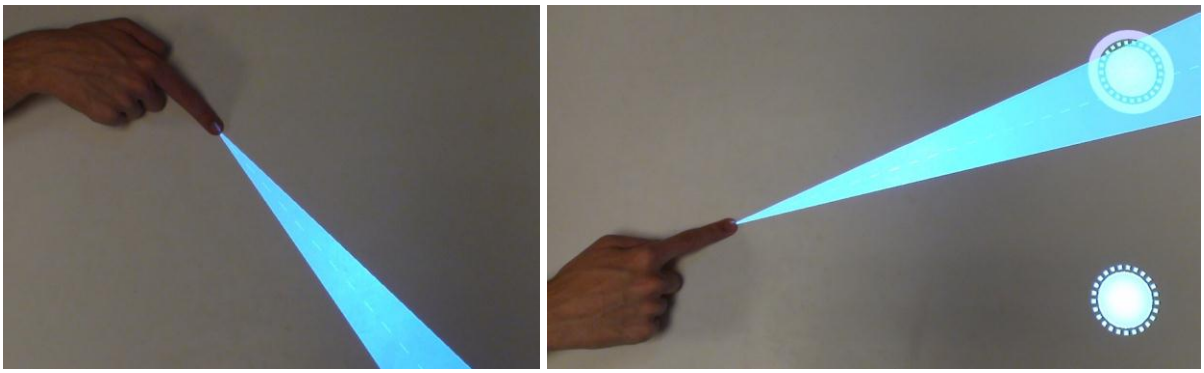


Figure 36 - Utilisations du "*Doigt Laser*". Le laser est orienté selon l'angle du doigt de l'utilisateur. À droite : le contour de l'objet visé est accentué.

Cette technique s'apparente au *Vacuum* [Bezerianos 2005] dans sa représentation mais diffère dans son utilisation. Le vacuum est un interacteur en permanence présent dans l'interface et que l'utilisateur contrôle à l'aide de boutons adaptés. Ces boutons permettent de définir la direction et la largeur de l'arc. Ensuite, le vacuum ne sélectionne pas un objet, mais affiche une image locale de tous les objets qui sont dans l'influence de l'arc. Notre implémentation correspond d'avantage aux critères de vitesse d'exécution et d'intégration dans une tâche multi-utilisateur.

Pour implémenter la technique du *Doigt Laser*, nous avons besoin de détecter l'angle du doigt à la surface, ce que la *DiamondTouch* [Dietz 1991] ne permet pas. Nous avons alors développé et utilisé un système de vision par ordinateur qui extrait cette information à partir d'une image des doigts à la surface. Le système de vision par ordinateur que nous avons utilisé nécessite un projecteur et une caméra infrarouges disposés au dessus de la table. Les images envoyées par la caméra sont analysées en temps réel pour identifier les doigts et leur orientation.

Nos hypothèses étaient que : cette technique serait intuitive, amusante et simple à utiliser ; mais qu'elle serait inadaptée à la sélection d'un objet positionné parmi d'autres parce qu'en cas d'alignement, la cible serait plus difficile à viser.

5.3.2.3 Le « Canon laser »

Nous avons conçu une deuxième technique basée sur l'image d'un rayon lumineux mais qui se contrôle différemment : le *Canon Laser*. Cette technique repose sur la métaphore d'un canon d'artillerie qui doit être stratégiquement placé à un endroit et ne plus être bougé, seulement orienté vers sa cible.

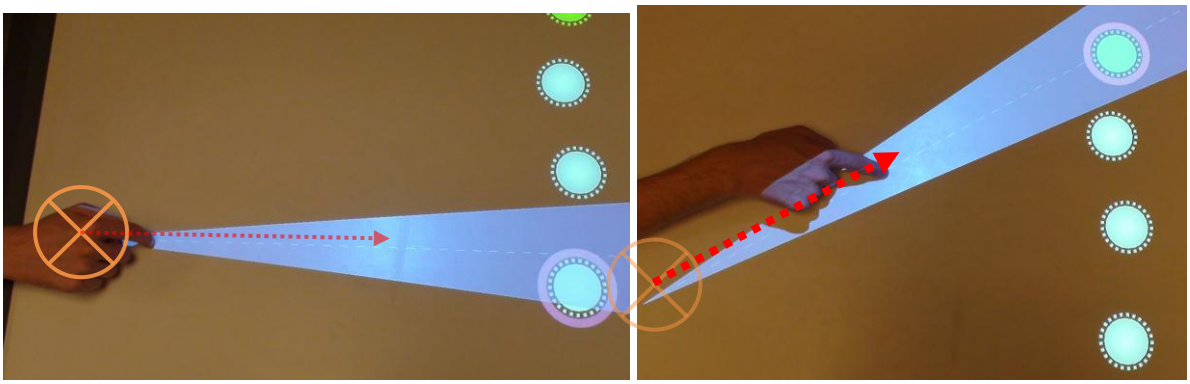


Figure 37 - Utilisation du "Canon Laser" : la cible orange représente l'origine du canon et la flèche rouge son orientation. A gauche : l'utilisateur vient de poser son doigt, l'origine du canon est définie et le canon est initialement orienté droit devant. A droite, l'utilisateur glisse son doigt sur la table pour ajuster l'orientation du canon. La sélection s'opère lorsqu'il retire le doigt de la surface.

Le système de détection du doigt par reconnaissance vidéo n'était plus utilisé. L'origine et la direction du cône se définissaient autrement : au moment où l'utilisateur pose son doigt sur la table, le cône apparaît. Son origine est placée « derrière » le doigt de l'utilisateur, à environ 10 cm, et est fixé jusqu'à la fin de la

sélection. Le cône est au départ orienté vers le côté opposé de la table, face à l'utilisateur. L'angle peut ensuite être ajusté en faisant glisser son doigt. Le cône suit l'angle entre le point de contact initial et le doigt. Plus l'utilisateur éloigne son doigt de l'origine, plus il peut affiner la direction du cône.

L'objet ciblé est, comme pour le rayon laser, l'élément à l'intérieur du cône d'influence et le plus proche de sa bissectrice. La sélection s'effectue lorsque le doigt se retire la surface. L'origine est redéfinie à chaque nouvelle utilisation de la technique (voir Figure 37).

D'après nos hypothèses, les forces de cette technique étaient de permettre d'ajuster avec précision la direction du cône, ce qui conviendrait aux cas où l'objet que l'utilisateur souhaite sélectionner est placé parmi des distracteurs. Un des problèmes de cette technique serait qu'elle semblerait moins intuitive pour les utilisateurs et qu'elle exigerait de l'entraînement. Un autre défaut était selon nos premières observations qu'une fois le doigt posé, l'origine du cône ne pouvant plus être déplacée, la technique exigerait de réfléchir à l'angle d'incidence avant de démarrer la sélection.

5.3.2.4 Règle magique

La troisième des techniques de sélection à distance développée se basait sur l'idée de choisir son objet parmi une liste horizontale que l'utilisateur aurait devant lui sur le bord de la table (zone privée). Cette liste s'apparentait à un ensemble de petits carrés juxtaposés, où chaque carré représentait un des éléments de l'interface.

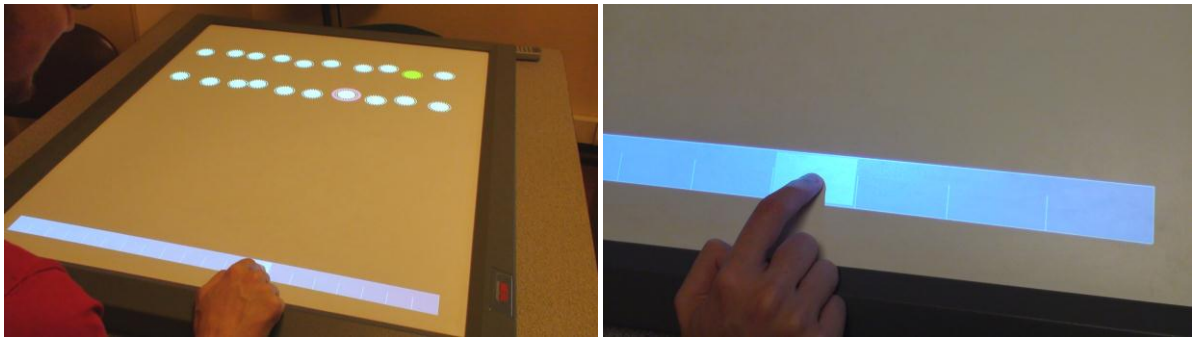


Figure 38 - Utilisation de la Règle magique – A gauche : vue d'ensemble, chaque graduation de la règle correspond à un objet distant sur la table. A droite : détails de la règle, en touchant une graduation, l'utilisateur cible l'objet correspondant. La sélection s'opère lorsque l'utilisateur redresse le doigt de la surface.

La largeur de la liste était celle de la table et enfin l'ordre des carrés dans la liste correspondrait à celui des objets classés par abscisse. Ainsi le carré qui est le plus à gauche sur la liste correspond à l'objet qui est le plus à gauche sur la table du point de vue de l'utilisateur. La représentation graphique a finalement été modifiée pour évoquer de petites graduations le long d'une règle, où chaque graduation délimiterait un objet. Nous avons appelé cette technique : la *Règle Magique* (voir Figure 38). Les graduations étaient toutes de la même largeur. La largeur dépendait du nombre d'éléments présents sur l'interface (voir Figure 39)

La *Règle Magique* fonctionne ainsi : l'utilisateur pose sont doigt sur la règle en face de l'objet visé et l'objet qui correspond à la graduation touchée est ciblé. Pour atteindre précisément l'objet que l'utilisateur veut sélectionner, alors l'utilisateur doit glisser son doigt vers la gauche ou vers la droite le long de la *Règle Magique* pour parcourir l'ensemble des objets de la scène jusqu'à cibler le bon. La sélection s'effectue au redressement du doigt. Nous pensions que cette technique serait très efficace quand il y a peu d'objets sur la surface.

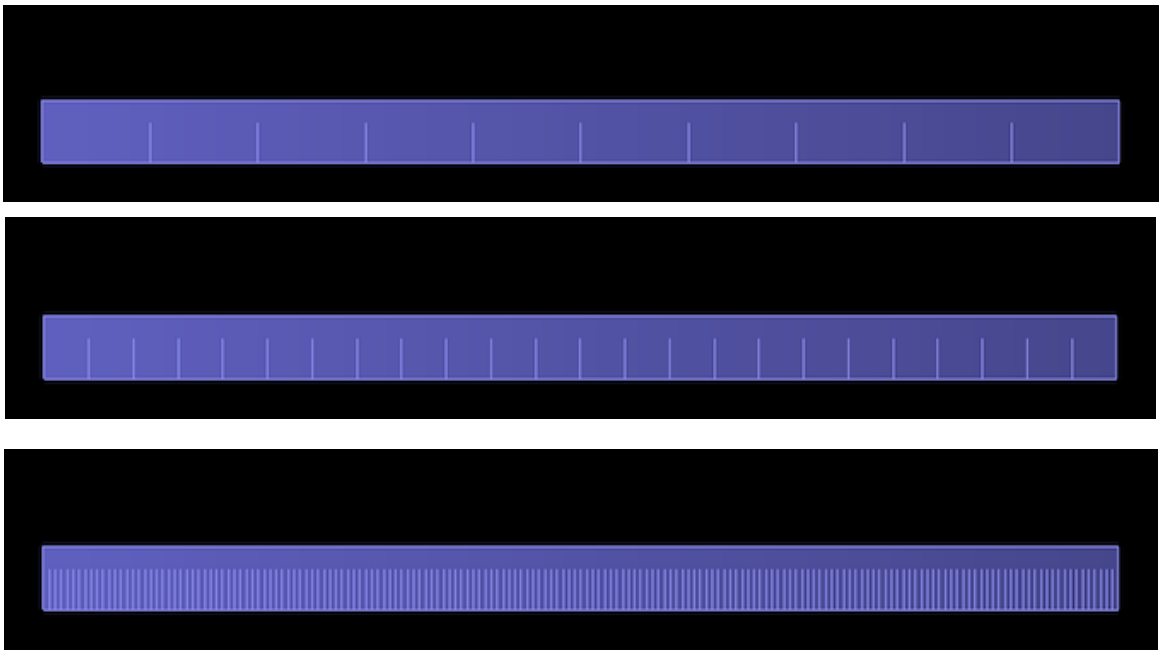


Figure 39 - Largeur des graduations en fonction du nombre d'objets dans la scène.
Au haut : 10 objets / Au centre : 24 objets / En bas : 180.

5.3.2.5 *RadarView et AreaCursor*

Enfin, la dernière technique implémentée était la *RadarView* (Vue Radar), souvent citée dans la littérature. La *RadarView* consiste à afficher devant l'utilisateur une représentation réduite à deux dimensions de l'ensemble de la surface conservant les proportions géométriques. Des miniatures chaque objet présent sont affichées dans la vue radar [Swaminathan 1997, Khan 2004, Nacenta 2005, Nacenta 2007].

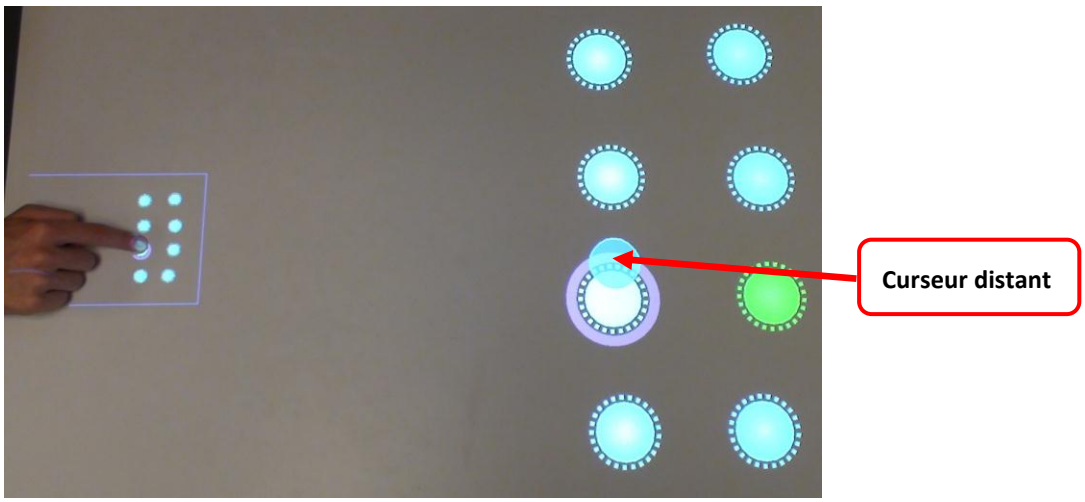


Figure 40 - Utilisation de la *RadarView* – L'utilisateur contrôle le curseur distant en à partir de la représentation réduite de la surface.

Dans notre implémentation, la *RadarView* reproduisait l'ensemble de la table à une proportion de 1/5. Elle était collée sur bord de la table. Lorsque l'utilisateur pose posait son doigt dans la RadarView, un curseur distant apparaissait sur la surface globale à la position calculée par homothétie. Nous avions décidé d'utiliser un curseur circulaire (*AreaCurseur*) plutôt qu'un point unique pour compenser la perte de précision à cause du changement d'échelle [Grossman 2005, Aliakseyeu 2006]. L'utilisateur pouvait déplacer son doigt dans la *RadarView* pour déplacer le curseur distant comme s'il utilisait un trackpad d'ordinateur portable. L'objet ciblé était celui en contact avec le curseur circulaire. Si le curseur était en contact avec plusieurs objets, il ciblait alors le plus proche de son centre. Comme pour les autres techniques, l'objet ciblé était sélectionné lorsque l'utilisateur redresse son doigt (voir Figure 40).

Nous avons implémenté la *RadarView* parce que plusieurs études comparatives précédentes avaient montré qu'elle était la plus performante en terme de précision, de vitesse et de facilité d'utilisation [Nacenta 2005, Aliakseyeu 2006, Reetz 2006]. Cette technique devait nous servir de référentiel pour notre évaluation, et nous avons fait l'hypothèse que les autres techniques la surpasseraient sur certains aspects.

5.3.3 Expérience : description et protocole

Nous avons réalisé une expérience contrôlée pour comparer ces quatre techniques de sélection à distance. Nous avons analysé les performances des utilisateurs et avons récolté des données subjectives.

5.3.3.1 Design expérimental

Notre expérience se basait sur une tâche simplifiée pour un seul utilisateur. L'utilisateur était assis sur un des petits côtés de la tabletop et il devait sélectionner un objet localisé sur le côté opposé et entouré d'un nombre variable de distracteurs. L'utilisateur évaluait ainsi chacune des quatre techniques, une après l'autre.

L'objet à sélectionner était colorié en vert. Nous avons décidé de ne pas afficher cette couleur ni dans sa représentation miniature de la *RadarView*, ni dans sa graduation correspondante dans la *Règle Magique*. La couleur verte représente un besoin de l'utilisateur et non pas une caractérisation de l'objet.

5.3.3.2 Protocole

20 participants (12 hommes et 8 femmes) ont participé à l'évaluation. Ils étaient étudiants ou membres du personnel de l'université. Parmi eux, 13 avait déjà participé à une expérience sur la table tactile (mais sans rapport avec le problème de la sélection à distance) et 7 n'avaient jamais utilisé la table interactive.

Une tâche de sélection sur des formes géométriques a été utilisée pour évaluer les quatre techniques : *RadarView*, *Doigt Laser*, *Canon Laser* et la *Règle Magique*. Les objets étaient des cercles localisés sur le côté opposés de la table, à une distance physique de l'utilisateur supérieure à 43,5cm. Tous les cercles étaient blancs exceptée la cible qui elle était coloriée en vert.

Le nombre d'objets affichés (12, 32, 60, 100 ou 200, dont la cible) et leur largeur (diamètre : 12mm, 42mm ou 66mm) variaient au cours de l'expérience. Les conditions avec 100 ou 200 objets avaient pour but de correspondre à des cadres applicatifs plus exigeants que notre jeu *RealTimeChess*. Il peut s'agir, par exemple, d'une application de type contrôle de trafic (un grand nombre de véhicules) ou jeux de guerre (un grand nombre d'unités). Cependant, comme toutes les combinaisons de nombre et d'épaisseur ne nous semblaient pas pertinentes. Quand il y a 100 ou 200 objets, l'occlusion devient trop importante et ne correspond par à l'utilisation normale d'une application. Nous n'avons donc pas testé l'effet de tous les facteurs entre eux (technique d'interaction, largeur de la cible, nombre de distracteurs).

Chaque utilisateur évaluait les quatre techniques les unes après les autres. L'ordre des techniques dans l'expérience était contrebalancé entre l'ensemble des participants. Chaque évaluation commençait par une session d'essais d'entrainement non comptabilisés pour l'analyse. Ensuite, il y avait 42 essais composés de combinaisons prédéfinies de largeur d'objets et de nombre de distracteurs présentés dans un ordre aléatoire.

Comme montré dans la Figure 41, les objets étaient positionnés sur une grille avec un léger décalage aléatoire, ceci afin d'éviter que les objets se retrouvent strictement alignés sur la même abscisse ou la même ordonnée. Tous les objets sont répartis sur la moitié opposée de la table par rapport à l'utilisateur.

Les participants recevaient comme instruction de toucher le bouton « Ready » placé devant eux avant chaque essai. Pour chaque essai, le temps d'acquisition de la cible est compté en millisecondes à partir du moment où l'utilisateur avait relâché son doigt du bouton « Ready » jusqu'à ce qu'un objet ait été sélectionné. Les participants pouvaient prendre le temps d'analyser la situation et de repérer la cible parmi tous les objets parasites affichés. Le système comptabilisait aussi les réussites et les échecs selon que l'objet sélectionné était la cible verte ou un des distracteurs. Même si distracteur était sélectionné, le système passait à l'essai suivant. En moyenne, chaque participant a pris environ 45 minutes pour compléter tous les essais avec les quatre techniques d'interaction.

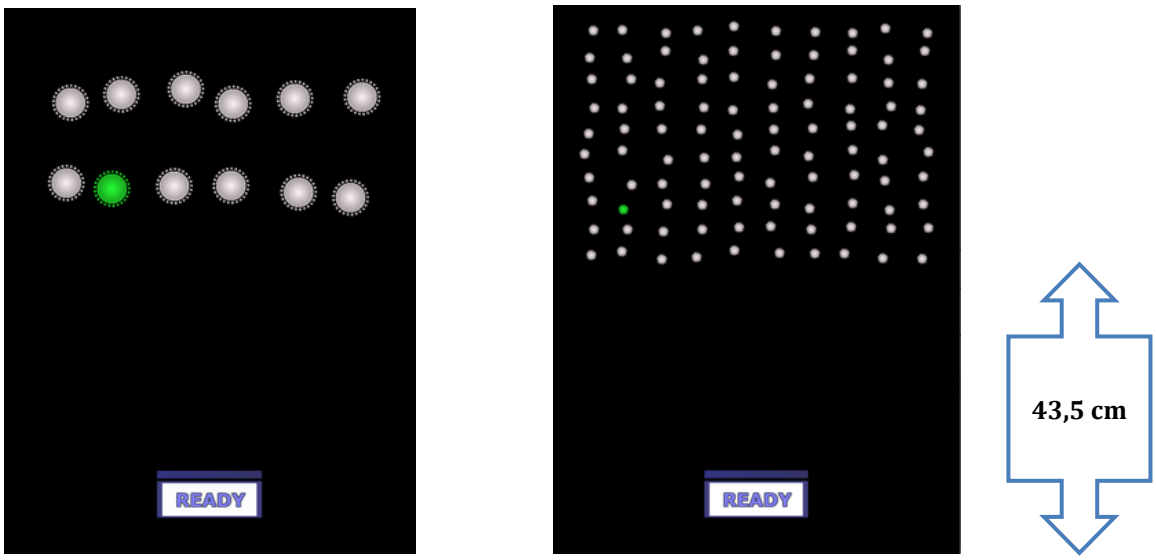


Figure 41 - Deux exemples d'essais. A gauche : 12 objets de 42 mm de diamètre / A droite : 100 objets de 12 mm de diamètre. L'utilisateur est positionné sur le côté bas, devant le bouton « Ready ».

A la fin de la session, les utilisateurs ont complété un questionnaire concernant le confort d'utilisation, l'efficacité et l'amusement (« fun »). Nous avons utilisé des échelles de Likert à 5 points pour chaque facteur et chaque technique à évaluer. Pour terminer, les participants devaient classer chaque technique par ordre de préférence selon quatre situations différentes : quand la cible est petite, quand la cible est large, quand il y a peu d'objets dans la scène et enfin quand il y en a beaucoup.

5.3.4 Expérience : résultats

Les logs du système ont été utilisés pour déterminer les facteurs influençant le temps d'acquisition (en ms) et le taux de réussite (essais réussis par rapport au nombre d'essais total). Le temps moyen pour sélectionner une cible était de 3483 ms et la moyenne globale de taux de réussite était de 84,97% ce qui tend à confirmer que la tâche était suffisamment difficile pour éviter un effet de plafonnage dans nos résultats qui nous aurait empêcher d'observer des variations entre nos différentes conditions expérimentales.

Des analyses de variance (ANOVA) ont été menées sur le temps d'acquisition, la précision et les données subjectives. Pour les analyses post-hoc (comparaisons par paires) nous avons utilisé le LSD de Fisher (Least Significant Difference). Toutes les analyses ont été effectuées avec SPSS (Statistical Package for Social Sciences).

5.3.4.1 Performances générales des quatre techniques

Technique	**Temps d'acquisition** ms (Ecart type)	**Précision** % (Ecart type)
Canon Laser (CL)	3580 (359)	79,4% (2,5)
Doigt Laser (DL)	5121 (455)	70,0% (2,9)
RadarView (RV)	1768 (128)	97,7% (0,6)
Règle magique (RM)	3463 (210)	92,7% (1,1)

Tableau 1. Temps d'acquisition moyenne en ms and taux de précision pour chaque technique.

Nous avons effectué des ANOVAs sur l'ensemble des données en prenant la technique d'interaction comme facteur intra-sujet. Le principal effet de la technique s'est avéré significatif sur le temps d'acquisition des cibles ($F(3/57)=30.08$, $p<0.001$; voir Tableau 1 et Figure 42), montrant que la *RadarView* était la technique la plus rapide pour atteindre les cibles ($p=0,001$), que le *Doigt Laser* était la plus lente ($p=0,001$) tandis que le *Canon Laser* et la *Règle magique* n'étaient pas significativement différentes l'une de l'autre en terme de vitesse d'acquisition.

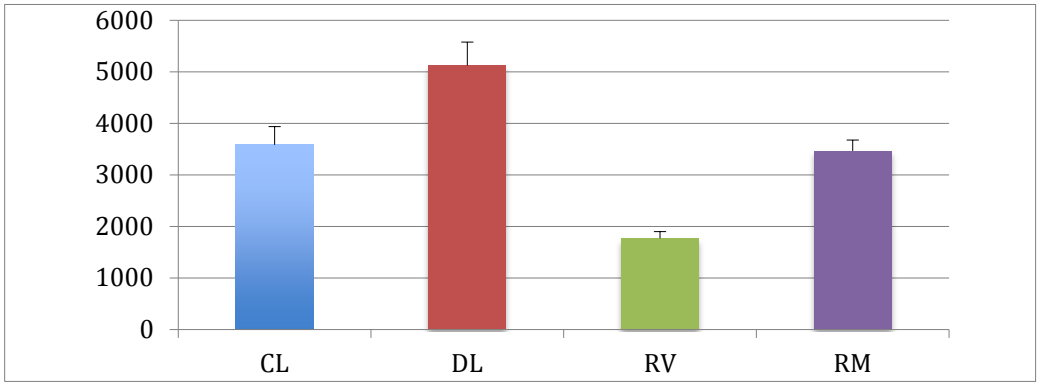


Figure 42 - Temps d'acquisition moyen en ms et écart type pour le Canon-Laser (CL), Doigt-Laser (DL), la RadarView (RV) et la Règle Magique (RM).

Nous avons aussi constaté un effet principal significatif de la technique d'interaction sur la précision dans l'acquisition de la cible ($F(3/57)=50,64$, $p<0.001$, voir Figure 43) : la *RadarView* était significativement meilleure que la *Règle Magique* ($p=0.001$), elle-même significativement meilleure que le *Canon Laser* ($p<0.001$). La technique la moins précise était le *Doigt Laser* ($p=0.002$).

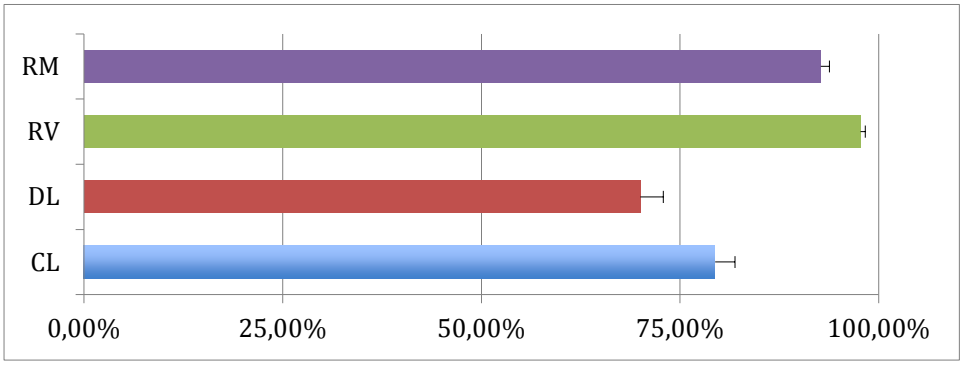


Figure 43 - Taux de précision moyen et écart type pour le Canon-Laser (CL), le Doigt Laser (DL), la RadarView (RV) et la règle magique (RM).

5.3.4.2 *Effet du nombre d'objets*

L'effet du nombre d'objets affichés (12, 32, 100, 200) a été testé sur un ensemble réduit d'informations avec une seule condition de taille de la cible (petite, c'est-à-dire 12 mm de diamètre), ce qui représentait 38,1 % des données. Le nombre d'objets affichés et la technique d'interaction étaient utilisés comme facteurs intra-sujets. Cette analyse nous a montré que le nombre de distracteurs avait une influence sur le temps d'acquisition ($F(3/57)=56.74$, $p<0.001$) : le temps nécessaire pour sélectionner une cible augmentant significativement avec le nombre total d'objets présent sur la surface.

Nous avons aussi observé un effet d'interaction entre la technique de sélection et le nombre d'objets ($F(9/171)=6.25$, $p<0.001$, voir Figure 44) indiquant que l'influence du nombre d'objets était plus importante avec le *Doigt Laser* et la moins importante avec la *RadarView*.

Le nombre d'objets avait aussi un effet principal sur la précision de l'acquisition ($F(3/57)=37.42$, $p<0.001$), avec une précision diminuant significativement lorsque le nombre de distracteurs augmente . L'effet d'interaction entre le nombre d'objets et la technique de sélection était tout aussi significatif ($F(9/171)=6.69$, $p<0.001$, voir Figure 45). Fidèlement aux résultats précédents, l'influence du nombre d'objets était la plus grande sur le *Doigt Laser* et la plus petite sur la *RadarView*.

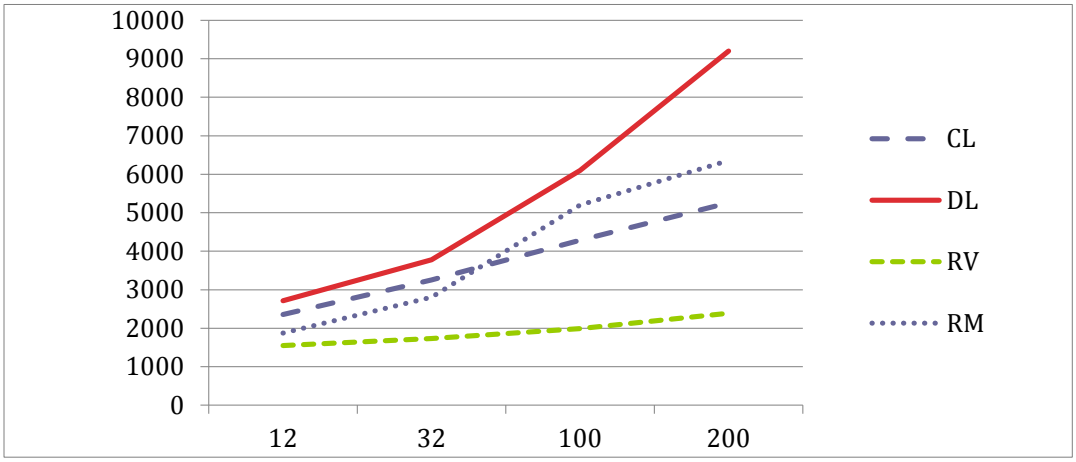


Figure 44 - Temps d'acquisition moyen pour chaque technique (Canon-Laser CL, Doigt-Laser DL, RadarView RV et RègleMagique RM) en fonction du nombre d'objets.

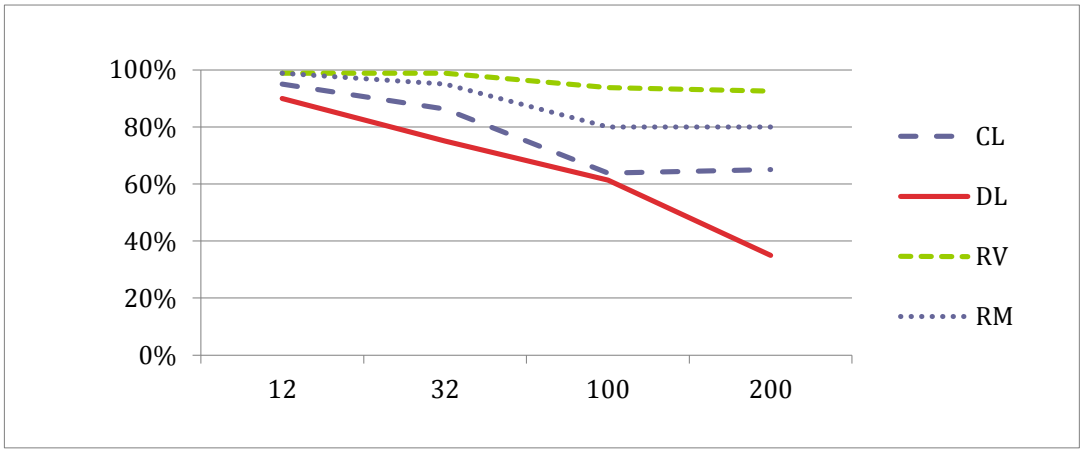


Figure 45 - Précision de chaque technique en fonction du nombre d'objets.

5.3.4.3 *Effet de la taille de objets*

Une dernière série d'analyses a été faite sur un autre ensemble réduit de données : les essais avec 12 ou 32 objets affichés, ce qui représentait 57.1% des données collectées. Des ANOVAs furent calculées avec les techniques de sélection, la taille des cibles (petite = 12mm, moyenne = 42mm, large = 66mm) et le nombre d'objets (12 ou 32) comme facteurs intra-sujet. Cette nouvelle analyse a montré que l'effet de la taille de la cible n'était par significatif ni sur le temps d'acquisition ($F(2/38)=0.97$, NS) ni sur la précision de la sélection ($F(2/38)=1.85$, NS).

5.3.4.4 *Données subjectives*

Chaque échelle d'évaluation a été analysée comme moyenne d'une ANOVA avec la technique de sélection en tant que facteur intra-sujet (voir Figure 46). Nous avons observé un effet significatif de la technique de sélection sur l'appréciation générale des participants ($F(3/57)=19.93$, $p<0.001$), avec la *RadarView* comme technique la mieux notée ($p=0.004$), ensuite le *Canon Laser* et la *Règle Magique* ayant des scores non significativement différents l'un de l'autre, et finalement le *Doigt Laser* ayant significativement reçu les moins bonnes notes ($p=0.008$). Le même schéma s'est appliqué à la notation du confort d'utilisation des techniques ($F(3/57)=27.36$, $p<0.001$).

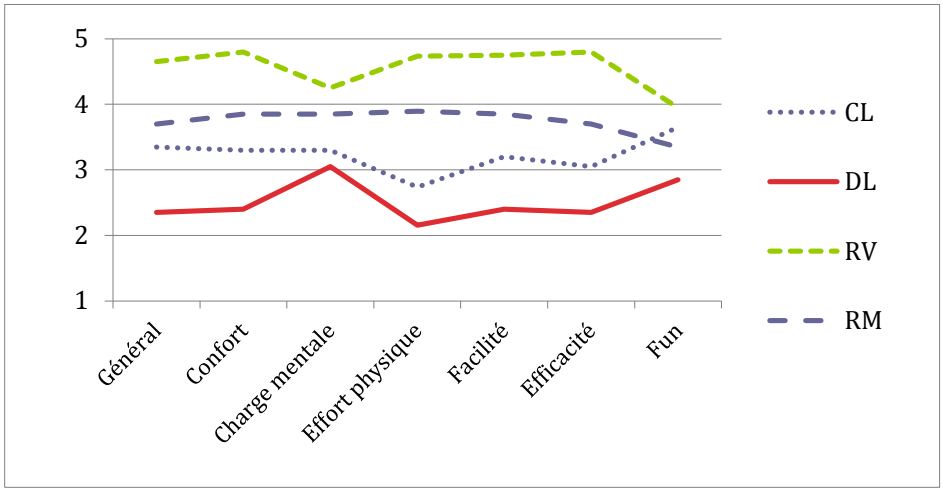


Figure 46 - Scores moyens de chaque technique (Canon Laser CL, Doigt Laser DL, RadarView RV et Règle Magique RM) dans plusieurs notes subjectives (les scores élevés représentant les opinions positives)

Concernant la charge mentale ($F(3/57)=5.63$, $p=0.002$), la *RadarView* a été mieux notée (i.e. nécessitant une charge mentale moins importante, $p=0.004$) que les trois autres techniques qui ont été évaluées de façon équivalentes par les participants. Au niveau de l'effort physique à fournir, la *RadarView* a été considérée comme la technique la moins exigeante ($F(3/57)=34.75$, $p<0.001$), suivie par la *Règle Magique* ($p=0.001$), alors que le *Canon Laser* et le *Doigt Laser* furent jugées équivalents.

A propos de la facilité d'utilisation ($F(3/57)=19.16$, $p<0.001$), encore une fois la *RadarView* a obtenu les meilleures notes ($p=0.004$), le *Canon Laser* et la *Règle Magique* sont arrivés ensuite avec des évaluations similaires, et finalement le *Doigt Laser* a été noté comme la technique la moins facile à utiliser ($p=0.022$). Nous avons constaté le même classement l'efficacité ($F(3/57)=28.12$, $p<0.001$).

L'évaluation du « fun » généré par chaque technique était cependant différente ($F(3/57)=3.62$ av, $p=0.018$) car le *Canon Laser* et la *RadarView* ont été notés comme les techniques les plus amusantes ($p=0.074$) et non significativement différentes l'une de l'autre. Le *Doigt Laser* et la *Règle Magique* avaient de moins bons scores sans être significativement différents non plus.

Nous avons converti les classements d'ordre de préférence en scores (de 0 à 3 ; le premier rang équivalent à 3 points). Cet ensemble de données ($F(3/57)=36.56$, $p<0.001$) a confirmé que la *RadarView* était la technique préférée ($p<0.001$), que le *Canon Laser* et la *Règle Magique* étaient équivalents et finalement que le *Doigt Laser* était la technique la moins appréciée ($p=0.008$) (voir Figure 47).

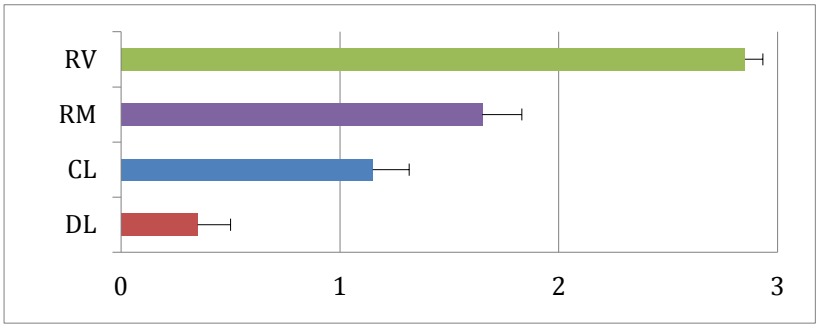


Figure 47 - Scores moyens de préférence (0 à 3) de chaque technique de sélection

Voici pour finir les résultats concernant le choix de la technique selon la situation (voir Figure 48). La *RadarView* a été choisie pour sélectionner les cibles les plus petites ($F(3/57)=22.61$, $p<0.001$), la *Règle Magique* étant parfois aussi choisie alors que les deux techniques lasers ne l'ont pas été une seule fois. Pour les cibles de grande taille ($F(3/57)=4.56$, $p=0.006$), la *RadarView* et la *Règle Magique* ont été toutes les deux choisies. Significativement moins de participants ont choisi le *Canon Laser* et le *Doigt Laser*. En ce qui concerne la sélection d'un objet lorsqu'il y a peu de distracteurs sur la surface, aucune technique n'a été significativement choisie plus souvent que les autres ($F(3/57)=1.65$, NS). Enfin, pour sélectionner une

cible alors qu'il y a un nombre élevé de distracteurs, la *RadarView* a été significativement choisie plus souvent que les trois autres techniques ($F(3/57)=29.78$, $p<0.001$).

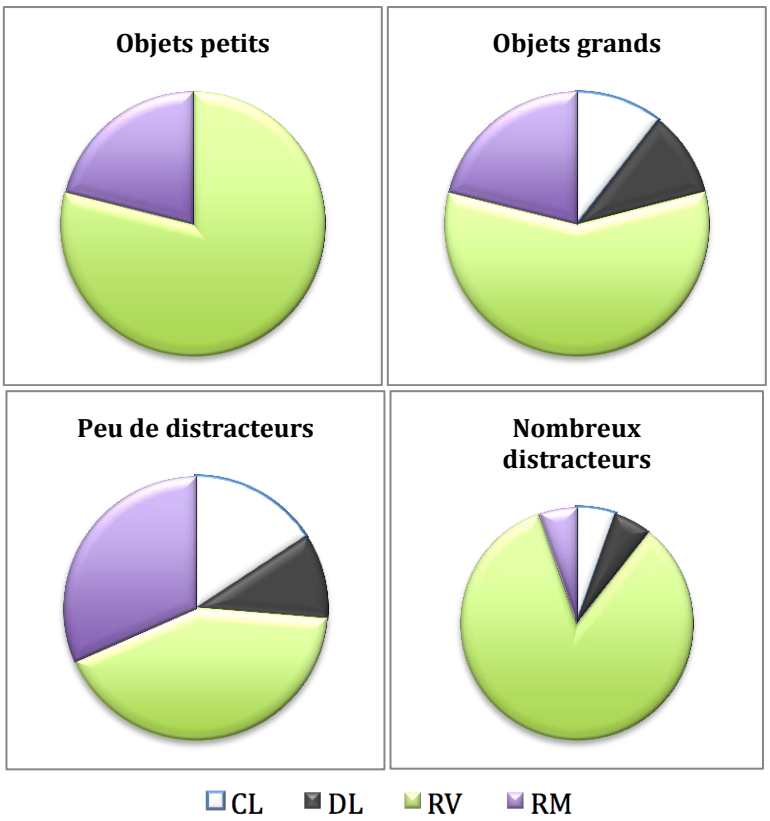


Figure 48 - Perception de l'adéquation de chaque technique à des conditions spécifiques.

5.3.5 Expérience : discussion

Les deux indices de performance que nous avons collectés, le temps d'acquisition d'une cible et le taux de précision, ont abouti à des résultats fiables et ont montré que la *RadarView* étaient significativement la meilleure des quatre techniques comparées. Nous discutons ici de leurs qualités et faiblesses.

5.3.5.1 Des techniques pas convaincantes

Le Canon Laser et le Doigt Laser nous semblaient attractifs et s'appuyaient sur un visuel évocateur. Les participants ont trouvé ces deux techniques originales. Cependant, leurs impressions se détérioraient au cours de l'expérience. Nous pensons que ces deux techniques n'étaient pas adaptées aux situations où il y a plusieurs objets compactés ou alignés, ce qui pourrait expliquer leurs faibles performances dans notre expérience où le nombre de distracteurs est élevé.

Doigt Laser. La plupart des commentaires reçus concernaient l'effort physique exigé qui provoquait des douleurs au poignet, en particulier si un droitier/gaucher cherchait à pointer vers la droite/gauche. De plus, beaucoup de participants ont trouvé le *Doigt Laser* imprécis car beaucoup trop sensible. L'utilisation de l'orientation du doigt dans une interface tabletop est une idée originale mais notre système de détection n'était pas assez robuste. Un petit mouvement du doigt provoquait parfois une soudaine variation de l'angle du cône laser. De plus, pour que le doigt soit correctement perçu par la caméra, l'utilisateur devait plier tous ses autres doigts, ce que plusieurs ne faisaient pas naturellement. Enfin, tous les essais où il y avait de nombreux distracteurs (100 et 200) étaient particulièrement difficiles avec cette technique, ce qui a selon nous accentué la frustration des participants.

Canon Laser. Le principal défaut du Canon Laser résidait dans sa grande rigidité : l'origine de l'arc était fixée à la pose du doigt. Ainsi les participants devaient réfléchir avant de poser le doigt au meilleur angle pour éviter les alignements d'objets entre le laser et la cible. Plusieurs participants nous ont confirmé que le *Canon Laser* aurait nécessité plus d'entraînement. Toutefois, les résultats de cette technique étaient

meilleurs que ceux du *Doigt Laser* car son fonctionnement permettait une meilleure précision pour moins d'efforts physiques.

Règle Magique. La règle magique a montré de bonnes performances aussi bien en précision qu'en vitesse d'acquisition et a été assez appréciée des participants. Néanmoins, la critique la plus récurrente concernait la charge mentale qu'elle impliquait parce « qu'il n'était pas évident d'associer la localisation de la cible avec la bonne graduation sur la règle ». En particulier, sur la règle les objets étaient ordonnés par l'abscisse sans considération de leur taille, ce qui a été source d'ambigüité durant les essais où toutes les cibles n'avaient pas la même taille. En contrepartie, la *Règle Magique* occupait peu d'espace sur la table et s'est révélée intuitive et précise (92.7% de précision dans notre expérimentation). Enfin, cette technique a été jugée confortable car les participants posaient leur doigt sur la règle, approximativement en face de l'objectif, et le glissait vers la droite ou la gauche jusqu'à cibler l'objet souhaité.

5.3.5.2 La RadarView : forces et faiblesses

Nous avons été surpris que la RadarView surpasse les trois autres techniques sur tous les plans. Les utilisateurs l'ont apprécié parce qu'elle était rapide, précise et qu'elle demandait peu d'efforts. Plusieurs participants nous ont expliqué qu'ils ne regardaient pas à l'intérieur de la vue réduite et utilisaient cette technique comme un trackpad inséré dans la tabletop pour déplacer le curseur jusqu'à la cible. D'après les utilisateurs, la *RadarView* était de loin la meilleure des techniques pour sélectionner les plus petites cibles ou quand il y avait de nombreux distracteurs.

Toutefois, la *RadarView* n'est pas une technique parfaite [Nacenta 2005]. Son principal revers est que pour être efficace, la vue miniature doit être assez grande sinon le changement d'échelle rend son contrôle imprécis et les informations affichées illisibles. En conséquence, une *RadarView* efficace occupe constamment de l'espace sur la table. Cela empêche les utilisateurs d'agir sur des objets qui se trouveraient sous la vue ou les concepteurs d'application d'utiliser cet espace. Dans notre implémentation, la *RadarView* représentait 1/5 de la surface globale. Avec quatre utilisateurs en même temps ayant chacun une *RadarView* devant eux, l'espace dédié à cette technique est considérable (voir Figure 49).

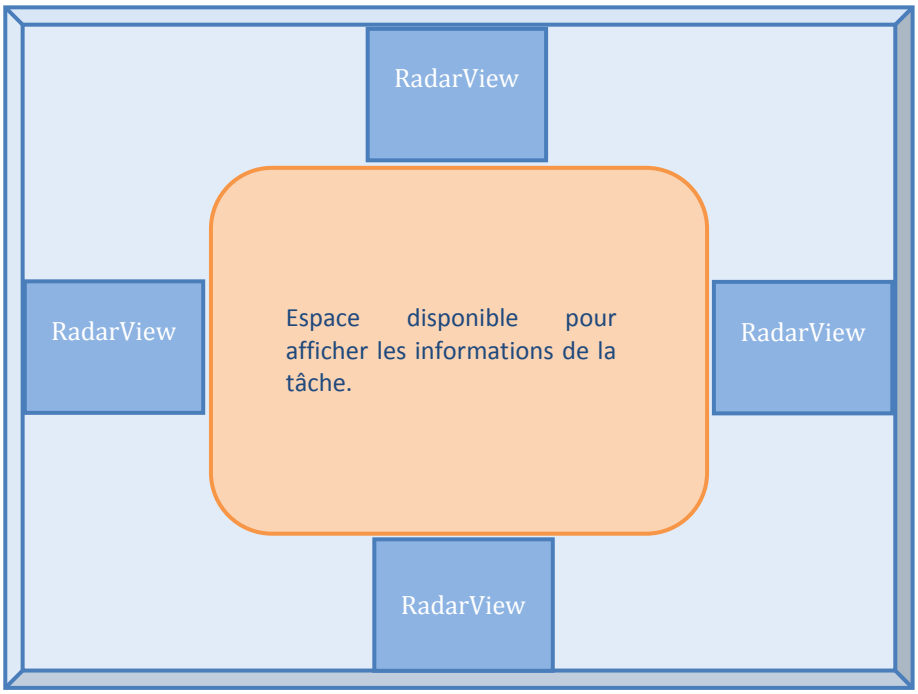


Figure 49 - Représentation de l'espace occupé par les *RadarViews* de quatre utilisateurs d'une table interactive. La zone orange représente l'espace de groupe disponible pour afficher des informations. Bien que toujours disponibles, les coins perdent en utilité.

Une autre limite est que toutes les informations ne peuvent apparaître dans la vue miniature. Celle-ci conserve la position des objets les uns par rapports aux autres, elle peut représenter quelques informations par la couleur ou la forme des miniatures mais difficilement plus. La vue réduite sert de

résumé schématique de l'interface. Ainsi, lorsque les utilisateurs agissent sur la *RadarView*, ils sont fréquemment contraints de passer de la vue réduite à la vue globale, ce qui n'est pas confortable.

5.3.6 Implémentation dans RealTimeChess

Après cette expérience, nous avons décidé d'implémenter les techniques *Doigt* et *Canon Laser* ainsi que la *RadarView* dans *RealTimeChess*. Notre but était de voir si dans une utilisation réelle on observerait des performances différentes. Dans *RealTimeChess*, ces techniques permettaient de sélectionner à distance l'une de ses pièces. Nous n'avons cette fois-ci pas réalisé d'expérience contrôlée pour les évaluer et avons simplement fait tester les techniques à quelques membres ou visiteurs du laboratoire lors de démonstrations informelles. La RadarView a été la plus appréciée et vraisemblablement la plus efficace des techniques.

5.3.6.1 Le rayon laser toujours pas convaincant

Pour utiliser le *Doigt Laser* ou le *Canon Laser* dans *RealTimeChess*, le joueur devait poser son doigt sur la table à un endroit où il n'y avait pas déjà l'une de ses pièces, puis le laisser immobile un court instant (inférieur à une seconde). Le cône laser apparaissait alors, et s'utilisait comme dans l'expérience décrite précédemment (voir Figure 50).

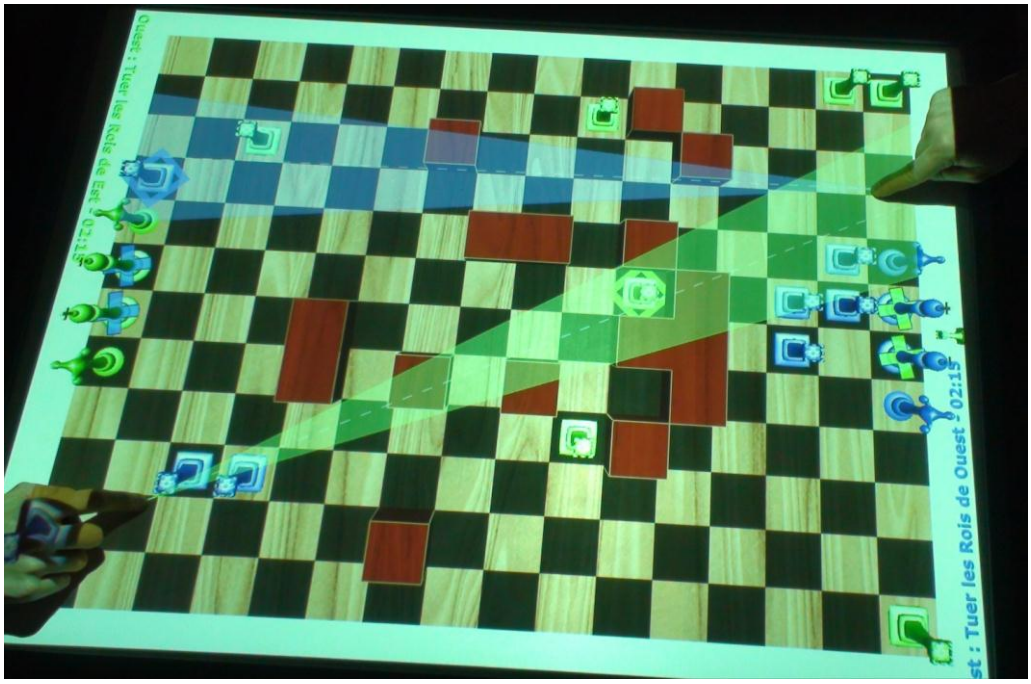


Figure 50 - Implémentation de la technique Doigt Laser dans *RealTimeChess*.

L'intégration du *Doigt Laser* dans *RealTimeChess* a confirmé les résultats de l'expérience : la technique était difficile à utiliser et physiquement inconfortable, quoiqu'il y ait eu moins de distracteurs. En contraste, le Canon Laser nous a semblé plus approprié, il se montrait précis et compréhensible. Toutefois, nous avons constaté que les joueurs n'avaient pas le réflexe d'utiliser la sélection à distance alors qu'on leur avait expliqué son fonctionnement.

Les joueurs essayaient cette technique une où deux fois seulement, ils n'y pensaient plus par la suite. Ils optaient ainsi pour la sélection directe quitte à tendre le bras au dessus de la table et gêner les autres. Laisser son doigt appuyé et immobile pour faire apparaître le laser ne semblait d'ailleurs pas intuitif. Notre interprétation est qu'utiliser la sélection à distance sous cette forme là demandait un entraînement plus long : il manquait aux joueurs novices les stratégies d'utilisation et l'habitude d'alterner entre interaction directe et interaction à distance. En conséquence, elles n'étaient pas pertinentes pour des joueurs débutants et occasionnels de *RealTimeChess*.

Après des premiers résultats mitigés, nous avons fait le choix de ne pas tester la *Règle Magique* dans *RealTimeChess* et de nous concentrer sur la *RadarView*.

5.3.6.2 Une Bubble-RadarView améliorée

Après la avoir testé sans succès les deux techniques de Laser, nous avons décidé d'implémenter la *RadarView* dans *RealTimeChess*. Nous redoutions l'importante surface occupée par la *RadarView* et qui serait perdue pour le jeu. Nous avons donc apporté quelques modifications par rapport à sa précédente implémentation de façon à ce qu'elle s'intègre mieux à *RealTimeChess*.

Le problème étant l'espace occupé lorsque qu'elle n'est pas utilisée, nous avons cherché comment limiter cette occupation. Nous nous sommes inspirés de la métaphore d'un calepin qu'un utilisateur sortirait de son sac pour y écrire dessus ponctuellement avant de le ranger. Ainsi, la *RadarView* implémentée dans *RealTimeChess* est collée sur le bord de la table et par défaut dans l'état : fermée (voir Figure 51-A). En posant son doigt dessus, l'utilisateur la fait temporairement apparaître (voir Figure 51-B). En glissant son doigt, il déplace le curseur distant jusqu'à une pièce et relève le doigt pour la sélectionner, la *RadarView* se referme alors automatiquement (voir Figure 51-C).

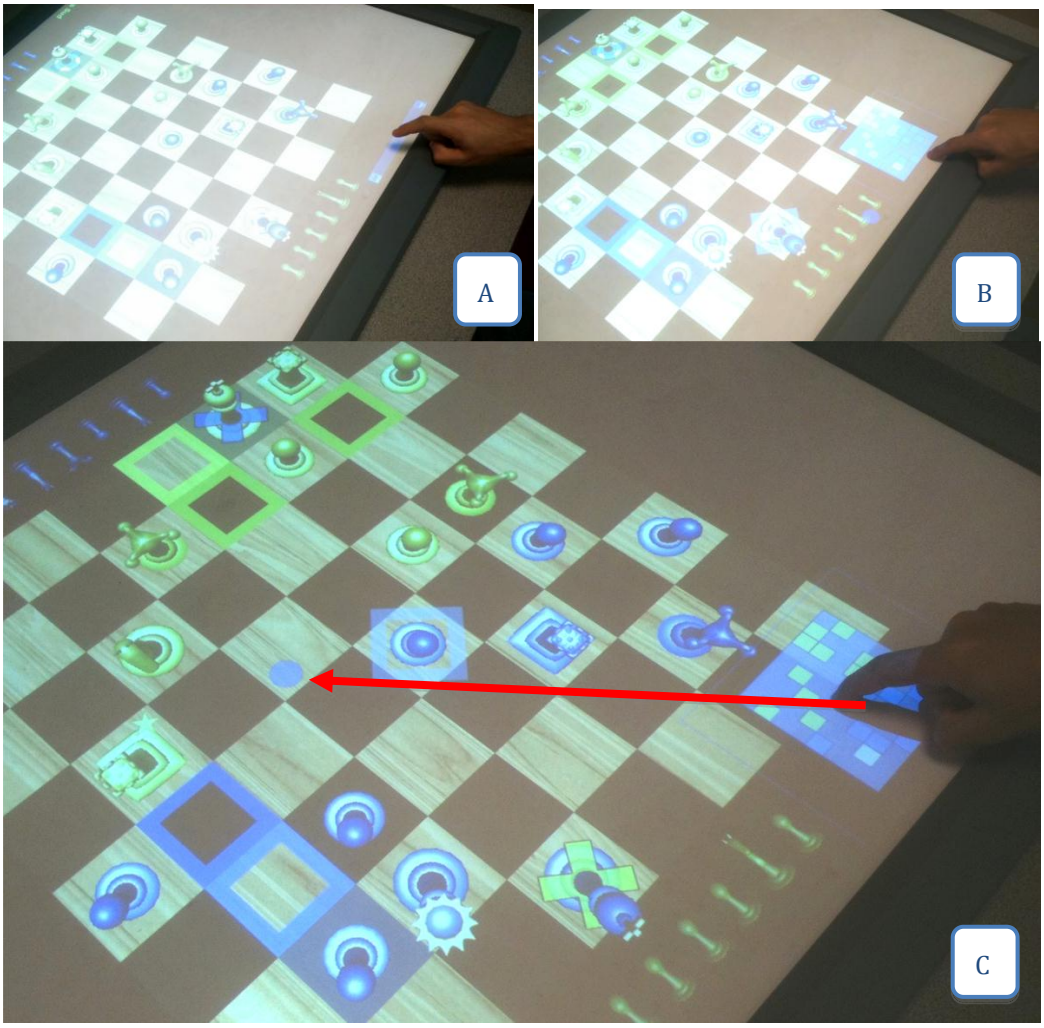


Figure 51 - Utilisation de la *RadarView* dans *RealTimeChess*.
Image A : la *RadarView* est fermée.
Image B : l'utilisateur vient de poser son doigt sur la *RadarView* pour la faire apparaître.
Image C : il glisse son doigt à l'intérieur de la *RadarView* pour contrôler le curseur distant. Au relâchement du doigt, la pièce la plus proche du curseur est sélectionnée.

Deux membres du laboratoire, extérieurs à notre équipe, ont participé à la conception de cette nouvelle *RadarView*. Leur première critique reposait justement sur notre proposition d'utilisation en laissant son doigt appuyé. Un des deux testeurs a suggéré qu'il y ait la possibilité de décider au cours de l'utilisation si *RadarView* devait être affichée ou cachée. Par ailleurs, ils souhaitaient qu'elle soit affichée dans le coin

plutôt au centre. En nous basant sur leurs suggestions, nous avons ajouté deux fonctions d'économie de l'espace visuel, soit en cachant la *RadarView* soit en la déplaçant sur un endroit plus approprié, tout en la rendant plus flexible et personnalisable. Ces deux fonctions sont représentées par des boutons aux extrémités de la *RadarView* (voir Figure 52). Le premier permet de la verrouiller en mode ouverte pour qu'elle reste affichée en permanence. L'utilisateur peut décider de la refermer à tout moment en appuyant à nouveau sur ce bouton. L'autre option sert à déplacer la *RadarView* le long du bord de la table.

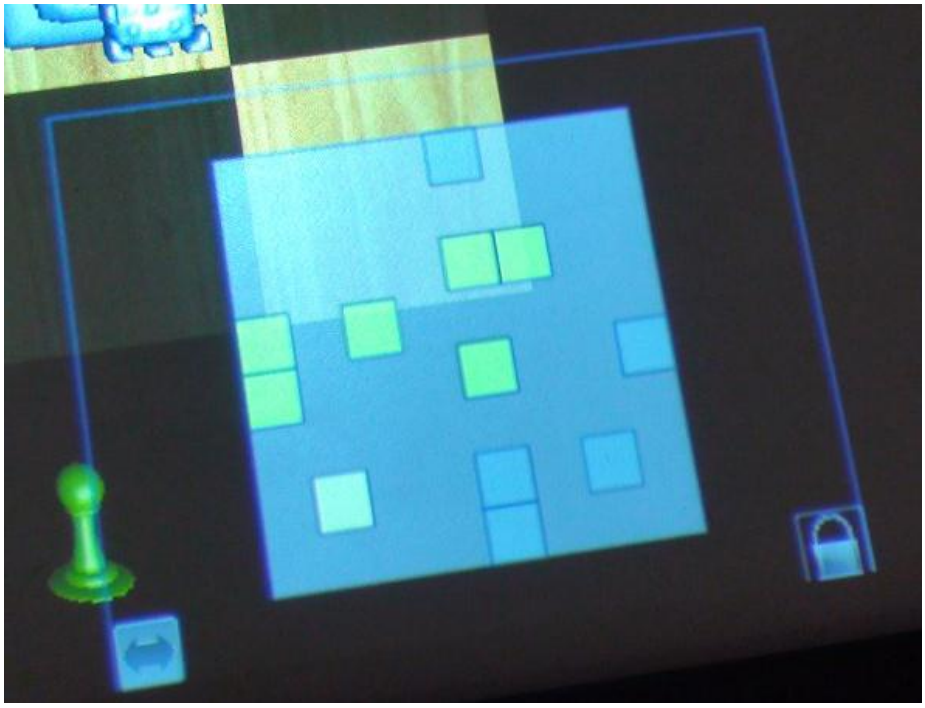


Figure 52 - *RadarView* personnalisable. Le bouton flèches (à gauche) permet de la glisser le long du bord. Le bouton Cadenas (à droite) de la maintenir affichée ou cachée.

Les tests suivants ont révélé un problème de précision lors de la sélection. Sur les plateaux de jeu les plus grands, où les pièces d'échecs étaient affichées relativement petites, il était difficile pour les utilisateurs de positionner rapidement le curseur distant sur la pièce que l'on voulait sélectionner. Nous avons résolu ce problème en reprenant le fonctionnement de la *BubbleRadar* [45], une nouvelle version de la traditionnelle *RadarView* combinée avec un *BubbleCursor* [107]. Le *BubbleCursor* consiste à faire varier dynamiquement la taille du curseur de façon à ce qu'il y ait toujours au moins un objet sélectionnable ; autrement dit l'objet le plus proche du centre du curseur quel que soit la distance entre eux. Ce système a amélioré le confort de sélection et il suffisait généralement d'approcher le curseur d'une pièce pour que le système la cible.

Après avoir intégré à *RealTimeChess* des techniques efficaces pour sélectionner et déplacer les pièces à distance, nous nous sommes demandés quelle serait leur adéquation avec les techniques d'interaction directes déjà existantes. Nous décrivons dans la partie suivant l'expérience menée pour répondre à cette question.

5.4 Interaction directe et interaction à distance

Dans cette dernière partie du chapitre, nous décrivons une expérience qui consistait à mettre des utilisateurs, par groupe de 2 et de 4, en situation d'interaction simultanée avec un potentiel de gênes important. Les utilisateurs avaient le choix entre des techniques d'interaction directes et à distance. Le but était d'analyser l'adéquation de ces deux modalités dans un cadre concret.

5.4.1 Adéquation des deux modes d'interaction

Après avoir cherché les meilleures techniques pour sélectionner et déplacer les pièces à distance, après avoir intégré et testé à nouveau ces techniques dans *RealTimeChess*, nous avons mené une expérience contrôlée pour étudier comment elles s'appliquent dans une situation de jeu. Pour cette expérience, les deux techniques d'interaction à distance sont la *RadarView* pour la sélection et le lancer inertiel pour le déplacement.

5.4.1.1 Design de l'expérience

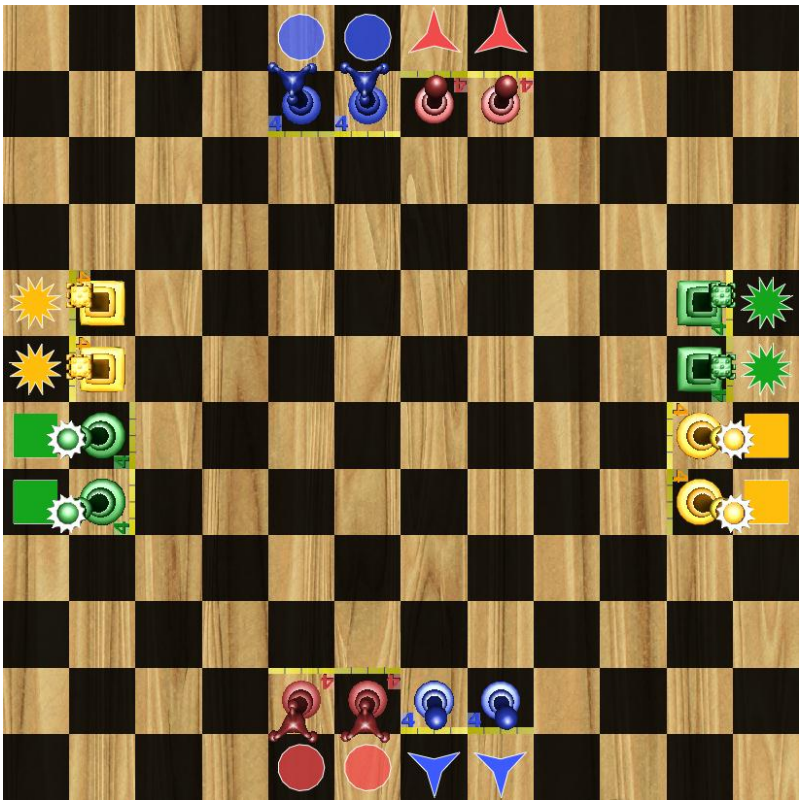


Figure 53 - Plateau de jeu : chaque joueur doit amener ses pièces sur les cases de couleurs au côté opposé.

Nous avons conçu les techniques d'interaction « à distance » pour aider les utilisateurs et supporter l'interaction simultanée. Leur fonction n'était pas de se substituer complètement à l'interaction directe. Nous avons introduit l'interaction à distance comme un moyen de diminuer la gêne. Néanmoins, nous avons constaté qu'il s'agit d'un mode d'interaction moins naturel que l'interaction directe. Nous souhaitons maintenant savoir si l'interaction à distance sera utilisée, à quelle situation elle conviendra et comment les utilisateurs s'approprieront ces techniques. De plus, nous avons identifié des besoins différents à deux et à quatre utilisateurs et nous souhaitons comparer l'utilisation des techniques d'interactions à distance dans ces deux cas.

Nous avons cherché une tâche qui demanderait aux participants d'interagir simultanément. Comme pour les premières expériences qui ont révélé le besoin d'interaction à distance, nous proposons une tâche ludique dont la conception favoriserait volontairement les gênes. Nous avons retenu deux types de gênes à mettre en œuvre. Premièrement, les gênes physiques : les mains des utilisateur devraient atteindre les mêmes zones ; deuxièmement les gênes virtuelles : les pièces des utilisateurs pourraient se bloquer entre

elles et il reviendrait aux utilisateurs de résoudre les conflits. Nous avons enfin choisi de ne pas mettre en compétition les utilisateurs entre eux afin que les gênes soient un facteur d'échec plutôt qu'une stratégie de jeu.

Nous avons conçu un jeu appelé « la relève des soldats » dont voici les règles pour un groupe de quatre joueurs :

- chaque joueur possède au total quatre pièces (« soldats ») et son but est d'amener ses pièces sur des cases destinations ;
- les deux premières pièces sont initialement proches du joueur et les deux autres sont à l'autre bout d la table ;
- les pièces proches doivent échanger leur place avec les pièces éloignées (voir Figure 53) ;
- toutes les pièces se déplacent de la même manière : d'une seule case à la fois dans les quatre directions suivantes : vers le haut, le bas, la gauche ou la droite (pas de déplacement en diagonal) ;
- les joueurs ne peuvent pas prendre les pièces des autres mais leurs pièces peuvent se bloquer entre elles ;
- le jeu se finit quand tous les joueurs ont pu déplacer leurs pièces sur les cases destinations. La tâche est terminée lorsque tout le groupe a terminé et le temps de jeu sert de score de performance.

Bien que toutes les pièces se déplacent de la même manière, chaque joueur en a deux types : les pièces qui doivent être emmenées à l'autre bout et celles qui doivent être ramenées vers soi. La couleur identifiant les joueurs, nous avons utilisé l'apparence des pièces d'échecs pour représenter leur type et leur destination. Les cases destinations sont indiquées par des formes évoquant les « chapeaux » des pièces (voir Figure 54).



Figure 54 - Types des pièces et destinations correspondantes.

Nous avons utilisé une variante du système de rechargement des pièces décrit au chapitre 4.2.4.4. Cette variante consiste à l'introduction par pièce d'une énergie utilisée pour la déplacer. Chaque déplacement d'une case coûte 25 % d'énergie, ce qui permet aux pièces de faire plusieurs déplacement successivement ; au maximum quatre à la suite. Lorsqu'une pièce n'a plus assez d'énergie, elle ne peut plus se déplacer. L'énergie remonte d'elle même avec le temps, alors que symboliquement la pièce se repose (voir Figure 55).

Cette variante était plus adaptée à cette tâche et nous semblait plus réaliste que le système original des temps de recharge qui impose aux joueurs de sélectionner une pièce et de la déplacer aussi souvent.

Le nouveau jeu que nous venons de décrire nous a permis de proposer exactement la même tâche aux groupes de deux et aux groupes de quatre joueurs : il y a autant de pièces à déplacer dans les deux situations. Le jeu pour deux joueurs garde la même configuration excepté que chaque joueur doit gérer huit pièces au lieu de quatre (voir Figure 56).

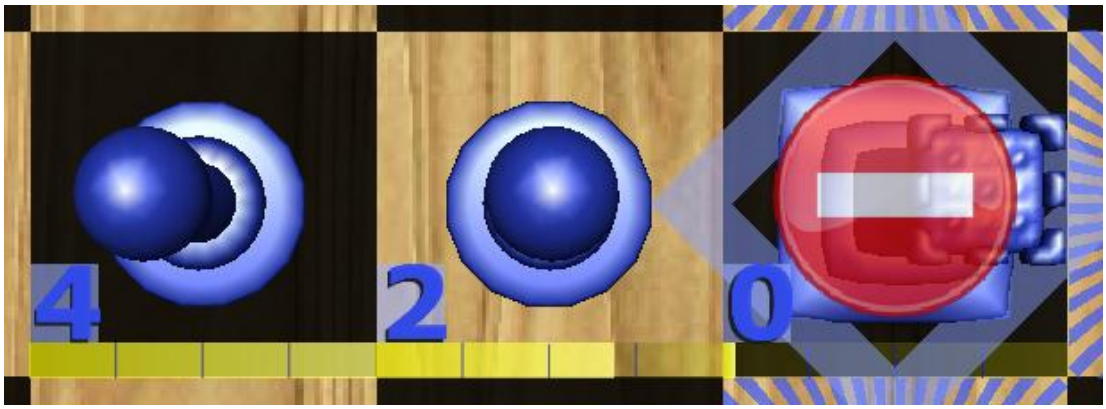


Figure 55 - Représentation du niveau d'énergie d'une pièce – le nombre de déplacements possibles est affiché à côté. A gauche : la pièce a 100% d'énergie. Au milieu : la pièce a environ 60% d'énergie. A droite : la pièce n'a plus assez d'énergie pour se déplacer, un panneau « Interdit » indique à l'utilisateur qu'elle est immobilisée.

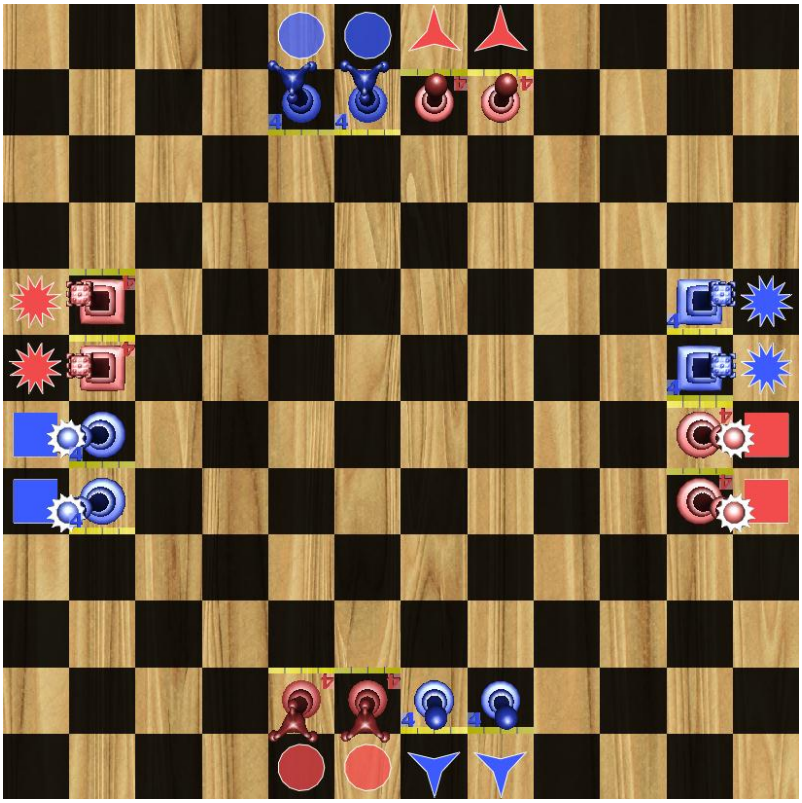


Figure 56 - Plateau de jeu pour deux joueurs. Chaque joueur doit gérer 8 pièces au lieu de 4 en version pour quatre joueurs.

Pour interagir avec le jeu, les joueurs pouvaient librement choisir entre l'interaction directe et l'interaction à distance. Durant l'expérience, nous avons distingué les quatre techniques suivantes :

- La sélection directe : toucher la pièce avec son doigt pour la sélectionner.
- Le déplacement direct : une pièce est sélectionnée ; toucher une case destination disponible.
- La sélection à distance : la *RadarView* affiche une vue simplifiée du plateau où les pièces sont représentées par des carrés de la même couleur que le joueur. Le type des pièces n'est pas spécifié. Poser son doigt sur un carré pour sélectionner la pièce correspondante.
- Le déplacement à distance : une pièce est sélectionnée ; poser son doigt sur la surface de la table et effectuer un geste de lancer inertiel dans une direction (haut, bas, gauche ou droite) déplace la pièce dans cette direction si la case est disponible.

5.4.1.2 Hypothèses

Avant cette dernière expérience, nos hypothèses étaient les suivantes :

- Les groupes de quatre utilisateurs seront plus performants que les groupes de 2. Les utilisateurs auront l'impression d'être plus performants à 4 qu'à 2.
- Les techniques d'interaction à distance seront utilisées.
- L'interaction à distance sera plus souvent utilisée dans les groupes de quatre que dans les groupes de 2 joueurs.
- Les participants utiliseront plus fréquemment les techniques d'interaction à distance pour sélectionner et déplacer les pièces éloignées que les pièces proches. Inversement : l'interaction directe sera plus utilisée pour les pièces proches que pour les pièces éloignées.
- Les utilisateurs n'auront pas la même perception des techniques à distance en groupe de 2 et en groupe de à 4 ; et les techniques d'interaction à distance seront jugées plus utiles à 4 qu'à 2.

5.4.2 Protocole de l'expérience

16 participants ont participé à l'expérience. Ils étaient membres du laboratoire, pour la plupart stagiaires ou doctorants. Parmi eux, 10 avait déjà participé à au moins une expérience sur notre table tactile et 6 la découvrait. L'expérience se faisait par groupe de deux et par groupe de quatre. Tous les participants expérimentent les deux conditions. La moitié des participants ont commencé une séance à 2 joueurs pour finir à 4 et inversement. Tout au long de l'expérience, les participants conservaient la même place autour de la table (i.e. : ceux qui était sur un petit côté de la table à 4 restaient sur le même petit côté à 2).

Que ce soit pour un groupe de deux ou un groupe de quatre, l'expérience commençait par une découverte de la table et une explication de son fonctionnement. Puis différentes étapes d'entraînement permettaient d'apprendre à utiliser les quatre techniques d'interaction : sélection et déplacement directs, sélection et déplacement à distance. L'entraînement avait pour but de présenter le plateau, l'apparence des pièces, les feedbacks et enfin de bien comprendre le mécanisme de consommation d'énergie à chaque déplacement. L'entraînement n'avait pas de durée maximale et l'expérimentateur ne passait à l'étape suivante que lorsque les objectifs de l'étape étaient atteints.

La tâche était ensuite présentée comme un jeu. Les règles et les objectifs de chaque joueur étaient expliqués. Il était précisé aux joueurs qu'ils n'étaient pas en compétition les uns avec les autres. Nous leur avons aussi demandé de ne pas établir de stratégie avant le début du jeu mais qu'ils étaient libres de discuter au cours de la partie. La tâche principale était d'abord réalisée une fois sans enjeux, cet ultime entraînement pouvait être réitéré une deuxième fois si les participants le demandaient. Nous avons fait en sorte que l'évaluation ne commence que lorsque les joueurs avaient totalement compris les règles du jeu et assimilé les techniques d'interaction.

L'expérimentation mesurée consistait en quatre parties de suite. Les joueurs étaient prévenus que leurs performances et leurs actions seraient enregistrées. Nous avons donner comme objectif d'être le plus rapide possible sans chercher à vaincre les autres. Le temps pris par le groupe pour accomplir la tâche n'était pas affiché.

Le système mesurait le temps individuel pour amener toutes ses pièces sur les bonnes destinations. Le système comptabilisait aussi pour chaque participant et pour chaque essai le nombre de sélections directes, le nombre de déplacements directs, le nombre de sélection à distance et le nombre de déplacements à distance. Pour chaque action sur la table, le système distinguait aussi si la cible (pièce sélectionnée ou destination de déplacement) était dans la moitié proche ou la moitié éloignée de la surface par rapport au joueur. L'expérimentateur observait les utilisateurs et notait leurs interventions orales et les problèmes rencontrés.

A la fin de chaque session (à deux et à quatre), les participants complétaient un questionnaire. Ils devaient donner leurs impressions sur la tâche : amusement, efficacité du groupe, efficacité individuelles et gênes ressenties. Puis, ils devaient évaluer chacune des quatre techniques d'interaction en termes d'appréciation, d'utilité et de facilité. Enfin, il leur était demandé de préciser quel mode d'interaction ils avaient utilisé le plus fréquemment : l'interaction directe ou l'interaction à distance. Ces données étaient exprimées en remplissant des échelles de Likert à 5 points.

Après les deux sessions, les participants devaient remplir une dernière partie du questionnaire pour préciser s'ils avaient préféré être en groupe de 2 ou en groupe de 4 ; et enfin donner leur opinion sur différentes propositions de changement dans le design : matériel utilisé, design des techniques d'interaction et de l'interface et besoin de coordination entre les utilisateurs. Pour finir, une interview du groupe permettait aux participants de donner leur opinion sur le jeu, sur les techniques d'interaction et sur la collaboration entre eux. Chaque session durait environ 40 minutes.

Des analyses de variance (ANOVA) ont été menées sur le nombre d'utilisation de chaque technique d'interaction, le temps mis pour finir la tâche et les données subjectives des questionnaires. Toutes les analyses ont été effectuées avec SPSS.

5.4.3 Résultats et discussion

Chacune de nos hypothèses semble avoir été confirmées par les résultats de l'expérience, que nous discutons dans cette partie.

5.4.3.1 Groupe de 4 utilisateurs plus rapides

Notre première hypothèse était que les groupes de deux participants prendraient plus de temps pour réaliser la même tâche qu'à quatre participants. Nous avons effectué des ANOVA sur le temps individuel pour et nous avons constaté un effet principal du type de groupe ($F(1/15)=37,4$; $p<0,001$) : les groupes de 2 prenaient en effet plus de temps à accomplir la tâche (m=109397) que les groupes de 4 (m=80714). On peut néanmoins remarquer qu'il ne fallait pas deux fois plus de temps pour les groupes de deux par rapport aux groupes de quatre. En moyenne, les groupes de deux ont mis 135 % du temps alors qu'ils avaient deux fois plus de pièces à gérer (200%). Nous pensons que la raison principale de cette proportion est la gêne entre les utilisateurs qui est plus fréquente à quatre joueurs.

Nous avons de plus analysé les données subjectives. Le questionnaire demandaient aux utilisateurs s'ils pensaient avoir été plus rapides à deux ou à quatre et nous avons constaté une contradiction entre leurs impressions et leur performance réelle (voir Figure 57) : les participants ont en moyenne estimé avoir été plus rapides en groupe de 2 qu'en groupe de 4.

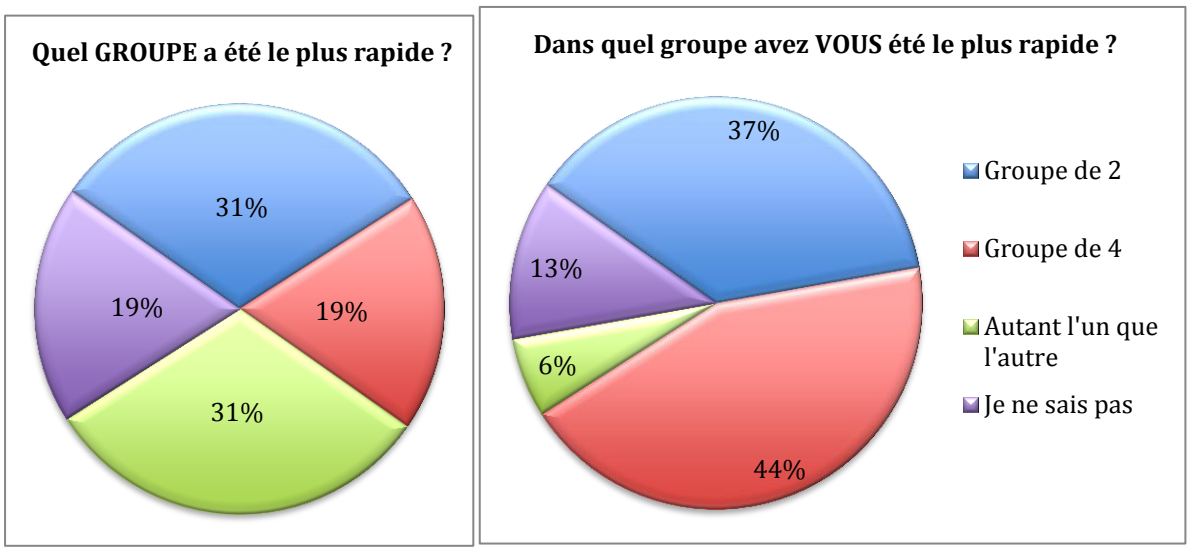


Figure 57 - Perception de la performance collective et de la performance individuelle.

En effet, seulement 19% des participants ont eu l'impression que les groupes de quatre avaient été plus rapides, 31 % pensant qu'il n'y avait pas eu de différences et 31 % autres croyant que les groupes de deux étaient les plus efficaces (19 % ne sachant pas). En revanche, au niveau individuel, 44% des participants ont estimé avoir été plus efficace dans les groupes de 4 contre 37 % plus efficace dans le groupe de 2 (6 % n'ayant pas perçu de différence et 13 % ne sachant pas quoi répondre). Nous pensons que les participants avaient l'impression d'être ralentis par les autres utilisateurs, ce qui pourrait expliquer pourquoi ils ont cru que les groupes de quatre étaient moins rapides. Un participant a dit : « c'était plus facile à 2, il y avait moins de monde. »

Enfin, à la question « quelle a été votre étape préférée ? », nous remarquons des réponses variées comme l'indique le graphique suivant, ce qui pourrait confirmer que la tâche ne semblait pas handicaper une condition de groupe par rapport à l'autre (voir Figure 58).

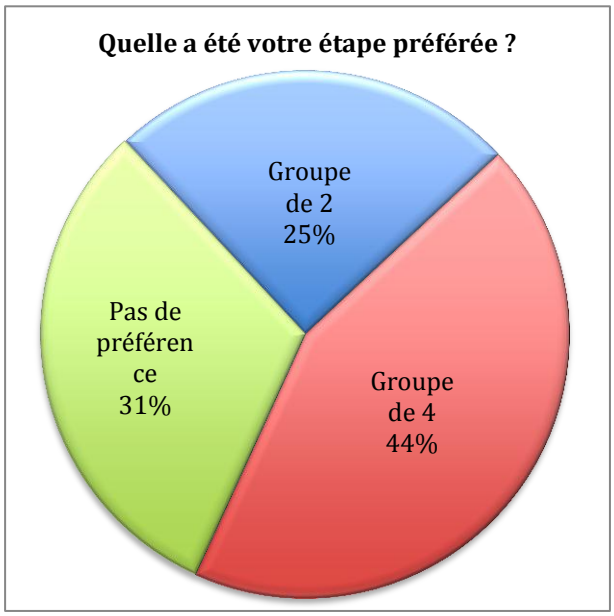


Figure 58 - Etape préférée des participants.

5.4.3.2 Les techniques d'interaction à distance sont utilisées

Nous avons constaté comment les joueurs, grâce aux séances d'entraînement, ont appris à utiliser les deux techniques : la *RadarView* pour sélectionner une pièce et le lancer inertiel pour en déplacer une. Nous avons observé différentes réactions. Certains des joueurs ont rencontré quelques difficultés pour les utiliser et ont préféré se concentrer sur l'interaction directe. Toutefois, la majorité des participants les ont utilisées et appréciées fréquemment. Quelques utilisateurs les ont utilisées presque exclusivement car ils les préféraient aux techniques d'interaction directe. En outre, les participants ont eux-mêmes discuté de l'intérêt de l'interaction à distance pour limiter les gênes entre eux.

5.4.3.3 Interaction à distance plus souvent utilisée à quatre ?

Des ANOVA sur le nombre de déplacements (directs et à distance) pour tous les utilisateurs ont relevé une interaction entre le type de groupe et les techniques d'interaction ($F(1/15)=14,2$; $p=0,002$) : les groupes de 2 utilisaient davantage le déplacement directe et les groupes de 4 le déplacement à distance (voir Figure 59).

De même, des analyses du nombre de sélection (directe et à distance) ont conduit au même résultat ($F(1/15)=21,4$; $p<0,001$) : les groupes de 2 utilisaient davantage la sélection directe et les groupes de 4 la sélection à distance (voir Figure 60).

Ces résultats confirment notre hypothèse que les utilisateurs se servent plus souvent de l'interaction à distance en groupe de 4 qu'en groupe de 2. En effet, selon nos observations et les commentaires des utilisateurs, en groupe de 2, l'autre joueur n'est pas perçu comme une gêne suffisante pour ressentir la nécessité de recourir à l'interaction à distance. Il apparaît aux joueurs toujours possible de placer son bras d'une certaine façon au dessus de la table pour éviter l'autre. En outre, chaque joueur doit contrôler deux fois plus de pièces qu'en groupe de 4. Ainsi, dans la situation où l'autre joueur monopoliserait une zone du plateau, l'utilisateur peut généralement s'occuper de ses autres pièces ailleurs en attendant que l'espace ait été libéré.

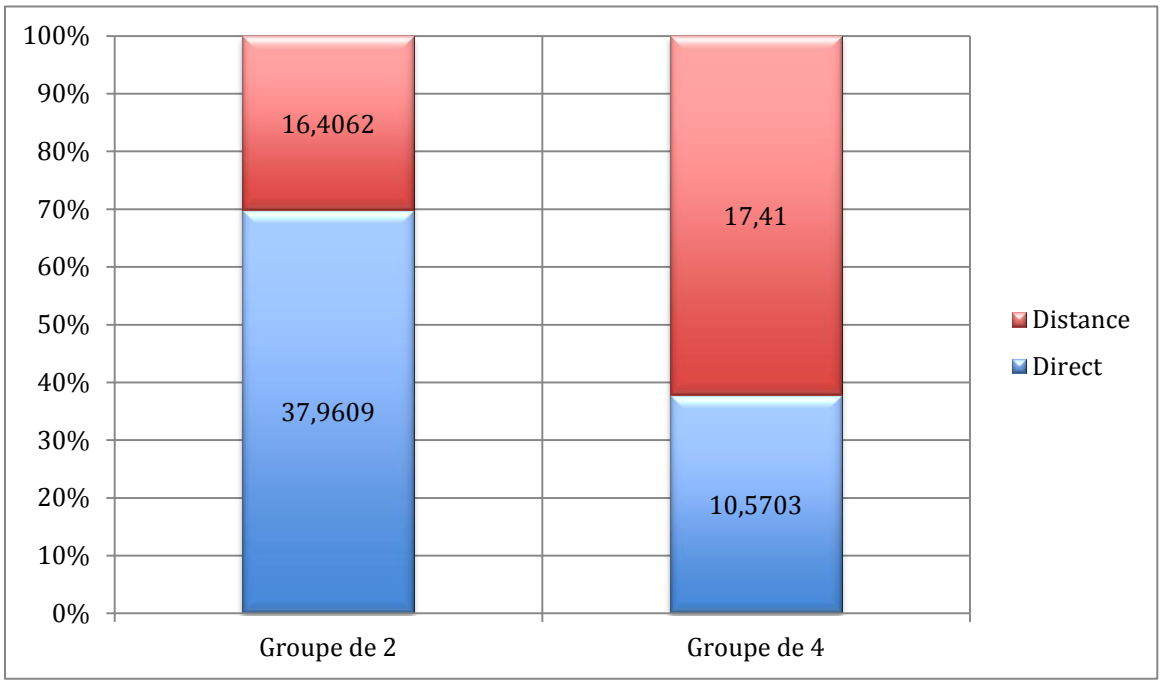


Figure 59 - Proportion de déplacements directs / à distance selon les groupes

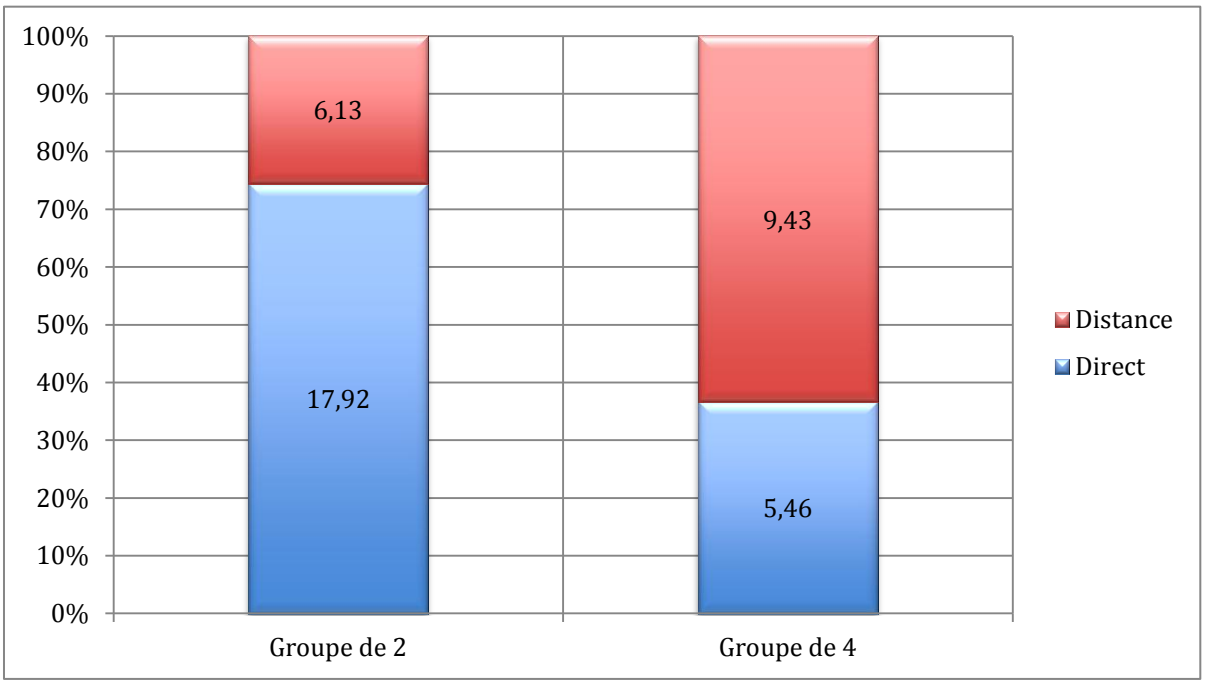


Figure 60 - Proportion de sélections directes / à distance selon les groupes

En revanche, à quatre utilisateurs, une conscience de groupe émerge : tout le monde ne peut pas mettre ses mains au centre de la table en même temps. Les utilisateurs adoptent spontanément les techniques d'interaction à distance, soit pour éviter de gêner, soit par préférence, soit parce que certaines zones sont saturées par les autres.

5.4.3.4 Interaction à distance plus souvent utilisée sur les pièces éloignées

En agrégeant tous les résultats, nous constatons que les participants n'ont pas utilisé plus souvent les techniques d'interaction directes que les techniques d'interaction distance, groupes de 2 et groupes de 4 confondus (pour les déplacements : $F(1/15)=1,7$; NS - et pour les sélections : $F(1/15)=2,4$; NS).

Les ANOVAs sur le nombre de déplacements ont confirmé un effet d'interaction entre technique de déplacement et position de la cible ($F(1/15)=27,5$; $p<0,001$) : pour les cibles proches, les techniques d'interaction directe sont privilégiées, alors que pour les cibles éloignées, les deux types de techniques d'interaction sont utilisées de façon équivalente (voir Figure 61).

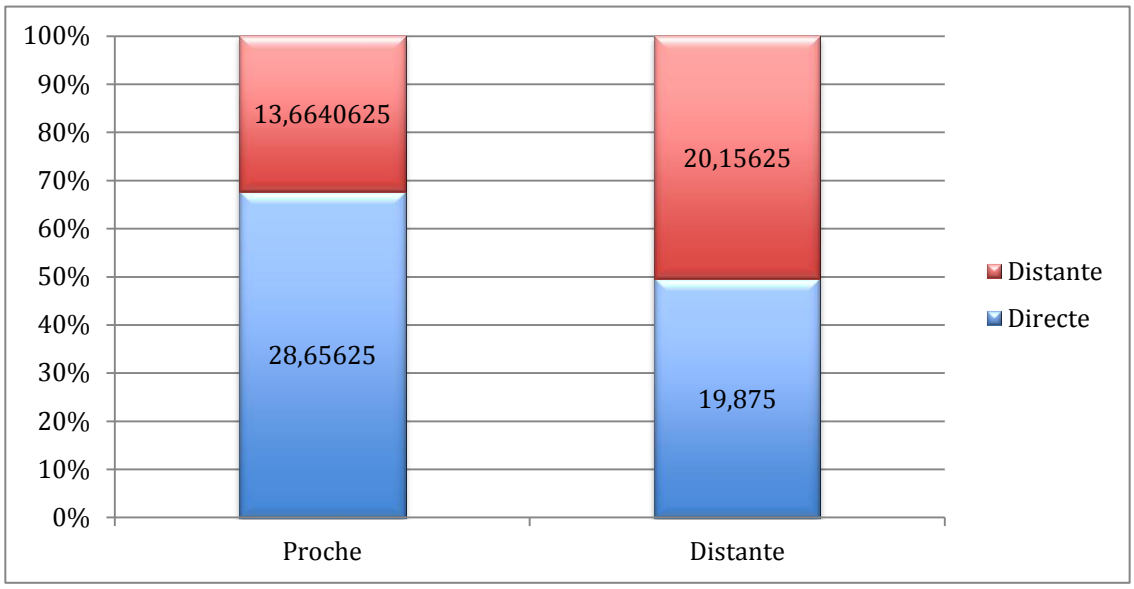


Figure 61 - Proportion de déplacements directs / distants effectués selon la distance des pièces par rapport à l'utilisateur.

Nous avons constaté le même phénomène concernant les sélections, il y a un effet d'interaction entre la technique de sélection (directe ou via la *RadarView*) et l'éloignement de la cible ($F(1/15)=40,7$; $p<0,001$) : les participants utilisaient davantage les techniques de sélection directe pour les cibles proches et utilisaient de façon équivalente les techniques de sélection directe et distante pour les cibles éloignées (voir Figure 62).

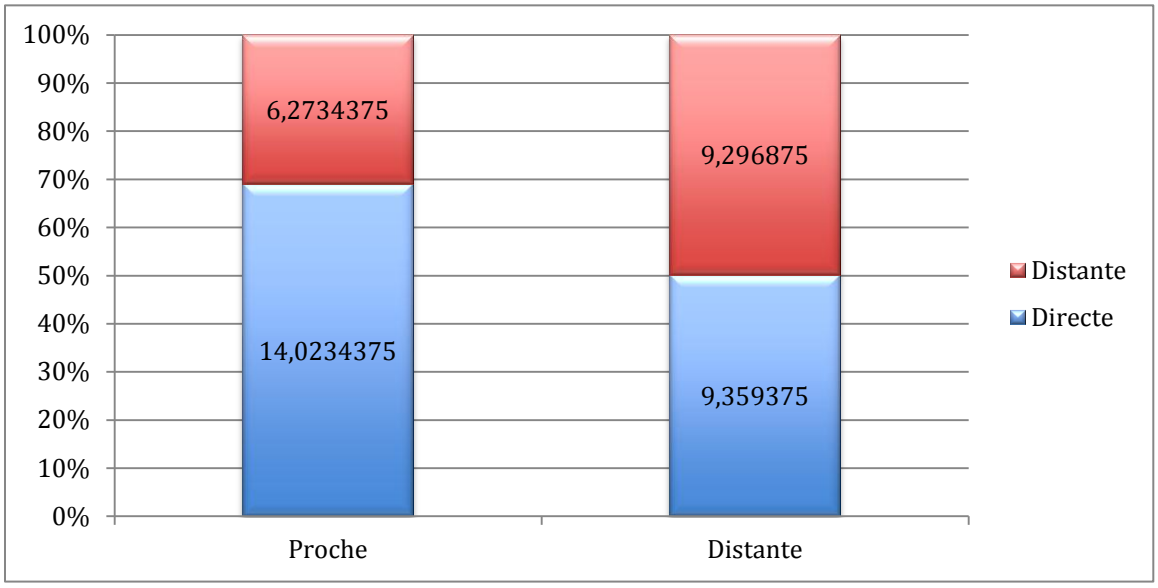


Figure 62 - Proportion des sélections directes / distantes selon la position des pièces

L'interaction à distance ne semble pas avoir remplacé l'interaction directe pour les pièces éloignées, contrairement à ce que nous supposions. Cependant, nous avons pu constaté que l'interaction à distance était le plus souvent utilisée pour agir sur des pièces qui étaient de l'autre côté de la table.

Selon nos observations, les participants utilisaient principalement l'interaction directe pour agir juste devant eux, dans leur territoire « privé ». Lorsqu'ils voulaient agir avec des pièces éloignées, la plupart des joueurs recourait à l'interaction à distance tandis que d'autres préféraient tendre le bras au dessus de la table pour aller chercher physiquement les pièces. Et concernant enfin le centre de la table, la stratégie la plus répandue consistait à privilégier l'interaction directe quand cela semblait possible (pas trop de bras) et utiliser à l'interaction à distance quand il y avait déjà trop de monde.

5.4.3.5 Interaction à distance estimée plus intéressante à 4

En analysant de la même façon les données subjectives, nous avons remarqué un effet du type de groupe ($F(1/15)=5,5$; $p=0,034$) : les valeurs sont légèrement plus élevées pour les groupes de 4 ($m=4,3$) que pour les groupes de 2 ($m=4,1$). En particulier, les réponses le plus affectées par le type de groupe concernant l'appréciation ($t(15)=2,7$; $p=0,015$) et l'utilité ($t(15)=3,2$; $p=0,006$) de la sélection à distance, et de plus le déplacement par lancer inertiel semblait plus facile en groupe de 4 ($t(15)=3,3$; $p=0,005$). Enfin, les utilisateurs ont légèrement trouvé qu'il était plus facile d'alterner entre interaction directe et interaction à distance en groupe de 4 qu'en groupe de 2 ($t(15)=5,1$; $p<0,001$).

Les analyses ont de plus révélé une interaction entre type de groupe et la technique de sélection ou de déplacement ($F(3/45)=3$; $p=0,04$) : les scores des techniques Sélection Directe et Déplacement Direct ne variaient pas en fonction du type de groupe, contrairement aux scores de Sélection à Distance et Déplacement à Distance (voir Figure 63).

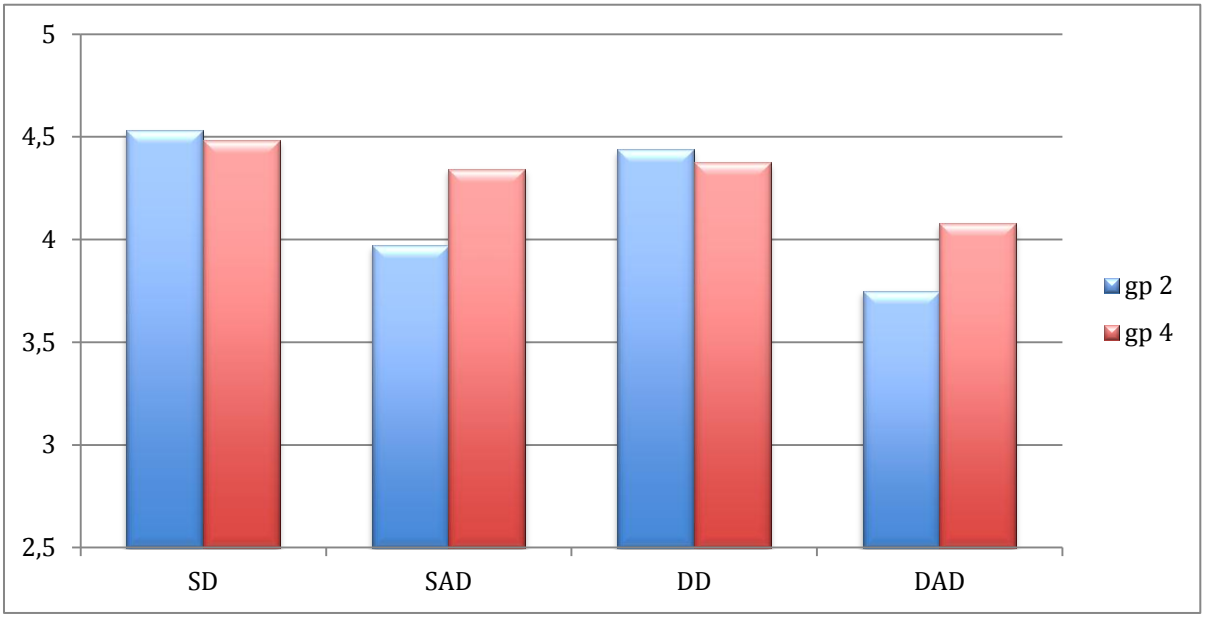


Figure 63 - Scores des techniques en fonction du type de groupe. Attention : le score est compris entre 1 et 5, mais chaque technique ayant été bien notée, nous avons préféré une échelle entre 2,5 et 5 pour souligner les écarts.

Globalement, les quatre techniques ont été appréciées et ont récolté des scores très positifs (moyennes supérieures à 2,5, voir Figure 63). La sélection et le déplacement à distance étaient tous les deux plus appréciés en groupe de 4 ce qui a vérifié notre hypothèse. Nous pensons qu'à quatre, les utilisateurs ont non seulement davantage besoin des techniques à distance, ce qui expliquerait pourquoi ils les ont considérées plus utiles.

A la question « quand avez-vous le plus souvent utilisé les techniques d'interaction à distance », 81% des participants ont répondu « En groupe de 4 », 13 % estimant les avoir utilisées autant à 2 qu'à 4 et 6 % ne sachant pas. Aucun participant n'a répondu les avoir utilisées plus en groupe de 2 (voir Figure 64).

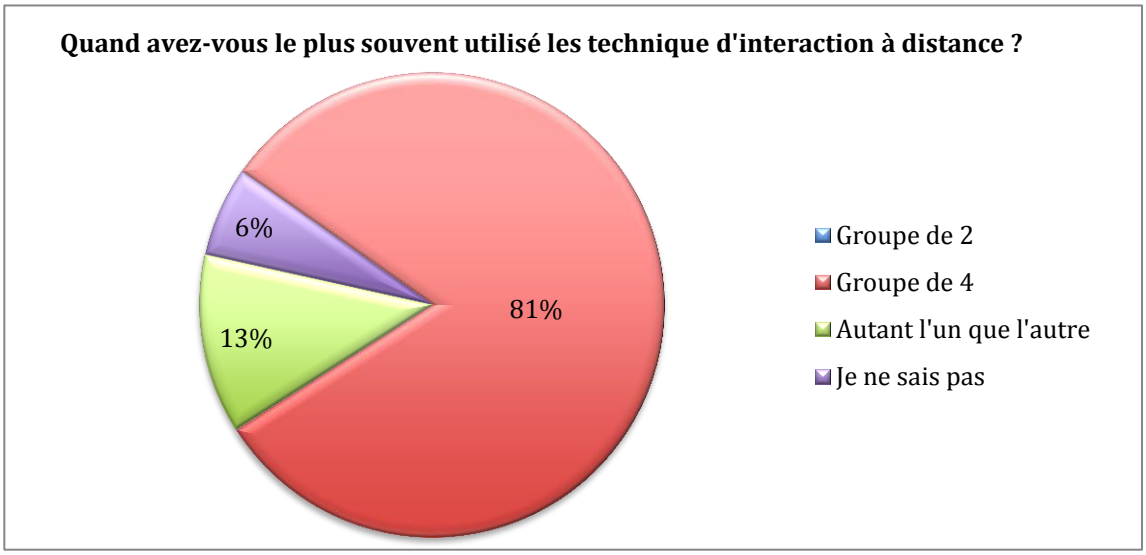


Figure 64 - Perception de la fréquence d'utilisation de l'interaction à distance en fonction du groupe.

5.4.3.6 Pistes d'amélioration

En fin du questionnaire, il était demandé aux utilisateurs d'évaluer différentes pistes d'amélioration pour améliorer les performances :

a) *« Il faudrait que la table interactive soit plus grande » ;*
b) *« Il faudrait que la table interactive soit plus petite » ;*
c) *« Il faudrait que la table interactive soit plus réactive et plus précise » ;*
d) *« Il faudrait des techniques d'interaction plus intuitives » ;*
e) *« Il faudrait que la RadarView soit plus grande » ;*
f) *« Il faudrait que la RadarView soit plus petite » ;*
g) *« Il faudrait passer plus de temps à apprendre à jouer » ;*
h) *« Il faudrait que la présentation du plateau soit plus claire » ;*
i) *« Il faudrait que les joueurs communiquent plus pour se coordonner » ;*
j) *« Il faudrait que le jeu fournisse des techniques pour s'entraider » ;*
k) *« Il faudrait qu'on puisse déplacer les pièces des autres » ;*
l) *« Il faudrait imposer comme règle d'agir chacun à son tour ».*

Les utilisateurs devaient exprimer leur accord ou désaccord avec chaque proposition en remplissant une échelle de Likert à 5 points. Les pistes d'améliorations que les participants ont évalué comme les plus pertinentes concernaient l'aide à la coordination entre les joueurs et la présence de techniques d'entraide et de communication intégrées au système. Modifier la taille de la table (plus grande ou plus petite) ne semblait pas être une piste intéressante de même qu'interagir au tour par tour plutôt que simultanément. Peu de personnes ont souhaité améliorer les techniques d'interactions proposées ou l'interface du jeu, alors que la plupart souhaitaient que la tabletop soit plus réactive. Les autres questions ont divisé les utilisateurs.

5.4.3.7 Collaboration et conversation

Nous avons observé directement les participants pendant l'expérience pour étudier leurs attitudes, leurs stratégies et avons transcrit ce qu'ils disaient.

En premier lieu, nous avons constaté que très peu de groupes se sont donnés les moyens de se coordonner : peu de communication durant les parties, peu de stratégie commune. Il nous a semblé que tout le monde jouait individuellement.

Nous avions donné comme consigne de ne pas parler avant que début de chaque partie mais les participants étaient tout à fait encouragés à le faire après le départ. Toutefois, comme le but était de finir le plus vite possible, des joueurs ont expliqué qu'ils n'avaient « pas le temps de parler ». Certains

utilisateurs ont tenté quelques fois de proposer une stratégie : « Je passe par là, vous passez par là » mais les autres ne réagissaient pas ; et le joueur ne retentait pas de communiquer. L'essentiel des échanges oraux concernait les blocages des pièces, et consistait à exiger des autres qu'ils déplacent leurs pièces : « le joueur rouge, tu peux pousser ce pion là ? ».

Un des participants a décrit la situation a posteriori en disant qu'ils passaient successivement « d'un comportement passif à un comportement agressif ». Quelques participants ont expliqué que « chacun doit gérer ses pièces alors on s'isole », « je ne peux pas faire deux choses en même temps », « c'est difficile de parler avec les autres parce qu'on n'a pas le temps ». Un joueur a dit « on ne fait pas de stratégie parce que ça va plus vite de ne pas se parler ».

Un seul groupe de 2 joueurs sur les 8 au total a réellement cherché à établir une stratégie, en prenant le temps de communiquer avant de commencer à déplacer les pièces, durant une vingtaine de secondes. Mais le temps à discuter n'a pas été compensé par un gain de temps significatif. Les participants ont en majorité pensé qu'ils auraient eu besoin de quelques minutes de discussion avant le jeu pour se coordonner parce que chacun semblaient choisir une stratégie différente.

5.4.3.8 Profil d'utilisateur

Nos observations nous ont amenés à faire une distinction intéressante entre les utilisateurs concernant l'utilisation des techniques d'interaction directe ou à distance. Nous distinguons trois profils d'utilisateurs :

- L'utilisateur de profil A : il n'utilise que les techniques directes ;
- L'utilisateur de profil B : il n'utilise que les techniques d'interaction à distance, en groupe de 2 comme en groupe de 4 ;
- L'utilisateur de profil C : il utilise majoritairement l'interaction directe et alterne parfois avec les techniques d'interaction à distance en groupe de 4.

Nos hypothèses sont que l'utilisateur A est un utilisateur qui s'impose au groupe et favorise l'interaction directe parce qu'elle est plus rapide et plus facile à utiliser. L'utilisateur B se concentre sur l'interaction à distance pour ne pas gêner son ou ses collaborateurs. Enfin, l'utilisateur C est une personne qui va s'adapter au groupe, utilisant l'interaction directe tant que c'est possible pour être rapide et efficace, et faisant l'effort de changer de modalité pour ne pas gêner ou ralentir le groupe lorsque d'autres utilisateurs ont déjà leurs bras au dessus de la surface.

Dans un groupe d'individus, selon la nature de chacun, certains vont s'imposer et d'autres vont s'adapter. Des études sur un grand nombre d'utilisateurs sont nécessaires pour faire ressortir ce type de profil de l'analyse des données. Nous pensons en revanche que ces différents profils soulignent la complémentarité entre interaction directe et interaction à distance.

5.4.3.9 Commentaires et suggestions des participants

Nous avons recueilli les commentaires et les suggestions des utilisateurs sur la tâche et les techniques d'interaction.

D'après tous les participants, l'interaction directe était toujours la plus rapide et la plus réactive. Certains ont dit que « l'interaction directe était pour l'espace privé, et que l'interaction à distance était pour ne pas se gêner ». En effet, tout le monde convenait qu'en interagissant directement, on allait gêner les autres. Face aux gênes, les participants ont réagi différemment : quelqu'un a suggéré que l'interaction à distance soit forcée tandis que d'autres ont trouvé « l'entremêlement des bras intéressant » car il apportait « des difficultés supplémentaires ».

La *RadarView* a suscité des réactions positives. Les utilisateurs l'ont décrite comme étant claire, pratique et astucieuse. Ils ont aimé pouvoir la placer librement sur le bord. Les participants ont apprécié qu'elle fournisse une vue complète du plateau, ce qui permettait d'analyser la situation quand des bras cachaient la table. Les participants ont cependant suggéré diverses améliorations. En premier lieu, beaucoup se sont plaints du manque de détails bien que le choix des informations à afficher ou non était sujet à discussion entre les joueurs eux-mêmes. Presque tout le monde aurait souhaité que le type des pièces soit visible, d'autres ont demandé à ce que le niveau d'énergie des pièces et les cases destinations soient aussi disponibles. Un groupe a admis que si tout le monde avait une représentation personnelle et complète du jeu devant lui, alors partager la même table ne servirait plus à rien. Les autres critiques étaient liées au fait que la *RadarView* prenne de la place sur la tabletop, et les participants se plaignaient parfois d'être gênés

par les *RadarView* des autres. Tous les joueurs qui utilisaient la *RadarView* ont préféré la laisser ouverte en permanence sauf un seul qui la gardait fermée : il posait sont doigt dessus pour l'ouvrir et le glissait en ne regardant que le curseur distant sur la table. Il a expliqué retrouver les sensations d'un trackpad d'ordinateur portable. En relevant son doigt, la pièce ciblée était sélectionnée et la *RadarView* refermée. Il pouvait utiliser le lancer inertiel au même endroit, alors que les autres joueurs devaient le faire ailleurs sur la surface pour ne pas toucher la *RadarView*.

Le lancer inertiel pour déplacer ses pièces à distance a divisé les participants. Certains ont rapidement compris comment l'utiliser et l'ont apprécié. Ils étaient à l'aise avec cette technique. Mais une partie considérable des utilisateurs (entre un tiers et la moitié) s'est plaint du manque de confort de cette technique, en raison d'un manque de réactivité de la table qui empêchait que les gestes très rapides soient bien détectés. Un utilisateur en particulier a expliqué qu'il était habitué à utiliser le même geste sur son smartphone mais que la sensibilité n'était pas la même et qu'il avait du mal à s'adapter à la table qui demandait plus d'efforts. En outre, un des autres problèmes rencontrés était la mauvaise interprétation du jeu lorsqu'un joueur posait sans le faire exprès son doigt sur l'une de ses pièces au moment du lancer inertiel : le système détectait une sélection directe.

Nous avons remarqué que plusieurs participants ont adopté la même manière d'interagir à distance : ils déplaçaient la *RadarView* sur un côté et l'utilisait d'une main alors qu'ils effectuaient les lancers inertiels de l'autre. Cette utilisation bi-manuelle semblait pratique et efficace.

Les utilisateurs ont suggéré d'autres façons pour contrôler les pièces à distance. Plusieurs ont demandé à ce que les pièces puissent être déplacées dans la *RadarView* directement. Un autre a évoqué une petite interface composée de quatre boutons « Haut, Bas, Gauche et Droite » comme une croix directionnelle de console de jeu.

Pour finir, nous avons trouvé que les participants s'étaient beaucoup investis dans cette expérience sur table interactive, ceux qui découvraient le dispositif comme ceux qui le connaissaient déjà. Ils ont dit avoir pris du plaisir à jouer en groupe de deux comme en groupe de quatre.

5.5 Conclusions

Dans cette dernière partie, nous présentons les conclusions de ce chapitre. Nous faisons le bilan de notre étude sur l'interaction à distance en résumant ses avantages et ses limites.

5.5.1 Une solution efficace dans RealTimeChess

Pour diminuer la gêne physique entre les utilisateurs quand ils interagissent simultanément, nous avons remis en question le paradigme de l'interaction tactile directe. En proposant d'étudier des techniques pour interagir à distance et en les intégrant dans notre jeu *RealTimeChess*, nous avons présenté une solution efficace et l'avons testée en condition réelle d'utilisation. Notre dernière expérience suggère que l'interaction à distance n'est pas un substitut de l'interaction directe mais apporte au contraire de la flexibilité aux utilisateurs : l'interaction à distance est complémentaire de l'interaction directe. Elle est plus utile lorsque quatre utilisateurs interagissent simultanément avec la tabletop. Lorsque la taille des tables tactiles augmentera dans les années à venir, les techniques d'interaction à distance seront de plus en plus nécessaires pour garder le contrôle de toute leur surface alors que l'interaction directe ne suffira plus.

Nous avons réalisé des tests informels et des expérimentations contrôlées. Celles-ci ont guidé le processus de conception. Les techniques d'interaction tactile à distance ne sont pas aussi intuitives et efficaces que les techniques d'interaction directe. De plus, nous avons aussi constaté qu'elles ne permettent pas de satisfaire tous les besoins et ont leurs limites en terme de précision.

5.5.2 Attrait pour l'aspect magique

Nous avons observé lors de notre étude que les personnes qui utilisent les tabletops pour la première fois s'intéressent surtout aux les effets graphiques, aux animations et aux fonctionnalités qui donnent l'impression de manipuler des objets réels en ayant des « pouvoirs magiques », comme par exemple agrandir et tourner une image avec deux doigts.

De notre côté, lorsque nous avons intégré le lancer inertiel pour déplacer ses pièces à distance dans *RealTimeChess*, certains joueurs ont aimé cette capacité à lancer une pièce à l'autre bout du plateau puis de la ramener d'un simple geste de la main. Nos discussions avec les utilisateurs semblent indiquer que cette technique leur donnait l'impression d'avoir des pouvoirs télékinésiques et leur a procuré une grande satisfaction.

Nous avons assisté à un paradoxe intéressant : les interactions tactiles sont dans un premier temps appréciées car elles suppriment entre autres le pointeur, un artefact informatique qui met une distance entre l'utilisateur et l'objet de l'interaction. Cependant, les utilisateurs de tabletops souhaitent rapidement pouvoir interagir avec toute la surface en faisant le moins d'effort physique possible, qui à s'adapter à des techniques moins semblant moins naturelles que le toucher direct.

5.5.3 Discussion sur la généricité des résultats

Le modèle d'interaction à distance que nous proposons se compose de deux actions : le pointage et le contrôle.

Pointer un objet, une région ou un territoire de la table est la première action. Notre travail sur la sélection à distance nous amène à penser que la *RadarView* est la meilleure des techniques pour assurer cette fonction. Nous l'avons améliorée pour qu'elle soit flexible et puisse s'intégrer à une application de table interactive.

Le second problème est ce que l'on a nommé le contrôle. Une fois l'objet ou la zone sélectionné, l'utilisateur veut agir dessus. Le contrôle dépend du contexte et des fonctionnalités dont dispose l'application. Dans *RealTimeChess*, nous avons proposé de contrôler les pièces par un geste naturel et évocateur. Dans un autre contexte, nous suggérons d'afficher un tableau de bord devant chaque utilisateur, contenant les fonctions possibles sous formes d'interacteurs comme des boutons ; ou alors de s'inspirer de l'idée de portails pour agir devant soi sur une zone éloignée [Swaminathan 1997, Khan 2004].

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre travail sur l'interaction à distance comme moyen de diminution des gênes provoquées lorsque plusieurs utilisateurs interagissent simultanément avec une table tactile. Notre étude nous a amenés à concevoir et évaluer plusieurs techniques de contrôle et de sélection à distance. Ces techniques ont ensuite été implémentées dans notre démonstrateur et une expérience a permis de vérifier leur adéquation avec les techniques d'interaction directes. Nous avons observé que bien que tous les utilisateurs n'utilisent pas spontanément l'interaction à distance, le travail de groupe en simultané rend indispensable la présence de telles techniques. Elles permettent en effet aux utilisateurs les plus volontaires (par plaisir ou par sens du sacrifice) de réduire le problème commun de la gêne provoquée par l'embouteillage des bras au dessus de la surface tactile.

Après ce chapitre consacré au problème des entrées, le chapitre suivant aborde l'aspect complémentaire des sorties. En effet, l'interaction en simultané n'appelle pas qu'un constat de gêne physique mais également un fort problème de perception du travail de groupe par les utilisateurs.

6 SIGNAUX VISUELS

SOLUTIONS POUR AUGMENTER L'ATTENTION DES UTILISATEURS SUR TABLE INTERACTIVE

Ce chapitre présente notre étude de signaux visuels pour canaliser l'attention des utilisateurs d'une table interactive. Au chapitre 4, nous avons fait le constat que l'attention des utilisateurs se dispersait devant le travail simultané et que de nombreux messages importants n'étaient pas perçus. Nous nous inspirons des systèmes de contrôle aérien pour évaluer une première solution adaptée à deux utilisateurs mais qui provoque des saturations à quatre utilisateurs. Finalement, nous proposons une version améliorée car orientée spécifiquement vers l'utilisateur concerné. Nous donnons enfin les résultats de l'évaluation de cette version améliorée par une expérience contrôlée qui nous a permis d'aboutir à des recommandations de conception.

6.1 Un problème de perception

Comme nous l'avons constaté dans l'expérience préliminaire de cette thèse, les utilisateurs de tabletop concentrés sur une tâche focalisent leur attention sur une partie réduite de l'interface. Si des évènements se produisent ailleurs sur la surface, ils risquent de ne pas les remarquer. Selon l'importance de ces évènements, ce défaut d'attention, connu en psychologie cognitive et généralement appelé « *change blindness* », peut provoquer l'échec de la tâche. Dans cette première partie, nous rappelons comment ce phénomène s'est manifesté dans *RealTimeChess* et nous présentons les travaux reliés dans le domaine de l'IHM.

6.1.1 Rappel des problèmes d'inattention lors des sessions RealTimeChess

Un problème de perception des évènements ayant lieu hors du champ de vision du joueur s'était manifesté lors de nos premières expérimentations sur le jeu *RealTimeChess*.

6.1.1.1 La concentration des joueurs nuit à la conscience de groupe

Les sessions de jeu sur *RealTimeChess* en partie de 2 et 4 joueurs ont révélé la difficulté des joueurs à rester attentifs aux évolutions du plateau, en l'occurrence aux déplacements de toutes les autres pièces. Ils semblaient ne pas remarquer les actions de leurs adversaires comme ils paraissaient ne pas s'intéresser aux déplacements de leur(s) allié(s) lorsqu'ils jouaient en équipe.

L'activité d'un joueur de *RealTimeChess* peut se résumer en quelques points :

- comprendre son objectif et réfléchir aux moyens de l'atteindre ;
- connaître la position de ses pièces ;
- maîtriser leur mode de déplacement ;
- agir en fonction des temps de recharge : ses pièces et celles de l'adversaire ;
- considérer la configuration spatiale du plateau ;
- et enfin s'adapter aux autres joueurs : observer, réagir à leurs actions, anticiper, etc.

En condition réelle d'utilisation, nous avons remarqué que les joueurs avaient plutôt tendance à choisir un ensemble restreint de pièces et à se concentrer sur la zone réduite autour de ces pièces. Nous avons formulé l'hypothèse que considérer les actions des autres joueurs en même temps que réfléchir à une

stratégie exigeait un haut niveau d'expertise. D'ailleurs, le problème était flagrant chez les joueurs novices comme chez les joueurs plus expérimentés.

6.1.1.2 Conséquence et frustration

En se concentrant seulement sur quelques pièces, les joueurs ne percevaient pas les actions dans les autres zones du plateau. Ainsi, il arrivait fréquemment que l'adversaire attaque de l'autre côté et leur prenne plusieurs pièces (parfois parmi les plus importantes) sans qu'ils ne s'en rendent compte. Les joueurs pouvaient perdre la partie sans comprendre les évènements qui avaient provoqué leur défaite. Selon eux, ce n'était pas de leur faute : ils avaient perdu à cause d'une menace dont il n'avait pas eu connaissance, ils n'avaient pas eu la possibilité d'y réagir. En conséquence, Ils se sentaient frustrés et estimaient que le jeu n'était pas bien conçu.

6.1.1.3 Généralisation

Dans un système où les utilisateurs interagissent au tour par tour, l'attention de tous est généralement portée sur l'action de l'utilisateur agissant sur le système. En outre, les systèmes au tour par tour sont le plus souvent basés sur le dialogue entre les utilisateurs, ce qui sous-entend une synchronisation et une communication constante entre les différentes personnes autour de la table interactive. Par conséquent, les informations manquées sont plus rares.

Dans un système où les utilisateurs interagissent simultanément, nous avons observé que chaque utilisateur est concentré sur sa tâche et que son regard et son attention sont focalisés sur une zone réduite de la surface. De plus, nous avons constaté que plus il y a d'utilisateurs, plus la fréquence des évènements est élevée et plus le risque de ne pas percevoir les informations importantes est considérable.

Puisque le problème vient de l'aspect fondamentalement simultané de l'interaction, nous pouvons prévoir que tous les systèmes similaires devront palier à ce problème. Nous avons cherché dans la littérature de notre domaine quelles solutions pouvaient être exploitées afin d'étudier leurs adéquations avec les tables interactives.

6.1.2 Etat de l'art

Le problème d'inattention n'a pas été étudié en profondeur sur les tables interactives. Il existe néanmoins une proposition de solutions génériques dans la littérature pour les interface de système pour le contrôle aérien.

6.1.2.1 La conscience du groupe

Dans le domaine des collecticiels, les logiciels partagés entre plusieurs utilisateurs non co-localisés [Greenberg 1994, Gutwin 1998, Schuckmann 1999, Gutwin 2004, Tuddenham 2008], la notion de perception des actions des collaborateurs, ou « *group awareness* », a été largement étudiée car elle influence directement la cohésion du groupe. Supporter la conscience du groupe permet de réduire l'effort cognitif, d'augmenter l'efficacité de chacun et de limiter le nombre d'erreurs. Gutwin et al. ont par exemple proposé des améliorations de l'interface graphique comme la mise en valeur des curseurs en fonction des actions de chacun [Gutwin 2004] mais ces solutions ne s'appliquent pas sur tabletop où les utilisateurs sont co-localisés.

Dans le cas des tables interactives, la communauté a dans un premier temps pensé que ce problème ne se retrouverait pas parce qu'être assis les uns à côté des autres permet de voir et de suivre l'activité des autres [Tse 2007 b]. De plus, comparé à un collecticiel distribué, l'espace d'interaction et l'espace de communication sont alignés sur tabletop, ce qui rend la coordination et l'échange plus simple et plus naturel [Nilsen 2005].

Nous pensons effectivement que ce problème n'existe pas tant que les utilisateurs interagissent chacun à leur tour. Il se présente dans une situation d'interaction simultanée. Hancock et al. ont évoqué cette difficulté à rester conscient des actions du groupe dès que les utilisateurs se concentrent chacun sur leur propre tâche. Ils ont ajouté que la difficulté augmente avec la taille de la surface. Selon eux, maintenir une bonne conscience de groupe se fait au détriment de la vitesse mais ils n'ont pas étayé ces propos ni proposé de solutions [Hancock 2005].

Nacenta et al. ont analysé la disposition d'une technique d'interaction à maintenir les collaborateurs conscients de l'activité des autres. Ils expliquent que la coordination dans le groupe dépend de la compréhension des actions des autres en fonction des techniques d'interaction disponibles, notamment de leurs aspects visuels (*feedbacks*) et des mouvements physiques qu'elles requièrent. Ils n'ont en revanche pas évoqué comment le système pourrait attirer l'attention des utilisateurs sur une zone précise [Nacenta 2007].

Enfin, Hancock et al. ont étudié l'efficacité de signaux audio sur tabletop avec quatre utilisateurs. Leur étude a montré que lorsqu'un son est émis à destination d'une seule personne, aucun des utilisateurs ne sait vraiment à qui est destiné le message et risque de se sentir visé, ce qui perturbe au final l'ensemble du groupe [Hancock 2005]. Magerkurth et al. ont proposé via leur plate forme de jeu STARS que chaque joueur ait des écouteurs pour entendre les informations qui ne concernent que lui [Magerkurth 2003] mais nous pensons que cette solution isole les utilisateurs. A notre connaissance, il n'existe pas de travaux impliquant du son spatialisé et des tables interactives.

6.1.2.2 Un problème de perception

N'ayant pas trouvé de solution au problème que avons rencontré, nous avons cherché au delà des seuls travaux sur les tables interactives. Notre recherche s'est portée sur les signaux et moyens existants dans une interface graphique pour attirer l'attention d'un utilisateur.

Le phénomène observé sur les joueurs de *RealTimeChess* est identifié en psychologie comme une forme d'aveuglement cognitif généralement appelé « *change blindness* » ou « *inattention blindness* ». Les êtres humains ne perçoivent et n'enregistrent que les objets et détails sur lesquels ils se focalisent. Ils peuvent ainsi être aveugles aux changements et évènements auxquels ils ne prêtent pas attention, même si ceux-ci se produisent dans leur champ de vision. On retrouve ce phénomène aussi bien dans les scènes statiques que dynamiques. La chance de remarquer les objets extérieurs dépend de leur ressemblance avec l'objet focalisé par l'individu et la difficulté de sa tâche [Simons 1999].

6.1.2.3 Un signal sous forme d'ondes concentriques

Chatty et al. ont étudié la conception d'une interface graphique pour des systèmes de contrôle aérien et ont rencontré le même problème [Chatty 1999]. Ces systèmes sont complexes parce qu'ils affichent une grande quantité d'informations sur des écrans relativement larges. La position des données dans l'interface est significative. Le système a parfois besoin d'attirer l'attention de l'utilisateur sur un événement important dès qu'il se produit (par exemple : l'entrée d'un avion dans le territoire ou un problème matériel grave). Dans ce type de système, le déroulement des évènements est indépendant du rythme de l'utilisateur comme dans le cadre d'une activité de groupe en simultané sur table interactive. Nous en concluons une similitude de cette situation avec celle que nous étudions.

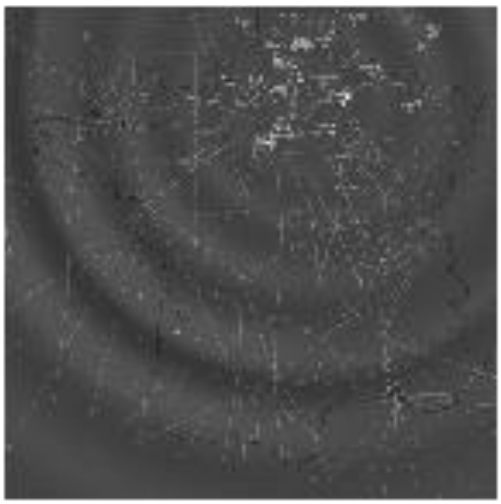


Figure 65 - Signal visuel sous formes d'ondes concentriques évoquant des vagues sur une étendue d'eau [Chatty 1999].

Les auteurs expliquent que dans l'interface graphique d'un tel système, les signaux sonores doivent être limités. Ils ont ainsi cherché à concevoir dans les interfaces graphiques des signaux visuels efficaces pour attirer l'attention de l'utilisateur sur un point précis de l'écran.

Selon les auteurs de ces travaux, Il n'existait pas de guide de conception des alarmes visuelles en IHM notamment parce qu'il y avait eu peu d'études de systèmes déconnectés de la bureautique. Cependant, le domaine de la psychologie cognitive offre quelques pistes : il est connu que seuls les mouvements sont détectés et que le champ perceptif de chaque couleur est différent, le jaune étant le plus visible et le rouge le moins visible [Boff 1988, Rensink 1997]. En outre, on sait que l'accoutumance humaine est telle que si un signal est constamment envoyé dans le champ perceptif d'un individu, il finit pas ne plus être remarqué [Chatty 1999].

Le problème que doit résoudre une alarme visuelle dans une interface est d'aller « chercher l'œil » là où il se trouve actuellement parce que la vision périphérique a ses limites. A partir de ces constats, les auteurs des travaux cités précédemment ont proposé un signal animé global, occupant tout l'écran, ayant l'apparence d'ondes concentriques autour de la localisation de l'événement (voir Figure 65).

Le mouvement global de ce signal visuel permet d'entrer dans le champ de vision de l'utilisateur où que soit dirigé son regard. De plus, l'onde circulaire donne l'information de la localisation de l'événement. Nous avons donc décidé de l'implémenter dans notre système sur table interactive pour tester son efficacité.

6.2 Un signal visuel global dans *RealTimeChess*

Dans cette partie, nous expliquons d'abord comment nous avons implémenté des signaux visuels dans *RealTimeChess* pour aider les joueurs à percevoir les menaces, puis nous présentons les résultats de tests informels sur quelques participants.

6.2.1 Intégration dans RealTimeChess

Nous avons intégré à *RealTimeChess* plusieurs signaux visuels inspirés des travaux sur l'interface graphique d'un système de contrôle aérien. Nous avons identifié deux évènements primordiaux dont le joueur a besoin d'être alarmé dans *RealTimeChess* : une de ses pièces a été prise par un adversaire et son roi est menacé.

6.2.1.1 Prise d'une pièce par l'adversaire

Nous avons conçu une première alerte pour avertir un joueur qu'il se fait attaquer. Cette alerte apparaît au moment où l'une de ses pièces vient de se faire prendre et lui indique sa position pour lui permettre de réagir.



Figure 66 - Signal visuel alertant de la prise d'une de ses pièces par l'adversaire. La tour du joueur vert prend le cavalier du joueur bleu. A gauche : position initiale. Au milieu : la tour vient de prendre le cavalier, le signal circulaire apparaît et grandit. A droite : le signal a atteint sa taille maximale et disparaît.

Au moment où un joueur perd une de ses pièces, un signal circulaire de sa couleur apparaît au niveau de la case où était sa pièce. Le cercle grossit rapidement pour couvrir les ¾ de la surface de la table afin d'entrer dans la vue périphérique de tous les joueurs même ceux qui regardaient de l'autre côté. Le signal dure environ deux secondes puis disparaît progressivement (voir Figure 66).

6.2.1.2 Menace sur le Roi

Par ailleurs, *RealTimeChess* se jouant en temps-réel, il n'y a pas d'échec et mat. Pour gagner, il faut prendre le roi de l'adversaire. Le meilleur joueur est donc souvent celui qui surprend l'autre en attaquant son roi le premier. Etant donné le rythme assez rapide du jeu, il arrivait très souvent que des joueurs perdent la partie à cause d'une seule inattention, ce qui était frustrant et n'encourageait pas la stratégie à long terme.

Nous avons ajouté un autre signal différent du premier avertissant le joueur que son roi était menacé dès qu'un de ses adversaires était en situation de prendre son roi.

Ce signal a la forme d'un viseur de fusil : c'est un cercle épais avec une croix en son centre, coloré en rouge et positionné sur le roi menacé. Son profil temporel est une sinusoïde de période de 750 ms. Ainsi, il grossit et rétrécit en continue pour évoquer une alarme tant que la pièce n'est pas sauve. Sa taille équivaut à deux cases du plateau ce qui correspond en moyenne à un diamètre entre 10 cm et 15 cm sur la table interactive (voir Figure 67). Dès que le Roi est de nouveau en sureté, le signal disparaît.

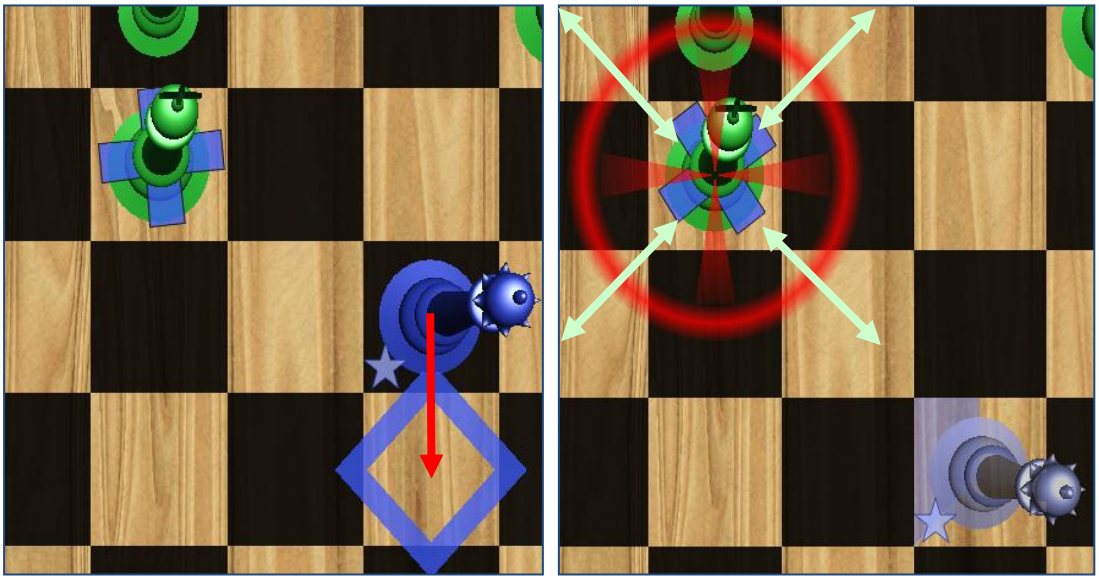


Figure 67 - Signal visuel alertant que le roi est menacé par l'adversaire. A gauche : position initiale. A droite : Le roi du joueur vert est en situation de se faire prendre par la reine du joueur bleu et le signal est affiché.

6.2.2 Premiers tests

Pour évaluer l'efficacité de ces deux signaux, nous avons organisé des parties de *RealTimeChess* avec des joueurs débutants et d'autres plus expérimentés. Des parties de 2 et de 4 joueurs ont été jouées. Il s'agissait d'une expérience informelle pour observer les réactions des utilisateurs. Aucune instruction n'était donnée à part de jouer et de chercher à gagner. Nous ne les avons pas avertis que des signaux avaient été introduits.

Nous avons observé les utilisateurs en conditions de jeu et avons noté comment ils réagissaient aux signaux visuels qui apparaissaient et si les signaux semblaient les aider. Nous avons aussi récolté leurs impressions en les interrogeant en fin de partie.

6.2.2.1 Résultats convenables pour deux utilisateurs

Les tests sur deux joueurs ont été positifs. Nous avons constaté qu'ils réagissaient bien aux signaux visuels : leur attention était attirée et ils essayaient de s'adapter aux menaces. Nous n'avons plus observé de situation où un joueur perd plusieurs de ses pièces sans en être conscient.

Comme la signification des signaux ne leur avait pas été expliquée, lorsque le signal de perte d'une pièce apparaissait, les joueurs remarquaient l'animation mais ne comprenaient pas ce qu'elle exprimait. Au contraire, le signal sur le Roi a paru mieux compris et pressait les joueurs de se défendre.

6.2.2.2 Mauvais résultats pour quatre utilisateurs

A l'opposé, les tests sur quatre joueurs n'ont pas été aussi positifs. En raison du plus grand nombre de pièces et d'actions sur le plateau, de nombreux signaux apparaissaient sur l'ensemble du plateau. Ces signaux étaient à destination des quatre joueurs. De notre point de vue, les utilisateurs semblaient indifférents à ces signaux, ou alors leur attention paraissait attirée un court instant, le plus souvent par les signaux qui ne leur étaient pas destinés, et ils retournaient à leurs pièces, sans en comprendre l'intérêt malgré les couleurs.

Lors des discussions, les joueurs ont expliqué avoir remarqué des signaux animés sur tout le plateau et qu'ils les avaient trouvé agressifs. Ils préféraient en conséquence les ignorer.

6.2.3 Discussion

Cette première évaluation nous indique que des signaux visuels pour attirer l'attention [Chatty 1999] peuvent être efficaces pour deux joueurs mais peuvent devenir trop envahissants pour un groupe plus large de quatre utilisateurs. La trop grande fréquence de signaux sature la perception des utilisateurs.

6.2.3.1 Surcharge de l'interface

Une interface graphique trop chargée peut saturer la perception cognitive d'un utilisateur [Chatty 1999], et c'est vraisemblablement le problème que les joueurs de *RealTimeChess* ont rencontré en groupe de quatre. A chaque prise d'une pièce, un signal circulaire était émis sur tout le plateau, attirant l'attention de tout le groupe alors qu'un seul était concerné. De plus, si plusieurs signaux étaient affichés au même moment, la surcharge d'informations provoquait la confusion de chaque joueur (voir Figure 68). Finalement, plus aucun des joueurs n'attachait d'importance aux signaux.



Figure 68 – Situation de surcharge au niveau de l'interface graphique lorsque plusieurs signaux circulaires sont émis en même temps.

L'inconvénient de ce signal circulaire semble lié à la configuration multi-utilisateur des tables interactives. En effet, avec un seul utilisateur sur la table, le signal peut se répande dans toutes les directions sans que cela pose un problème. En revanche, lorsque quatre personnes interagissent en même temps, elles ne veulent pas être perturbées par des signaux qui ne leur sont pas destinés. Nous avons retrouvé là le résultat des signaux sonores où chacun croit que le message lui est destiné ce qui ralentit au final tout le groupe [Hancock 2005].

6.2.3.2 A la recherche d'une meilleure solution

A partir de cette expérience, nous avons reformulé le problème initial :

- les utilisateurs de table interactive ont besoin de signaux visuels pour être avertis des événements importants se produisant alors qu'ils sont concentrés sur autre chose ;
- le signal visuel doit informer de la localisation de l'événement ;
- la multiplication des signaux sature l'attention de chacun et les utilisateurs risquent de ne même plus percevoir ceux qui leur sont réellement destinés ;
- s'il y a plusieurs utilisateurs, chacun d'eux ne veut pas être gêné par les signaux des autres.

Nous avons envisagé trois solutions. Une première solution consiste à afficher un signal sur la table là où regarde le joueur, en indiquant par exemple la direction de l'événement et sa nature. Cette solution

suppose de pouvoir faire une hypothèse plausible de la position du regard de l'utilisateur. Dans *RealTimeChess*, la pièce actuellement sélectionnée est la meilleure hypothèse mais notre expérience a montré que les joueurs portaient leur regard sur les cases sur lesquelles ils voulaient amener leur pièce plutôt que la pièce d'origine.

Une autre solution possible consiste à afficher un signal dans la zone privée de l'utilisateur, juxtaposée au bord de la table. Cette solution a comme avantage de ne pas gêner les autres utilisateurs mais l'information de localisation est perdue sans que nous soyons certains d'attirer son attention.

La dernière solution que nous avons envisagée, et celle que nous avons retenue, consiste à garder le principe d'un signal se répandant sur tout le plateau comme une onde partant de la localisation de l'événement. Pour éviter de gêner les autres utilisateurs, nous avons choisi de réduire son apparence à un arc de cercle dirigé seulement vers l'utilisateur concerné. Nous avons comparé cette nouvelle version avec la précédente dans une expérience contrôlée, décrite dans la partie suivante.

6.3 Evaluation du signal en arc orienté vers un utilisateur

Dans cette partie, nous présentons l'expérience que nous avons réalisée pour évaluer l'efficacité du signal orienté vers un seul utilisateur en le comparant avec deux autres conditions : aucun signal et le signal circulaire global.

6.3.1 Nouveau signal visuel

Pour la conception du nouveau signal visuel, nous nous sommes basés sur les forces du signal circulaire, à savoir son mouvement qui lui permet d'être perçu dans la vision périphérique des utilisateurs et sa forme arrondie qui indique son origine.

Le problème de la première version était qu'elle était qu'elle recouvrait progressivement l'ensemble de la surface et gênait donc tous les utilisateurs, chacun recevant les messages qui ne lui étaient pas destinés. Nous avons décidé de développer une nouvelle version du signal en forme d'arc orienté (voir Figure 69).

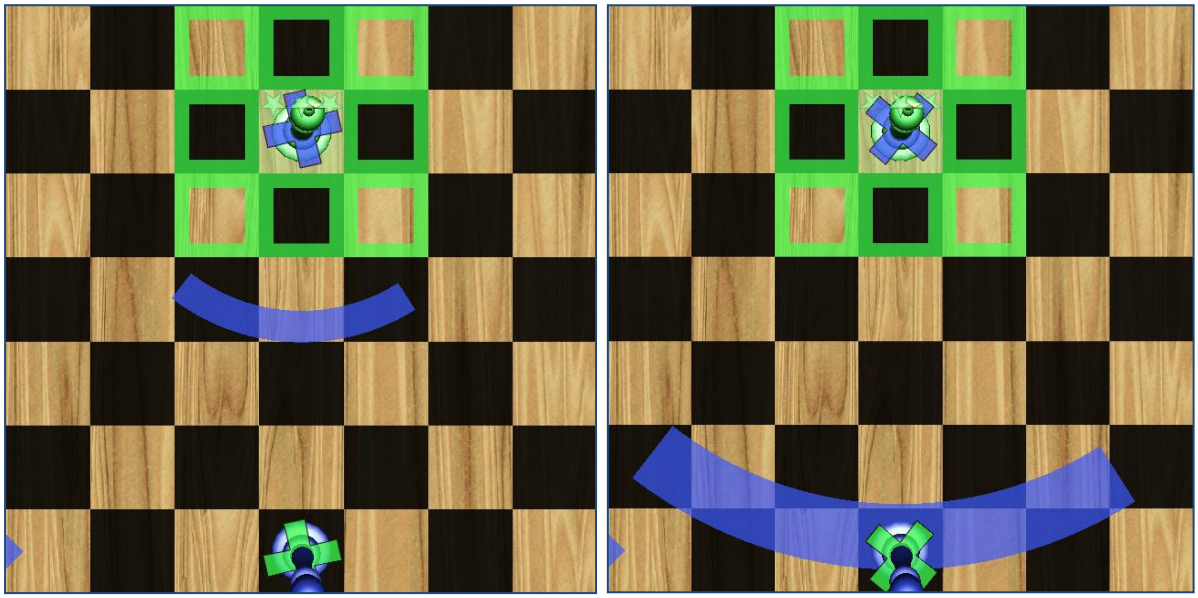


Figure 69 – Nouveau signal visuel en arc de cercle. Le joueur vert vient de prendre une pièce du joueur bleu. De gauche à droite : transformation du signal.

L'avantage de cette version est qu'elle s'adresse à une seule personne car l'arc se déplace dans la direction de l'utilisateur concerné à partir de la localisation de l'événement jusqu'à son espace privé.

6.3.2 Expérience comparative

Nous avons réalisé une expérience contrôlée pour vérifier que cette solution était meilleure que le signal circulaire global.

6.3.2.1 Objectif et hypothèses

Le but de notre expérience était de comparer, à travers une évaluation faite par des utilisateurs, les trois situations suivantes lors de l'apparition d'un événement sur la table :

- Condition C0 : Aucun signal ;
- Condition C1 : Un signal circulaire global (voir Figure 70) ;
- Condition C3 : un signal en arc (voir Figure 70).

Dans le cadre de cette expérience, nous exprimons l'efficacité d'un signal en fonction des facteurs suivants :

1. Le signal est immédiatement perçu par l'utilisateur et lui indique l'origine de l'événement ;
2. Le signal ne gêne pas les utilisateurs non concernés ;

3. L'utilisateur fait confiance aux signaux pour l'avertir en cas d'événement important, et par conséquent il se concentre sur sa tâche principale le reste du temps.

Nos hypothèses étaient que nous allions observer un classement qualitatif des trois conditions : C0 (Aucun signal) serait moins efficace que C1 (le signal circulaire global), elle-même moins efficace que C3 (le signal en arc).

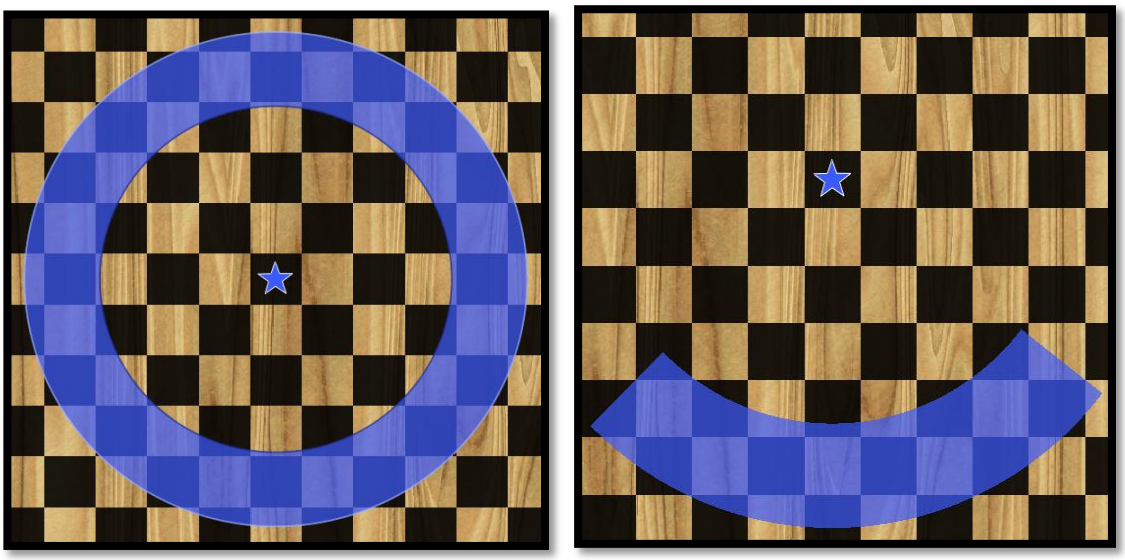


Figure 70 - Les deux signaux comparés dans l'expérience. A gauche : signal circulaire (C1). A droite : signal en arc (C2).

6.3.2.2 Description de l'expérience

L'expérience a utilisé la plate-forme *RealTimeChess*. Toute l'expérience s'effectuait sur un large plateau vide. Chaque participant, identifié par une couleur (bleu, rouge, vert, orange), devait accomplir deux tâches en parallèle : une tâche principale répétitive et une tâche secondaire occasionnelle. La tâche principale représente l'activité d'un utilisateur de tabletop et la tâche secondaire correspond aux événements importants auxquels l'utilisateur doit réagir avant de retourner à son activité.

Chaque utilisateur disposait d'une seule pièce, de type *Cavalier*. La tâche principale était de déplacer son cavalier sur une case cible marquée d'une croix de la couleur de l'utilisateur. Lorsque le cavalier parvenait jusqu'à la case cible, une nouvelle case cible apparaissait ailleurs, sur une case aléatoirement choisie parmi celles de sa zone privée, devant l'utilisateur (voir Figure 71). Le déplacement du cavalier s'effectuait en interaction directe, c'est-à-dire en touchant l'une des cases destination possible affichées sur le plateau. Le cavalier se déplaçait instantanément et pouvait enchaîner plusieurs déplacements à la suite (il n'y avait aucun système de temporisation). Si un utilisateur déplaçait son cavalier sur la case cible d'un autre, il ne se produisait rien. Différents joueurs ne pouvaient pas avoir de cases cibles au même endroit. Les participants avaient comme objectif d'atteindre le plus de cibles possible durant la durée de la tâche. Nous avons choisi cette tâche parce que le déplacement particulier du Cavalier aux échecs est suffisamment complexe pour solliciter toute l'attention des utilisateurs.

Occasionnellement, une étoile de la couleur de l'utilisateur apparaissait sur une des cases du plateau comprises dans la zone de groupe, au centre de la table (voir Figure 71). La tâche secondaire consistait à réagir le plus rapidement possible à cet événement et à poser son doigt sur l'étoile qui disparaissait alors. L'étoile ne disparaissait pas tant qu'elle n'avait pas été touchée. Si quelqu'un touchait une étoile qui ne lui est pas destinée, il ne se produisait rien. Une nouvelle étoile apparaissait pour chaque utilisateur aléatoirement entre 1 seconde et 30 secondes après la dernière disparition, tous les joueurs étant donc désynchronisés les uns par rapport aux autres.

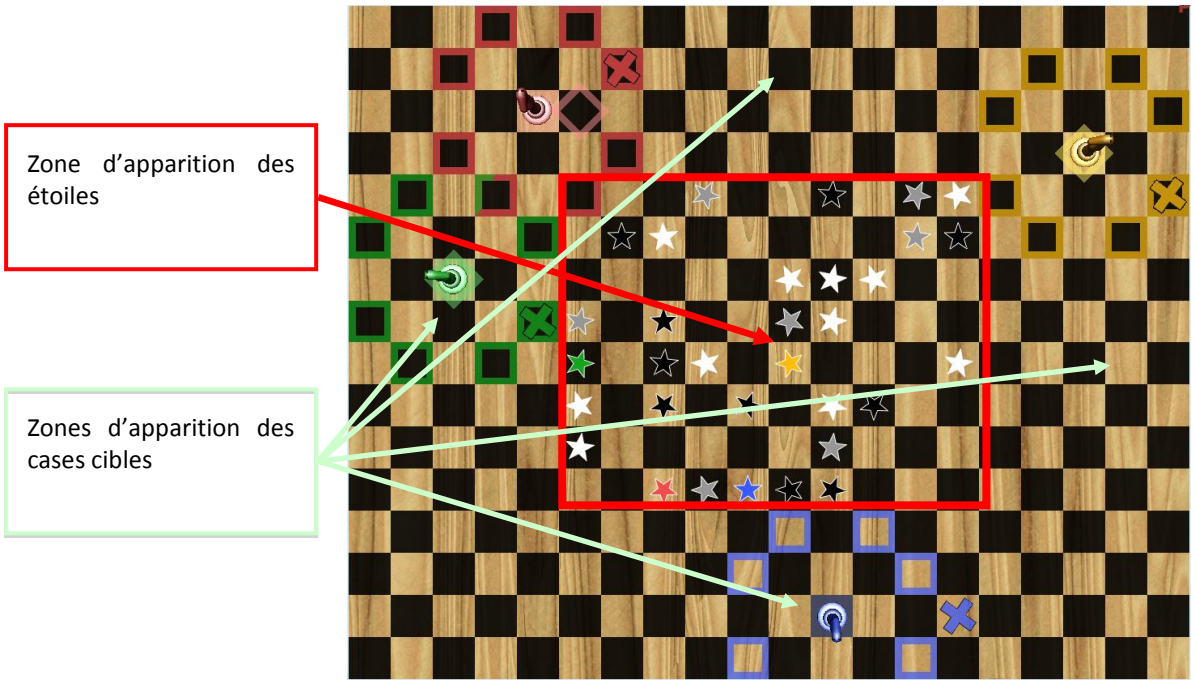


Figure 71 - Tâche de l'expérience. Chaque joueur déplace son cavalier sur des cases cibles placées dans sa zone privée devant lui. Des étoiles apparaissent au centre, les joueurs doivent toucher celles qui sont de leur couleur.

La consigne était, pour chaque participant, d'atteindre le plus possible de cases cibles avec son cavalier d'une part et de réagir le plus rapidement possible à l'apparition d'une étoile de sa couleur au centre d'autre part. L'expérience se déroulait en trois étapes, une pour chaque condition, et à chaque étape l'apparition d'une étoile était accompagnée ou non d'un signal.

Des étoiles parasites blanches, grises ou noires apparaissaient et disparaissaient fréquemment et automatiquement, de sorte qu'il y avait un changement visuel de l'espace central toutes les 0 à 2 secondes. Il y avait toujours entre 8 et 24 étoiles parasites. L'animation générée par l'apparition et la disparition des étoiles parasites représentait une activité au centre de la table. Il n'y avait aucun signal lorsqu'une étoile parasite apparaissait. Si un utilisateur touchait par mégarde une étoile parasite, il ne se produisait rien.

6.3.2.3 Hypothèses opérationnelles

Nos hypothèses lors de l'expérience étaient :

- **H1.** Le signal en arc orienté serait préféré des utilisateurs ;
- **H2.** En condition C1 (signal circulaire) : les signaux des autres utilisateurs seraient gênants ;
- **H3.** En condition C0 (aucun signal) : le temps de réaction à l'apparition d'un étoile sera plus élevé qu'en condition C1 (signal circulaire global) et C2 (signal arc orienté) ;
- **H4.** Dans les deux conditions C1 et C2 : la performance dans la tâche principale serait meilleure qu'en condition C0 où les utilisateurs perdraient du temps à regarder régulièrement la zone centrale pour vérifier la présence ou non d'une étoile de leur couleur ;

6.3.3 Protocole

6.3.3.1 Données

Nous avons fait passer 6 groupes de quatre utilisateurs, soit au total 24 participants (21 hommes et 3 femmes). En anticipation d'un phénomène d'apprentissage fort, nous avons contrebalancé l'ordre des conditions C0, C1 et C2 entre les groupes.

Les emplacements successifs des cases cibles étaient fixés à l'avance mais variaient selon la position de l'utilisateur autour de la table. De même, les temps d'attente entre deux apparitions d'étoiles étaient

prédéterminés mais différents entre les utilisateurs d'un même groupe. Ainsi, ce qui semblait aléatoire pour un utilisateur était en fait reproduit à l'identique d'une condition à l'autre.

Le système enregistrait pour chaque utilisateur et chaque condition le nombre d'étoiles touchées, le temps moyen pour toucher une étoile (réactivité), le nombre de cibles atteintes durant la condition et enfin le temps moyen pour atteindre une cible. Ces données déterminaient selon nous les performances des participants en fonction de chaque condition.

L'expérimentateur observait directement les utilisateurs et notait leurs remarques, expressions et problèmes. De plus, il était comptabilisé pour chaque groupe et chaque condition le nombre de fois que les participants s'entraidaient en se prévenant de la présence d'une étoile sur le plateau.

6.3.3.2 Déroulement

L'expérience débutait par une première étape de familiarisation avec le dispositif et avec le déplacement du cavalier sur le plateau. Chaque utilisateur pouvait déplacer son cavalier vers des cases cibles apparaissant successivement. La position des cases cibles était aléatoire et différente de celle en condition d'évaluation. L'expérimentateur passait à l'étape suivante une fois que tout le monde se déclarait à l'aise.

Avant chaque condition avait lieu une étape de présentation qui durait 25 secondes. Aucun cavalier n'était alors présent sur le plateau et les utilisateurs devaient se concentrer sur l'apparition des étoiles, comment y réagir (en touchant une étoile pour la faire disparaître), la prise en compte des étoiles parasites et la compréhension du type de signal s'il y en avait un. Cette étape était relancée si les utilisateurs le souhaitaient.

Chaque étape d'évaluation durait 6 minutes. Les participants recevaient comme consigne d'atteindre le plus de case possible avec leur cavalier et de réagir le plus rapidement possible aux étoiles apparaissant au centre. Les deux tâches étaient présentées comme importantes, aucune ne devant être négligée. On expliquait de plus aux participants qu'ils n'étaient pas en compétition les uns avec les autres et qu'ils pouvaient s'entraider si par exemple l'un deux remarquaient qu'un autre joueur avait oublié de toucher l'une de ses étoiles. Aucune indication de performance n'était donnée aux utilisateurs durant l'expérience, qui durait au total environ 40 minutes.

6.3.3.3 Données subjectives et analyses statistiques

Après chaque condition, les participants devaient remplir un questionnaire. Il leur était demandé s'ils avaient aimé la condition, s'ils l'avaient trouvée facile et ce qu'ils avaient pensé de leur performance : d'une part atteindre les cibles ; d'autre part toucher les étoiles rapidement ; et enfin les deux en même temps. Ils devaient aussi indiquer s'ils s'étaient sentis visuellement gênés. Chaque réponse se donnait en remplissant une échelle de Likert à 5 points. Lorsque toutes les conditions avaient été évaluées, ils devaient classer les types de signaux par ordre de préférence.

En fin d'expérience, une discussion avait lieu pour que les utilisateurs expliquent à l'oral quelles avaient été leurs stratégies, quelles qualités et quels défauts avait chaque condition et comment s'était manifestée la collaboration dans le groupe.

Toutes les données des questionnaires, le nombre de collaborations relevées et les mesures du système ont été traitées par analyses de variances avec la condition {C0, C1, C2} en facteur intra-sujet. Les comparaisons par paires ont été effectuées avec la méthode du LSD de Fisher. Toutes les analyses ont été réalisées avec SPSS v18.

6.3.4 Résultats

Les résultats de l'expérience s'organisent en deux parties : nous présentons d'abord les analyses de la performance, des échanges collaboratifs et des données subjectives ; puis nous résumons ensuite nos observations directes et les discussions avec les participants.

6.3.4.1 Effet sur la performance des utilisateurs

Nous n'avons pas observé d'effet de la condition sur le nombre de cibles atteintes par le cavalier ($F(2/46)=0,64$; NS), ni sur le temps d'acquisition des cibles ($F(2/46)=0,30$; NS), ni sur le nombre d'étoiles touchées ($F(2/46)=2,10$; NS).

Cependant, nous avons remarqué un effet principal de la condition sur le temps de réaction à l'apparition des étoiles ($F(2/46)=4,28$; $p=0,02$) : sans aucun signal (C0), les sujets mettaient significativement plus de temps à les repérer et les toucher qu'avec le signal circulaire (C1, $p=0,033$) et avec le signal en arc (C2, $p=0,008$). Le temps de réaction n'était pas significativement différent entre ces deux conditions (voir Figure 72).

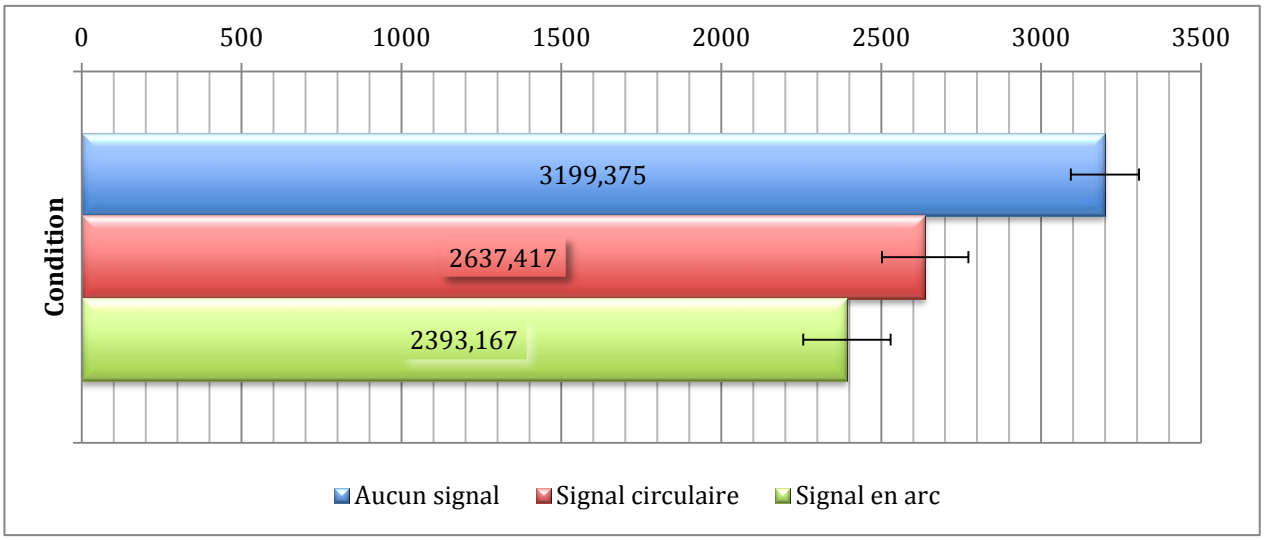


Figure 72 – Réactivité à l'apparition d'une étoile en fonction du type de signal (temps de réaction moyen en ms et écart-type).

6.3.4.2 *Effet sur la collaboration*

Le type de signal avait un effet principal sur le nombre de comportements collaboratifs au sein de chaque groupe ($F(2/10)=12,34$; $p=0,002$) montrant que l'absence d'aide au niveau de l'interface suscitait significativement plus de comportements collaboratifs que lorsqu'il y avait un des deux types de signal ($p=0,018$ et $p=0,007$ respectivement), qui ne se distinguaient pas entre eux (voir Figure 73).

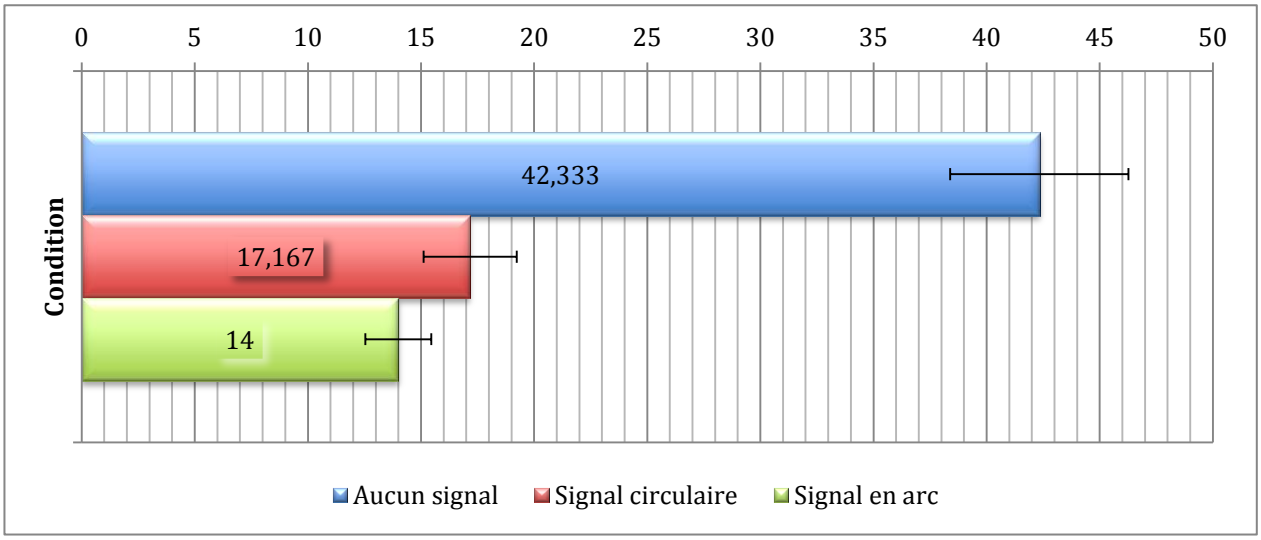


Figure 73 - Collaboration en fonction du type de signal (nombre d'interventions moyen et écart-type)

6.3.4.3 *Données subjectives*

Le type de signal avait un effet principal sur le niveau de **satisfaction** ($F(2/46)=3,45$; $p=0,04$) en faveur du signal en arc orienté vers l'utilisateur, significativement plus appréciée que le signal en cercle global ($p=0,013$) et qu'aucun signal (en tendance : $p=0,088$). Le niveau de satisfaction associé aux conditions 1 et 2 n'était toutefois pas significativement différent. De même, le niveau de **facilité** était significativement

affecté par le type de signal (F(2/46)=23,40 ; p<0,001). Le signal en arc était mieux noté que le signal en cercle (p=0,036), lui-même mieux noté qu'aucun signal (p<0,001). Ce même profil de résultat se retrouvait pour l'**auto-évaluation de la performance** (F(2/46)=8,43 ; p=0,001), le signal en arc mieux noté que le signal en cercle (p=0,026), lui-même mieux noté que l'absence de signal (p=0,039). Par contre, nous n'avons pas constaté d'effet sur l'auto-estimation de la vitesse de **déplacement du cavalier** vers les cibles (F(2/46)=2,08 ; NS). Nous avons observé en revanche un effet principal de la condition sur l'auto-estimation de la **vitesse de réaction à l'apparition des étoiles** (F(2/46)=17,2 ; p<0,001) : les deux signaux n'étaient pas différents entre eux mais étaient tous deux mieux notés qu'aucun signal (p<0,001) (voir Figure 74).

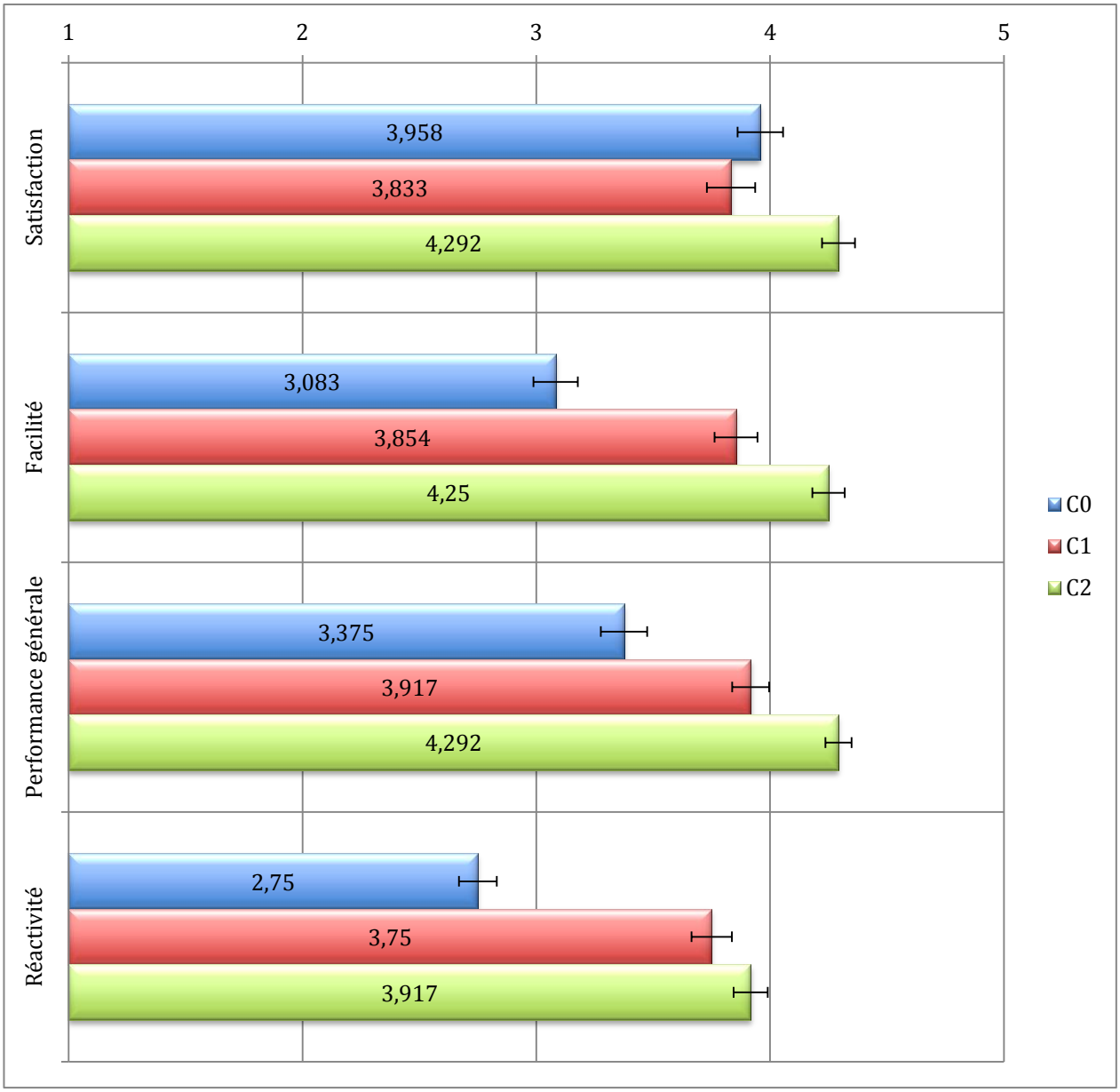


Figure 74 - Evaluation subjective des trois conditions (score moyen entre 1 et 5 et écart-type).

Un effet principal de la condition a également été observé sur la gêne ressentie (F(2/46)=14,71 ; p<0,001) montrant que la gêne était maximale avec le signal circulaire global (p=0,002 et p<0,001 par rapport respectivement aux conditions « aucun signal » et « signal en arc ») (voir Figure 75).

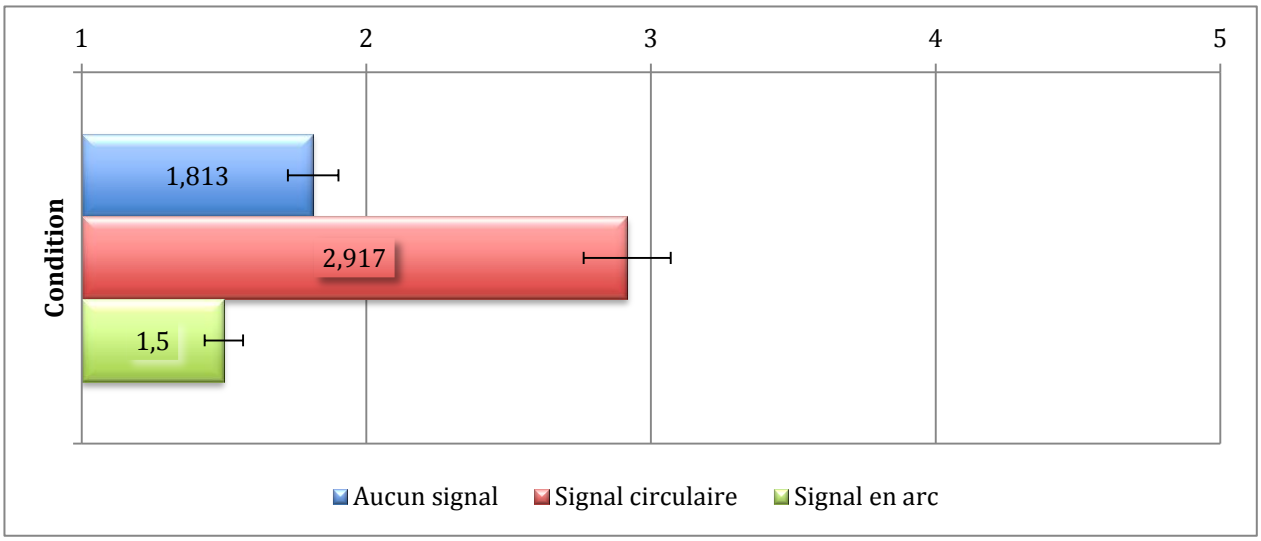


Figure 75 - Gêne ressentie en fonction du type de signal (score moyen et écart-type).

Enfin, concernant le classement des conditions ($F(2/46)=40,39$; $p<0,001$), le signal en arc était significativement préféré ($p<0,001$) aux deux autres conditions, qui ne se distinguaient pas significativement entre elles.

6.3.4.4 Comportements et réactions

Voici le résumé de nos observations du comportement et des réactions des participants face aux différentes conditions.

En condition C0, nous avons constaté que les utilisateurs ne voyaient presque jamais les étoiles à leur apparition mais quelques instants plus tard, alors qu'ils levaient les yeux vers le centre. Certains perdaient parfois quelques secondes à vérifier si une nouvelle étoile était apparue. Être concentré sur le cavalier et la veille des étoiles dans cette condition semblait difficile. Dans les six groupes, les participants collaboraient en se prévenant de la présence d'une étoile au centre. L'entraide consistait à dire la couleur d'une étoile : « bleu ici », « rouge », « jaune là », etc. Au sein d'un groupe, tout le monde ne participaient pas à l'effort à la même hauteur, certains se reposant sur les autres : « C'est collaboratif, je ne regarde plus, je compte sur vous ». Dans un autre groupe, quelqu'un a dit : « Il faudrait que quelqu'un se sacrifie pour surveiller les étoiles ». Pour les deux groupes qui ont fait la condition C0 en dernier, donc après avoir essayé les deux signaux, communiquer était nécessaire car la tâche leur semblait très difficile : « maintenant, il faut être plus attentif », « il faut qu'on s'entraide », « ça me tue le cerveau de chercher les étoiles ».

En comparaison, en condition C1 et C2, les communications étaient plus rares. D'un point de vue extérieur, les deux signaux étaient très efficaces, on pouvait clairement constater qu'ils attiraient le regard des participants. Ceux-ci semblaient d'ailleurs pouvoir se concentrer davantage sur le cavalier et compter sur le signal pour être prévenu d'une nouvelle étoile. Mais en conséquence, lorsque le signal n'était pas perçu, l'utilisateur pouvait perdre des dizaines de secondes, pensant qu'il n'y avait toujours pas eu d'étoile pour lui. Un participant a cru que le signal se répétait tant que l'étoile n'était pas touchée, ce qui n'était pas le cas.

Le signal circulaire global était assez mal accueilli. Nous avons noté de nombreuses réactions ironiques telles que : « c'est le feu d'artifice, le bouquet final ! ». Dès l'entraînement, l'expression de gênes était fréquente : « ça va être le bordel », « vous polluez mon espace visuel », « c'est écœurant », etc. A l'opposé, le signal en arc orienté n'a suscité aucune remarque de gêne. De l'extérieur, cette condition avait le moins de communication ; une personne a d'ailleurs dit : « avec le cône, c'est du chacun pour soi ».

6.3.4.5 Commentaires des participants et interview

Voici la liste des commentaires les plus fréquents concernant **l'absence de signal** à l'apparition des étoiles :

- Cette condition était la plus difficile. Certains l'ont trouvé désagréable et peu confortable ;
- Au niveau stratégie, plusieurs se concentraient sur leurs cavaliers, et vérifiaient régulièrement s'il y avait une nouvelle étoile au centre. Quelques uns ont précisé qu'ils regardaient juste après avoir atteint une nouvelle cible avec leur cavalier ;
- Collaborer était nécessaire pour s'en sortir. Sans communication entre les membres, la tâche aurait été « pénible ». Les utilisateurs ont pensé que seul, la tâche aurait été très difficile car il était délicat de gérer les deux activités en même temps ;
- D'après eux, ils collaboraient non pas par soucis d'entraide, mais surtout parce qu'en cherchant leur étoile au centre, ils remarquaient alors celle des autres : « tu regardes si t'as une étoile, tu vois celle d'un autre alors tu le dis » ;
- Certains comptaient sur les autres pour être avertis de la présence d'une de leurs étoiles au centre ;
- Avec seulement la voix des autres, les participants savaient qu'il y avait une étoile au centre mais pas où elle était localisée ;
- Plusieurs personnes ont noté qu'elles avaient apprécié les échanges et la collaboration qui rendaient cette condition « sympathique » et « amusante ».

Voici les commentaires à propos des **signaux** en général :

- Avoir un signal permettait de se concentrer sur son cavalier ;
- Le signal remplaçait la collaboration. Il n'était plus nécessaire de s'entraider puisque chacun était averti de l'apparition d'une étoile ;
- Les participants étaient très partagés à propos de l'efficacité des signaux à donner la localisation de l'étoile. Certains trouvaient qu'ils s'agissait d'un bon indicateur, d'autres expliquaient devoir quand même chercher l'étoile sur le plateau ;
- Plusieurs participants voyaient les signaux mais préféraient finir le déplacement du cavalier avant de réagir à l'étoile.

Concernant le **signal en cercle**, les principaux retours étaient :

- Beaucoup de participants se sont sentis très gênés par les signaux qui ne leur étaient pas destinés. Quelqu'un a expliqué qu'il fallait « faire un effort d'abstraction pour ne pas être parasité par les signaux des autres » ;
- En conséquence, le signal en cercle n'était pas apprécié des utilisateurs, qui le trouvaient « désagréable », « brutal ». Quelqu'un a plaisanté : « il ne faut pas être épileptique » ;
- La pire des situations était selon eux lorsque plusieurs étoiles apparaissaient en même temps, car les différents cercles s'enchevêtraient alors et plus personne ne savait s'il y en avait eu un pour lui ;
- La moitié des participants pensait que le signal en cercle était pire qu'aucun signal.

Les commentaires des participants sur le **signal en arc orienté** étaient au contraire positifs :

- C'était en grande majorité la solution préférée des participants ;
- L'arc orienté permettait de ne pas avoir à « analyser la couleur » : « On voit un signal, on sait qu'il est pour soi » ;
- Ils n'étaient pas gênés par les arcs des autres, même s'ils pouvaient les remarquer du coin de l'œil : « On ne voit pas le cône du joueur en face, on voit un peu ceux des côtés » ;
- Son seul défaut : comme les utilisateurs attendaient toujours de recevoir un signal pour toucher l'étoile, s'ils le manquaient, ils ne pensaient pas à vérifier le centre du plateau.

Pour finir, les participants ont relevé qu'ils avaient progressé tout au long de l'expérience et que manipuler le cavalier était plus facile à la fin qu'au début.

6.3.5 Discussion

Les résultats de cette expérience sur les signaux visuels sont très positifs et ont validé la majorité de nos hypothèses. Nous avons en outre pu observer un effet inattendu sur la collaboration.

6.3.5.1 Hypothèses validées : H1, H2 et H3

L'hypothèse H1 : « Le signal en arc orienté serait préféré des utilisateurs » a été vérifiée à la fois dans la discussion et dans l'analyse statistique des données subjectives. Les participants ont trouvé que ce signal était le plus satisfaisant, le plus facile à utiliser et qu'il permettait d'être plus performant dans les deux tâches parce qu'il avertissait efficacement de l'apparition d'une étoile sans gêner les autres.

Notre hypothèse H2 : « En condition C1 (signal circulaire) : les signaux des autres utilisateurs seraient gênants » a elle aussi été vérifiée. Les participants ont exprimé de vives réticences lors de son introduction. Ils se sont sentis très perturbés et agressés par les signaux qui ne leur étaient pas destinés. Cela s'est retrouvé dans le questionnaire qui montrait que la gêne était maximale en condition C1. Ce résultat a confirmé le besoin de proposer une solution adaptée au contexte multi-utilisateur.

La troisième hypothèse opérationnelle était qu'en « condition C0 (aucun signal) : le temps de réaction à l'apparition d'un étoile sera plus élevé qu'en condition C1 (signal circulaire global) et C2 (signal arc orienté) » a été prouvé par l'analyse statistique. Lorsqu'il n'y avait pas de signal, les utilisateurs étaient forcés de prendre du temps pour regarder au centre si une nouvelle étoile était apparue pour eux. Dans notre expérience, la présence d'un signal fait gagner une seconde de réactivité en moyenne. Nous pensons toutefois qu'en situation réelle, ce gain peut devenir plus significatif. En effet, l'apparition d'étoile est dans l'expérience un événement très fréquent (plusieurs fois par minute). Dans une situation où les signaux sont plus rares, si l'utilisateur ne voit pas l'événement dès qu'il se produit, il risque de ne pas le remarquer avant un long moment.

6.3.5.2 Hypothèse H4 invalidée

L'hypothèse H4 stipulait que « dans les deux conditions C1 et C2 : la performance dans la tâche principale serait meilleure qu'en condition C0 », ce qui n'a pas été vérifié par l'analyse des performances. Le nombre de cibles atteintes et le temps moyen pour atteindre une cible avec le cavalier n'étaient significativement pas affectés par le type de signal. En outre, les utilisateurs ne l'ont pas ressenti non plus puisque nous n'avons pas constaté d'effet sur l'auto-estimation de la vitesse de déplacement du cavalier vers les cibles.

Nous pensions que les utilisateurs seraient en effet obligés de prendre des temps pour regarder la zone centrale ce qui les aurait ralenti dans leur tâche principale. Avec du recul, nous pensons que plusieurs raisons expliquent que la performance dans la tâche principale n'ait pas été significativement dégradée :

- La tâche principale n'était peut être pas suffisamment difficile. Amener son cavalier sur la cible n'était pas trivial mais pouvait se faire par essais successifs jusqu'à réussite en approchant sa pièce de la case et en tournant au hasard autour jusqu'à ce que celle-ci soit accessible ;
- Les participants adoptaient un comportement séquentiel : ils déplaçaient leur cavalier jusqu'à la cible suivante. Une fois la cible atteinte, ils regardaient brièvement au centre du plateau. La détection d'une étoile de sa couleur n'avait pas une durée déterminante : il suffisait d'une ou deux secondes. Ils pouvaient reprendre la tâche principale rapidement ;
- Les participants semblaient progresser tout au long de l'expérience, si bien qu'en dernière condition, le déplacement du cavalier devenait presque instinctif.

6.3.5.3 Compensation par la communication

Un phénomène auquel nous ne nous attendions pas lors de la préparation de cette expérience était la considérable différence au niveau de la collaboration entre la condition C0 et les deux autres : plus de 42,3 interventions orales en moyenne (écart type : 7,8) en condition C0 contre 17,1 (4,1) en C1 et 14,0 (2,9) en C2 ; soit plus de deux fois plus de communications lorsqu'il n'y avait aucun signal.

Les chercheurs en Interaction Homme-Machine observent fréquemment que lorsqu'une interface est mauvaise, l'utilisateur s'y adapte. Nous avons retrouvé ce phénomène lors de cette expérience : le groupe s'est adapté en compensant le manque d'information dans l'interface par une communication orale accrue. En effet, il ne coutait rien aux utilisateurs cherchant leur étoile au centre et voyant au passage celle

d'un autre de l'avertir oralement. Les communications ont pris le rôle du signal visuel en tant que signaux audio.

Nous imaginons qu'en reproduisant cette même expérience mais avec un utilisateur seul, celui-ci aurait probablement souffert de l'absence totale d'aide visuelle ou auditive : l'apparition non remarquée d'une étoile l'aurait peut-être laissée inaperçue pendant des dizaines de secondes avant que l'utilisateur ne la remarque.

Par ailleurs, nous avons constaté qu'au sein du même groupe, les utilisateurs se répartissaient les rôles : ceux qui effectuaient la « veille » était les mêmes tout au long de l'expérience tandis que les autres comptaient sur eux.

6.3.5.4 Améliorations envisagées

Cette expérience nous a montré que le signal visuel en forme d'arc orienté vers un utilisateur était adapté au contexte multi-utilisateur des tables tactiles. Nous pensons pouvoir encore améliorer ce signal.

Nous partons du constat que la capacité du signal à fournir à la localisation exacte de l'étoile faisait débat. Certains utilisateurs disaient que le signal les avertissait de la présence d'une étoile mais qu'ils devaient la chercher eux-mêmes sur la table. Nous avions choisi un signal en forme d'arc pour réduire l'encombrement de l'interface, mais par soucis d'indiquer la localisation de la source, nous pourrions le remplacer par un cône ou par plusieurs arcs de tailles différentes (des rayures, voir Figure 76) à l'image des signaux en « vagues » décrits dans les travaux de Chatty et al. dont nous nous sommes inspirés [Chatty 1999].



Figure 76 - Amélioration possible du signal en arc pour augmenter la visibilité de l'origine de l'évènement.

Nous avons par ailleurs constaté que les participants faisaient confiance aux signaux et que s'ils en manquaient un, ils ne pensaient plus à vérifier la présence d'une étoile au centre. Une amélioration serait de répéter périodiquement le signal jusqu'à ce que l'évènement ait été traité lorsque c'est possible.

Enfin, nous constatons une opportunité intéressante suite aux remarques des utilisateurs sur le code de couleur du signal. Les interviews ont en effet fait ressortir que puisque le signal en arc se déplaçait dans la direction de la personne concernée, ils n'avaient plus besoin « d'analyser la couleur » pour savoir à qui le signal était destiné. Nous soutenons en conséquence que la couleur peut être exploitée autrement. Elle peut par exemple être utilisée pour donner une autre information, comme le niveau d'urgence de l'événement.

6.4 Conclusions et perspective

Voici les conclusions de notre étude des signaux visuels pour avertir un utilisateur de table interactive d'un événement important. Nous formulons des recommandations d'intégration de signaux d'alerte dans les applications basées sur notre expérience acquise lors des évaluations. Nous proposons ensuite d'utiliser ces signaux pour améliorer la collaboration sur table tactile.

6.4.1 Recommandations

Notre étude bibliographique, nos essais successifs de conception et nos expériences dans le cadre du jeu *RealTimeChess* nous amènent à proposer quelques recommandations de design pour la conception de signaux visuels animés sur table interactive dans un contexte multi-utilisateur.

Un utilisateur concentré sur une tâche s'effectuant dans une partie réduite de la surface a parfois besoin d'être averti lorsque des évènements déterminants pour la réussite du travail se produisent en dehors de son champ de vision. Nous avons étudié plusieurs types de signaux que nous avons présentés au cours de ce chapitre.

Nous recommandons différents signaux en fonction la nature de l'événement et des utilisateurs concernés :

- si l'information est à caractère personnel et ne véhicule pas une position spatiale, alors un signal visuel clignotant situé dans la zone privée de l'utilisateur concerné semble préférable ;
- si l'information est localisée et personnelle, alors le signal du type de celui en arc orienté vers l'utilisateur sera le plus adapté. Il donnera la position et gênera peu les autres personnes. L'épaisseur, la texture et éventuellement la couleur du signal peuvent être utilisées pour représenter des informations supplémentaires ;
- si l'information est localisée et qu'elle s'adresse au groupe entier, alors un signal global du type de celui en cercle conviendra. Il donnera la position et entrera dans le champ de vision de chaque utilisateur. Nous conseillons d'utiliser une couleur neutre si la couleur identifie déjà les utilisateurs.

Dans les deux cas précédents, si le système attend du ou des utilisateurs qu'ils donnent une réponse au message, nous suggérons que le signal se répète périodiquement. Si en revanche, le signal n'avait qu'un but informatif sans appeler de réaction, le signal ne devrait être affiché qu'une seule fois.

6.4.2 Vers des signaux visuels pour assister la communication

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à des signaux déclenchés par le système pour attirer l'attention des utilisateurs vers des évènements qui les concernent. Nous avons constaté l'efficacité de ces signaux pour attirer l'attention sur un point de la surface.

Nous avons observé que lorsque tous les utilisateurs interagissent simultanément sur une table interactive, il est courant que l'un d'eux donne une information à l'un de ses collaborateurs en indiquant approximativement une position, par exemple : « attention, il y a un blocage là ». Si l'attention du collaborateur est portée sur une autre zone, il aura entendu l'information du blocage mais pas sa localité, ce qui l'obligera à la retrouver par lui-même. Si l'interface est très fournie, savoir qu'il y un blocage quelque part sans en connaître l'exacte position peut être frustrant.

Des alertes semblables à celles que nous avons étudiées peuvent être utilisées comme outils d'assistance à la communication sur table interactive. En plus de verbaliser un blocage, un utilisateur pourrait activer manuellement et intentionnellement un signal visuel orienté vers l'utilisateur concerné. Le destinataire du message recevrait ainsi l'alerte par le message oral de son collaborateur, et disposerait d'un temps plus long pour s'interrompre dans sa tâche et percevoir la position de l'alerte.

Dans le précédent chapitre et celui-ci, nous avons présenté et expliqué deux concepts pour supporter l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs dans une application tabletop : l'interaction à distance pour limiter les gênes physiques au-dessus de la table, et les signaux visuels orientés pour augmenter la capacité de perception et réduire les gênes au niveau de l'interface. Nous avons testé ces deux types d'aides dans un jeu afin de supporter l'interaction simultanée quel que soit le rythme du jeu et la motivation des joueurs à agir toujours plus vite.

Le chapitre suivant, qui est la conclusion de ce mémoire, fera une synthèse des travaux effectués et présentera nos perspectives.

7 CONCLUSION

BILAN ET PERSPECTIVES

Dans ce dernier chapitre, nous résumerons d'abord les travaux effectués au cours de la thèse et présenterons un bilan des leçons apprises. Nous exposerons ensuite les perspectives à court, moyen et long termes de nos travaux.

7.1 Bilan

Dans ce mémoire, nous avons présenté les tables interactives qui sont une nouvelle forme d'ordinateur particulièrement adaptée à des applications multi-utilisateurs parce qu'elles permettent à plusieurs personnes de partager le même espace d'interaction. L'objectif principal de cette thèse était d'étudier les **interactions simultanées** de plusieurs utilisateurs avec une table interactive.

7.1.1 Etude de l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs dans un jeu vidéo

Nous nous sommes appuyés sur la conception et l'expérimentation d'un jeu vidéo original pour dégager les problèmes principaux et proposer des solutions. Ainsi, nous avons développé *RealTimeChess*, une version temps-réel des échecs, ne conservant que la représentation d'un plateau de jeux en damier et l'apparence des différentes pièces. Contrairement au jeu d'échecs traditionnel, les joueurs de *RealTimeChess* ne jouent pas à tour de rôle, mais en même temps. Néanmoins, après chaque déplacement d'une pièce, le système impose à cette pièce un temps d'immobilisation de quelques secondes. *RealTimeChess* est une plate-forme d'expérimentation qui permet des situations variées de jeu : il est possible de jouer à 2, à 3 ou à 4 joueurs simultanément, en compétition et/ou en équipe.

Nous avons réalisé une première série d'expériences sur des groupes de 2 et 4 joueurs sous forme de sessions de jeu, composées d'une étape d'apprentissage puis de plusieurs parties. Nous avons observé les joueurs et avons récolté leurs appréciations, leurs préférences et les problèmes rencontrés.

Ces premières expériences ont ainsi mis en évidence plusieurs problèmes d'interaction avec le système : un problème d'accessibilité aux éléments distants d'une part et des soucis de perception des événements importants du jeu d'autre part. Le comportement de certains utilisateurs nous a également surpris car tous ne sont pas enclins à utiliser la simultanéité qui leur est offerte. Ces trois points forment la structure de ce manuscrit qui propose et évalue trois types d'outils pour corriger les défauts observés.

7.1.2 Techniques d'interaction à distance

Pour résoudre les problèmes de gênes physiques et d'accessibilité aux pièces de jeu éloignées, nous avons étudié des techniques d'interaction à distance en distinguant deux types d'action : la sélection d'un objet et le contrôle de l'élément sélectionné. Concernant le contrôle, nous nous sommes basés sur la suggestion de joueurs de *RealTimeChess* pour intégrer au jeu une technique de lancer inertiel permettant de déplacer les pièces à distance où qu'elles soient sur le plateau, en faisant glisser son doigt dans une direction. Concernant la sélection, une expérience de comparaison de quatre techniques inspirées de l'existant a montré que la *RadarView* était la plus efficace et la préférée des utilisateurs. Nous l'avons ensuite intégrée à *RealTimeChess* en l'amélioration par l'ajout de fonctions de personnalisation.

Pour étudier l'adéquation de l'interaction à distance avec des techniques d'interaction directe, nous avons conduit une dernière expérience sur des groupes de 2 et de 4 utilisateurs à partir de la nouvelle version de *RealTimeChess*. Les résultats ont entre autres montré que l'interaction à distance était plus utilisée en groupe de 4, où les gênes physiques étaient les plus fréquentes. Notre but n'est pas de substituer l'interaction directe par l'interaction à distance, qui est une modalité qui permet de proposer des techniques alternatives dès lors que les utilisateurs interagissent simultanément avec l'ensemble de la surface interactive.

7.1.3 Signaux visuels pour augmenter l'attention des utilisateurs

Lorsque tous les utilisateurs interagissent simultanément avec une table interactive, l'environnement est modifié à chaque action et il est difficile pour un utilisateur d'être attentif à tous ces changements. Nous avons conçu et évalué des signaux visuels pour avertir des événements importants.

En nous inspirant de travaux portant sur les écrans des systèmes de contrôle aérien, nous avons implémenté un signal circulaire dans *RealTimeChess* pour aider les joueurs à repérer les menaces adverses. Nous avons constaté qu'à quatre joueurs, ces signaux en cercle devenaient gênants pour le groupe et que l'attention des utilisateurs était saturée. Nous avons alors développé une version où les ondes étaient remplacées par des arcs orientés vers le seul utilisateur concerné.

Les résultats d'une expérience des groupes de 4 utilisateurs ont montré que les participants réagissaient plus vite aux alertes lorsqu'il y avait un signal pour les y aider ; que le signal sous forme de cercle était perçu comme le plus gênant ; et que le signal orienté sous forme de cône était le préféré des participants. Enfin, nous avons constaté qu'en l'absence de signal, les joueurs compensaient par une communication orale accrue, chacun prévenant les autres lorsqu'il percevait un événement qui ne lui était pas destiné.

7.1.4 Mécanismes de pression temporelle et sociale

La dernière contribution de cette thèse avait comme objectif d'évaluer des mécanismes qui permettraient de susciter les interactions simultanées de plusieurs utilisateurs lorsqu'elles n'existent pas. Nous avons choisi comme contexte les séances de créativité (*brainwriting*) sur table interactive car elles reposent fondamentalement sur un mode de travail simultané. Ces séances commencent notamment par une phase de purge d'idées durant laquelle plusieurs participants écrivent des idées sur des post-it électroniques. Pour lutter contre l'autocensure des utilisateurs et augmenter le nombre total d'idées générées, nous avons proposé deux mécanismes de pression (temporelle et sociale) qui ont été intégrés dans un logiciel existant. Le mécanisme de pression temporelle consistait en l'apparition automatique des post-it et un temps limité paramétrable pour les remplir avant qu'ils ne soient supprimés. La pression sociale consistait à afficher au centre de la table une représentation graphique de la performance individuelle des participants ainsi qu'un classement du plus au moins productif. Cette forme de pression sociale avait pour but d'inciter les utilisateurs à se comparer les uns aux autres et instaurer une forme de compétition entre eux.

Nous avons réalisé une expérience sur 32 participants pour étudier l'impact de ces deux mécanismes sur la quantité et l'unicité des post-it générés ainsi que l'expérience subjective des utilisateurs. Les résultats ont validé que la pression temporelle augmentait la quantité d'idées produites et améliorait l'originalité des idées, excepté en condition de pression maximale. Elle dégradait toutefois le ressenti émotionnel des utilisateurs alors que le temps pour remplir les post-it diminuait. Concernant la pression sociale, nous avons observé qu'elle augmentait significativement la motivation des utilisateurs et par conséquent le nombre d'idées générées. Toutefois, en introduisant un sentiment de compétition entre les membres, nous avons aussi constaté une réduction des actes de collaboration.

7.1.5 Leçons apprises et recommandations

Nous livrons dans cette partie les leçons apprises durant nos travaux sur l'interaction avec une table tactile. Nous organisons cette section en quatre sous-parties :

- opposition entre l'interaction simultanée et interaction au tour par tour ;
- observations sur la territorialité dans le jeu sur table interactive ;
- influence de la simultanéité sur la collaboration ;
- et enfin quelques recommandations sur la conception de jeux pour tabletop.

7.1.5.1 Interaction simultanée contre tour par tour

Tous nos travaux durant cette thèse nous ont confortés dans l'idée que supporter l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs sur table interactive est essentiel pour une application. Nous savons que les utilisateurs ne veulent pas attendre leur tour avant d'agir avec la surface tactile. Par extension, nous avançons qu'ils souhaiteront pouvoir paralléliser leur travail en se répartissant les tâches, ou dans le cas des jeux vidéo, que ces jeux puissent se jouer en « temps-réel ». Cette thèse avait comme objectif d'étudier ce mode d'interaction pour anticiper ses limites et proposer des solutions, ce que nous avons fait en étudiant des mécanismes pour modérer le rythme d'interaction, des techniques d'interaction à distance et des signaux visuels pour aider les utilisateurs à rester conscients des changements déterminants.

Imaginons une échelle linéaire de simultanéité : elle part du tour par tour rigide jusqu'à une simultanéité des interactions entièrement libre, et contient également de nombreux niveaux intermédiaires. Le rythme de l'interaction, c'est-à-dire le nombre d'actions à effectuer par les utilisateurs pour un temps donné, peut être plus ou moins lent et plus ou moins contrôlé. Nous pensons que ce rythme détermine la position de l'application sur l'échelle de simultanéité. Les travaux présentés dans cette thèse peuvent être considérés comme des outils capables d'orienter une application dans un sens ou dans l'autre de cette échelle. En effet, les temps de recharge dans *RealTimeChess* permettent de faire varier finement le rythme d'interaction depuis une expérience au tour par tour jusqu'à une simultanéité complète. Les mécanismes de pressions sociale et temporelle à l'inverse donnent à l'interaction un rythme plus élevé. Ces mécanismes ne s'appliquent pas qu'au jeu vidéo car on peut les utiliser pour créer une application de travail exigeantes, demandant aux opérateurs de rester très concentrés, comme nous l'avons illustré avec le cas des séances de créativité. Enfin, les techniques d'interaction à distance permettent quant à elles de supporter la simultanéité alors que l'absence d'interaction à distance force les utilisateurs à diminuer la simultanéité de leurs actions.

La position idéale ou devrait se trouver une application sur cet axe dépend en grande partie du rythme individuel des participants. De plus, le rythme du groupe a aussi une influence parce qu'il va faciliter ou inhiber la communication entre les différents utilisateurs de l'application.

Enfin, d'après notre modèle, les extrémités de cette échelle renforcent l'expérience individuelle : soit très rapide pour un résultat très engageant, soit pratiquement au tour par tour pour encourager la réflexion. Les zones au milieu de l'échelle de simultanéité vont plutôt correspondre aux rythmes de groupe : suffisamment de temps pour communiquer avec les autres sans être obligé de les attendre trop souvent.

7.1.5.2 Territorialité

Les expériences sur *RealTimeChess* nous ont permis d'étudier la territorialité dans une situation de compétition. En comparaison avec les travaux de Scott et al. [Scott 2004], nous avons comme eux observé que les joueurs semblaient décomposer le plateau d'échecs en zones personnelles et publiques. Nous n'avons pas remarqué de zone « de stockage », cela étant du à la nature du jeu.

Cependant, nous avons remarqué de grandes différences avec le modèle de Scott et al. sur la délimitation de ces zones privées et publiques. Tout d'abord, le système ne délimitait pas explicitement les territoires en différentes zones. Les joueurs semblaient plutôt avoir une représentation implicite des différents territoires généralement en fonction de leur proximité. La zone privée était en premier lieu la partie proche de la surface, zone où un joueur pouvait sans effort poser ses mains. Le centre de la table, généralement considéré comme un espace public, était perçu comme un territoire conflictuel en raison des gênes physiques au niveau des bras, et des gênes dans le jeu lorsque les pièces se bloquaient ou que le risque de s'en faire prendre devenait plus grand.

Nous avons observé un certain dynamisme dans la perception des territoires. La zone privée des autres était rarement atteinte en début de partie, car il s'agissait d'un espace où il était difficile d'accéder sans provoquer de collisions ou sans se faire remarquer. Cette barrière évoluait toutefois au cours du jeu : en fin de partie, alors qu'il y avait de moins en moins de pièces sur le plateau, les frontières semblaient disparaître, un joueur finissant par attaquer l'autre sur son terrain.

L'appréhension des territoires était légèrement différente si la délimitation de l'espace était explicite. En effet, dans *RealTimeChess*, certains plateaux, et principalement ceux utilisés lors des tutoriaux, comprenaient des cases bloquantes, empêchant le déplacement des pièces. Dans ce cadre là, les intrusions dans l'espace des autres étaient très rares.

Nous avons de plus observé une relation entre les territoires et le comportement des joueurs. Par exemple, quand un joueur arrivait à amener une de ses pièces dans l'espace privé d'un adversaire sans se faire remarquer, il tâchait de rester discret. Avec l'ajout de techniques pour interagir à distance, il était d'ailleurs plus facile le joueur de déplacer à distance ses pièces sans être trahi par ses bras au dessus de la table.

En outre, le placement des joueurs autour de la table avait un effet important sur la perception des territoires du plateau de jeu. A deux joueurs assis face à face, il semblait y avoir une frontière nette entre la partie proche du plateau (espace personnel) et le milieu (conflit) et loin (espace personnel de l'autre). Par contre, pour trois ou quatre joueurs, les régions dans les coins, entre deux personnes, pouvaient être perçues comme l'espace privés de chacun d'eux, conduisant à des conflits.

Nous avançons que dans un jeu en compétition sur table tactile, la territorialité se manifeste différemment des applications basées sur des documents dont l'orientation est très importante. La proximité, la position du joueur autour de la table, la présence des bras au dessus de la surface et les éléments en jeu vont directement influencer la perception d'espaces personnels et de territoires de conflit. Ces frontières peuvent toutefois être cassées avec l'interaction à distance.

7.1.5.3 Collaboration et Communication

Nos recherches ont montré qu'il était difficile pour les utilisateurs d'interagir simultanément avec le système quel qu'il soit et de collaborer en même temps. Nous l'avons observé à plusieurs reprises et dans différentes situations : dans les parties en compétition par équipe de *RealTimeChess*, durant l'expérience sur les interaction à distance où il fallait déplacer des pièces d'un bord à l'autre alors qu'il n'y avait aucune compétition entre les joueurs, et enfin pendant les séances de créativité. Nous avons cru dans un premier temps que la nature compétitive de *RealTimeChess* était principalement responsable de cette absence d'échange collaboratif, ce qui a été réfuté au cours des expériences suivantes où il n'y avait pas toujours de compétition. De plus, dans *RealTimeChess*, malgré la présence de temps de recharge supposés permettre le dialogue entre les joueurs et préserver un temps de réflexion, nous avons observé très peu de communications de niveau stratégique entre les joueurs d'une même équipe.

Il n'était cependant pas impossible de parler et d'interagir en même temps : durant les parties de *RealTimeChess*, les joueurs parlaient entre eux, le plus souvent pour se plaindre d'avoir perdu des pièces ou pour demander ponctuellement de l'aide. De même, dans l'expérience sur les signaux visuels, les participants parvenaient à s'entraider en verbalisant le nom des couleurs des étoiles qu'ils voyaient. Nous avons quand même remarqué quelques tentatives de communications stratégiques entre des joueurs d'une même équipe mais elles restaient presque toujours sans réponse. Il y a eu des exceptions : les joueurs les plus expérimentés avaient plus de facilité à parler et jouer en même temps : plus les gens devenaient familiers avec le système, plus ils arrivaient à communiquer pour se coordonner.

Enfin nous avons observé que lorsqu'un joueur avait perdu ou terminé sa tâche, il donnait fréquemment des conseils ou des ordres directs aux autres joueurs, par exemple : « Déplace ta pièce ici », « Attention, ça arrive par là », « Essaye de contourner par ici », etc.

Lors des discussions, les participants des différentes expériences expliquaient soit ne pas avoir senti le besoin de communiquer, soit que cela leur avait semblé trop difficile « je ne peux pas faire deux choses en même temps », soit qu'ils avaient essayé mais n'avaient pas eu de réponse : « J'ai proposé quelque chose, tout le monde s'en fichait alors j'ai joué en ne me souciant que de moi ». En contrepartie, les joueurs ont rapporté avoir eu une certaine conscience de l'équipe et de la présence des coéquipiers. Ce sentiment était plus fort lorsque les joueurs de la même équipe étaient placés côte à côte, et moins fort si le coéquipier était assis en face.

Selon nous, la difficulté des utilisateurs est d'être actif avec le système et de mener en même temps une communication complexe avec les autres. Une communication orale ou gestuelle a besoin de plusieurs éléments pour fonctionner et les deux personnes doivent se synchroniser. Celui qui initie la conversation doit vérifier que l'autre est attentif, puis qu'il a entendu le message, qu'il l'a compris et vérifier enfin s'il est d'accord. La leçon de nos observations est que le mode simultané est un style d'interaction qui exige beaucoup de concentration, ce qui entraine une perte de sensibilité aux actions des autres. Nous avons ainsi atteint un résultat inattendu et paradoxal parce que les tabletops sont généralement considérées comme un environnement de travail informatique très favorables à la conscience collective. L'interaction en coprésence permet de partager le même espace mais l'activité en simultané crée une séparation invisible entre les utilisateurs.

7.1.5.4 Conception de jeux pour table interactive

Durant la conception de *RealTimeChess* et la suite de la thèse, nous avons cherché à rendre le jeu toujours plus sympathique, utilisable et accessible aux débutants. Ainsi, notre travail de recherche a produit quelques réflexions sur des règles de *Game Design* pour table interactive que nous partageons ici.

Les tables interactives se posent à l'intersection du jeu sur table et du jeu vidéo ; il est intéressant d'exploiter ces deux dimensions pour proposer une expérience vidéoludique originale. Notre première règle est de chercher à proposer des jeux multijoueurs parce que l'interaction sociale est l'apport fondamental des tables interactives. Les jeux conçus pour un joueur seul risqueraient d'être plus faciles et plus confortables sur un ordinateur de bureau. Ensuite, nous suggérons de ne pas limiter les jeux de société aux règles traditionnelles (dames, les échecs, le Monopoly, etc.). L'exploitation des capacités informatiques pour transformer le fonctionnement de ces jeux et augmenter l'immersion permet de renouveler l'expérience des utilisateurs. *RealTimeChess* est un exemple concret de cette philosophie de conception.

Les jeux vidéo existants ne gagnent pas être portés sur table interactive sans en reconsidérer fondamentalement la jouabilité. Se limiter, pour le contrôle du jeu, à l'émulation d'une manette ou d'une souris avec des techniques à un ou deux doigts ne suffit jamais. Nous avançons qu'il faut au contraire proposer sur table interactive des styles d'interaction adaptés à son interface graphique large et horizontale, à la présence de plusieurs joueurs et à la richesse et aux limites des techniques d'interactions tactiles.

Les jeux vidéo au tour par tour sont de plus en plus rares dans le catalogue des jeux vidéos actuels. Il semblerait que le tour par tour soit utilisé lorsqu'un haut niveau de stratégie est exigé, mais l'est beaucoup plus rarement dès que le jeu se joue à plusieurs, car les joueurs aiment rarement attendre leur tour. Ainsi, sur table interactive aussi, nous suggérons de proposer des jeux où les joueurs sont libres d'interagir simultanément. Cependant, au cours des sessions de jeu *RealTimeChess*, nous avons rencontré des joueurs préférant clairement un rythme de jeu très rapide et excitant, mais aussi des personnes relativement déroutées par des rythmes d'interaction trop rapides, provoquant selon eux des gênes entre les joueurs et des pressions détériorant la stratégie. Nous recommandons de développer des jeux dont le rythme soit paramétrable afin de proposer une expérience de jeu agréable pour tout le monde. Un mécanisme capable d'évaluer et d'ajuster automatiquement le rythme du jeu au joueur est envisageable mais semble difficile à mettre en place.

L'interaction en simultanée sur une surface d'interaction partagée peut amener des situations de conflits [Nacenta 2007], c'est-à-dire des collisions entre les bras des utilisateurs, ce qui est généralement à éviter du point de vue d'un concepteur d'application. A l'inverse, dans *RealTimeChess*, il s'est souvent avéré que ces conflits étaient un aspect essentiel de l'attractivité du jeu. Plusieurs joueurs ont dit avoir trouvé les situations de gênes amusantes, excitantes et parfois même stratégiques. Tout le monde n'apprécie cependant pas les contacts physiques, qui deviennent plus fréquents quand le rythme du jeu augmente. Les techniques d'interactions à distance sont utiles pour réduire les gênes de ces utilisateurs ou pour utiliser la discrétion comme un aspect du jeu.

Une autre règle que nous suggérons est de laisser explicitement un temps de préparation avant chaque partie pour permettre aux joueurs de discuter des règles ou d'une stratégie à adopter, ainsi qu'un autre temps après chaque partie pour les laisser décompresser et parler des résultats. Nous suggérons en particulier de penser à décomposer le jeu en sessions relativement courtes (entre 30 secondes et quelques minutes seulement).

Enfin, *RealTimeChess* a été développé sur une *DiamondTouch* [Dietz 2001], capable de distinguer les utilisateurs entre eux à chaque contact, ce qui a été fondamental. En effet, sans cette fonctionnalité, il y aurait eu trop d'ambiguïtés dans le jeu : quel joueur a touché la pièce ? Voulait-il la sélectionner parce qu'elle lui appartient ou l'attaquer parce qu'il est l'adversaire ? Nous avons essayé de développer une version de *RealTimeChess* sur une table FTIR [Han 2005] qui ne pouvait pas identifier les utilisateurs. Nous avons du retirer des éléments fondamentaux tels que le tap'and'tap. Les sélections et déplacements directs devaient se faire au drag'n'drop. Un problème majeur était que les joueurs pouvaient alors se tromper de pièces et déplacer celles des autres soit par confusion soit par malveillance. Néanmoins, il était possible d'utiliser les techniques d'interaction à distance telles que le lancer inertiel et la *RadarView* : le système supposait que les contacts captés prêt du bord étaient du joueur positionné sur ce côté. Les joueurs ayant testé les deux versions (*DiamondTouch* et table FTIR) ont préféré la *DiamondTouch* qui

pourtant oblige à être assis sur un tapis et projette l'image par le haut ce qui provoque des ombres en dessous des bras des utilisateurs.

7.2 Perspectives

Les différents aspects abordés durant cette thèse ont ouvert des pistes intéressantes que nous souhaitons poursuivre à l'avenir. Nous présentons ces travaux dans trois parties du plus court terme au plus long.

7.2.1 Perspectives à court terme

Les perspectives à court terme sont la suite directe de la méthode incrémentale présentée dans cette thèse. Nous présentons dans les sections suivantes les nouveaux aspects que nous souhaitons étudier à l'aide du jeu *RealTimeChess*, puis différentes nouvelles techniques d'interaction que nous envisageons d'évaluer.

7.2.1.1 RealTimeChess et collaboration

Isenberg et al. ont récemment observé et analysé les comportements collaboratifs pour établir un modèle comportemental de la collaboration sur table interactive dans une tâche d'analyse de documents avec deux utilisateurs [Isenberg 2010]. De plus, cette étude propose des métriques d'analyse pour aider à qualifier et classer les actes collaboratifs : gestes, paroles, attitudes, échanges, etc. Une perspective évidente consiste à organiser une expérience similaire sur le jeu *RealTimeChess*. Cette expérience permettra de comparer un cadre de travail classique avec un cadre vidéoludique intégrant de la compétition par équipe. Cette nouvelle étude cherchera à répondre aux questions suivantes : comment les joueurs développent leurs stratégies ? Quels mode de communication sont utilisés et pourquoi ?

Par ailleurs, *RealTimeChess* est une plate-forme d'expérimentation vidéoludique robuste et entièrement paramétrable. Nous l'avons utilisée pour tester des situations d'interaction variées. Il facilement possible de rajouter des nouveaux types de pièces, des nouvelles configurations de plateau et des objectifs différents. *RealTimeChess* intéresse et inspire plusieurs chercheurs que nous avons rencontrés. Nous voudrions partager cette plate-forme logicielle avec la communauté scientifique et qu'elle puisse engendrer d'autres études sur le jeu sur table et l'interaction simultanée. Cette mise à disposition exige cependant un travail d'adaptation et de documentation du programme. Nous devons de plus modifier le système pour le rendre compatible avec d'autres types de tabletops que la *DiamondTouch*.

7.2.1.2 Interaction à distance dans un jeu au fonctionnement différent

Nous avons commencé la conception de plusieurs nouvelles techniques de contrôle à distance en développant un nouveau jeu vidéo pour table tactile : une adaptation du célèbre jeu d'arcade *Asteroid*, dans lequel le joueur contrôle un vaisseau dans l'univers et doit détruire des astéroïdes ou les éviter. Notre implémentation permet de jouer à quatre simultanément sur toute la table, chaque joueur contrôlant un vaisseau, et tous devant s'entraider pour survivre.

Les vaisseaux peuvent se déplacer sur toute la surface. A la différence de *RealTimeChess*, chaque joueur ne contrôle qu'un seul objet (son vaisseau) et non plusieurs (ses pièces du jeu d'échecs). Les contrôles sont donc différents. Il n'y a pas besoin de sélectionner quoi que ce soit. Nous avons développé plusieurs techniques différentes pour piloter son vaisseau, des techniques d'interaction directes et d'autres distantes. La perspective d'appliquer la même méthodologie que *RealTimeChess* sur cette nouvelle base de travail permettra de comparer et déterminer laquelle serait la plus efficace dans ce nouveau contexte collaboratif.

7.2.2 Perspectives à moyens termes

Nos perspectives s'étendent aussi à d'autres travaux nécessitant encore une étape de formalisation et de développement informatique. Dans les sections suivantes, nous décrivons dans quel axe nous souhaitons continuer notre travail sur la conception et l'évaluation de différentes techniques d'interactions pour table interactive, puis nous expliquons comment nous envisageons de tester l'efficacité des mécanismes de pression déjà évoqués dans un contexte d'apprentissage.

7.2.2.1 Nouvelles techniques d'interaction

Nous avons exploré des techniques d'interaction pour la sélection à distance d'un objet unique. Une perspective importante consiste à proposer des techniques pour sélectionner des groupes d'objets, de

près ou de loin. Nous envisageons d'étudier des techniques qui exploiteraient les capacités multi-tactiles de la table, c'est-à-dire avec plusieurs doigts ou plusieurs mains d'un même utilisateur.

Par ailleurs, nous avons initié un travail sur l'utilisation de pédales placées sous la table dans l'émulation d'un jeu PC existant afin d'attribuer une fonction différente au toucher selon que les pédales soient enfoncées ou non. Une perspective possible à cette recherche sera de proposer des techniques basées sur des pédales pour enrichir le vocabulaire d'interaction des utilisateurs tout en diminuant les actions au dessus de la surface, ce qui favorise selon nous les interactions simultanées de plusieurs utilisateurs.

Enfin, nous avons développé lors de cette thèse un menu hiérarchique partagé collaboratif appelé *CentralMenu*, et qui est utilisé dans *RealTimeChess* pour paramétrer le nombre de joueurs, la vitesse du jeu et choisir son plateau de jeu. Les perspectives d'amélioration du *CentralMenu* consistent à d'une part augmenter la perception de la position des utilisateurs dans la hiérarchie du menu, et d'autre part à mieux exploiter le large espace réservé à l'affichage des anneaux [Chaboissier 2010].

7.2.2.2 Mécanismes de pression et tâche d'apprentissage en simultanée

Nous pensons que les caractéristiques des tables interactives les rendent intéressantes dans des applications liées à l'éducation et à la pédagogie : la surface horizontale peut accueillir des styles d'interactions proches de ceux utilisés à l'école et de plus, l'aspect multi-utilisateur convient à la communication entre un pédagogue et plusieurs apprenants assis autour de la table. Ce scénario diffère beaucoup du jeu vidéo mais nous notons que des pressions existent dans le monde de l'éducation : contrôles, évaluations, examens en temps limité, classement entre les individus, etc. En rapport avec ces reflexions, nous avons remarqué les travaux récents de Kubicki [Kubiski 2011 b] relatant une expérimentation en école avec des enfants âgés de 3 à 5 ans et debout autour d'une table interactive Tangisense.

Nous avons commencé une réflexion sur l'intérêt de mécanismes de pression sociale et de pression temporelle dans un autre contexte que les séances de créativité et le jeu vidéo. Nous souhaitons nous diriger vers une évaluation de ces moyens dans une tâche d'apprentissage. Nous formulons l'hypothèse que ces mécanismes seraient bénéfiques dans un cadre où l'objectif de l'utilisateur est d'acquérir et de comprendre de nouveaux savoirs. Nous souhaiterions ainsi comparer les résultats de cette nouvelle expérience avec ceux obtenus sur les séances de créativité afin de mieux comprendre la généricité de nos résultats.

7.2.3 Perspectives à long terme

Nous présentons dans cette partie quelques réflexions sur des techniques pour assister la communication entre des utilisateurs interagissant simultanément sur des tâches parallèles mais souhaitant tout de même collaborer.

Nos observations ont montré qu'il est difficile pour des utilisateurs de communiquer et d'agir sur une tâche individuelle en même temps. Une perspective est de concevoir et d'évaluer des techniques d'interaction collaboratives pour assister la communication entre plusieurs utilisateurs dans le cas où ils sont fortement engagés dans des tâches différentes, et éventuellement dans une situation où plusieurs tables interactives distribuées communiquent les unes avec les autres [Lepreux 2011].

Nous avons observé que lorsqu'un utilisateur tente de délivrer un message à un autre, ce dernier est concentré sur sa propre tâche et n'est pas disponible au moment souhaité. Ce problème, que nous avons rencontré au cours de nos expériences, est celui de la nécessité de se synchroniser entre collaborateurs. Une solution à explorer consisterait à coupler un message oral avec un affichage persistant dans l'interface. Ce couplage permettra au destinataire de le traiter plus tard. Nous proposerons ainsi des techniques d'aide à la communication sous forme d'annotations temporaires éventuellement accompagnées d'un arc orienté animé comme celui présenté dans ce mémoire. Il s'agirait en résumé d'étudier la communication asynchrone en coprésence.

7.3 Vers la diffusion des tabletops auprès du grand public

Nous estimons nombreuses les innovations technologiques qui existent depuis des années sans être jamais parvenues à s'imposer dans le quotidien des particuliers. La réalité virtuelle en est un bon exemple : les seules applications qui existent se trouvent dans la recherche, les simulateurs, la médecine, etc. De leur côté, les tables interactives sont encore trop récentes pour prétendre à la démocratisation. D'un point de vue matériel et logiciel, elles sont encore au stade du prototype. La communauté de recherche travaille pour proposer et évaluer des principes de conception qui permettront un jour de créer des applications adaptées sur des tables interactives performants.

Il reste beaucoup de travail à produire, premièrement d'un point de vue matériel. Nous imaginons la table tactile idéale comme étant capable de supporter tous les styles d'interaction jusque là explorés : interactions multi-tactiles, distinction des utilisateurs, reconnaissance des doigts et des mains, détections d'objets tangibles en contact ou légèrement au dessus de la surface. Nous pensons que nous assisterons à un virage technologique majeur le jour où un acteur de premier plan de l'industrie informatique (Apple, Google, Microsoft, HP, etc.) cherchera à créer le besoin de table interactive pour le grand public. Jusqu'à aujourd'hui, il nous semble que Microsoft a préparé le terrain en faisant d'intéressantes démonstrations de ses tables *Surface* et *Surface 2*. Toutefois, ces tables restent encore considérées comme des vitrines technologiques ; et même si elles sont parfois utilisées dans des lieux publics, il reste du chemin à parcourir pour que les particuliers considèrent utile d'avoir une tabletop chez soi.

Deuxièmement, il reste à proposer une application des tables interactives qui soit jugée pertinente par le grand public. Je pense que notre approche durant cette thèse était très originale et a permis de découvrir et d'étudier de nouveaux problèmes des tables interactives en repoussant leur utilisation dans leurs retranchements. Il est fort possible que le jeu vidéo soit l'application qui démocratisera les tabletops. Les succès de la Wii et plus récemment la sortie de la Kinect de Microsoft ou du Playstation Move de Sony prouvent que le grand public est attiré par des expériences vidéoludiques originales, basées sur l'aspect social et surtout d'innovantes formes d'interactions naturelles. De plus, la diffusion auprès du grand public des technologies tactiles dans le domaine des SmartPhones et des tablettes, d'ailleurs de plus en plus utilisées pour le divertissement, confortent dans l'idée que les tabletops sont attendues par les utilisateurs. Il semble ainsi pertinent que l'un des trois acteurs majeurs du jeu vidéo (Sony, Nintendo ou Microsoft) investisse durant la prochaine décennie dans un nouveau type d'écran tactile horizontal pensé pour des applications multijoueurs avec de fortes interactions sociales. Ce dispositif mettra en pratique certaines des recherches menées par la communauté scientifique sur les tables interactives depuis près de vingt ans.

8 TRAVAUX ANNEXES
CONTROLE DU RYTHME D'INTERACTION

MECANISMES DE PRESSIONS DANS UNE ACTIVITE DE CREATIVITE SUR TABLE INTERACTIVE

Dans ce chapitre, nous présentons des travaux annexes à cette thèse, ayant toutefois des points communs avec la problématique de ce mémoire. Nous présentons ainsi deux mécanismes incitant l'interaction simultanée des utilisateurs sur table interactive. En effet l'étude du chapitre 4 a révélé, non seulement des problèmes en entrée et en sortie qui ont été abordés respectivement aux chapitres 5 et 6, mais une réticence potentielle de certains utilisateurs à travailler simultanément. Nous revenons dans un premier temps sur la situation où nous avons observé une interaction non simultanée et nous nous interrogeons sur les moyens de l'inciter. Nous exposerons ensuite un nouveau cadre d'expérimentation plus adapté à ce problème: les séances de créativité sur table interactive. En troisième partie, nous présentons deux mécanismes de pression que nous avons conçus puis testés au cours d'une expérience. Enfin, nous discutons des résultats de l'expérience et nous envisageons comment ces mécanismes peuvent être utilisés comme leviers pour susciter l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs dans une application de table interactive.

8.1 Inciter la simultanéité

Dans cette première partie, nous décrivons ce que nous appelons le rythme d'interaction d'un système et comment il est contrôlé dans un jeu vidéo. Nous nous interrogeons ensuite sur la possibilité d'exploiter ces mécanismes de contrôle en dehors du cadre vidéoludique.

8.1.1 Rythme d'interaction

Revenons dans un premier temps sur le rôle des interactions simultanées dans le jeu vidéo sur table interactive et le moyen de les modérer dans *RealTimeChess*.

8.1.1.1 Une simultanéité des interactions souhaitable

Dans les jeux vidéo multijoueurs, qu'ils soient joués sur internet, en réseau local ou en coprésence, les joueurs interagissent le plus souvent simultanément. Les concepteurs de jeu ont en effet identifié que les utilisateurs sont rarement enclins à accepter des phases d'attente dans une activité ludique qui a souvent comme but de « faire passer le temps ».

De plus, jouer simultanément avec d'autres joueurs oblige à s'adapter à leurs rythmes, ce qui constitue une pression stimulante. Sur table interactive, il a souvent été relevé que les utilisateurs souhaitent ou préfèrent interagir simultanément plutôt qu'au tour par tour [Scott 2003, Pape 2004, Magerkurth 2004, Esenther 2005, Shen 2006, Hornecker 2008].

8.1.1.2 L'interaction simultanée n'est pas systématique

Toutefois, la liberté d'interagir en même temps conjuguée à cette préférence n'implique pas que les joueurs interagiront simultanément dans tous les cas et toutes les situations. Nous avons observé la situation où deux joueurs de *RealTimeChess*, peu engagés dans la partie et peu intéressés, s'attendaient mutuellement de plus de plus : chacun attendait que l'autre ait joué une pièce pour lui répondre, réduisant la simultanéité jusqu'à la ramener au tour par tour. Cette observation a été renforcée par les très

nombreuses démonstrations de système tabletop que nous avons mené au laboratoire. Certains visiteurs commencent à interagir en même temps que la personne conduisant la démonstration sans y avoir été invité. Au contraire certaines personnes invitées à reproduire une action du chercheur attendent inutilement que ce dernier enlève ses mains de la table. Cette prudence observée de très nombreuses fois se reproduit parfois pendant toute la durée de la démonstration et malgré des instructions claires sur la capacité du système à supporter l'interaction simultanée.

Le rythme du jeu dans *RealTimeChess* est modéré par des mécanismes de temps de recharge après le déplacement des pièces. Ces temps de recharge constituent une contrainte de rythme maximal : ils empêchent les joueurs d'agir plus d'un certain nombre de fois sur leurs pièces par minute. Cette limite maximum ne force pas les joueurs à interagir plus vite car ce n'est pas une limite minimum. En n'ayant que ce mécanisme de pression là, il est possible de perdre les bénéfices de l'interaction simultanée.

8.1.1.3 Rythme d'exécution

Nous pensons qu'il existe une relation entre interaction simultanée et rythme d'exécution d'une application. Nous définissons le rythme d'exécution comme le nombre d'actions exigées des utilisateurs durant une période données pour accomplir la tâche. Ce rythme dépend de l'application et des pressions existantes.

Nous distinguons plusieurs rythmes différents :

- Dans un rythme libre, le système laisse les utilisateurs agir à leur rythme. Ils ne sont pas pressés, ont le temps de réfléchir avant de prendre des décisions. Ils peuvent faire des pauses quand ils le souhaitent, l'état du système ne change que lorsqu'ils agissent dessus. Dans ce cas, en multi-utilisateur, leurs interactions ne seront pas forcément simultanées.
  Exemples : logiciel de conception, jeux vidéo au tour par tour, etc.

- Dans un rythme contraint par une source extérieure, les utilisateurs doivent réagir à des informations qui leur parviennent à un rythme variable. Ils n'ont pas toujours le temps qu'ils souhaiteraient pour réfléchir. Leur capacité d'analyse et de prise de décision détermine la réussite de leur travail. L'environnement évolue en temps-réel.
  Exemples : système de contrôle de trafic aérien, système de gestion de crise

- Dans un rythme imposé ou contrôlé, le système contrôle par différents leviers de pressions la vitesse à laquelle doivent agir les utilisateurs pour atteindre des objectifs donnés.
  Exemples : jeux vidéo, enchères en ligne, transactions bancaires.

Nous constatons que parmi ces trois rythmes, le rythme contrôlé correspond à notre besoin d'une limite minimum. Nous remarquerons par ailleurs que l'utilisation d'un rythme contrôlé en dehors du jeu vidéo est presque systématiquement due à l'existence d'autres acteurs humains. La présence de plusieurs utilisateurs autour d'une table soulève donc la question de la pertinence d'un rythme contrôlé dans une application de table interactive.

8.1.2 Rythme contrôlé en dehors du jeu vidéo

Dans le cas des applications autres que vidéoludiques, il est rare de trouver un système qui impose un rythme aux utilisateurs. Les systèmes mono-utilisateurs n'en ont pas vraiment l'utilité et les systèmes (multi-utilisateurs) distribués reposent le plus souvent sur l'asynchronisme. Les tables interactives offrent en conséquence un terrain pertinent pour expérimenter les techniques issues des jeux vidéo visant à imposer un rythme contrôlé. Afin de ne pas mélanger les besoins du jeu vidéo et ceux des tables interactives nous devrons toutefois nous tourner vers un autre domaine applicatif que le jeu *RealTimeChess*.

8.1.2.1 Des mécanismes de pressions sociales et temporaires

Dans les jeux vidéo, ils existent plusieurs mécanismes qui imposent un rythme et motivent les utilisateurs à se dépasser. Nous considérons par la suite ces mécanismes comme des moyens de pression.

L'aspect compétitif d'un jeu génère une pression sociale : soit en opposant les joueurs les uns aux soit parce qu'il place les joueurs en situation coopérative en affichant la performance individuelle de chacun. Dans les deux situations la conception du jeu vidéo pousse les joueurs à surpasser les autres.

En plus de ces deux premiers cas de rythme imposé, le concepteur de jeu vidéo utilise parfois des pressions temporaires. Par exemple les jeux exigent des joueurs de faire leurs choix en temps limité. Dans le jeu *Tetris*, les pièces tombent continuellement et de plus en plus vite au fur et à mesure que le joueur progresse.

8.1.2.2 Quels impacts hors d'un jeu ?

De nombreuses questions relatives à l'intégration de ces mécanismes de pressions dans une application multi-utilisateur pour table interactive semblent sans réponse.

Ces leviers, sources de motivations dans un jeu vidéo, pourraient-ils forcer les utilisateurs à se surpasser et ainsi les rendre plus productif ? En outre, dans un cadre multi-utilisateur, quels impacts il y aurait-il sur la collaboration ? Enfin, quelle serait l'influence sur l'expérience subjective des utilisateurs ? Se sentiraient-ils stimulés, amusés ou stressés par ces mécanismes ?

8.1.2.3 Expérience dans une application de séance de créativité

Pour répondre à ces questions, nous avons mené une collaboration avec le laboratoire LCPI de l'ENSAM. Ce laboratoire a réalisé plusieurs expérimentations sur le phénomène de la paresse sociale (social loafing). Leurs travaux antérieurs leurs ont permis de quantifier et de proposer des mécanismes pour diminuer cette paresse lors d'une activité de séance de créativité. Toutefois, si ces mécanismes rééquilibrent les contributions des participants, il n'entraine pas de gain de productivité. Les participants des séances de créativité ont en effet tendance à beaucoup observer le travail des autres. Selon Osborn (1935), le créateur des séances de créativité, la qualité des idées est avant tout liée à la quantité d'idées générées. Les chercheurs du LCPI cherchent à limiter la collaboration aux utilisateurs en panne d'idée. Leur domaine applicatif nous a semblé en conséquence bien adapté pour tester des mécanismes de pression.

L'hypothèse principale était qu'en accentuant la pression sur les utilisateurs, nous allions observer une augmentation de la quantité et de la qualité d'idées générées.

8.2 Tables interactives et séance de créativité

Dans cette partie, nous présentons les séances de créativité de type « *brainwriting* » et en particulier la phase appelée « purge d'idées » ; puis le logiciel *Post-it* précédemment développé par l'équipe du LCPI-ENSAM et les résultats des travaux antérieurs.

8.2.1 Les séances de créativité

La créativité est l'habilité à produire un travail qui soit innovant et approprié (Sternberg, 1998). Elle est vitale au sein des entreprises : dans la société occidentale moderne, l'innovation industrielle est l'un des principaux moyens pour rester compétitif parce que le cycle de vie des produits se raccourcit et que de nouveaux produits doivent continuellement être développés et placés sur le marché.

8.2.1.1 Déroulement

Dans ce cadre, les séances de créativité, le plus souvent appelées « brainstorming », sont largement utilisées au sein des entreprises et constituent par ailleurs un phénomène étudié en psychologie cognitive. Par exemple, il a été démontré que la stimulation cognitive, autrement dit l'exposition aux idées des autres, et la possibilité de comparer sa performance à celle des autres augmentent la génération d'idée [Dugosh 2005].

Une séance de créativité est une activité collective de génération d'idées divergentes (« remue-méninges ») par des acteurs en coprésence, à partir d'un thème proposé par un animateur. Dans le cas de la méthode appelée *brainwriting*, la collecte des idées est matérialisée par l'écriture de ses idées sur des post-it en papier, une seule idée par post-it. Cette activité est soumise à une durée temporelle, définie et annoncée au début de la séance par l'animateur. Selon Osborn (le créateur, 1935), cette méthodologie a pour objectif d'« imposer au nom de la quantité un rythme qui empêchera les participants de formuler les objections interdites ».

Les séances de *brainwriting* reposent sur des mécanismes de divergence (génération d'un maximum d'idées) puis de convergence (évaluation et sélection des meilleures idées, voir Figure 77).

- La première phase est une purge d'idées. Il s'agit de générer un grand nombre d'idées dans un temps relativement court à partir d'un sujet donné. Dans un premier temps, dans chaque individu écrit ses propres idées, puis dans un second temps, toutes les idées sont rassemblées puis réorganisées en familles par tout le groupe.
- La deuxième phase consiste à former une carte mentale : une hiérarchie des idées. Les utilisateurs la construisent collectivement par associations logiques successives pour finalement faire apparaître de nouvelles pistes de réflexions pour résoudre le problème initial.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes concentrés sur la première étape : la purge d'idées.

8.2.1.2 Phase de génération d'idées

L'activité de créativité est soumise à certaines règles formalisées, énoncées et laissées à la vue des participants pendant la séance :

- Toutes les idées doivent être notées ;
- La censure, l'autocensure, les critiques des idées sont interdites. Il n'y a pas de bonne, ni de mauvaise réponse ;
- La quantité d'idées est demandée, car plus il y a d'idées, plus il y a de chances pour qu'il y ait de bonnes idées (corrélation entre quantité et qualité) ;
- Une pensée débridée (idées fantaisistes, farfelues, folles, extravagantes) est la bienvenue ;
- La combinaison et l'amélioration des idées des autres sont recherchées : le détournement, l'association d'idées, la collaboration, les rebondissements, etc. ;
- Ces règles sont valable « ici et maintenant », dans le cadre de la séance (anonymat des participants).



Figure 77 : Le résultat d'une séance de créativité réalisée au LCPI-ENSAM.

8.2.2 L'application post-it : objectif, travaux antérieurs

Des travaux ont auparavant été réalisés en collaboration entre notre équipe AMI du LIMSI et le LCPI de l'ENSAM. L'un de ces projets (Digitable) a porté sur le développement et l'évaluation d'un système interactif pour mener des séances de créativité sur table tactile avec plusieurs personnes en coprésence.

8.2.2.1 Tabletop et créativité

L'objectif du projet Digitable était de mettre en évidence l'impact de l'usage de la table interactive sur l'activité de Brainstorming (Purge et Carte Mentale), en comparaison à l'activité de créativité avec les supports traditionnels papiers et crayons. Plus précisément, l'aboutissement souhaité était d'optimiser les résultats grâce à la tabletop, en s'appuyant sur l'idée qu'elle était tout à fait adaptée à cette méthode de conception : interactions sociales, collaboration co-localisée, partage des informations [Streitz 1999, Schneiderman 2000, Lubart 2005, Scheiderman 2006, Warr 2006, Buisine 2007]. En outre, un des avantages attendus de cette approche était que la dynamique de l'activité serait alors contrôlée par le système au lieu d'être liée au rôle de l'animateur.

8.2.2.2 Le logiciel pre-existant « Post-it »

Avant nos travaux, un logiciel, existant appelé « Post-it », a été développé spécialement pour table interactive pour supporter les séances de créativité de type *brainwriting* avec quatre participants interagissant simultanément (voir Figure 78). Avant de présenter nos propres travaux nous rappelons les principales caractéristiques de ce système. Le projet utilise la librairie de programmation *DiamondSpin* [Shen 2004]. *Post-it* permet d'organiser des séances de créativité se déroulant dans les deux phases évoquées précédemment : la purge d'idées et l'organisation d'une carte mentale à partir des idées générées [Buisine 2007].

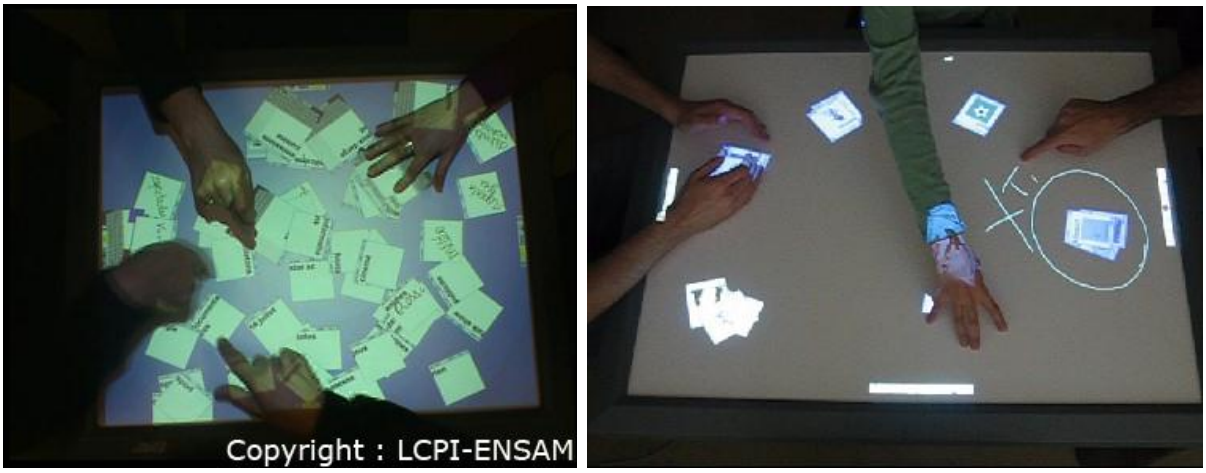


Figure 78 : Une séance de créativité sur table interactive menée au LCPI-ENSAM

Dans la première phase, les quatre utilisateurs disposent de menus individuels dans leur espace personnel, sous forme de barre placée sur le bord de la table. Le menu comprend plusieurs boutons. Un premier permet de créer un post-it vierge devant soi, orienté vers soi. L'utilisateur peut y inscrire une idée de plusieurs façons différentes : par édition manuscrite (écriture et dessin) ou à l'aide d'un clavier virtuel (voir Figure 79).

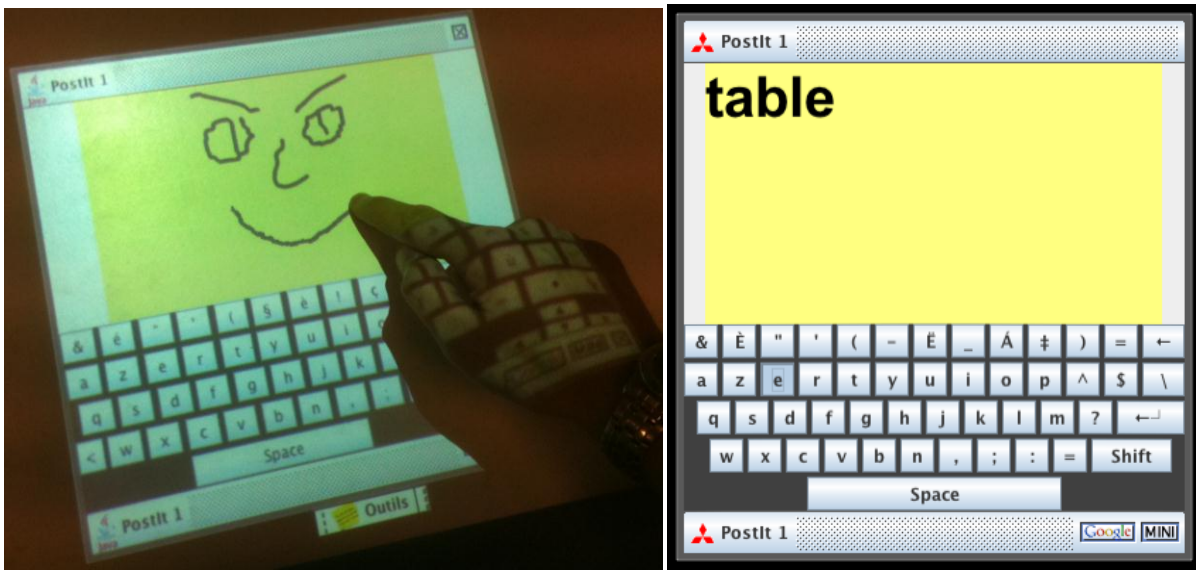


Figure 79 : édition d'un post-it. A gauche : dessin au doigt. A droite : utilisation du clavier virtuel pour saisir du texte.

De plus, la saisie d'un mot au clavier donne la possibilité d'effectuer une recherche d'images sur internet grâce au service « Google Image », puis d'en sélectionner une qui correspond à ce qu'on imagine (voir Figure 80). Il n'est pas possible d'agir sur les menus des autres utilisateurs, ou sur les post-it des autres non encore validés. Une fois le post-it édité, on le valide en appuyant sur un autre bouton. Par ailleurs et selon les paramètres de l'application, il est aussi possible de valider son post-it de façon anonyme pour que les autres ne puissent pas identifier l'auteur de l'idée.

Après validation, la taille du post-it se réduit de 25% environ, afin d'occuper moins de place tout en restant lisible. Les post-it validés sont orientés vers l'extérieur de la table. Ils ne sont plus modifiables, mais ils peuvent être déplacés. Pour trouver de nouvelles idées, les utilisateurs sont encouragés à fouiller parmi les post-it au centre, comme dans une pile de papiers.

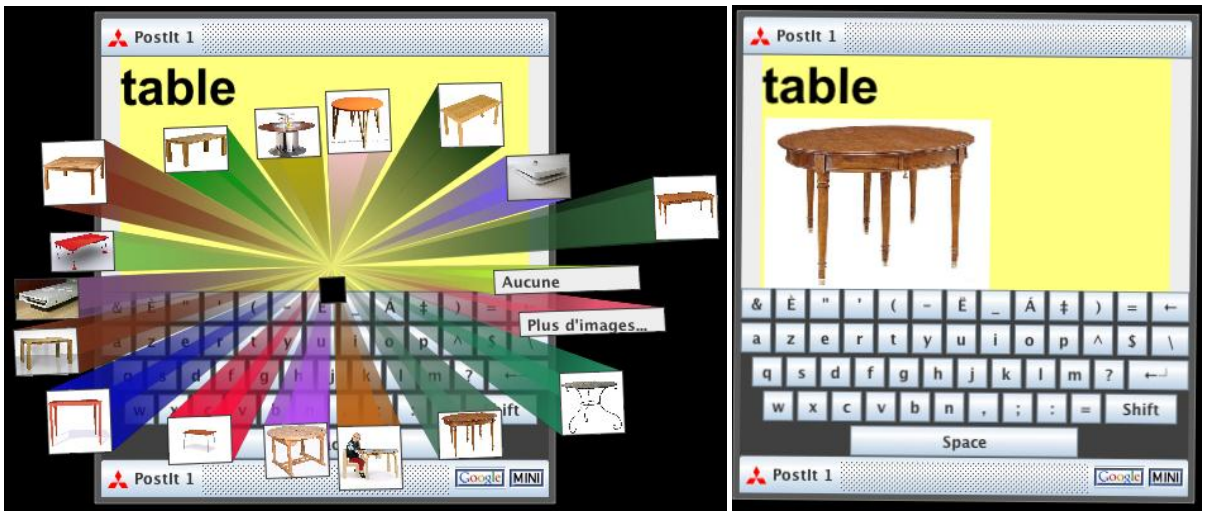


Figure 80 : Utilisation de l'outil de recherche d'images.
A gauche : le système propose une sélection d'images issues d'une recherche avec le texte saisit au clavier.
A droite : l'image sélectionnée par l'utilisateur est ajoutée à l'intérieur du post-it.

Durant l'étape de tri, le logiciel propose des techniques pour organiser les post-it en familles et annoter la surface de travail au doigt. L'ensemble de la vue peut être déplacé et tourné. Enfin, un système de sauvegarde permet de conserver l'état de la session et une fonctionnalité d'exportation est disponible pour récupérer, sous forme de fichiers images, tous les post-it générés ainsi que l'agencement final de la surface.

Le projet Digitable a également exploré la phase de carte mentale (voir Figure 81). Cette phase de la séance de créativité nécessite toutefois l'approbation de tous les participants et l'utilisation est beaucoup plus séquentielle. Elle ne correspond donc pas à une application qui cherche à maximiser l'utilisation simultanée de l'interface.

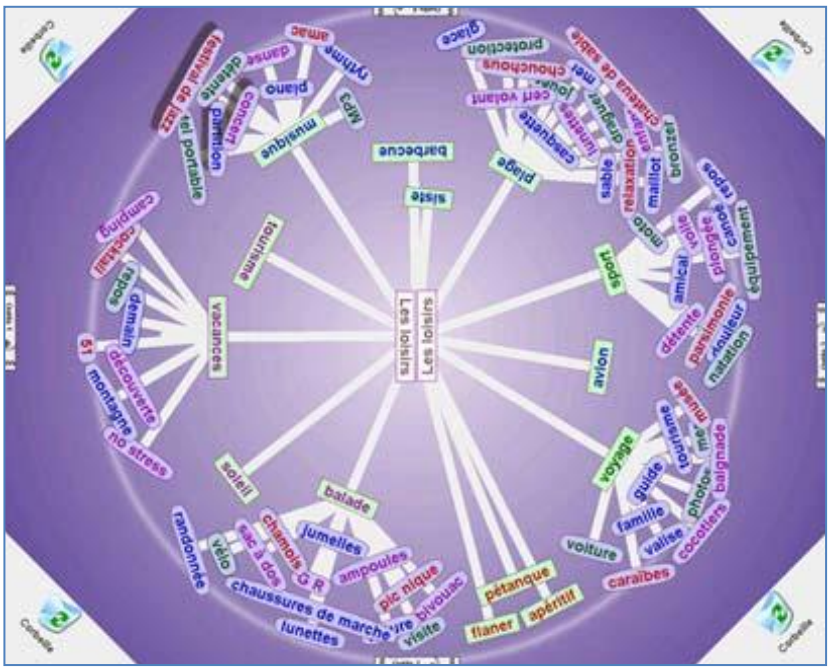


Figure 81 : Exemple de carte mentale créée avec l'application.

8.2.2.3 Expérience précédente et résultats

Une expérience avait été organisée avec 24 participants en 6 groupes [Buisine 2011]. Le but était de comparer les deux médium suivant pour l'activité de créativité : la traditionnelle avec papier et crayon, et

une avec le logiciel *Post-it* sur une table interactive. Des analyses étaient faites sur la performance : nombre de post-it générés, la qualité de la collaboration et enfin les données subjectives (questionnaires).

Les résultats n'avaient pas montré de différence significative au niveau de la performance. Concernant les impressions des participants, la version tabletop était jugée plus agréable individuellement, plus efficace pour le groupe et enfin plus agréable collectivement. Mais il n'y avait pas eu de différence concernant l'appréciation de l'efficacité individuelle et de la facilité globale de la tâche.

En revanche, l'expérience avait montré une amélioration de la collaboration grâce à l'instrumentation par la table tactile [Buisine 2007, Buisine 2011]. En effet, des mécanismes de paresse sociale (« *social loafing* ») et de compensation sociale avaient été mis en évidence dans la première condition (papier, crayon). Ce phénomène connu [Sherpherd 1995] consiste à ce qu'en situation de groupe, certains individus aient naturellement tendance à diminuer leurs contributions, pendant que d'autres augmentent les leurs. L'activité de créativité avec le logiciel tabletop *Post-it* a donc engendré des contributions plus équilibrées des participants et a donc diminué le *social loafing*. Ces résultats avaient par ailleurs confirmé les travaux de Sherpherd et al. [Sherpherd 1995] qui avaient également mis en évidence une réduction du « social loafing » due à la comparaison sociale.

Cette première expérience a servi à valider que la table interactive est bien adaptée à l'activité de créativité en groupe, favorisant les interactions sociales et équilibrait les collaborations des participants. Cependant, les performances au niveau génération d'idées ne sont pas significativement différentes.

Pour relever le défi de la performance nous rapprochons les observations des chercheurs du LCPI avec nos propres observations des utilisateurs qui n'utilisent pas toujours les opportunités d'interagir avec la table interactive. Nous proposons donc dans la partie suivante d'intégrer des mécanismes de pression propres au jeu vidéo afin de tenter d'améliorer l'utilisation du système Post-It.

8.3 Mécanismes de pression dans une activité de créativité

Cette partie présente une expérience dont le but était d'évaluer deux nouveaux mécanismes : pression temporaire et pression sociale, dans une activité de créativité médiée par une table interactive. Les résultats de cette expérience ont confirmé que ces mécanismes pouvaient augmenter la quantité et la qualité des idées générées par rapport à une condition sans pression.

8.3.1 Objectifs

En partant des précédents travaux sur la créativité avec une tabletop, nous nous sommes demandés comment utiliser les capacités de traitement informatique de système pour améliorer les sessions.

8.3.1.1 Le problème de l'autocensure

Dans la première étape d'une séance de *brainwriting*, il est demandé aux participants d'émettre le plus d'idées possible, la qualité de la production finale étant corrélée au nombre d'idées produites. Toutes les idées sont souhaitées, même celles qui peuvent paraître hors sujet ou loufoques, car elles permettent généralement au groupe de rebondir de façon surprenante. L'activité de *brainwriting* encourage les utilisateurs à sans cesse donner de nouvelles idées jusqu'à la fin du temps imparti.

Pourtant, les utilisateurs ne sont pas aussi productifs qu'attendu En effet, bien que les consignes soient de ne pas se juger ni de juger les idées des autres, il est courant qu'un phénomène d'autocensure individuel se manifeste, et qu'au final un utilisateur préfère ne pas donner toutes les idées qu'il estime mauvaises. On notera également que les utilisateurs prennent sur le temps imparti pour juger la pertinence des idées des autres. Enfin, une motivation secondaire consiste à rechercher un système où les utilisateurs restent motivés tout le long de la séance et qu'ils ne s'ennuient pas.

8.3.1.2 Quelle pression sur les participants ?

Notre idée pour améliorer les performances du système de ce nouveau projet était d'introduire des mécanismes de pression pour améliorer l'activité de créativité, en ayant notamment comme objectif de lutter contre l'autocensure. Les mécanismes de pression envisagés sont :

- des contraintes temporelles : introduire du rythme contrôlé par le système ;
- de la comparaison sociale : instaurer une compétition entre les participants pour qu'ils se surpassent.

Nous ne relaterons pas dans ce manuscrit les autres aspects de l'expérimentation qui a été mené conjointement avec des psychologues ergonomes, et qui visait d'autres buts sans relation avec cette thèse : étudier l'influence du rythme sur la créativité, mais aussi la créativité en environnement dynamique [Schmitt 2010].

8.3.1.3 Evaluation

Avant de présenter nos solutions, le contexte du système existant et les attentes de ses concepteurs originaux, nous d'établir établir les critères qui serviront à évaluer notre système :

- La performance individuelle et collective : nombre d'idées générées, erreurs, prise de risques, etc. ;
- La collaboration entre les membres, l'équilibre des participations ;
- L'expérience subjective des participants : satisfaction, motivation, ressenti émotionnel, etc.

8.3.2 Proposition de mécanismes de pression

Motiver les utilisateurs est une nécessité dans un jeu vidéo. Nous nous sommes inspirés des mécanismes existant dans les jeux vidéo pour améliorer le logiciel *Post-it* en intégrant des moyens de pression gérés par le système.

Nos travaux décrits dans les chapitres précédents nous ont en partie amenés à proposer des mécanismes pour modérer le rythme des parties : des temps de recharge après chaque actions faisant office de verrous temporaires. Nous cherchions à limiter la fréquence des interactions pour laisser du temps à la réflexion

et la collaboration. Dans ce nouveau cadre, la purge d'idées, nous souhaitons au contraire que les utilisateurs produisent de nouvelles idées en continu. Nous proposons de simuler un temps limité pour remplir chaque post-it

Deux mécanismes différents ont été implémentés dans la nouvelle version de *Post-it* que nous appellerons simplement v2 : un système de temps limité d'édition pour mettre une **pression temporelle** sur les utilisateurs, et un affichage comparatif des performances de chacun pour introduire une **pression sociale**.

8.3.2.1 Pression temporelle

Nous avons choisi de simuler une pression temporelle pour inciter les utilisateurs à agir plus vite que s'ils agissaient dans un rythme libre. Notre but est de ne pas laisser trop de temps de réflexion, et surtout de jugement, aux utilisateurs lorsqu'ils veulent émettre une idée. Nous voulons en effet qu'ils soient plus spontanés. Notre hypothèse était que ce système lutterait contre l'autocensure et favoriserait la désinhibition.

Dans la version v2 du logiciel, les post-it apparaissent désormais automatiquement et chaque utilisateur a un nombre limité de seconde pour les remplir. Une fois le temps terminé, le post-it est automatiquement validé s'il contient quelque chose (texte, dessin ou image) ou détruit si l'utilisateur n'a rien produit. Un nouveau post-it vierge apparaît dans les deux cas. Nous voyons ici que la pression sur l'utilisateur est toute relative puisque les post-it vierges ne sont pas comptabilisés. Un participant peut donc laisser les post-it apparaitre et disparaître aussi longtemps qu'il souhaite réfléchir puis saisir le prochain nouveau post-it pour y inscrire son idée.

Visuellement, nous avons voulu un affichage fort du temps restant avant la validation automatique. Notre système indique ainsi le temps restant par trois éléments graphiques placés à trois endroits différents. Le premier élément se situe dans le coin haut-droite du post-it. Il évoque le mouvement de l'aiguille d'une montre (voir Figure 82) pour représenter de manière métaphorique le temps qui s'écoule. Les deux autres éléments graphiques sont affichés sur chaque bord vertical du post-it. Ils prennent la forme d'une jauge se vidant à la manière d'un sablier. Ces éléments restent bien visibles dans le champ périphérique même quand le regard de l'utilisateur se porte sur le centre du post-it. Enfin pour appuyer encore le rendu dramatique, la couleur commune des trois éléments varie du vert au rouge au fur et à mesure que le temps restant diminue.

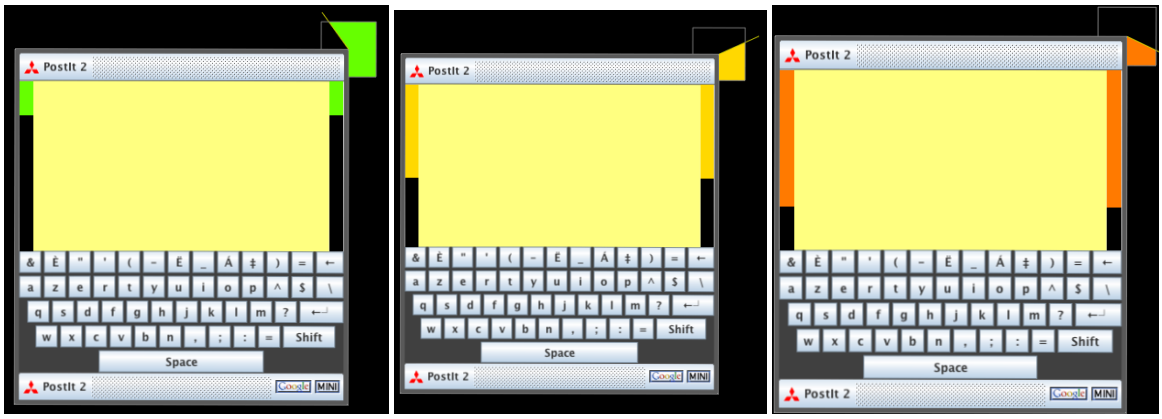


Figure 82 - Représentations en proportion du temps restant pour éditer un post-it.
De gauche à droite : de moins en moins de temps.

8.3.2.2 Pression sociale

La seconde approche que nous avons suivie consiste à ajouter une pression sociale car nos travaux sur le jeu ont clairement fait ressortir que la compétition est un élément stimulant. Le système v2 comptabilise et affiche ainsi le nombre de post-it validés par chaque utilisateur. Nous avons également cherché à concevoir un élément graphique marquant qui indique le classement des utilisateurs selon la quantité d'idées produites.

Pour que cet élément soit visible de tous les participants, il est affiché au centre de la table. Nous avons cherché à le rendre suffisamment clair pour que n'importe quel utilisateur, quelque soit sa position autour de la table, puisse savoir en un coup d'œil son classement. Le classement est une juxtaposition de quatre

quartiers de cercle. Chaque quartier ou secteur est orienté vers l'utilisateur qu'il représente. La largeur angulaire de chaque secteur est identique mais la taille (rayon) dépend du classement des participants : le participant le plus productif a le plus grand secteur. Notre but était d'obtenir une version circulaire d'un podium (voir Figure 83).



Figure 83 - L'indicateur des performances et du classement des participants.

Afin d'accentuer encore l'effet de notre élément graphique, nous inscrivons dans chaque secteur le nombre de post-it validés : un texte souligné est orienté vers l'utilisateur correspondant. Enfin, les secteurs sont colorés en fonction de la position de l'utilisateur dans le classement : le secteur du participant le plus productif est vert, celui du second est jaune puis orange et enfin le secteur est rouge pour le participant le moins productif.

8.3.3 Evaluation

Nous décrivons dans le paragraphe suivant l'expérience réalisée pour l'évaluation des deux mécanismes de pression : variables, hypothèses et protocole expérimental.

8.3.3.1 Variables expérimentales et hypothèses

Deux variables indépendantes ont été utilisées lors de l'expérience : le niveau de pression temporelle (VI1), matérialisé par la durée limite d'édition possible d'un post-it ; et la pression sociale (VI2), représentée par la présence ou non du classement des performances individuelles.

La pression temporelle (VI1), qui était une variable intra-sujet, incluait quatre conditions :

- P0 : pas de temps limite pour éditer un post-it ;
- P1 : temps d'édition limité à 60 secondes ;
- P2 : 30 secondes ;
- P4 : 15 secondes.

Ces valeurs avaient été choisies suite à des tests préliminaires sur 4 utilisateurs pour déterminer le temps moyen d'écriture d'une idée sur un post-it, et qui était en moyenne égal à 15,3 sec (SD=4,8). Cette valeur n'incluait pas le temps de réflexion pour une idée, seulement le temps moyen requis pour interagir avec le système. Les hypothèses concernant la pression temporelle (VI1) étaient :

a. La pression temporelle aura tendance à améliorer la vitesse de traitement des informations et les processus de décision-action et par conséquent la performance à la tâche créative : le nombre de post-it générés par le groupe utilisateur ;
b. La pression temporelle aura tendance à diminuer la collaboration : moins d'actions collectives, moins de communications verbales et non verbales des participants ;
c. La pression temporelle aura tendance à détériorer légèrement la satisfaction des participants.

La pression sociale était une variable intra-sujet : le classement des performances n'était présent que pour la moitié des groupes. Pour l'autre moitié, le centre de la table était vide. Nos hypothèses sur l'influence de la pression sociale (VI2) étaient :

d. La pression sociale aura tendance à augmenter la performance de la tâche créative ;
e. La pression sociale aura une influence positive sur la collaboration par l'augmentation de la conscience mutuelle ;
f. La pression sociale n'aura pas d'influence sur la satisfaction des participants.

8.3.3.2 Protocole

8 groupes de 4 sujets (32 participants au total) ont participé à l'expérience. Cet échantillon incluait 22 étudiants, 6 enseignants et 4 membres du personnel de 2 institut de recherche ; 19 hommes et 13 femmes, âgés de 27,7 en moyenne (ET : 6,7). L'expérience se déroulait sur une table interactive DiamondTouch [Dietz 2001].

Les sessions commençaient avec la présentation de la méthode de *brainwriting* sur tabletop et une étape de familiarisation avec l'appareil et l'interface v2 du système. Les fonctionnalités et les conditions expérimentales (mécanismes de pression temporaire, et pour les groupes qui l'avaient, le feedback de performance) étaient présentés et expliqués aux participants.

Le but de la session était ensuite présentée : les participants devaient proposer des idées d'innovation à partir du sujet suivant : « Imaginez le couteau suisse du futur, avec toutes les fonctionnalités que vous souhaitez » Un couteau suisse est un outil multifonction sous forme de petit couteau tenant dans la poche. Avant de commencer la purge d'idée, les règles d'Osborn (1953) étaient données : la quantité d'idée est exigée, aucune critique ou jugement n'est autorisé, les idées fantaisistes sont bienvenues, il est conseillé de rebondir sur les idées des autres.

La session de *brainwriting* durait 20 minutes au total, et était divisée en quatre phases de 5 minutes, une pour chaque condition de pression temporelle (VI1). L'ordre des conditions était contrebalancé sur ensemble de l'échantillon. Entre deux étapes, les participants avaient quelques minutes pour lire et discuter des idées déjà données et encore affichées sur la surface. L'interface était ensuite vidée avant de commencer l'étape suivante durant laquelle les participants devaient continuer de générer des idées sur le même sujet. Les scores de performance étaient réinitialisés à 0 à chaque nouvelle étape afin de remotiver les utilisateurs et de donner à chaque participant une chance de « gagner ». A la fin de l'expérience, les utilisateurs devaient remplir un questionnaire. Au total, l'expérience durait environ une heure pour chaque groupe.

La performance était évaluée quantitativement grâce au nombre d'idées différentes validées le groupe. La mesure des manifestations de collaboration reposait sur les données observables lors des séances : les comportements verbaux et gestuels codifiés pour chaque participant (gestes de pointages et de manipulations des post-it, collaboratifs ou non). L'évaluation subjective reposait sur le retour d'expérience des utilisateurs (questionnaire post expérience) grâce à des échelles émotionnelles, de motivation, des critères généraux (attractivité, satisfaction, plaisir, etc.) et à partir des verbalisations des (in)satisfactions pendant les expériences.

8.3.4 Résultats de l'expérience

Nous avons procédé à des analyses de variance avec la condition de pression temporaire en facteur intra-sujets et le feedback de performances (avec, sans) en facteur inter-sujets. Des tests post-hoc ont été faits avec la méthode du LSD de Fischer et les analyses ont été effectuées sous SPSS v18. Nous présentons ici un résumé des résultats de cette expérience. Nous invitons le lecteur à lire [Schmitt 2010] pour plus de détails.

8.3.4.1 Performance quantitative

Nous avons observé un effet principal de la condition ($F(3/90)=29,45$; $p<0,001$) sur la performance de production d'idées : dans la condition TL-Temps Libre les sujets ont généré significativement moins d'idées ($m=8,38$ idées) que dans les autres conditions ($p<0,019$). En condition P1 les sujets tendaient à générer moins d'idées ($m=10,1$) qu'en P2 ($m=11,41$; $p=0,068$). Et la condition P3 donnait lieu à significativement plus d'idées ($m=15,44$) que toutes les autres conditions ($p<0,001$) (voir Figure 84).

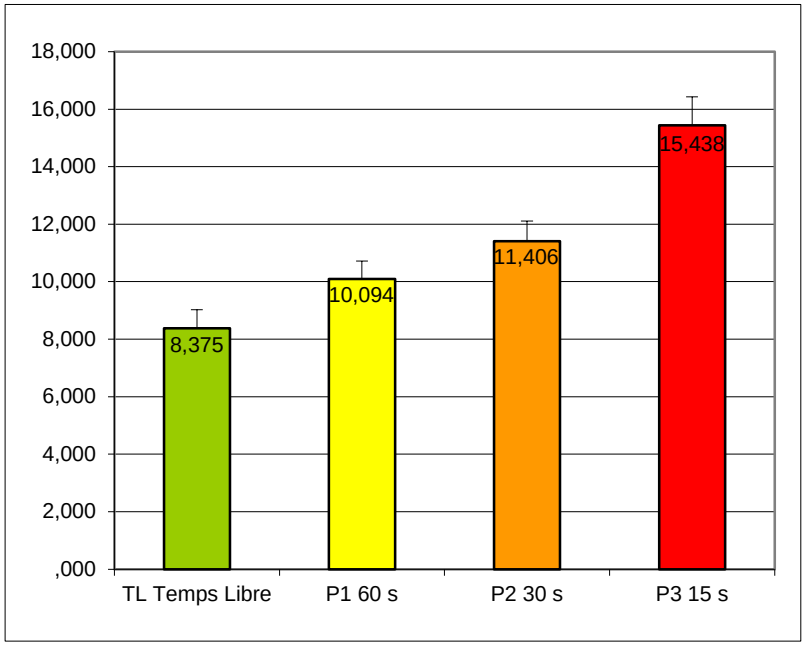


Figure 84 - Nombre moyen d'idées par utilisateur pour une période de 5 minutes, en fonction de la pression (VI1).

Nous avons également observé un effet principal de la présence du classement des performances individuelles ($F(1/30)=6,55$; $p=0,016$) sur la production d'idées, montrant qu'en présence de cet élément graphique la performance était supérieure ($m=12,83$) qu'en son absence ($m=9,83$) (voir Figure 85).

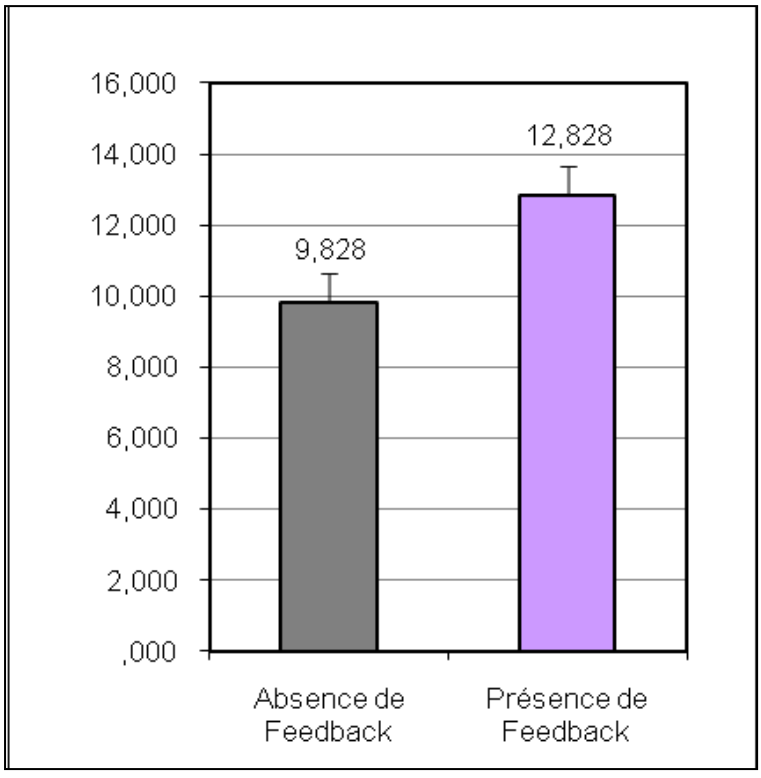


Figure 85 - Nombre moyen d'idées par utilisateur en fonction de l'absence ou de la présence du classement (VI2).

8.3.4.2 *Analyse de l'originalité*

Afin d'affiner nos résultats sur les performances, nous avons comptabilisé toutes les idées du corpus qui n'avaient été citées qu'une seule fois (analyse d'originalité ou *uniqueness* au sens de Torrance). Sur 1450

idées émises, seules 110 répondaient à ce critère, soit 7,6% du corpus. Sur cet échantillon d'idées des analyses de variance ont été réalisées au niveau du groupe (une valeur par groupe) avec la Pression temporelle (P0, P1, P2, P3) en facteur intra-groupe et le Feedback (O, N) en facteur inter-groupe. Les tests post-hoc ont été réalisés par la méthode du LSD de Fisher.

Nous avons relevé un effet principal de la pression temporelle ($F(3/18)=3,46$; $p=0,038$) sur le nombre d'idées originales. Les comparaisons par paires montraient que P0 n'était pas significativement différent de P1 et de P3. En revanche P2 était supérieur à P0 ($p=0,033$), à P1 ($p=0,007$) et à P3 (en tendance, $p=0,079$) (voir Figure 86).

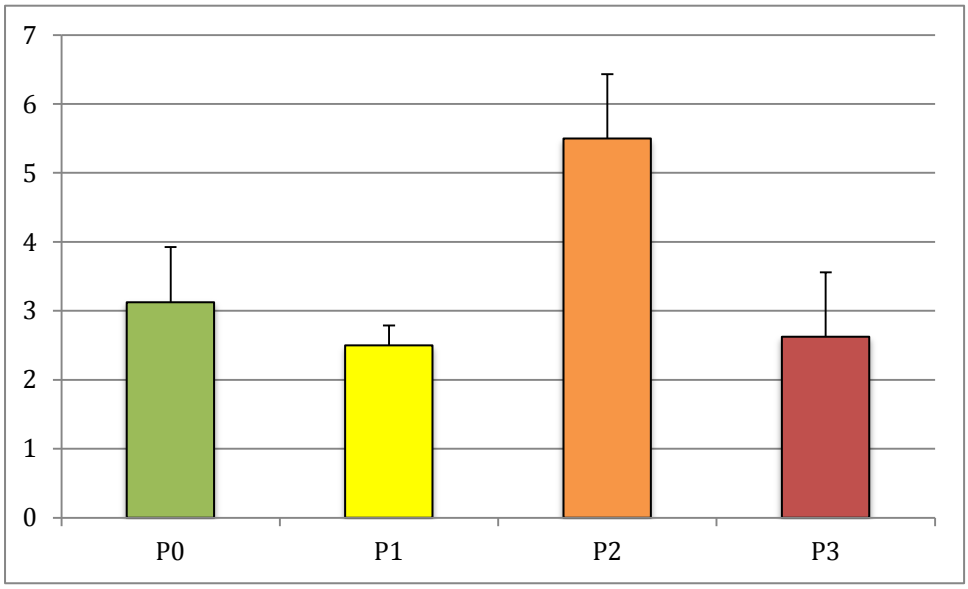


Figure 86 - Nombre d'idées uniques en fonction de la pression temporelle (VI1).

En revanche, nous n'avons observé aucun effet de la présence du classement sur le nombre d'idées originales ($F(1/6)=0,082$; NS).

8.3.4.3 Analyse de la collaboration

Nous avons comptabilisé, au sein de chaque groupe, les actes de langage et les comportements collaboratifs (gestes et paroles). Nous n'avons pas observé d'effet de la pression temporelle sur la collaboration en générale : ni sur le nombre d'actes de langage ($F(3/90)=2,35$; NS) ni si sur le nombre de comportements collaboratifs ($F(3/90)=1,82$; NS).

En revanche, nous avons constaté un effet principal de la présence de feedback de performance sur le nombre d'actes de langage ($F(1/30)=7,54$; $p=0,01$) : il y avait significativement plus d'actes de langage en l'absence de feedback de performance (m=12,1 contre m=6,1). De même, il y avait **un effet principal** sur le nombre de comportements collaboratifs ($F(1/30)=8,50$; $p=0,007$) montrant qu'il y avait significativement plus de comportements collaboratifs en l'absence de feedback (m=17,7 contre m=8,6).

8.3.4.4 Données subjectives

Un effet principal de la pression temporelle sur la facilité a été observé ($F(3/90)=44,41$; $p<0,001$) : la condition P0 était jugée marginalement plus facile (m=6,47) que P1 (m=6,31; $p=0,056$), elle-même plus facile que P2 (m=5,38; $p<0,001$) et P2 plus facile que P3 (m=4,16; $p<0,001$). La pression sociale n'avait pas d'effet sur la facilité ($F(1/30)=2,74$; NS).

Il y avait aussi un effet principal de la pression temporelle ($F(3/90)=5,67$; $p=0,001$) sur l'agréabilité montrant que la condition P3 était jugée significativement moins agréable que les autres ($p<0,033$). Il n'y avait pas d'effet de la pression sociale sur le caractère agréable de la tâche ($F(1/30)=2,21$; NS).

La pression temporelle avait un effet principale sur l'impression de qualité des idées générées ($F(3/90)=3,48$; $p=0,019$) : les participants pensaient qu'ils avaient produit de meilleures idées en condition P0 (m=4,78) qu'en condition P3 (m=3,94; $p=0,028$). La pression sociale n'avait pas d'influence sur cette impression ($F(1/30)=1,39$; NS).

Concernant la motivation, nous n'avons pas observé d'effet significatif de la pression temporelle ($F(3/90)=0,17$; NS), mais nous avons trouvé un effet principal de la pression sociale ($F(1/30)=6,6$; $p=0,015$) montrant que les participants qui voyaient le classement de performance étaient plus motivés ($m=5,28$) que ceux qui ne l'avaient pas ($m=4,47$).

Enfin, les émotions ressenties durant la session étaient affectées par la pression temporelle ($F(3/90)=5$; $p=0,003$ pour l'Énergie, $F(3/90)=13,66$; $p<0,001$ pour l'Anxiété et $F(3/90)=3,44$; $p=0,020$ pour la Joie). L'Énergie était plus élevée en condition P3 que dans les autres conditions ($p=0,005$), le niveau d'Anxiété était similaire en P0 et P1, significativement pus grand en P2 ($p<0,036$) et le plus élevé en P3 ($p<0,001$). Finalement, la joie était significativement plus grande en P1 ($m=12,42$) qu'en P2 ($m=11,31$; $p=0,031$) et P3 ($m=11,17$; $p=0,025$). Cependant, il n'y avait aucun effet de la pression sociale sur l'Énergie ($F(1/30)=2,07$; NS), l'Anxiété ($F(1/30)=0,04$; NS) ou la Joie ($F(1/30)=0,06$; NS).

8.3.5 Discussion

Nous avons pu observer les effets de ces deux mécanismes de pression sur la performance et le comportement des participants.

8.3.5.1 Rappel des hypothèses

a. La pression temporelle aurait tendance à augmenter la performance à la tâche créative ;
b. La pression temporelle aurait tendance à diminuer la collaboration ;
c. La pression temporelle aurait de plus tendance à détériorer la satisfaction des participants.
d. La pression sociale aurait tendance à augmenter la performance à la tâche créative ;
e. La pression sociale aurait une influence positive sur la collaboration ;
f. La pression sociale n'aurait pas d'influence sur la satisfaction des participants.

8.3.5.2 Hypothèse (a) – Effet de la pression temporelle sur la performance

Les résultats ont montré que la pression temporelle influençait la créativité des groupes lors de la séance de *brainwriting*. Nous pensions cependant obtenir une courbe en forme de U inversé (avec un maximum pour 30 ou 60 secondes), la génération d'idée augmentant avec la pression mais diminuant avec les niveaux les plus élevés de pression. Étonnamment, la quantité d'idées a augmenté linéairement avec la pression du temps, et nous n'avons pas pu identifier de plafond. Dans la condition P3 où la pression était maximale (15 secondes pour remplir un post-it), les participants ont produit presque deux fois plus d'idées ($m = 15,44$ idées) que dans la condition temps libre ($m = 8,38$ idées). Et en parallèle, la perception de la quantité de post-it écrit ne variait pas, ce qui suggère que les participants ne se rendaient pas compte qu'ils ont engendré plus d'idées sous la pression du temps.

Contrairement à la quantité d'idées, notre second critère de performance, à savoir l'unicité d'idées, a révélé un plafond : le nombre d'idées uniques était le plus élevé en condition P2, avec un temps d'édition limitée à 30 secondes, où la pression temporelle existait mais n'était pas telle qu'elle nuisait à la recherche d'idées et à l'édition des post-it. En condition P3 (temps en édition limitée à 15 secondes), les participants ont semblé réussir à créer de plus en plus de post-it sans réussir à produire des idées originales. Les participants pourraient avoir perçu ce résultat car ils ont évalué la qualité que leurs idées étaient moins bonnes en condition P3 ($m=3,94/7$). Toutefois, ils ne se rendaient pas compte que leurs idées dans P2 ($m=4,38$) étaient meilleures que celles de P0 ($m = 4,78$).

8.3.5.3 Hypothèse (b) – Effet de la pression temporelle sur la collaboration

L'analyse comportementale effectuée sur les enregistrements vidéo n'ont révélé aucun effet du temps de pression sur la collaboration. Invariablement, les participants ont déclaré un niveau constant de la collaboration entre les conditions. Nos observations informelles des sessions nous amènent quand même à penser que sous trop de pression, les participants ont visiblement moins le temps de collaborer. Cette dernière remarque reste plus qualitative que quantitative.

8.3.5.4 Hypothèse (c) – Pression temporelle et expérience subjective

L'amusement, la satisfaction et la motivation ont également été préservés malgré la pression constante du temps. Cependant, la pression temporelle a négativement influencé l'impression de facilité. L'agréabilité

de la tâche a aussi chuté en condition de pression maximale. Enfin, le schéma affectif s'est lui aussi considérablement détériorée sous la pression du temps, l'énergie déployée et l'anxiété ressentie augmentant tandis que la joie diminuait. La pression temporelle que nous avons conçue comme une simulation (car rien n'empêchait vraiment l'utilisateur de prendre son temps en attendant les post-it) a été ressentie très fortement par les utilisateurs. Nous avons sans doute sous-estimé le degré d'implication des participants dans la tâche que nous pensions moins fort que dans le jeu vidéo.

8.3.5.5 Hypothèse (d) – Effet de la pression sociale sur la performance

La pression sociale a aussi prouvé avoir une influence positive sur la génération d'idées : la présence du feedback de performance au centre de la table augmentait significativement le nombre d'idées produites. Cependant, nous avons constaté que le nombre d'idées uniques stagnait malgré le nombre d'idées total qui lui augmentait.

8.3.5.6 Hypothèse (e) – Effet de la pression sociale sur la collaboration

En comparaison avec l'effet de la pression temporelle, il semblerait que la pression sociale a augmenté la génération d'idée sans affecter l'expérience subjective : la facilité, l'amusement, la satisfaction, l'agréabilité, le schéma émotionnelle, la perception de la collaboration, de la quantité et de la qualité des idées sont tous restés constant en débit de la pression sociale. Il y avait de plus un impact positif sur la motivation.

8.3.5.7 Hypothèse (f) – Pression sociale et expérience subjective

En outre, la pression sociale a conduit les participants à réduire la quantité d'actes de communication. Nous pensons que ce résultat est à relier avec celui sur le nombre d'idée uniques : en effet, la pression sociale, en intensifiant la compétition entre les utilisateurs, a affecté le partage des idées intéressantes entre les participants. Ainsi, une collaboration réduite a probablement réduit la stimulation cognitive et empêché la divergence et la génération d'idées plus originales.

8.4 Discussion

Ce chapitre présentait une expérience qui consistait à tester, dans une tâche collaborative non vidéoludique sur table interactive, l'influence de deux mécanismes de pressions inspirés du jeu vidéo. La phase de purge d'idée d'une séance de *brainwriting* s'y prêtait car elle impliquait l'interaction simultanée des participants. La pression temporelle a montré qu'elle augmentait la performance des utilisateurs sans altérer l'originalité des idées produites mais en détériorant le schéma affectif (anxiété et plaisir). La pression sociale a augmenté la motivation du groupe et la quantité d'idées produites, mais a diminué les échanges collaboratifs et n'a pas amélioré les idées uniques.

Dans cette dernière partie, nous présentons dans un premier temps des recommandations de conception d'un système intégrant ce type de mécanismes de pression. Dans un second temps, nous rapportons les résultats de l'expérience à l'étude de la simultanéité.

8.4.1 Recommandations de design

Les résultats de l'expérience sont utiles à la conception et au développement de nouveaux outils d'aide à la conception collaborative et à l'innovation, afin de créer des situations de travail optimales.

8.4.1.1 Utiliser des pressions temporelles

Cette expérience a montré comment un mécanisme de pression temporelle permet aux utilisateurs d'une table interactive de maintenir un rythme de travail constant et élevé, tout en luttant contre le phénomène d'autocensure. Une pression temporelle peut être créée en donnant un temps limite pour accomplir une tâche globale, mais dans cette étude nous avions rajouté un temps limite pour chaque action élémentaire. Ce type de pression a permis de maintenir l'utilisateur en alerte durant toute la session. Un post-it manqué n'avait pas de mauvaises conséquences car de nouveaux apparaissaient ensuite.

Le rythme imposé a augmenté la performance mais a altéré l'expérience subjective : les participants ont naturellement ressenti plus d'anxiété et se sont moins amusés lorsque la pression était la plus élevée. Nous pensons qu'un rythme optimal doit être trouvé en fonction de la tâche et des personnes qui composent le groupe, selon leur capacité d'adaptation à une pression temporelle. Ce compromis devrait optimiser la performance tout en sauvegardant l'expérience subjective.

Enfin, nous avons constaté lors de l'expérience que mettre un rythme même très faible améliore la performance par rapport à un rythme totalement libre. Il y avait en effet une différence nette entre la condition P0 sans aucune contrainte et la condition P1 avec une contrainte de 60 secondes par post-it. En quelque sorte, le sablier indiquant qu'il y avait un temps limité jouait le rôle d'une alerte maintenant l'utilisateur concentré et le forçant à ne pas écarter ses propres idées. La pression temporelle peut donc être utilisée même à des niveaux très faibles.

8.4.1.2 Utiliser la pression sociale

La pression sociale a individuellement motivé les utilisateurs à fournir plus d'efforts. Certains voulaient être meilleurs que les autres, d'autres ne voulaient pas être considérés comme les moins productifs. L'expérience a prouvé qu'il s'agit d'une technique efficace de la motivation. Pour l'intégrer dans une application, il est nécessaire de trouver une métrique de la performance qui soit compréhensible des utilisateurs et qui se mette à jour en temps réel, afin que chacun puisse voir l'impact direct de ses efforts. Nous conseillons toutefois de remettre périodiquement les compteurs à zéro afin de ne pas décourager celles et ceux qui prennent du retard.

Il est d'autre part nécessaire de trouver une cohérence entre le calcul dynamique affiché de la performance et la qualité réelle du travail effectué, ce qui était le cas dans la séance de créativité puisque générer beaucoup d'idées augmentait la chance d'en avoir des bonnes.

Cependant, la pression sociale et le sentiment de compétition ont nettement affecté la collaboration en réduisant la communication et par conséquent l'utilisation des idées des autres. Ceci explique peut-être la proportion réduite d'idées uniques dans les groupes qui avaient le feedback des performances. Une manière de garder la pression sociale sans nuire à la collaboration serait de ménager des pauses avant la remise à zéro des compteurs ou bien en affectant une forme de point de bonus relatif à la communication souhaitée qui se traduira dans le classement.

8.4.1.3 Une généralisation en question

Nous avons montré que ces mécanismes de pression étaient efficaces dans une tâche de purge d'idées lors d'une séance de créativité. Ils ont augmenté la quantité d'idées générées, le rythme de production, et n'ont pas nuit à la qualité.

Toutefois, ces mécanismes soutiennent la spontanéité au dépend de la réflexion et ne correspondent pas forcément à d'autres types d'activité que celui du *brainwriting*. A faible dose nous retiendrons quand même les deux catégories de pressions que nous avons mis en avant (pression temporelle et pression sociale) comme des outils à la disposition du concepteur d'application pour table interactive.

8.4.2 Conséquences sur les interactions simultanées de plusieurs utilisateurs

Cette recherche nous a éclairé sur les systèmes impliquant l'interaction simultanément de plusieurs utilisateurs sur table interactive.

8.4.2.1 Vers de nouveaux cas d'étude à comparer avec le jeu

Cette expérience était intéressante pour nous car elle nous a permis d'étudier et d'analyser une situation autre que le jeu vidéo où l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs était souhaitable. Nous avons pu observer l'implication de la simultanéité contrainte sur la performance des groupes, sur la qualité de la collaboration et enfin sur les impressions des utilisateurs, sachant qu'il ne s'agissait pas d'un divertissement. L'expérience a validé qu'interagir simultanément sous diverses contraintes est motivant et productif.

A l'instar des parties avec des temps de recharge courts dans *RealTimeChess*, où les joueurs jouent vite et entrainent tout le groupe dans un rythme rapide, les utilisateurs de *Post-It* ont aussi ressenti du stress et ont semblé perdre en analyse lorsque la pression temporelle était trop forte. Dans *RealTimeChess*, il était possible pour les joueurs de calibrer le rythme de la partie. Nous militons de manière générale pour que le système soit adaptable par les utilisateurs.

En outre, l'ajout d'une pression sociale dans *Post-it* a diminué les collaborations, qui étaient déjà réduites dans *RealTimeChess*. Nous avons observé qu'il est déjà difficile de communiquer lorsque beaucoup de monde interagit en même temps. Cette difficulté s'ajoute à la réticente des utilisateurs à communiquer dès lors qu'un sentiment compétitif s'introduit dans l'activité.



Figure 87 - Quatre participants de l'expérience.

Il y a à l'opposé plusieurs différences entre ce travail et ce qui a été mis en évidence dans *RealTimeChess*, notamment au niveau des territoires utilisés et de leurs implications. Dans cette application pour la créativité, chacun agit dans son espace privé. L'espace public accueille les post-it générés ; le système les place face aux autres participants pour que les informations soient à portée de ceux qui en ont besoin

(voir Figure 87). Ainsi, nous n'avons pas le problème d'accessibilité existant dans *RealTimeChess*, c'est aussi pourquoi il n'était pas nécessaire de développer des techniques d'interaction à distance pour *Post-it*.

Les séances de travail sont segmentées en plusieurs phases aux objectifs différents. Il y a une phase pour travailler individuellement, et d'autres pour mettre les travaux en commun et discuter, prendre des décisions en groupe. Dans *RealTimeChess*, il manque un temps pour le dialogue entre les joueurs d'une même équipe. Nous pensons qu'un système exigeant la collaboration pour accomplir une tâche devrait imposer des temps de pause, des temps de mise en commun des informations et des stratégies, durant lesquels les mécanismes de pression se suspendent.

8.4.2.2 Des mécanismes pour augmenter la simultanéité ?

A l'origine, ces travaux sur le logiciel de séance de créativité avaient pour but d'analyser l'influence d'un rythme d'interaction contrôlé par le système sur la productivité et les impressions des utilisateurs. Avec le recul, nous pensons que ces deux formes de pression : la pression temporelle et la pression sociale, ont aussi été des facteurs qui ont forcé les utilisateurs à maintenir leurs actions, à agir suivant un rythme commun à tout le groupe, et par conséquent à interagir simultanément.

Nous avons, dans ce chapitre, expliqué comment deux mécanismes de pressions distincts ont influencé la performance et l'appréciation des utilisateurs lors d'une activité de créativité sur table interactive. Ces mécanismes : sous forme de sabliers/horloges représentant un temps limité d'une part et d'un affichage de score d'autre part, étaient directement inspirés du jeu vidéo. Les résultats de ce travail ont validé notre démarche qui faisait le pari d'utiliser le *Game Design* pour étudier les interactions simultanées de plusieurs utilisateurs sur une table interactive.

BIBLIOGRAPHIE

[Abednego 2009] Martha Abednego, Joong-Ho Lee, Won Moon, and Ji-Hyung Park. I-Grabber: expanding physical reach in a large-display tabletop environment through the use of a virtual grabber. In *Proceedings of ITS '09*, pp. 61-64.

[Ajaj 2009] Rami Ajaj, Frédéric Vernier, and Christian Jacquemin. Navigation modes for combined table/screen 3D scene rendering. In *Proceedings of ITS '09*, pp. 141-148.

[Al Mahmud 2007] A. Al Mahmud, O. Mubin, J. Renny, S. Shahid, Y. LeeChin, P. Martens, and D. Aliakseyeu. Affective Tabletop Game: A New Gaming Experience for Children. In *Proceedings of Tabletop 2007*, pp. 10-12.

[Aliakseyeu 2006] Dzmitry Aliakseyeu, Miguel A. Nacenta, Sriram Subramanian, and Carl Gutwin. Bubble radar: efficient pen-based interaction. In *Proceedings of AVI '06*, pp. 19-26.

[Alwis 2009] Brian de Alwis, Carl Gutwin, and Saul Greenberg. GT/SD: performance and simplicity in a groupware toolkit. In *Proceedings of EICS '09*.

[Bakker 2007] Saskia Bakker, Debby Vorstenbosch, Elise van den Hoven, Gerard Hollemans, and Tom Bergman. Weathergods: tangible interaction in a digital tabletop game. In *Proceedings of TEI '07*, pp. 151-152.

[Bakker 2007 b] Saskia Bakker, Debby Vorstenbosch, Elise van den Hoven, Gerard Hollemans, and Tom Bergman. Tangible interaction in tabletop games: studying iconic and symbolic play pieces. In *Proceedings of ACE '07*, pp. 163-170.

[Barr 2007] Pippin Barr, James Noble, and Robert Biddle. Video game values: Human-computer interaction and games. *Interact. Comput. 2007*, pp. 180-195.

[Baudisch 2003] P. Baudisch, E. Cutrell, M. Czerwinski, D. C. Robbins, P. Tandler, B. B. Bederson, and A. Zierlinger. Drag-and-pop and drag-and-pick: Techniques for accessing remote screen content on touch- and penoperated systems. In *Proceedings of INTERACT '03*, pages 57-64.

[Beaudouin-Lafon 2001] Michel Beaudouin-Lafon. Novel interaction techniques for overlapping windows. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology* (UIST '01), pp. 153-154.

[Beaudouin-Lafon 2004] Beaudouin-Lafon, M. *Designing interaction, not interfaces*. In *Proceedings of* AVI '04, pp. 15-22.

[Besacier 2007] Guillaume Besacier, Gaëtan Rey, Marianne Najm, Stéphanie Buisine, and Frédéric Vernier. Paper metaphor for tabletop interaction design. In *Proceedings of the 12th international conference on Human-computer interaction: interaction platforms and techniques* (HCI'07), pp. 758-767.

[Besacier 2009] Guillaume Besacier and Frédéric Vernier. Toward user interface virtualization: legacy applications and innovative interaction systems. In *Proceedings of EICS '09*, pp. 157-166.

[Bezerianos 2005] Anastasia Bezerianos and Ravin Balakrishnan. The vacuum: facilitating the manipulation of distant objects. In *Proceedings of the CHI '05*, pp. 361-370.

[Boff 1988] Boff, K. R. and Lincoln, J. E. Visual acuity: Effect of viewing distance and luminance level. In *Engineering Data Compendium, Human Perception and Performance*.

[Brodie 2002] Brodie, J., Perry, M. *Mobile collaboration at the tabletop in public spaces*. In Proceedings of CSCW'02 Workshop – Co-located Tabletop Collaboration Technologies and Directions, pp 1-6.

[Buisine 2007] Stéphanie Buisine, Guillaume Besacier, Marianne Najm, Améziane Aoussat, and Frédéric Vernier. Computer-supported creativity: evaluation of a tabletop mind-map application. In *Proceedings of EPCE'07*, pp. 22-31.

[Buisine 2011] Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., Vernier, F. How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Computers in Human Behavior, Volume 28, Issue 1 (2011)*.

[Burleson 2002] Burleson, W. The Social Context and Design of Table Embed Computing Systems. In Proceedings of CSCW'02 Workshop – Co-located Tabletop Collaboration Technologies and Directions.

[Buxton 2007] Buxton, B. *Multi-Touch Systems that I Have Known and Loved*. http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html

[Cao 2008] X. Cao, A. D. Wilson, R. Balakrishnan, K. Hinckley, and S. E. Hudson. *ShapeTouch: Leveraging contact shape on interactive surfaces*. Proceedings of TABLETOP 2008, p. 129-136.

[Carpendale 2006] Sheelagh Carpendale, Tobias Isenberg, Stacey D. Scott, Uta Hinrichs, André Miede, Russel Kruger, Stefan Habelski and Kori Inkpen. *Collaborative Interaction on Large Tabletop Displays*. In Conference Supplement of CSCW 2006, pp. 57-58.

[Chaboissier 2008] Chaboissier J., Vernier F., Application vidéoludique temps-réel pour Tabletop. Rapport de stage de M2R d'Informatique d'Orsay effectué au LIMSI-CNRS sous la direction de Frédéric Vernier, mars - août 2008

[Chaboissier 2010] Chaboissier J. and Vernier F. CentralMenu: menu partagé sur table interactive. In *Proceedings of IHM '10*.

[Chatty 1999] S. Chatty, S. Athènes, A. Bustico. Votre attention s'il vous plait ! Éléments d'un espace de conception de signaux visuels. Actes de IHM '99.

[Cho 2005] Bohyun Cho, Namgyu Kim, and Gerard J. Kim. 2005. *Interaction for tabletop computing environment: an analysis and implementation*. In *Proceedings of* MUM '05, pp 11-18.

[Collomb 2005] Maxime Collomb, Mountaz Hascoët, Patrick Baudisch, and Brian Lee. Improving drag-and-drop on wall-size displays. In *Proceedings of Graphics Interface 2005*, pp. 25-32.

[Dietz 2001] Dietz, P., Leigh, D. *DiamondTouch: a multi-user touch technology*. In *Proceedings* UIST '01, pp. 219-226

[Dugosh 2005] Dugosh, K.L. and Paulus, P.B. Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology 41, 3 (2005)*, pp. 313-320.

[Eden 2002] Eden, H., Fischer, G. *Using Tabletop Interfaces to Support Informed Participation.* In Proceedings of CSCW'02 Workshop – Co-located Tabletop Collaboration Technologies and Directions.

[Epps 2006] Julien Epps, Serge Lichman, and Mike Wu. *A study of hand shape use in tabletop gesture interaction*. In Proceedings of CHI '06 *extended abstracts*, pp. 748-753.

[Ericsson 1980] K. A. Ericsson and H. A. Simon, « Verbal reports as data. », *Psychological review*, vol. 87, n°. 3, p. 215, 1980.

[Esenther 2005] A. Esenther and K. Wittenburg. Multi-user multi-touch games on DiamondTouch with the DTFlash toolkit. Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (INTETAIN), Nov 2005. MERL Report: TR2005-105.

[Forlines 2005] Clifton Forlines and Chia Shen. DTLens: multi-user tabletop spatial data exploration. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology* (UIST '05), pp. 119-122.

[Forlines 2006] Clifton Forlines, Daniel Vogel, and Ravin Balakrishnan. HybridPointing: fluid switching between absolute and relative pointing with a direct input device. In *Proceedings of UIST '06*, pp. 211-220.

[Freeman 2009] Dustin Freeman, Hrvoje Benko, Meredith Ringel Morris, and Daniel Wigdor. ShadowGuides: visualizations for in-situ learning of multi-touch and whole-hand gestures. In *Proceedings of the International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (ITS '09), pp. 165-172.

[Garron 2006] J. Garron, J. Journet, et D. Pavet, « Toward a paperless tower cab », in *What remains to be achieved, USA/Europe R&D seminar ATM*, 2005.

[Geissler 1998] Jörg Geißler. Shuffle, throw or take it! working efficiently with an interactive wall. In *Proceedings of CHI 98*, pp. 265-266.

[Grant 2002] Grant. Flexible, Collaborative Organization on a Tabletop. In Proceedings of CSCW'02 Workshop – Co-located Tabletop Collaboration Technologies and Directions.

[Greenberg 1994] Saul Greenberg and David Marwood. Real time groupware as a distributed system: concurrency control and its effect on the interface. In *Proceedings of CSCW '94*, pp. 207-217.

[Gross 2008] Tom Gross, Mirko Fetter, and Sascha Liebsch. 2008. *The cuetable: cooperative and competitive multi-touch interaction on a tabletop*. In Proceedings of CHI'08, pp. 3465-3470.

[Grossman 2005] Tovi Grossman and Ravin Balakrishnan. The bubble cursor: enhancing target acquisition by dynamic resizing of the cursor's activation area. In *Proceedings CHI '05*, pp. 281-290.

[Gutwin 1998] Carl Gutwin and Saul Greenberg. Design for individuals, design for groups: tradeoffs between power and workspace awareness. In *Proceedings of CSCW '98*, pp. 207-216.

[Gutwin 2004] Gutwin C., Greenberg S. The importance of awareness for team cognition in distributed collaboration. In *Team cognition: Understanding the factors that drive processes and performance* (2004), pp. 177-201.

[Han 2005] Jefferson Y. Han. 2005. *Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection*. In *Proceedings of* UIST '05, pp. 115-118.

[Hancock 2005] Mark S. Hancock, Chia Shen, Clifton Forlines, and Kathy Ryall. Exploring non-speech auditory feedback at an interactive multi-user tabletop. In *Proceedings of Graphics Interface 2005* (GI '05), pp. 41-50.

[Hancock 2006] Mark S. Hancock, Sheelagh Carpendale, Frederic D. Vernier, Daniel Wigdor, and Chia Shen. Rotation and Translation Mechanisms for Tabletop Interaction. In *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems* (TABLETOP '06), pp. 79-88.

[Hancock 2007] Hancock, M., Carpendale, S., Supporting Multiple Off-Axis Viewpoints at a Tabletop Display. Proceedings of Tabletop 2007, pp. 171--178.

[Hancock 2009] Mark Hancock, Thomas ten Cate, and Sheelagh Carpendale. *Sticky tools: full 6DOF force-based interaction for multi-touch tables*. In *Proceedings of* ITS '09, pp. 133-140.

[Hansen 2009] Thomas E. Hansen, Juan Pablo Hourcade, Mathieu Virbel, Sharath Patali, and Tiago Serra. 2009. PyMT: a post-WIMP multi-touch user interface toolkit. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (ITS '09), 17-24.

[Hascoët 2003] Hascoët, M.: Throwing Models for Large Displays. In: HCI 2003, vol. 2, pp. 73-77.

[Hesselmann 2009] Tobias Hesselmann, Stefan Flöring, and Marwin Schmitt. Stacked Half-Pie menus: navigating nested menus on interactive tabletops. In *Proceedings of the International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (ITS '09), pp. 173-180.

[Hopkins 1988] Hopkins, D., Callahan, J., and Weiser, M. Pies: Implementation, Evaluation and Application of Circular Menus. University of Maryland Computer Science Department Technical Report, 1988.

[Hornecker 2008] Hornecker, E. *"I don't understand it either, but it is cool": Visitor interactions with a multi-touch table in a museum*. In *Proceedings of TABLETOP '08*, pp. 121–128.

[Isenberg 2007] Petra Isenberg and Sheelagh Carpendale. Interactive Tree Comparison for Co-located Collaborative Information Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (November 2007), pp. 1232-1239.

[Isenberg 2010] Isenberg, P., Fisher, D., Morris, M. R., Inkpen, K., Czerwinski, M. An Exploratory Study of Co-Located Collaborative Visual Analytics around a Tabletop Display. In *Proceedings of VAST 2010.*

[Jiang 2009] Hao Jiang, Alain Viel, Meekal Bajaj, Robert A. Lue, and Chia Shen. 2009. CThru: exploration in a video-centered information space for educational purposes. In *Proceedings of CHI '09*, pp. 1247-1250.

[Jordà 2007] Sergi Jordà., Günter Geiger, Marcos Alonso, and Martin Kaltenbrunner. *The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces*. In *Proceedings of* TEI '07, pp. 139-146.

[Jun 2008] Jun, L., Pinelle, D., Gutwin, C., and Subramanian, S. Improving digital handoff in shared tabletop workspaces. Proc. Tabletop 2008, pp. 11-18.

[Kaltenbrunner 2005] M. Kaltenbrunner, T. Bovermann, R. Bencina, and E. Costanza, « TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces », in *Proc. of the The 6th Int'l Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation*.

[Kaltenbrunner 2007] Martin Kaltenbrunner and Ross Bencina. *reacTIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction*. In *Proceedings of* TEI '07, pp. 69-74.

[Khan 2004] Azam Khan, George Fitzmaurice, Don Almeida, Nicolas Burtnyk, and Gordon Kurtenbach. A remote control interface for large displays. In *Proceedings of UIST '04*, pp. 127-136.

[Kruger 2005] Russell Kruger, Sheelagh Carpendale, Stacey D. Scott, and Anthony Tang. Fluid integration of rotation and translation. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (CHI '05), pp. 601-610.

[Kubiski 2011] Kubiski S., Lepreux S., Kolski C. (2011). RFID-driven situation awareness on TangiSense, a table interacting with tangible objects. *Journal Personal and Ubiquitous Computing*.

[Kubiski 2011 b] Kubiski S., Lepreux S., Kolski C. (2011). Evaluation of an interactive table with tangible objects: application with children in a classroom. Proceedings *2nd workshop on child computer Interaction "UI technologies and Educational Pedagogy"* at *CHI'2011*, Vancouver, Canada, May.

[Lepreux 2011] Lepreux S., Kubiski S., Kolsi C., Caelen J. (2011). Distributed interactive surfaces: a step towards the distribution of tangible and virtual objects. In *Distributed user interfaces, designing interfaces for the distributed ecosystems.*

[Loenen 2007] Loenen, E. et al. *Entertaible: A Solution for Social Gaming Experiences*. In Tangible Play workshop, IUI Conference.

[Lubart 2005] Todd Lubart. How can computers be partners in the creative process: classification and commentary on the special issue. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 63, 4-5 (October 2005), pp. 365-369.

[Magerkurth 2002] Magerkurth, C., Tandler, P. *Augmenting Tabletop Design for Computer-Supported Cooperative Work*. In Proceedings of CSCW'02 Workshop – Co-located Tabletop Collaboration Technologies and Directions.

[Magerkurth 2003] Magerkurth, C., R. Stenzel and T. Prante: STARS - A Ubiquitous Computing Platform for Computer Augmented Tabletop Games. In UbiComp '03. Video Track and Adjunct Proceedings of the Conference on Ubiquitous Computing, pp. 267-268.

[Magerkurth 2004] Carsten Magerkurth, Maral Memisoglu, Timo Engelke, and Norbert Streitz. Towards the next generation of tabletop gaming experiences. In *Proceedings of Graphics Interface 2004*, pp. 73-80.

[Mazalek 2006] Ali Mazalek, Matthew Reynolds, and Glorianna Davenport. *TViews: An Extensible Architecture for Multiuser Digital Media Tables*. Proceedings of *Computer Graphics and Applications* 2006, pp. 47-55.

[Mazalek 2007] Mazalek, A., Reynolds, M., Davenport, G. The TViews Table in the Home, In Proceedings of TABLETOP 2007.

[Mazalek 2007 b] Mazalek, A., Mironer, B., O'Rear, E. and Van Devender, D. The TViews Table Role-Playing Game. *PerGames 2007*.

[Micire 2009] Mark Micire, Munjal Desai, Amanda Courtemanche, Katherine M. Tsui, and Holly A. Yanco. Analysis of natural gestures for controlling robot teams on multi-touch tabletop surfaces. In *Proceedings ITS '09*, pp. 41-48.

[Montferrat 2007] Montferrat, P., Apostolopoulou, A., Besacier, G., Buisine, S., Rey, G., Vernier, F. Brainstorming and Mind-Mapping on DiamondTouch: Creativity Unleashed. 2nd DiamondTouch Workshop, from Personal Computer to Multi-user Collaboration.

[Moscovich 2006] Tomer Moscovich and John F. Hughes. Multi-finger cursor techniques. In *Proceedings of Graphics Interface 2006* (GI '06), pp. 1-7.

[Myers 2002] Brad A. Myers, Rishi Bhatnagar, Jeffrey Nichols, Choon Hong Peck, Dave Kong, Robert Miller, and A. Chris Long. 2002. Interacting at a distance: measuring the performance of laser pointers and other devices. In *Proceedings of the SIGCHI '02*, pp. 33-40.

[Nacenta 2005] Miguel A. Nacenta, Dzmitry Aliakseyeu, Sriram Subramanian, and Carl Gutwin. 2005. A comparison of techniques for multi-display reaching. In *Proceedings of the CHI '05*, pp. 371-380.

[Nacenta 2007] Miguel A. Nacenta, David Pinelle, Dane Stuckel, and Carl Gutwin. 2007. The effects of interaction technique on coordination in tabletop

groupware. In *Proceedings of Graphics Interface 2007* (GI '07), pp. 191-198.

[Nilsen 2005] Nilsen, T., and Looser, J. Tankwar – tabletop war gaming in augmented reality. In *Proceedings of PerGames 2005*.

[Obradovich 2002] J. H. Obradovich et P. Smith, « The Large Situation Map in the Army: Exploring the Cognitive Implications of Co-located Tabletop Collaborative Tools ».

[Pape 2004] Pape, S., Dietz, L., and Tandler, P. Single display gaming: Examining collaborative games for multi-user tabletops. In *Workshop on Gaming Applications in Pervasive Computing Environments at Pervasive 2004*.

[Parker 2005 a] J. Parker, Regan L. Mandryk, and Kori M. Inkpen. TractorBeam: seamless integration of local and remote pointing for tabletop displays. In *Proceedings of GI '05*, pp. 33-40.

[Parker 2005 b] Parker, K., Mandryk, R., Nunes, M., and Inkpen, K. TractorBeam selection aids: Improving target acquisition for pointing input on tabletop displays. Interact Conference. p. 80-93.

[Pinelle 2008] Pinelle, D., Stach, T., and Gutwin, C. *TableTrays: Temporary, reconfigurable work surfaces for tabletop groupware*. In Proc. Tabletop 2008, pp. 45-52.

[Piper 2006] Anne Marie Piper, Eileen O'Brien, Meredith Ringel Morris, and Terry Winograd. SIDES: a cooperative tabletop computer game for social skills development. In *Proceedings of CSCW '06*, pp. 1-10.

[Poirier 2007] Franck Poirier. *Dimensions caractéristiques de l'interaction gestuelle sur table de collaboration*. In *Proceedings of* IHM '07, pp. 59-62.

[Reetz 2006] Adrian Reetz, Carl Gutwin, Tadeusz Stach, Miguel Nacenta, and Sriram Subramanian. Superflick: a natural and efficient technique for long-distance object placement on digital tables. In *Proceedings of Graphics Interface 2006*, pp. 163-170.

[Regan 2002] Regan L. Mandryk and Diego S. Maranan. 2002. False prophets: exploring hybrid board/video games. In *CHI '02 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 640-641.

[Rekimoto 2002] Rekimoto, J. SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *Proceedings of* CHI '02, pp. 113-120.

[Rensink 1997] Rensink, R., J. K. O'Regan, et al. "To See or not to See: The Need for Attention to Perceive Changes in the Scene." Psychological Science 8: pp. 368-373.

[Ringel 2004] Meredith Ringel, Kathy Ryall, Chia Shen, Clifton Forlines, and Frederic Vernier. Release, relocate, reorient, resize: fluid techniques for document sharing on multi-user interactive tables. In *CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 1441-1444.

[Ringel Morris 2004] Meredith Ringel Morris, Kathy Ryall, Chia Shen, Clifton Forlines, and Frederic Vernier. 2004. Beyond "social protocols": multi-user coordination policies for co-located groupware. In *Proceedings of the 2004 conference on Computer supported cooperative work* (CSCW '04), pp. 262-265.

[Ringel Morris 2006] Meredith Ringel Morris, Anqi Huang, Andreas Paepcke, and Terry Winograd. Cooperative gestures: multi-user gestural interactions for co-located groupware. In *Proceedings o CHI '06*, pp. 1201-1210.

[Ringel Morris 2006 b] Meredith Ringel Morris, Anthony Cassanego, Andreas Paepcke, Terry Winograd, Ann Marie Piper, and Anqi Huang. Mediating Group Dynamics

through Tabletop Interface Design. In *Computer Graphics and Applications 2006*, pp. 65-73.

[Ringel Morris 2008] Morris, M.R., Brush, A.J.B., Meyers, B.R. A field study of Knowledge Workers' Use of Interactive Horitonzal Displays. In proceedings of TABLETOP 2008, pp. 105 - 112

[Ryall 2005] K. Ryall, A. Esenther, K. Everitt, C. Forlines, M. R. Morris, C. Shen, S. Shipman, and F. Vernier. iDwidgets: parameterizing widgets by user identity. In *Proc. INTERACT '05*, pp 1124--1128.

[Sato 2008] T. Sato, K. Fukuchi, et H. Koike, « Implementation and evaluations of vision-based finger flicking gesture recognition for tabletops », in *TABLETOP 2008*, pp. 137-144.

[Sherpherd 1995] M. M. Sherpherd, R. O. Briggs, B. A. Reinig, and J. Yen. Social loafing in electronic brainstorming: invoking social comparison through technology and facilitation techniques to improve group productivity. In *Proceedings of HICSS '95*.

[Schmitt 2010] Schmitt, L., Chaboissier, J., Buisine, S**.**, Vernier, F. Activité collaborative médiée par table interactive en environnement dynamique. *Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation*.

[Schneiderman 2000] Ben Shneiderman. Creating creativity: user interfaces for supporting innovation. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interactions 2000*, pp. 114-138.

[Schneiderman 2006] Shneiderman, B., Fischer, G., Czerwinski, M., Resnick, M., Myers, B.A., Candy, L., Edmonds, E.A., Eisenberg, M., Giaccardi, E., Hewett, T.T., Jennings, P., Kules, B., Nakakoji, K., Nunamaker, J.F., Pausch, R.F., Selker, T., Sylvan, E., and Terry, M.A. Creativity Support Tools: Report From a U.S. National Science Foundation Sponsored Workshop. In *Proceedings of Int. J. Hum. Comput. Interaction 2006*, pp. 61-77.

[Schuckmann 1999] Christian Schuckmann, Jan Schümmer, and Peter Seitz. 1999. Modeling collaboration using shared objects. In *Proceedings of SIGGROUP 99*, pp. 189-198.

[Scott 2003] Stacey D. Scott, Karen D. Grant, and Regan L. Mandryk. *System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display*. In *Proceedings of* ECSCW'03, pp. 159-178.

[Scott 2004] Stacey D. Scott, M. Sheelagh, T. Carpendale, and Kori M. Inkpen. *Territoriality in collaborative tabletop workspaces*. In *Proceedings of* CSCW '04, pp. 294-303.

[Scott 2006] Scott, S., Carpendale, S. *Interacting with Digital Tabletops*. In Proceedings of Computer Graphics and Applications 2006, pp 24-27.

[Seifried 2009] Thomas Seifried, Michael Haller, Stacey D. Scott, Florian Perteneder, Christian Rendl, Daisuke Sakamoto, and Masahiko Inami. CRISTAL: a collaborative home media and device controller based on a multi-touch display. In *Proceedings of ITS '09*, pp. 33-40.

[Shen 2003] Shen, C., K. Everitt and K. Ryall: UbiTable: Impromptu Face-to-Face Collaboration on Horizontal Interactive Surfaces. Proceedings of the Conference on Ubiquitous Computing 2003, pp. 281-288.

[Shen 2003 b] Chia Shen, Neal Lesh, and Frédéric Vernier. Personal digital historian: story sharing around the table. *interactions*, pp. 15-22.

[Shen 2004] Chia Shen, Frédéric Vernier, Clifton Forlines, and Meredith Ringel. DiamondSpin: an extensible toolkit for around-the-table interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (CHI '04), pp. 167-174.

[Shen 2005] Chia Shen, Mark S. Hancock, Clifton Forlines, and Frédéric Vernier. CoR²Ds. In *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems* (CHI EA '05), pp. 1781-1784.

[Shen 2006] Chia Shen, Kathy Ryall, Clifton Forlines, Alan Esenther, Frederic D. Vernier, Katherine Everitt, Mike Wu, Daniel Wigdor, Meredith Ringel Morris, Mark Hancock, and Edward Tse. *Informing the Design of Direct-Touch Tabletops*. In Proceedings of Computer Graphics and Applications 2006, pp. 36-46.

[Simons 1999] Simons D., Chabris C.: Gorillas in our midst: Sustained inattentional blindness for dynamic events. Perception 28 (1999), pp. 1059-1074.

[Spindler 2009] Martin Spindler, Sophie Stellmach, and Raimund Dachselt. PaperLens: advanced magic lens interaction above the tabletop. In *Proceedings of ITS '09*, pp. 69-76.

[Stanley 2008] Kevin G. Stanley, David Pinelle, Alan Bandurka, David McDine, and Regan L. Mandryk. Integrating cumulative context into computer games. In *Proceedings of Future Play '08*.

[Streitz 1999] Norbert A. Streitz, Jörg Geissler, Torsten Holmer, Shin'ichi Konomi, Christian Müller-Tomfelde, Wolfgang Reischl, Petra Rexroth, Peter Seitz, and Ralf Steinmetz. 1999. i-LAND: an interactive landscape for creativity and innovation. In *Proceedings of the CHI '99*, pp. 120-127.

[Stewart 1999] Jason Stewart, Benjamin Bederson, Allison Druin. Single display groupware: a model for co-present collaboration. In *Proceedings of CHI '99*, pp. 286-293.

[Swaminathan 1997] Kishore Swaminathan and Steve Sato. Interaction design for large displays. *interactions* 4, 1 (January 1997), 15-24.

[Tang 1991] John C. Tang. 1991. Findings from observational studies of collaborative work. *Int. J. Man-Mach. Stud.* 34, 2 (February 1991), 143-160.

[Tse 2006] Edward Tse, Chia Shen, Saul Greenberg, and Clifton Forlines. *Enabling interaction with single user applications through speech and gestures on a multi-user tabletop*. In *Proceedings of* AVI '06, pp. 336-343.

[Tse 2007 a] Tse, E., Shen, C., Barnwell, J., Shipman, S., Leigh, D., and Greenberg, S. *Multimodal Split View Tabletop Interaction Over Existing Applications*. In Proceedings of Tabletop 2007, pp. 129-136.

[Tse 2007 b] Tse, Greenberg, Shen, and Forlines. *Multimodal multiplayer tabletop gaming*. *Comput. Entertain.* 2007.

[Tuddenham 2008] Tuddenham, Philip. Tabletop interfaces for remote collaboration. Thesis 2008. University of Cambridge, Computer Laboratory.

[Vandoren 2008] Vandoren, P., Van Laerhoven, T., Claesen, L., Taelman, J., Raymaekers, C. and Van Reeth, F. IntuPaint: Bridging the gap between traditional and digital painting. In *Proc. IEEE Tabletops 2008*, pp. 71-78.

[Vandoren 2009] Peter Vandoren, Luc Claesen, Tom Van Laerhoven, Johannes Taelman, Chris Raymaekers, Eddy Flerackers, and Frank Van Reeth. FluidPaint: an interactive digital painting system using real wet brushes. In *Proceedings of ITS '09*, pp. 53-56.

[Vanacken 2008] Vanacken, D. et al. Ghosts in the Interface: Meta-user Interface Visualizations as Guides for Multi-touch Interaction. *In Proc. of TABLETOP 2008*, p. 81-84.

[Vales 2007] S. Vales, S. Conversy, J. Lard, et C. Ollagnon, « MAMMI Phase2–Design and evaluation test-bed for collaborative practices on En Route control positions ».

[Vogel 2005] Daniel Vogel and Ravin Balakrishnan. Distant freehand pointing and clicking on very large, high resolution displays. In *Proceedings of UIST '05*, pp. 33-42.

[Wang 2008] Wang, X., & Maurer, F. Tabletop AgilePlanner: A Tabletop-based Project Planning Tool for Agile Software Development Teams. Proceeding of Tabletop 2008, pp. 129-136.

[Wang 2009] Feng Wang and Xiangshi Ren. *Empirical evaluation for finger input properties in multi-touch interaction*. In *Proceedings of* CHI '09, pp. 1063-1072.

[Warr 2006] A. Warr and E. O'Neill. Public social private design (PSPD). In *CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 1499-1504.

[Wellner 1991] Wellner, P. The DigitalDesk calculator: tangible manipulation on a desk top display. In Proceedings of UIST '91, pp. 27-33.

[Whalen 2003] Whalen T., Playing well with Others: Applying Board Game Design to Tabletop Display Interfaces, UIST, 2003.

[Wigdor 2005] Daniel Wigdor and Ravin Balakrishnan. Empirical investigation into the effect of orientation on text readability in tabletop displays. In *Proceedings of* ECSCW'05, pp. 205-224.

[Wigdor 2006] Daniel Wigdor, Darren Leigh, Clifton Forlines, Samuel Shipman, John Barnwell, Ravin Balakrishnan, and Chia Shen. 2006. *Under the table interaction*. In *Proceedings of* UIST '06, pp. 259-268.

[Wigdor 2007] Wigdor, D., Penn, G., Ryall, K., Esenther, A., Shen, C., Living with a Tabletop: Analysis and Observations of Long Term Office Use of a Multi-Touch Table. TableTop 2007, pp. 60-67.

[Wigdor 2009] Daniel Wigdor, Hao Jiang, Clifton Forlines, Michelle Borkin, and Chia Shen. WeSpace: the design development and deployment of a walk-up and share multi-surface visual collaboration system. In *Proceedings of CHI '09*.

[Wilson 2005] Andrew D. Wilson. 2005. *PlayAnywhere: a compact interactive tabletop projection-vision system*. In *Proceedings of* UIST '05, pp. 83-92.

[Wilson 2008] Andrew D. Wilson, Shahram Izadi, Otmar Hilliges, Armando Garcia-Mendoza, and David Kirk. *Bringing physics to the surface*. In *Proceedings of* UIST '08, pp. 67-76.

[Wilson 2009] Andrew D. Wilson. Simulating grasping behavior on an imaging interactive surface. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (ITS '09), pp. 125-132.

[Wobbrock 2009] Jacob O. Wobbrock, Meredith Ringel Morris, and Andrew D. Wilson. User-defined gestures for surface computing. In *Proceedings of* CHI '09, pp. 1083-1092.

[Wu 2003] Mike Wu and Ravin Balakrishnan. *Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays*. In *Proceedings of* UIST '03), pp. 193-202.

[Wu 2006] Mike Wu, Chia Shen, Kathy Ryall, Clifton Forlines, and Ravin Balakrishnan. *Gesture Registration, Relaxation, and Reuse for Multi-Point Direct-Touch Surfaces*. In *Proceedings of* TABLETOP '06, pp. 185-192.

[Zhang 2007] Xianhang Zhang, Masahiro Takatsuka. *Put That There NOW: Group Dynamics of Tabletop Interaction under Time Pressure*. Proceedings of TABLETOP'07, pp. 37-43