

The final version of this paper has been published in:
Le Travail Humain, 75 (3), pp. 229-252.

Available at: <http://www.cairn.info/revue-le-travail-humain.htm>

REFLEXIONS AUTOUR DES TABLES INTERACTIVES : EXPERIENCE UTILISATEUR, UTILISABILITE, EVALUATION

Sebastien Kubicki (1), Katarzyna Borgiel (2), Sophie Lepreux (1), Marion Wolff (2), Christophe Kolski (1)

(1) Univ Lille Nord de France, F-59000 Lille.
UVHC, LAMIH, F-59313 Valenciennes.
CNRS, UMR 8201, F-59313 Valenciennes.
<mailto:{prenom.nom}@univ-valenciennes.fr>

(2) LATI/Axe Ergonomie, Université Paris Descartes, 45 rue des Saints-Pères. 75270 Paris Cedex 06.
marion.wolff@parisdescartes.fr

SUMMARY

Since the beginning of the 1990s, interactive tabletops have generated growing interest in academic and industrial research. The interest for these new interactive tabletops has increased every year. In this paper, we propose a literature review, associated with a set of reflections on interactive tabletops. First, we present the various types of interactive tabletops, which we classify in terms of interfaces and interactions: tactile, tangible, and mixed. Applications running on interactive tabletops have evolved gradually, from the exploitation of virtual objects to the exploitation of tangible objects. Current research shows that tangibility is used in a considerable proportion of the new platforms, especially interactive tabletops. Generally, interactions that were first carried out using virtual objects have become mixed interactions (i.e., mixing simultaneously virtual and tangible objects). Since the uses are different from the current usual platforms (e.g., personal computers, mobile devices), we propose to present ways for reflecting upon multi-users' experience and the utility and usability of interactive tabletops. From the multi-users' experience perspective, we begin by describing the factors influencing human-machine interactions on interactive tabletops. Then, we present and discuss the perception of instrumental qualities (i.e. utility and usability) and non-instrumental qualities (e.g., esthetic, symbolic and motivational) of interactive tabletops. The article continues with a set of perspectives related to potential evaluations, linked to the use of these new platforms that, like every type of new interaction device, must be evaluated many times in terms of usability criteria, but also more generally with other user experience criteria. Five types of general evaluation approaches can be distinguished: (1) comparative studies with other platforms for the same tasks, (2) detailed studies of new applications for interactive tabletops, (3) studies focused primarily on collaboration, (4) studies involving free-use observations, and (5) longitudinal studies. The paper ends with a conclusion and a discussion of future research prospects from the perspective of multi-domain collaborations.

KEYWORDS:

Interactive tabletops, Ergonomics, Usability, User experience, Evaluation, Human-technology symbiosis

I INTRODUCTION

Les appareils électroniques et informatiques ne cessent d'être présents dans notre vie courante. Il est facile de s'en rendre compte avec l'utilisation de plus en plus répandue des Smartphones et maintenant des tablettes, l'informatisation des nombreux outils d'usage quotidien faisant régulièrement l'objet de nouveaux guides tant pour la conception des applications web, logicielles, mobiles ou tactiles, que pour l'ergonomie

(voir notamment Rubin & Chisnell, 2008). Ainsi le constat établi par Mark Weiser en 1991 (Weiser, 1991) qui évoquait à l'époque la future omniprésence de l'informatique « ubiquitaire » (i.e. une informatique présente partout, rendant service mais « invisible ») se révèle aujourd'hui confirmé. En parallèle de ce développement, l'interaction « homme-machine » tend également à évoluer car elle devient de plus en plus liée au monde réel, grâce à l'apparition de nouveaux concepts tels que le tactile, le tangible ou la réalité virtuelle et augmentée. Ainsi nous entrons dans l'ère du tactile, de l'objet communiquant et de l'intelligence ambiante où l'utilisateur pour interagir avec le monde numérique ne se sert plus d'un simple clavier et d'une souris mais utilise directement ses doigts ou des objets du quotidien. Les tables interactives, à côté d'autres types de surfaces interactives (murs, sols, bornes, etc.) sont un des résultats de ces tendances.

La motivation liée à l'introduction des premières tables interactives était de pouvoir réunir les deux moyens de travail – physique avec les objets et virtuel avec un GUI (Graphical User Interface) – dans un seul outil. Ainsi en 1991, l'idée de "*DigitalDesk*" était proposée au centre Xerox Research Centre Europe (Wellner, 1991) ; elle consistait à utiliser d'une manière interactive les documents physiques sur une table qui était en même temps l'écran de projection d'un ordinateur, et qui par cela permettait de réunir les avantages des bureaux virtuels et physiques (voir Wellner, 1994, qui présente dans cet article une table utilisant à la fois le tactile et le tangible). Les premières applications proposaient des utilisations simples (exemple : la calculatrice). Dix ans plus tard, avec l'apparition de plus en plus fréquente des interfaces tactiles, une autre idée a pu se matérialiser avec la conception de la table *Diamond Touch* qui permet un travail collaboratif grâce à un système technique *multi-touch* (Dietz & Leigh, 2001) et qui donne la possibilité d'identifier chacun des utilisateurs.

Aujourd'hui, il existe plusieurs exemples de tables permettant des interactions de plus en plus complexes, qui peuvent par exemple s'effectuer quel que soit l'endroit occupé autour de la table (Wigdor *et al.* 2006 ; Benko, Morris, Brush, & Wilson, 2009) ou qui donnent la possibilité d'interagir à distance (Yamashita, Kuzuoka, Hirata, Aoyagi, & Shirai 2011 ; Lepreux, Kubicki, Kolski, & Caelen, 2011). Il devient également possible de manipuler directement la 3D avec une nouvelle gestuelle (Hancock, Cate, & Carpendale, 2009), d'utiliser la réalité augmentée avec un casque, une combinaison de capture de mouvements, des gants (*data-gloves*) ou différents autres outils (voir par exemple : Clay, Couture, & Nigay, 2009 ; Couture & Rivière, 2007 ; Rivière, Couture, & Reuter, 2010 ; Jambon, Mandran, & Perrot, 2007), ou bien de contrôler le retour sonore de l'interface qui peut s'effectuer en parallèle avec le contrôle tactile dans un contexte multi-utilisateur (Tse, Shen, Greenberg, & Forlines, 2007 ; Tse, Greenberg, Shen, Forlines, & Kodama, 2008). Finalement les domaines d'application deviennent de plus en plus diversifiés : musique, jeux vidéo, domaines du médical, de l'archéologie, de la géologie, du spectacle, de l'éducation, de la simulation de trafic routier, de l'aide aux personnes âgées, etc. (Luengo, Vadcard, Tonetti, & Dubois, 2011 ; Reuter, *et al.* 2007 ; Clay, Couture, & Nigay, 2009 ; Couture, Rivière, & Reuter, 2008 ; Kubicki *et al.*, 2009a ; Gabrielli, Bellutti, Jamson, Leonardi, & Zancanaro, 2008).

Le potentiel d'applications de cette technologie semble alors très prometteur, qu'il soit destiné à un usage familial ou professionnel. Avec cette évolution, la question relative à l'identification des usages n'a pas manqué d'être posée (Scott, Grant, & Mandryk, 2003 ; Benko *et al.*, 2009) car avec les nouvelles fonctionnalités et modes d'interaction qui en découlent, l'expérience utilisateur va s'en trouver bien entendue modifiée.

Pour concevoir des applications adaptées et facilement utilisables, destinées aux tables interactives, il est nécessaire de considérer l'usage et l'expérience utilisateur¹. Ainsi dans cet article nous proposons une réflexion critique sur le lien entre les applications relatives aux tables interactives et l'expérience utilisateur, et nous identifierons également différents éléments spécifiques à ce type d'interfaces qui pourraient être pris en compte pour répondre à cette problématique. Après avoir présenté un état de l'art concernant les tables interactives, qui permettra d'identifier caractéristiques et apports spécifiques, une revue de questions relative à l'utilisabilité et à l'expérience utilisateur permettra d'identifier les critères possibles d'évaluation de ces nouvelles interfaces (voir notamment : Bastien & Scapin, 1993, 1995 ; Nielsen, 1993 ; Scapin & Bastien, 1997 ; Leulier, Bastien, & Scapin, 1998 ; Jacob, Limbourg, & Vanderdonck, 2005 ; Mahlke, 2008).

¹ Voir la définition de l'expérience utilisateur de Mahlke (2008), qui englobe les notions classiques de l'ergonomie des interfaces, de l'utilisabilité, de l'utilité avec la prise en compte des ressentis, des jugements, des aspects esthétiques, symboliques ou motivationnels (Barcenilla & Bastien, 2009).

II LES TABLES INTERACTIVES : TYPES, CLASSES, CARACTERISTIQUES ET APPORTS

Trois types de tables interactives et quatre classes peuvent être distingués selon la technique d'interaction mise en œuvre et selon les scénarios d'usage possibles (Scott *et al.*, 2003). Les caractéristiques principales de ces technologies seront également abordées en référence aux autres types d'interfaces.

II.1 TYPES DE TABLES INTERACTIVES

Les tables interactives actuelles peuvent être classées selon leurs caractéristiques matérielles ou logicielles mais également selon les interactions ou applications qui peuvent être envisagées à l'aide de ces tables. Nous pouvons distinguer trois types principaux de tables interactives : (1) les tables à interface tactile qui permettent un ensemble d'interactions avec des objets virtuels (photos, fenêtres, etc.), (2) les tables à interface tangible qui, a contrario des tables à interface tactile ne permettent qu'un ensemble d'interactions avec des objets tangibles c'est-à-dire « palpables » (physiques, que l'on peut connaître en touchant), (3) les tables à interface mixte qui permettent des interactions à la fois avec des objets virtuels et avec des objets tangibles.

Les tables interactives à interface tactile correspondent à la majeure partie des premières tables proposées dans la littérature. Les interactions sont rendues possibles grâce à un écran déposé sur la table ou encore un vidéoprojecteur situé au-dessus ou en-dessous de la table. D'une manière générale les interactions sont rendues possibles grâce à une surface tactile ou une caméra permettant de détecter la position des doigts et ainsi agir comme un pointeur de souris avec l'ensemble des actions offertes par celle-ci (le clic, le maintien de clic, ou le double clic ; Scott, 2006). Une des premières tables créées par Dietz et Leigh (2001) dans les laboratoires de Mitsubishi (MERL) est la « *DiamondTouch* » (voir Figure 1 photo de gauche, ci-après).



Figure 1. Les types des tables interactives : « *Diamond Touch* » (photo de gauche), « *Symbolic Table* » (au centre) et « *Reactable* » (photo de droite).

*Types of interactive tables: « *Diamond Touch* » (picture on the left), « *Symbolic Table* » (in the middle) and « *Reactable* » (picture on the right).*

Les tables interactives à interface tangible sont fondamentalement différentes des précédentes. Ici les interactions sont possibles en utilisant directement l'objet tangible sur la table (Couture & Rivière, 2007); cette dernière n'est pas considérée comme un simple écran d'affichage des données, mais bien comme un espace de manipulation des objets, comme une fonction d'entrée du système. La capture des événements est possible par exemple via une caméra ou la technologie RFID (*Radio Frequency Identification* ; Finkenziller, 2003) ; voir la description d'un système à de capture à base de RFID dans Kubicki *et al.*, 2009b, ou dans Kubicki, Lepreux, Kolski, & Caelen, 2010). Il n'existe que très peu de tables interactives permettant des manipulations d'objets tangibles sans affichage numérique. C'est le cas de la « *Symbolic Table* » (voir Figure 1, au centre) proposée par le laboratoire Mediamatic Lab en 2006 (Mediamatic, 2006) qui détecte la pose d'un objet pouvant symboliser un son ou une image.

Enfin, il existe maintenant un ensemble de *tables interactives à interface mixte*, c'est-à-dire permettant des interactions aussi bien avec des objets virtuels que des objets tangibles sur la même surface d'affichage. On parle alors du contrôle et de représentation des données numériques par, suivant le cas, des objets non-tangibles et/ou tangibles. Ce type est actuellement beaucoup plus étudié que les interfaces purement tangibles ; de telles tables offrent plusieurs modes d'interaction aux utilisateurs et s'ouvrent également à de

nombreux domaines d'application ; voir par exemple : la « *Reactable* » (Jorda, Geiger, Alonso, & Kaltenbrunner, 2007 ; Figure 1, photo de droite) ou la *TangiSense* (Kubicki, Lepreux, Kolski, Perrot, & Caelen, 2009) : Figure 2, photo de gauche, pour une application de simulation dans les transports (Kubicki, Lepreux, & Kolski, 2010) ou pour l'apprentissage des couleurs dans le domaine de l'éducation (expérimentation en cours d'analyse, voir Figure 2 photo de droite). Dans ce type de tables le mélange de la virtualité et de la tangibilité permettent d'augmenter les possibilités de l'interface.

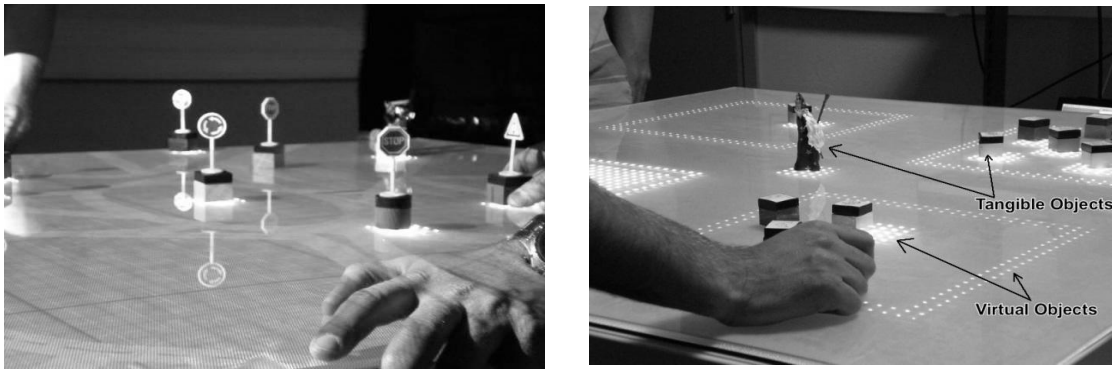


Figure 2. Utilisation de la table interactive « *TangiSense* » pour la gestion de trafic routier (photo de gauche) et pour l'éducation (photo de droite).

Use of the TangiSense interactive table for the road traffic management (left-hand side) and for education (right-hand side).

II.2 CLASSIFICATION DES TABLES INTERACTIVES

Selon le scénario d'utilisation on peut également distinguer au moins quatre classes de tables interactives (Scott *et al.*, 2003) : les « *digital desks* » (A), qui remplacent le bureau individuel traditionnel et qui intègrent différentes possibilités d'activités avec l'utilisation de médias ; les « *workbenches* » (B) qui permettent aux utilisateurs d'interagir avec des médias numériques dans un environnement semi-immersif de réalité virtuelle ; les « *drafting tables* » (C) qui sont la version numérique des tables traditionnelles utilisées par les dessinateurs ou concepteurs du milieu artistique. Elles possèdent une surface inclinée et sont souvent utilisées en mode individuel ; les « *tables collaboratives* » (D) qui soutiennent des activités, menées par des petits groupes, le plus souvent en conception ou en planification.

De cette classification proposée par Scott *et al.* (2003), nous distinguons deux types d'utilisation des tables interactives qui ont pour objectifs principaux d'offrir, d'une part, plus de possibilités d'usage et de nouvelles fonctionnalités (A, B, C) et d'autre part de faciliter le travail collaboratif (D).

II.3 CARACTERISTIQUES ET APPORTS DES TABLES INTERACTIVES

Un ensemble de caractéristiques (propriétés du système) peut être également mis en évidence indépendamment du type d'interface ou de la classe auxquelles appartiennent les différentes tables interactives (voir Tableau 1). A noter que prises séparément, ces caractéristiques peuvent être communes à d'autres types d'interfaces. C'est leur assemblage qui fait la spécificité des tables interactives et qui peut ainsi caractériser l'expérience des utilisateurs.

Table 1. Principales caractéristiques des tables interactives, utilité et usage dans d'autres technologies.
Main characteristics of interactive tabletops, utility and usage in other technologies.

Caractéristiques d'une table interactive	Utilité	Usage dans d'autres technologies
Ecran plus grand (environ 40 pouces de diagonale)	Affichage multi-informations	Ecrans verticaux, projections sur les murs
Position horizontale de la surface	Facilitation de l'utilisation des objets physiques (détectés et non-détectés par le système)	Tablettes (<i>i.e.</i> iPad)
Forme de table	Soutien aux interactions sociales, support pour le travail	Tables et bureaux ordinaires
Entrée tactile	Interaction plus intuitive et directe avec le monde numérique	Smartphones, tablettes, bornes interactives
Manipulation d'objets tangibles	Interaction plus intuitive et directe avec le monde numérique	Les interfaces tangibles en général, sans écran, etc.
Multiples points d'accès (<i>conséquence d'interactions tactiles et/ou tangibles</i>)	Interaction bimanuelle et participation active de plusieurs personnes	Tablettes et consoles des jeux (<i>i.e.</i> Wii, Kinect)

En somme, les tables interactives permettent une interaction directe et intuitive, souvent multimodale, en donnant aux utilisateurs la possibilité de se regrouper autour de l'interface, d'interagir, de reprendre les anciens modes de travail utilisés classiquement avec les surfaces horizontales (utilisation des mains, d'objets physiques et appel au sens de la spatialité). Cela définit aussi leur caractère ubiquitaire, lequel peut provoquer un changement dans la perception de travail et dans l'expérience utilisateur.

III EXPERIENCE (MULTI-) UTILISATEUR DES TABLES INTERACTIVES

De nos jours la prise en compte des caractéristiques non-instrumentales des interfaces devient de plus en plus importante pour la définition de leur « qualité ergonomique » (Barcenilla & Bastien, 2009). Il existe un grand nombre d'approches qui introduisent les notions d'esthétique, de plaisir et d'émotions ressenties dans le champ de l'ergonomie (pour des exemples, voir Barcenilla & Bastien, 2009). Ces dernières sont alors étudiées en parallèle avec les caractéristiques instrumentales et les aspects fonctionnels des interfaces. Afin d'étudier les aspects d'utilisation des tables interactives, en référence au cadre de recherche initié par Mahlke (2008) puis repris par Barcenilla et Bastien (2009), l'ensemble de ces éléments relatif à l'expérience utilisateur sera pris en compte dans les développements exposés ci-après (voir figure 3 ci-après, décrivant le cadre de recherche de Mahlke, 2008).

Comme les tables interactives peuvent être utilisées de manière individuelle ou en « multi-utilisateurs » l'expérience utilisateur peut être analysée selon ces deux perspectives.

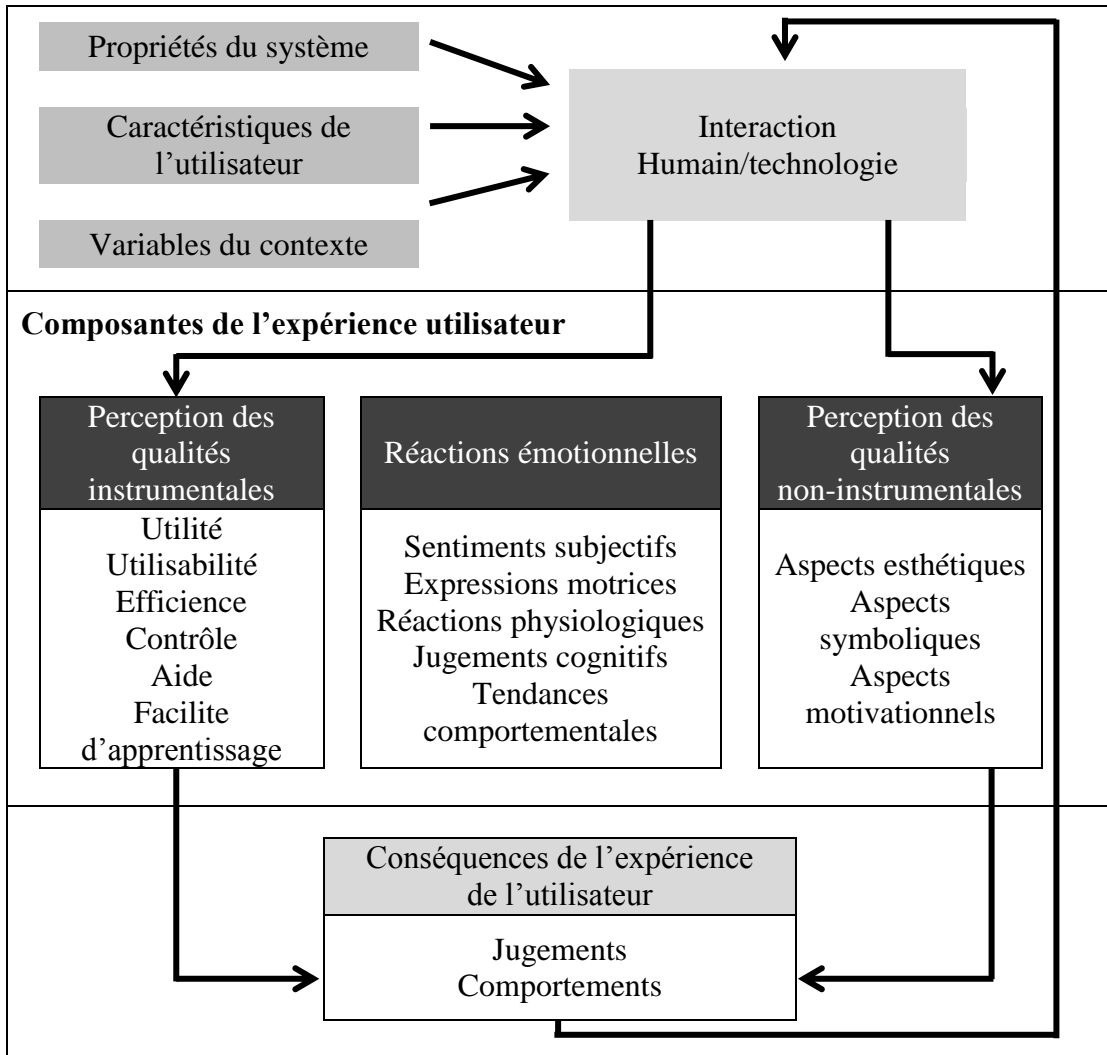


Figure 3. Cadre de recherche pour l'étude de l'expérience de l'utilisateur (adapté de Mahlke, 2008).

Framework for user experience research (adapted from Mahlke, 2008).

III.1 LES FACTEURS INFLUENÇANT L'INTERACTION HOMME/TABLE INTERACTIVE

L'interaction avec un système dépend de plusieurs facteurs (voir Tableau 2 ci-après). Compte tenu de la grande diversité des tables interactives, il s'avère difficile d'énumérer toutes les *propriétés du système* pour chaque type ou classe de tables. Parmi les caractéristiques les plus pertinentes à discuter, peuvent être retenues : la surface (d'interaction) considérablement plus importante que pour celle des écrans classiques (environ 40 pouces de diagonale en moyenne pour les tables) dans la position horizontale ou quasi-horizontale et l'activation directe ou semi-directe (objets tangibles) à l'aide des mains. La présence d'une surface importante permet d'afficher simultanément un grand nombre de données, de les organiser dans l'espace et, ce qui est le plus important, de les manipuler facilement soit avec les mains, soit en utilisant différents objets physiques sur la surface pouvant être, ou non, détectés/analysés par le système.

Par ailleurs, du point de vue des *caractéristiques de l'utilisateur*, l'accessibilité et les problèmes d'exclusion sociale et cognitive de certaines populations sont des éléments également importants à étudier (Barcenilla & Bastien, 2009). Certaines recherches fournissent des pistes prometteuses quant aux personnes atteintes d'autisme (Battochi *et al.*, 2008) ou les personnes âgées (Gabrielli *et al.*, 2008). Et cette voie demande encore à être explorée. *Les paramètres liés au contexte* vont également fortement influencer l'expérience utilisateur, comme l'environnement organisationnel et social, la signification de l'activité ou l'orientation de l'usage (Hassenzahl & Tractinsky, 2006 ; Rubin & Chisnell, 2008). Comme l'indique Mahlke (2008), ces différents paramètres vont ensuite différemment influencer la perception des qualités de l'interface selon l'objectif de l'usage et le contexte (en situation de travail ou usage familial/personnel par exemple).

Table 2. Eléments spécifiques à l'expérience utilisateur des tables interactives sur la base du cadre de recherche de Mahlke (2008). *Elements specific to the user experience of interactive tables on the basis of Mahlke's (2008) research framework.*

Composantes de l'expérience utilisateur (adapté de Mahlke, 2008)	
▶ Propriétés du système	surface importante d'interaction, position horizontale, activation directe
▶ Caractéristiques de l'utilisateur	nouveaux types d'utilisateurs, utilisateurs exclus, taille de la main/doigt, droitier/gaucher
▶ Paramètres du contexte	utilisation individuelle ou en groupe, localisation coïncidente ou distribuée, facteurs sociaux et culturels, type de tâche/activité soutenue, temps et fréquence d'utilisation, contexte écologique, source de motivation à l'usage (cf. aussi Wallace & Scott, 2008)
Perception des qualités instrumentales	
▶ Utilité	usages adaptés, nouveaux usages, usages plus difficiles
▶ Utilisabilité:	
- Confort *	posture, fatigue musculaire, points d'appui, occlusion
- Efficacité	performance et réussite pour des nouveaux types de tâches
- Efficience	grand écran d'affichage servant de mémoire physique externe, accès simultané aux différentes opérations, précision et vitesse d'interaction imposées par la technologie – c'est-à-dire la détection des mains/ objets
- Facilité d'apprentissage	intuitivité d'interaction tactile ou tangible, besoin d'appropriation des nouveaux types d'interaction, absence de standards pour la gestuelle tactile entre les différents types de plateformes
▶ Acceptation et symbiose*	amplification de l'intelligence, augmentation perceptive, accélération opératoire, management des connaissances en contexte, équilibrage émotionnel, résilience dans la gestion des erreurs, continuité du flux informationnel, réduction des distracteurs (Brangier <i>et al.</i> , 2009)
Réactions émotionnelles	
▶ Sentiments subjectifs	plaisir, activation, dominance
▶ Expressions motrices	expressions faciales, vocales
▶ Réactions physiologiques	activité électrodermale, cardiaque, taille de la pupille
▶ Jugements cognitifs	nouveauté, agrément intrinsèque, signification des buts/besoins, potentiel de maîtrise, compatibilité avec les standards
▶ Tendances comportementales	vitesse de réaction, précision, nombre d'erreurs
Perception des qualités non instrumentales	
▶ Aspects esthétiques	esthétique visuelle de la partie physique et numérique de la table, plaisir/ déplaisir du toucher, réalisation, matérialité, <i>mapping</i> sensoriel.
▶ Aspects symboliques	références culturelles et symboliques véhiculées par la représentation de « la table », sentiment d'appartenance à un groupe
▶ Aspects motivationnels	incitation à la collaboration, possibilité d'échanges des expériences ou des connaissances, du soutien, introduction de nouvelles formes du travail pouvant renvoyer aux notions de jeu, de plaisir, et d'amusement
	*catégories ajoutées par les auteurs

Mais le contexte *multi-utilisateurs* est le changement le plus important apporté par les tables interactives car il introduit la nécessité de prendre en compte divers éléments sociaux. La notion la plus souvent citée est celle de « collaboration », même s'il existe d'autres formes de travail impliquant plusieurs participants (i.e. la coopération). A ce propos, Wallace & Scott (2008) présentent une liste de facteurs liés au contexte, importants selon eux, pour la conception des tables collaboratives : facteurs sociaux et culturels, d'activité, temporels, écologiques et motivationnels, alors que d'autres auteurs vont plus se focaliser sur le contexte collaboratif d'utilisation des tables tangibles (Hornecker, 2005 ; Kubicki, 2011) ou à la collaboration à distance (Robinson & Tuddenham, 2007).

III.2.1 Utilité

Mahlke (2008) associe l'utilité d'un système à la croyance de l'utilisateur en son augmentation de performance. Même si ce cadre fournit une base de réflexion, l'utilité des tables interactives sera plutôt discutée sous l'angle de la satisfaction d'un certain nombre des besoins de l'utilisateur (Barcenilla & Bastien, 2009). L'utilisation répandue des nouvelles technologies implique souvent que les utilisateurs aient un ensemble de besoins bien définis en rapport avec ces outils, mais l'introduction d'un nouveau système peut également créer de nouveaux besoins qui, avec le temps, pourraient définir l'utilité d'un système. Par conséquent, les tables interactives seront étudiées ci-après en tant que (1) systèmes pouvant rendre les usages des technologies déjà existantes plus adaptés, (2) systèmes à nouvelles fonctionnalités et (3) systèmes pouvant rendre certains usages plus difficiles.

De nombreuses recherches tentent d'adapter des anciens usages et des applications informatiques courantes aux tables interactives. Mais ces adaptations peuvent être plus ou moins réussies. Parmi ces différentes adaptations, on peut citer la diversité des applications développées par Microsoft (<http://www.after-mouse.com>) ou le prototype de table à objets tangibles destinée aux géologues qui permet d'effectuer les découpes d'un terrain en utilisant un outil réel à usage classique : une règle équipée de deux marqueurs positionnés à ses extrémités et pouvant être captés par caméra (Couture & Rivière, 2007). On peut avancer que l'adaptation des applications existantes aux tables interactives a un double objectif : profiter de l'expérience des utilisateurs avec ce type d'applications sur d'autres plateformes (comme Microsoft Surface) et enrichir ainsi ces applications en expérience utilisateur. Selon certains chercheurs, l'adaptation des applications à d'autres plateformes est une des meilleures manières pour comprendre des nouveaux types d'interfaces (Rick & Rogers, 2008), cependant la réutilisation de certaines applications peut poser problème et lance de nouveaux défis aux concepteurs (par exemple la réutilisation concernant les applications GUI ; Shen, 2006).

Dans certains cas, les nouvelles fonctionnalités proposées par les tables interactives peuvent être difficiles à évaluer ; même si l'évaluation de l'utilisabilité est nécessaire (ce qui sera discuté plus tard dans la partie IV), il semble que dans certains cas l'utilisabilité peut avoir un rôle secondaire par rapport à ce que peut apporter l'expérience de l'utilisateur notamment au niveau des émotions ou sentiments ressentis. Pour argumenter cette hypothèse nous pouvons donner un exemple concernant une table interactive utilisée dans un restaurant de Londres² où l'utilisateur-client peut, de manière interactive, commander ses plats et effectuer un ensemble d'autres activités. Cette table permet de transmettre des informations ambiantes à distance entre les personnes³, et crée le sentiment de la présence d'autrui. D'autres exemples existent, notamment concernant les tables permettant aux personnes dépourvues de compétences musicales d'accéder à la création musicale en expérimentant avec les sons (Arfib, Filatriau, & Kessous, 2009).

Finalement, même si les tables interactives ont été le résultat d'un désir de rendre l'interaction plus directe et plus intuitive, il s'avère que toutes les tâches d'interaction ne sont pas pour autant facilitées pour les utilisateurs. C'est le cas par exemple avec l'utilisation d'un clavier tactile. Il est vrai que les claviers virtuels (affichés par infrarouge, video-projection, etc.) possèdent des avantages qui peuvent être très favorables dans certaines situations (Martin & Pecci, 2007). Ils permettent par exemple un changement dynamique des positions des touches, selon les préférences ou les capacités des utilisateurs (i.e. disposition QWERTY versus AZERTY ou ABCDEF). Mais il est bien connu que l'absence de feedback tactile (ou haptique) peut poser certains problèmes malgré l'existence de plusieurs méthodes d'entrée du texte tels que les stylets (Hinrichs, Hancock, Collins, & Carpendale, 2007) ou les doigts. L'écriture « facile et rapide » d'un texte est ainsi une des caractéristiques qui manquent le plus aux tables interactives (Benko *et al.*, 2009). Une des solutions peut être d'implémenter un stylo numérique tangible couplé à un procédé de reconnaissance d'écriture, comme il en existe déjà sur le marché.

² <http://videos.cnet.co.uk/crave-tv/inamo-restaurants-interactive-tables-39041740/>

³ <http://web.media.mit.edu/~stefan/hc/projects/habitat/>

III.2.2 Utilisabilité

Mahlke (2008) reprend dans son étude (cf. tableau 2) la définition de l'utilisabilité comme une qualité composée de trois sous-qualités. Nous proposons d'ajouter à cette proposition deux autres « sous-qualités » pouvant être pertinentes pour l'utilisation de cette nouvelle technologie spécifique : le confort pouvant être associé au confort physique de l'interaction qui est effectuée en majorité en position debout (les différentes postures adoptées pouvant être ou devenir contraignantes), et l'acceptation/symbiose (Brangier, Dufresne, & Hammes-Adelé, 2009 ; Brangier, Hammes-Adelé, & Bastien, 2010) car les tables induisent une relation conjointe technologie/homme-machine pouvant modifier les usages de l'humain. Ces éléments seront discutés dans les paragraphes suivants.

Le confort est sans doute l'élément le plus souvent évoqué (en tant que confort physique) lors de l'utilisation des tables interactives. On peut le définir comme le nombre de contraintes imposées à l'utilisateur au niveau de la posture, qui va résulter de la forme de la table et de son accessibilité. Lors de l'exécution d'une tâche sur table interactive, l'utilisateur est souvent debout, doit se pencher régulièrement sur la surface pour accéder aux endroits situés aux extrêmes (ce qui est aussi le cas des tables-bureaux classiques où le sujet est souvent en position assise), ce qui peut causer des douleurs lombaires et au cou occasionnées par la direction du regard portée souvent vers le bas. Ainsi cela induit de nouvelles exigences liées à l'implémentation des tables interactives ; par exemple prévoir la présence d'un rebord tout autour de la surface interactive sur lequel le sujet peut régulièrement appuyer ses mains pour le soulager d'une posture inconfortable (Ryall, Forlines, Morris, & Everitt, 2006), la possibilité d'adaptation de la hauteur de la table selon la morphologie des participants pour améliorer l'accessibilité de certaines surfaces ou la lisibilité (Ryall, Forlines, Shen, & Morris, 2004 ; Benko *et al.*, 2009).

D'autres contraintes existent également : la fatigue manuelle qui peut survenir à la suite d'utilisation d'objets tangibles, en lien avec la taille et le poids de ces objets (Shaer & Hornecker, 2009) ou après avoir effectué des mouvements complexes ou précis avec la main. Par ailleurs, les mains, les bras ou les objets peuvent occulter partiellement la surface pendant l'interaction (dans le cas par exemple où l'image est affichée sur la surface) ou peuvent devenir alors la surface de projection elle-même (si l'image est projetée par une caméra au-dessus de la table). Il faut pourtant mentionner qu'il y a plusieurs approches concernant ce problème de l'occlusion partielle (Bachl, Tomitsch, Wimmer, & Grechenig, 2010). Ainsi l'image peut être additionnelle, affichée dans ce cas de côté sur la surface horizontale, et les effets visuels de la projection verticale sur les mains/objets peuvent être utilisés pour concevoir l'expérience utilisateur. L'importance de ces éléments va ainsi dépendre d'une part des objectifs de l'interaction et des caractéristiques de l'application (mono ou multi-utilisateurs ; Toney & Thomas, 2006) et des utilisateurs, et d'autre part du temps et de l'intensité de l'interaction.

L'efficacité des tables interactives va dépendre de l'usage qu'en fait l'utilisateur en termes de qualité de performances et de réussite à une tâche, soit pour le milieu industriel en termes de productivité (voir Brangier & Barcellina, 2003). Cet outil sera-t-il plus efficace pour favoriser la créativité que des séances classiques de « brainstorming », pour résoudre plus rapidement des problèmes (Buisine, Besacier, Najm, Aoussat, & Vernier, 2007), pour inciter à collaborer et à échanger des informations que nos outils actuels ou au contraire tendrait-il à distraire les utilisateurs de leur tâche (Buisine, Besacier, Aoussat, & Vernier, 2012) ? Un ensemble d'études doit encore être mené sur les tables interactives afin de proposer des éléments de réponses à ces questions fondamentales.

Quant à *l'efficacité*, un grand écran d'affichage (ce qui n'est pas une caractéristique exclusive aux tables interactives) apporte sans doute la possibilité de présenter un plus grand nombre d'informations et la position horizontale permet d'utiliser en parallèle un grand nombre d'objets. Ainsi, sous plusieurs modes d'interaction, l'utilisateur peut accéder à énormément d'opérations / représentations simultanément, ce qui peut créer un « support mental » non négligeable car la surface peut alors être utilisée en tant que mémoire physique externe (étendant ainsi les capacités de la mémoire de travail ; Shen, 2006).

Par ailleurs, l'efficacité de l'interaction sera définie par les exigences de la précision dans l'interaction. Des mouvements rapides, précis, ou parallèles peuvent poser certains problèmes au niveau technologique de la détection des mains/ objets. C'est pourquoi le problème de la précision est souvent évoqué en ce qui concerne les tables interactives (Benko *et al.*, 2009). Finalement, même si ce n'est pas un problème spécifique aux tables interactives, il ne faut pas non plus oublier les différences interindividuelles de latéralité ou morphologiques des utilisateurs tant au niveau du tactile que du tangible, d'où l'importance

d'adapter les interfaces selon l'utilisation de la main préférentielle. La taille de la main, la longueur des bras et la stature des utilisateurs seraient aussi à prendre en compte dans le cadre d'études à mener à ce sujet.

Dans le cas d'interaction multi-utilisateurs homme-homme et homme-machine, l'utilisation d'interfaces classiques (telles que la souris, le clavier, l'écran, par exemple) est souvent inappropriée (Dietz, & Leigh, 2001) et afin d'optimiser les interactions et la communication entre les participants, il est nécessaire de pouvoir disposer d'une surface suffisamment spacieuse, et également de méthodes favorisant les interventions multimodales, tant gestuelles que verbales (Tse, Shen, Greenberg, & Forlines, 2006, 2007). Les utilisateurs peuvent également avoir une visibilité différente de l'information affichée ou projetée. L'orientation du contenu peut ainsi influencer la lisibilité, la performance et aussi la dynamique du groupe (Shen, 2006). Pour soutenir l'activité collective autour de la table, il faut faciliter le positionnement et l'orientation des documents (Forelines, Shen, Vernier, & Wu, 2005) ; il faut également gérer l'aménagement de l'espace de travail des utilisateurs (que cet espace soit personnel et/ou collectif), ce dernier pouvant avoir une influence sur les comportements des utilisateurs (Rubin & Chisnell, 2008).

L'utilisateur peut aussi contrôler plus d'éléments en simultané sur une table interactive, mais cette situation nécessite un effort mental plus grand et pourrait engendrer une charge mentale de travail plus élevée (Hornecker, 2005). Ce contrôle va donc dépendre des objectifs de l'interaction et de son caractère prévisible ou non.

Brangier, Hammes-Adelé, et Bastien (2010) ainsi que Brangier, Dufresne, et Hammes-Adelé (2009) établissent une nouvelle approche pour l'ergonomie informatique qui peut s'avérer très adaptée aux tables interactives : *l'approche symbiotique*. Ce concept va au-delà de l'acceptation (Davis, 1993) qui ne semble plus suffisante pour décrire la relation homme-machine. Ainsi Brangier, Dufresne & Hammes-Adelé (op. cit) montrent que la vision de l'homme cherche à « trouver des prolongements à lui-même » ; de ce fait, le rôle de la technologie influence la relation homme-machine puisqu'elle tend à modifier l'humain. Ainsi l'usage joue un rôle prépondérant dans l'élaboration de la symbiose. Les auteurs indiquent que si l'acceptation d'un outil simple et facile à utiliser favorise la satisfaction de l'utilisateur, ce même outil est également conçu pour augmenter ses capacités, et peut ainsi devenir « un symbiote » (prolongement de l'humain). A ce sujet, Brangier *et al.* (2009) avancent que *l'Ipod* peut être considéré comme une *technologie symbiotique* (relation conjointe technologie/homme-machine) car sa conception a su s'adapter à un besoin, à un contexte d'accueil favorable, et également parce qu'il a su aussi modifier les usages de l'humain en termes de consommation et de communication. Il pourrait en aller de même avec les tables interactives, si elles respectent les critères symbiotiques proposés par Brangier *et al.* (2009).

Facilité d'apprentissage. Les tables interactives, avec l'ensemble des techniques d'interaction proposées, introduisent aussi de nouveaux types d'interaction qui doivent être appris par les utilisateurs. Aujourd'hui ces derniers gagnent de plus en plus en expérience par rapport aux gestes tactiles correspondant aux fonctions proposées. Pourtant sur les différentes plateformes existant actuellement les mêmes opérations ne sont pas toujours exécutées avec la même gestuelle. Des efforts pour uniformiser et standardiser les différents types de gestes sont nécessaires pour une utilisation plus répandue des tables interactives. Wobbrock, Ringel-Morris, & Wilson (2009) proposent à cet effet un ensemble de gestuelles pour les surfaces tactiles et leur taxonomie. Le même problème peut concerner l'utilisation des objets tangibles ; compte tenu que le domaine est encore jeune (moins d'une vingtaine d'années), divers types de manipulations pourraient être standardisées. D'autant plus que l'utilisation des objets physiques fait plus appel aux différences interculturelles et à l'expérience des utilisateurs. De plus, quand il s'agit de gestes ou de manipulations complexes, il faut pouvoir tenir compte du fait que l'utilisation intuitive de l'interface ne peut pas suffire. Comme le suggère Saffer (2008), les tâches qui nécessitent des opérations plus complexes peuvent être résolues en utilisant dans ce cas des formes de représentation moins directes (au sens de la gestuelle traitée par cet auteur), comme par exemple des menus ou des boutons, ce qui ne gênerait pas les utilisateurs plus experts.

III.3 PERCEPTION DES QUALITES NON INSTRUMENTALES

Les qualités non instrumentales deviennent pour les utilisateurs de plus en plus importantes, surtout avec l'utilisation des nouvelles technologies dans les contextes non professionnels. Ainsi les tables interactives peuvent se révéler supérieures par rapport à d'autres plateformes destinées au grand public dans le cadre d'une utilisation familiale (*i.e.* jeux exploitant ou non des objets tangibles, affichage et manipulation de photos, *etc.*). Dans cette partie seront discutés les aspects esthétiques, symboliques et motivationnels des tables interactives, qui ne sont pas toujours les mêmes selon l'usage.

Parmi les éléments qui définissent l'esthétique de l'interaction, Mahlke (2008) évoque l'esthétique visuelle, la qualité haptique et acoustique des tables. L'esthétique visuelle peut se référer ainsi à la partie physique de l'interface (forme, couleurs etc.) et également à sa partie numérique (moyens de représentation des réponses de l'interface aux actions de l'utilisateur). Ce qui semble le plus important au niveau de la qualité haptique c'est le plaisir ou le déplaisir de toucher (la surface et les objets définis par leurs matériaux et leurs formes) et d'effectuer certains mouvements nécessaires à l'activation de l'interaction. Ensuite pour la qualité acoustique, les sons produits par la table interactive peuvent être agréables à l'oreille.

On peut supposer que le plus grand avantage des tables interactives (et des objets tangibles éventuellement associés) par rapport aux autres plateformes c'est le plaisir de toucher. Schiphorst, Motamedi, & Jaffe (2007) proposent d'appliquer aux tables interactives la notion d'esthétique du toucher ; ils identifient ainsi quatre éléments pouvant influencer l'expérience d'utilisation : *la réalisation* faisant appel à un contexte d'expérience plus philosophique, *la matérialité* qui souligne l'importance de la forme physique, la forme et la texture des systèmes interactifs, *le mapping sensoriel* issu des interrelations entre le toucher et les autres sens. Ils proposent aussi un exemple de table *BodyMaps* dont l'interaction est construite autour de cette expérience de l'esthétique du toucher.

L'esthétique de la table, de ses formes, peut aussi avoir une grande influence sur l'utilisateur. Une table esthétique, qui permet d'interagir avec le monde numérique, peut être un atout suffisant pour donner envie de l'utiliser et d'enrichir ainsi son expérience utilisateur (voir par exemple la *Concerto Table*⁴ en forme de piano qui permet d'écouter de la musique).

Pour les aspects symboliques, la perception de l'utilisateur semble également importante notamment pour une utilisation en milieu professionnel (sentiment d'appartenance à un groupe « initié »).

Un des aspects motivationnels des tables collaboratives peut être d'inciter les utilisateurs à collaborer. Par exemple, pour les personnes atteintes d'autisme, cet outil peut aider à la communication, la collaboration (Battocchi *et al.*, 2008) tout simplement parce que le système mis en œuvre par les tables interactives oblige à cette collaboration, les actions sur les objets numériques doivent être effectuées simultanément par plusieurs utilisateurs pour garantir la réussite (paradigme de la collaboration forcée). Ces auteurs ont ainsi pu observer non seulement un accroissement de la collaboration et de la communication entre les enfants ayant des troubles autistiques mais aussi entre ceux ayant un niveau de développement normal.

La table interactive peut également motiver les personnes à se réunir et ainsi faciliter les échanges (exemple : dans les musées, ou en utilisation familiale ; Hornecker, 2008).

Le caractère social des tables interactives peut aussi apporter d'autres aspects motivationnels tels que la possibilité d'échange des savoirs ou obtenir un soutien en utilisant les compétences d'autres personnes issues de domaines différents. Dans ce contexte le concept des espaces de travail personnels peut être étendu aux « objets privilégiés »⁵ (Dietz & Leigh, 2001), où certains types d'activités (avec des objets numériques, mais aussi tangibles) appartiennent à un seul profil utilisateur – i.e. l'expert. Dans leur étude, Caelen, Becker, & Pellegrin (2011) montrent que la compréhension d'objets tangibles sur table interactive est plus facile pour des sujets novices lorsque ces objets sont manipulés par des sujets experts.

Finalement, les tables introduisant la possibilité de travailler d'une manière plus ludique, peuvent potentiellement motiver les gens à travailler, quelle que soit l'application (Demeure & Calvary, 2002). Ce versant n'est pas seulement représenté par les jeux, mais peut aussi mener à de nouvelles formes de travail pouvant renvoyer aux notions de jeu, de plaisir, et d'amusement. Compte tenu de la multimodalité et de l'aspect multi-utilisateurs, il paraît intéressant de prendre en compte de telles notions renvoyant à la dimension émotionnelle. Un ensemble d'experts travaillant autour de la table pour des travaux d'architecture ou de conception d'infrastructure routière par exemple, peuvent en posant leur objets directement sur la table amener la solution de conception d'une manière ludique (Kubicki, Lepreux, Kolski, & Caelen, 2010). Si l'objectif n'est pas d'en faire un jeu, le fait de pouvoir intervenir à plusieurs autour d'une table interactive laisse envisager de nouvelles manières de travailler. Les effets positifs de ce type de travail sont actuellement à l'étude (Haué & Dillenbourg, 2008 ; Turner *et al.*, in press 2011).

⁴ <http://www.engadget.com/2006/05/25/the-concerto-table/>

⁵ Selon (Dietz & Leigh, 2001, trad. auteur), un objet privilégié est une icône qui permet seulement à une partie des utilisateurs de réaliser certaines opérations avec cet objet. Par exemple un plombier et un électricien peuvent visualiser le même plan de maison mais seul le plombier peut modifier la tuyauterie, et seul l'électricien peut modifier le câblage.

IV VERS DE NOUVELLES EVALUATIONS IMPLIQUANT LES TABLES INTERACTIVES

Chaque nouveau type d'interface a besoin d'être évalué tant du point de vue de l'utilisabilité (Nogier *et al.*, 2011 ; Rubin & Chisnell, 2008) que du point de vue de l'acceptation (Brangier *et al.* 2009 ; Brangier *et al.*, 2010). Comme l'indiquent Barcenilla et Bastien (2009), les mesures classiques de l'utilisabilité « s'avèrent insuffisantes pour prendre en compte la multiplicité des facettes de l'interaction », d'où la nécessité de la prise en compte des mesures de niveau de satisfaction ou d'autres qualités subjectives comme l'apparence ou l'esthétique (pour les exemples des outils, voir Barcenilla & Bastien, 2009). C'est aussi le cas pour des tables interactives, bien que la plupart des évaluations soient plutôt concentrées sur des problématiques très limitées (i.e. sur les techniques d'entrée des données) ou sur celles d'utilisabilité des techniques d'interaction liées aux tables interactives (i.e. comparaisons souris – tactile – stylet (Nogier *et al.*, 2011).

Les tables interactives sont toujours dans la phase de développement et encore très peu sont accessibles au grand public. C'est pourquoi il existe très peu d'études longitudinales concernant leur utilisation. L'étude de Wigdor, Penn, Ryall, Esenther, et Shen (2007) indique qu'il est possible d'utiliser une table interactive pour différents types de tâches professionnelles, mais cette étude n'a été effectuée qu'avec la participation d'un seul sujet (qui était de plus vendeur de tables interactives !). Mazalek, Reynolds, et Davenport (2007) présentent quant à eux l'évaluation d'une table interactive d'utilisation privée, effectuée en milieu familial. D'autres évaluations sont en cours de réalisation ou indiquent des résultats mitigés (Buisine *et al.*, 2012).

Les tests d'utilisation sont ainsi souvent menés avec la participation de développeurs et de chercheurs qui sont eux-mêmes sujets de leur propre application. Même si leur perspective ne peut pas être comparée à celle des futurs utilisateurs, les résultats peuvent fournir néanmoins des indices intéressants. Ainsi l'étude de Benko *et al.* (2009) fournit certains indices (insights). Cette étude porte surtout sur l'utilisation des tables interactives en situation de travail quotidien. Les résultats montrent que les trois caractéristiques actuellement disponibles sur des ordinateurs classiques et qui font le plus défaut sur les tables interactives, sont : le clavier, les applications classiques et un pointage précis ; alors que les trois caractéristiques présentes sur tables interactives et qui font défaut sur des ordinateurs classiques sont : l'input tactile, une dimension confortable et le support pour la collaboration. Cette étude montre ensuite que selon les sujets les applications les plus adaptées aux tables interactives sont le divertissement, la visualisation et les activités collaboratives et les moins adaptées : les présentations et les applications qui peuvent être définies comme un soutien pour la productivité (i.e. e-mail, activités sur Internet, etc.). La conclusion des auteurs indique que les tables interactives trouveront certainement leur utilité surtout pour des tâches très spécialisées mais ne pourront pas servir d'interface pour l'ensemble des activités de travail. Mais cette étude ne donne aucune piste précise, d'où la nécessité d'un plus grand nombre d'évaluations concernant les tables interactives où les émotions suscitées pourraient être également prises en compte dans le contexte d'utilisation (Couture, Wolff, Mollard, & Todeschini, 2010 ; Clay, Couture, & Nigay, 2009) et en milieu professionnel (Cahour & Lancry, 2011), dans l'interaction homme-machine (Février, Gauducheau, Jamet, Rouxel, & Salembier, 2011) ainsi que dans la relation humain-technologie-organisation (Brangier & Hammes, 2007).

Il existerait ainsi au moins cinq approches générales pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des tables interactives : (1) les études comparatives avec d'autres types de plateformes comportant différents types d'entrée des données (tactile, tangible) pour des mêmes types des tâches où les résultats peuvent indiquer si les tables interactives se révèlent être supérieures pour ces tâches et pourquoi (avec quelles composantes de l'expérience utilisateur) ; (2) les études détaillées des nouvelles applications des tables interactives qui permettront d'identifier quelles nouvelles formes d'expérience utilisateur pourront être prises en compte ; (3) les études des tables interactives collaboratives qui pourront définir les meilleures caractéristiques des interfaces susceptibles de soutenir différents types de travail collectif ; (4) les observations d'utilisation libre ; et finalement (5) les études longitudinales d'utilisation des tables interactives qui pourront indiquer les changements possibles dans les manières de travailler, ainsi que les influences organisationnelles et sociales. Il est clair que de nombreux travaux peuvent être envisagés dans ce domaine.

D'autres méthodes d'évaluation pourraient être également utilisées telles que celles préconisées par Rubin & Chisnell (2008), notamment en ce qui concerne l'influence de l'aménagement de l'espace lors des tests. La combinaison des différentes approches pourrait aussi s'avérer intéressante afin d'appréhender au mieux ce nouveau mode d'interaction.

V CONCLUSION

Cet article a été consacré à un état de l'art associé à des réflexions sur les tables interactives, actuellement au centre de nombreuses recherches, aussi bien académiques qu'industrielles ; ces réflexions ont concerné plus particulièrement l'expérience utilisateur, l'utilisabilité et l'évaluation.

Si les tables interactives ne sont pas le seul système permettant l'interaction collaborative (i.e. consoles de jeux), elles constituent actuellement un des moyens possibles pour accentuer la collaboration et la créativité d'équipe de travail car l'utilisation d'une surface, prenant la forme d'une table, favorise indéniablement la communication et les collaborations.

Elles peuvent également fournir une aide indéniable aux personnes (enfants et adultes) ayant des difficultés à communiquer (telles que celles atteintes de troubles autistiques par exemple) ou des problèmes liés à l'apprentissage (personnes présentant une déficience intellectuelle). Les applications actuellement en cours de réalisation, et menées par nos équipes en collaboration avec des psychologues accompagnants de personnes avec autisme (Wolff, Gattegno, & Adrien, 2009), devraient pouvoir enrichir les constats apportés par Battocchi *et al.* (2009) sur l'efficacité de cette aide ; en effet, les premiers résultats indiquent que l'utilisation de technologies à interface tactile semble avoir un effet positif sur la motivation à collaborer et/ou à apprendre pour les participants avec autisme ou déficience intellectuelle.

Par ailleurs, le caractère collaboratif (multi-utilisateurs) d'une table interactive ne signifie pas non plus que l'interaction mono-utilisateur devient superflue. Le niveau de collaboration doit plutôt être ajusté aux contraintes des tâches et aux préférences des utilisateurs. Il existe plusieurs techniques qui permettent aux utilisateurs de créer leurs espaces personnels de travail (Dietz et Leigh, 2001 ; Scott, Sheelagh, Carpendale, & Inkpen, 2004 ; Kubicki, Lepreux, & Kolski, 2011) et la transition entre la collaboration active et l'activité individuelle, qui a été observée pendant les réunions autour des tables traditionnelles, peut s'orchestrer assez aisément (Ringel, Ryall, Shen, Forlines, & Vernier, 2004). Un des aspects importants, évoqué par Chan, Hu, & Hsu (2008) concerne d'ailleurs la possibilité de conserver certains documents virtuels « privés ».

De tels aspects sont maintenant à étudier en profondeur, dans le cadre de nombreuses évaluations à mener, impliquant sujets novices et/ou experts, objets tangibles et/ou virtuels, caractéristiques diverses des tables, tâches et situations concernées. Ce domaine constitue un nouveau défi pour les chercheurs tant ergonomes qu'informaticiens et offre de nouvelles opportunités de collaboration dans des cadres pluridisciplinaires.

REMERCIEMENTS

Nos travaux de recherche menés sur table interactive ont été partiellement financés par le *Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie*, la région *Nord Pas de Calais*, le *PRES ULNF*, le *Centre National de la Recherche Scientifique*, le *FEDER*, *CISIT* (projet *Plaiimob*), et également l'*Agence Nationale de la Recherche* (Projets ANR TTT and IMAGIT - ANR 2010 CORD 01701). Nous voudrions également remercier nos partenaires avec lesquels nous travaillons en étroite collaboration : Le *laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG)*, les sociétés *RFIdées* et *Supertec*, et le *CEA*.

Les auteurs remercient sincèrement les relecteurs anonymes de la revue pour leurs remarques pertinentes et constructives.

RERERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arfib, D., Filatriau, J.J., & Kessous, L. (2009). Prototyping Musical Experiments for Tangisense, a Tangible and Traceable Table. In F. Gouyon, A. Barbosa & X. Serra (Eds.). *Proceedings of SMC 2009* (pp.247-252). Porto, Portugal.

Bachl, S., Tomitsch, M., Wimmer, C., & Grechenig, T. (2010). Challenges for Designing the User Experience of Multi-touch Interfaces. *Engineering Patterns for Multi-Touch Interfaces 2010*, a workshop of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, Berlin, Germany

Barcenilla, J., & Bastien, J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies: quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur? *Le Travail Humain*, 72(4), 311-331.

- Bastien, J.M.C., & Scapin, D.L. (1993). Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interface. *Technical Report, 156*. Rocquencourt : INRIA.
- Bastien, J.M.C., & Scapin, D.L. (1995). Evaluating a user interface with ergonomic criteria. *International Journal of Human-Computer Interaction, 7*(2), 105-121.
- Battocchi, A., Ben-Sasson, A., Esposito, G., Gal, E., Pianesi, F., Tomasini, D., Venuti, P., *et al.* (2009). Collaborative puzzle game: a tabletop interface for fostering collaborative skills in children with autism spectrum disorders. In *Proceedings of ITS'09* (pp. 197-204). Banff, AB, Canada : ACM Press.
- Benko, H., Morris, M. R., Brush, A. J. B., & Wilson, A. D. (2009). *Insights on Interactive Tabletops: A Survey of Researchers and Developers*. Microsoft Research Technical Report MSR-TR-2009-22, March 2010.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser : adapter les technologies à l'homme*. Paris : Éd. d'Organisation.
- Brangier, E., & Hammes, S. (2006). Comment mesurer la relation humain-technologie-organisation ? Elaboration d'un questionnaire de mesure de la relation humain-technologie-organisation basé sur le modèle de la symbiose. *PISTES, 9*(2). En ligne <http://www.pistes.uqam.ca/v9n2/articles/v9n2a1s.htm>.
- Brangier, E., Hammes-Adelé, S., & Bastien, J. M. C. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies : de l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée European Review of Applied Psychology, 60*(2), 129-146.
- Brangier, E., Dufresne, A., & Hammes-Adelé, S. (2009). Approche symbiotique de la relation humain-technologie : perspectives pour l'ergonomie informatique. *Le Travail Humain, 72*(4), 333-353.
- Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., & Vernier, F. (2012). How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Computers in Human Behavior, 28*(1), 49-59.
- Buisine, S., Besacier, G., Najm, M. Aoussat, A., & Vernier, F. (2007). Computer-supported creativity : evaluation of a tabletop mind-map application. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 45*62, 22-31.
- Caelen, J., Becker, M., & Pellegrin, A. (2011). Tangibility and Human-Computer interaction: an alternative approach to affordance. In K. Blashki (Ed.), *Proceedings of the IADIS conference on interfaces and Human-Computer Interaction (IADIS'11)* (pp. 355-359). Roma : IADIS Press.
- Cahour, B., & Lancry, A. (2011). Emotions et activités professionnelles et quotidiennes. *Le Travail Humain, 74*(2), 97-106.
- Chan, L.-W., Hu, T.-T., & Hsu, J. (2008). On Top of Tabletop: a Virtual Touch Panel Display. In *3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP'08* (pp. 169-176). Amsterdam : IEEE.
- Clay, A., Couture, N., & Nigay, L. (2009). Towards an architecture model for emotion recognition in interactive systems: application to a ballet dance show. In *Proceedings of the world conference on innovative VR* (pp. 19-24). Châlon-sur Saône : ASME.
- Couture, N., & Rivière, G. (2007). Table interactive et interface tangible pour les géosciences : retour d'expérience. In *IHM'07: 19ème Conf. Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*(pp. 23-26). Paris : ACM Press.
- Couture, N., Rivière, G., & Reuter, P. (2008). GeoTUI : a tangible user interface for geosciences. In *Proceedings of TEI '08* (pp. 89-96). Bonn : ACM Press.

- Couture, N., Wolff, M., Mollard, R., & Todeschni, L. (2010). Etude du comportement et des émotions dans un contexte de multisollicitations : approche exploratoire avec la Plateforme d'Evaluation, de Prototypage et de tests d'usageS (PEPSS). In G. Calvary & M. Wolff (Eds.), *Actes de la Conférence Ergo'IA 2010* (pp. 67-74). Biarritz : ACM Press.
- Davis, F.D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions, and behavioral impacts. *International Journal of Man Machine Studies*, 38, 475-487.
- Demeure, A., & Calvary, G. (2002). Jeu et Réalité Mixte: retours d'expérience. *Proc. of the 14th Conf. of Association Francophone d'Interaction Homme-Machine* (pp. 89-96). Poitiers : AFIHM..
- Dietz, P., & Leigh, D. (2001). DiamondTouch: a multi-user touch technology. *Proceedings of UIST '01, Orlando, Florida*, 3, 219-226.
- Février, F., Gauducheau, N., Jamet, E., Rouxel, G., & Salembier, P. (2011). La prise en compte des affects dans le domaine des interactions homme-machine : quels modèles, quelles méthodes, quels bénéfices ? *Le Travail Humain*, 74(2), 183-201.
- Finkenzyler, K. (2003). *RFID Handbook* (2nd edition). Chichester, UK: John Wiley and sons.
- Forlines, C., Shen, C., Vernier, F., & Wu, M. (2005). Under My Finger: Human Factors in Pushing and Rotating Documents Across the Table. *Proceedings of Human Computer Interaction INTERACT'05 IFIP TC13 International Conference. Rome, Italy* (Vol. 3585, pp. 994). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Forlines, C., Wigdor, D., Shen, C., & Balakrishnan, R. (2007). Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays. In *Proceedings of CHI'07* (pp. 647-656). San Jose, CA : ACM Press.
- Gabrielli, S., Bellutti, S., Jameson, A., Leonardi, C., & Zancanaro, M. (2008). A single-user tabletop card game system for older persons. In *IEEE TABLETOP'08*, (pp. 85-88). Amsterdam : IEEE.
- Ha, V., Inkpen, K. M., Whalen, T., & Mandryk, R. L. (2006). Direct Intentions: The Effects of Input Devices on Collaboration around a Tabletop Display. In *IEEE TABLETOP'06* (pp. 177-184). Adelaide, Australia : IEEE.
- Hancock, M. S., Shen, C., Forlines, C., & Ryall, K. (2005). Exploring non-speech auditory feedback at an interactive multi-user tabletop. In *Proceedings of Graphics Interface 2005* (pp. 41-50). Victoria, BC : Canadian Human-Computer Communications Society.
- Hancock, M., Cate, T. T., & Carpendale, S. (2009). Sticky tools: full 6DOF force-based interaction for multi-touch tables. In *Proceedings of ITS'09* (pp. 113-140). Banff, AB, Canada : ACM Press.
- Hancock, M., Hilliges, O., Collins, C., Baur, D., & Carpendale, S. (2009). Exploring tangible and direct touch interfaces for manipulating 2D and 3D information on a digital table. In *Proceedings of ITS '09* (pp. 77-84). Banff, AB, Canada : ACM Press.
- Hassenzahl, M. & Tractinsky, N. (2006). User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25, 91-97.
- Haué, J.-B., & Dillenbourg, P. (2008). Do Fewer Laptops Make A Better Team? In Dillenbourg, P., Huang, J., and Cherubini, M. (Eds.), *Interactive Furniture Supporting Collaboration*. CSCL Series (pp. 1-24). New York, USA: Springer.
- Hinrichs, U., Hancock, M., Collins, C., & Carpendale, S. (2007). Examination of Text-Entry Methods for Tabletop Displays. In *Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP07* (pp. 105-112). New Port, RI : IEEE.
- Hornecker, E. (2005). A design theme for tangible interaction: embodied facilitation. In H. Gellersen & K. Schmidt (Eds.), In *Proceedings of ECSCW 2005* (pp. 23-43). Paris: Springer.

- Hornecker, E. (2008). I don't understand it either, but it is cool" - visitor interactions with a multi-touch table in a museum. In *3rd IEEE International Workshop on Tabletops and Interactive Surfaces TABLETOP'08* (pp. 113-120). Amsterdam : IEEE.
- Isenberg, P., Hinrichis, U., Hancock, M., Tobiasz, M., Carpendale, S. Information Visualization on Interactive Tabletops in Work vs. Public Settings in: Isenberg, P., Sedlmair, M., Baur, D., Isenberg, T., Butz, A. (Eds.) *Collaborative Visualization on Interactive Surfaces - CoVIS '09 Technical Report* LMU-MI-2010-2, April 2010.
- Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. In *Proceedings of TEI '08* (pp. XV-XXV). Bonn : ACM Press.
- Luengo, V., Vadcard, L., Tonetti, J., & Dubois, M. (2011). Diagnostic des connaissances et retroaction épistémique adaptative en chirurgie. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 25(4), 499-524.
- Jacob, R., Limbourg, Q., & Vanderdonckt, J. (Eds.). (2005). *Computer-aided design of user interfaces*. Dordrecht, The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Jambon, F., Madran, N., & Perrot, C. (2007). L'identification radiofréquence au service de l'analyse du parcours muséal des visiteurs. *La Lettre de l'OCM*, 113, 11-17.
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of TEI '07* (pp. 139-146). Baton Rouge, LA : ACM Press.
- Kubicki, S. (2011). *Contribution à la prise en considération du contexte dans la conception de tables interactives sous l'angle de l'IHM, application à des contextes impliquant table interactive RFID et objets tangibles*. Thèse de doctorat en informatique non publiée, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
- Kubicki S., Lepreux S., & Kolski C. (2010). Conception et évaluation des tables interactives à interface virtuelle, tangible ou mixte : classification, pistes de réflexion, illustration en transport. In G. Calvary & M. Wolff (Eds.), *Actes de la Conférence Ergo'IA 2010* (pp. 3-7). Biarritz : ACM Press.
- Kubicki S., Lepreux S., & Kolski C. (2012 in press). RFID-driven situation awareness on TangiSense, a table interacting with tangible objects. *Personal and Ubiquitous Computing*, doi: 10.1007/s00779-011-0442-9.
- Kubicki, S., Lepreux, S., Kolski, C., & Caelen, J. (2010). Towards New Human-Machine Systems in contexts involving interactive table and tangible objects. In *11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*. Valenciennes, France : IFAC.
- Kubicki, S., Lepreux, S., Kolski, C., Perrot, C., & Caelen, J. (2009). TangiSense: présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables. In *Proceedings of the 21st International Conference of Association Francophone d'Interaction Homme-Machine IHM'09* (pp. 351-354). Grenoble : ACM Press.
- Kubicki, S., Lebrun Y., Lepreux S., Adam E., Kolski C., & Mandiau R. (2009a). Exploitation de la technologie RFID associée à une table interactive avec objets tangibles et traçables. Application à la gestion de trafic routier. *Génie Logiciel*, 31, 41-45.
- Kubicki, S., Lepreux, S., Lebrun, Y., Dos Santos, P., Kolski, C., & Caelen, J. (2009b). New Human-Computer Interactions using tangible objects: application on a digital tabletop with RFID technology. In J. A. Jacko (Ed.), *Proceedings of HCI International'09*, 5612, 446-455.
- Leulier, C., Bastien, J.M.C., & Scapin, D.L. (1998). Compilation of ergonomic guidelines for the design and evaluation of Web sites. Commerce & Interaction Report. Rocquencourt, France : INRIA.

- Lepreux, S., Kubicki, S., Kolski, C., & Caelen, J. (2011). Distributed interactive surfaces using tangible and virtual objects. *Proceedings of Workshop DUI'2011 "Distributed User Interfaces", CHI'2011* (pp. 65-68). Vancouver, Canada : ACM Press.
- Mahlke, S. (2008). *User experience of interaction with technical systems*. Saarbrücken: VDM Verlag.
- Martin, B., & Pecci, I. (2007). État de l'art des claviers physiques et logiciels pour la saisie de texte. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, 8(2), 147-205.
- Mazalek, A., Reynolds, M., & Davenport, G. (2007). The TVViews Table in the Home. In *Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP '07* (pp. 52-59). New Port, RI : IEEE.
- Mediamatic. (2006). doi: <http://www.mediamatic.net/page/11344/en>
- Morris, M. R., Brush, A. J. B., & Meyers, B. R. (2008). A field study of knowledge workers' use of interactive horizontal displays. In *3rd IEEE International Workshop on Tabletops and Interactive Surfaces TABLETOP '08* (pp. 105-112). Amsterdam : IEEE.
- Nielsen, J. (1993) *Usability Engineering*. Boston: Academic Press.
- North, C., Dwyer, T., Lee, B., Fisher, D., Isenberg, P., Robertson, G., & Inkpen, K. (2009). Understanding Multi-touch Manipulation for Surface Computing. In T. Gross, J. Gulliksen, P. Kotzé, L. Oestreicher, P. A. Palanque, R. O. Prates, & M. Winckler (Eds.), *Human Computer Interaction-INTERACT 2009*, 5727(Part II), 236-249.
- O'Hara, K. (2010). Interactivity and non-interactivity on tabletops. In *Proceedings of CHI '10* (pp. 2611-2614). Atlanta, GA : ACM Press.
- Reuter, P., Rivière, G., Couture, N., Sorraing, N., Espinasse, L., & Vergnieux, R. (2007). ArcheoTUI - A Tangible User Interface for the Virtual Reassembly of Fractured Archeological Objects. In D. Arnold, F. Niccolucci, & A. Chalmerds (Eds.), *Proceedings of The 8th international symposium on virtual reality, archeology and cultural heritage VAST'07* (pp. 15-22). Brighton : Eurographics Association.
- Rick, J., & Rogers, Y. (2008). From DigiQuilt to DigiTile: Adapting Educational Technology to a Multi-Touch Table. In *3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP '08* (pp.73-80). Amsterdam : IEEE.
- Ringel, M., Ryall, K., Shen, C., Forlines, C., & Vernier, F. (2004). Release, relocate, reorient, resize: fluid techniques for document sharing on multi-user interactive tables. In *Proceedings of CHI EA '04* (pp. 1441-1444). Vienna : ACM Press.
- Rivière, G., Couture, N., & Reuter, P. (2010). The activation of modality in virtual objects assembly. *Journal of Multimodal User Interfaces*, 3(3), 189-196.
- Robinson, P., & Tuddenham, P. (2007). Distributed Tabletops: Supporting Remote and Mixed-Presence Tabletop Collaboration. In *Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP '07* (pp. 19-26). New Port, RI : IEEE.
- Rubin, J., Chisnell, D. (2008). *Handbook of usability testing: How to plan, design and conduct effective tests*. Indianapolis, IN : Wiley Publishing Inc.
- Ryall, K., Forlines, C., Shen, C., & Morris, M. R. (2004). Exploring the effects of group size and table size on interactions with tabletop shared-display groupware. In *Proceedings of CSCW '04* (pp. 284-293).. Chicago, IL : ACM Press.
- Ryall, K., Forlines, C., Morris, M. R., & Everitt, K. (2006). Experiences with and Observations of Direct-Touch Tabletops. In *First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP '06* (pp. 89-96). Adelaide, Austria : IEEE.

- Saffer, D. (2008). *Designing Gestural Interfaces: Touchscreens and Interactive Devices*. O'Reilly Media, Inc.
- Scapin, D.L. & Bastien, J.M.C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour and Information Technology*, 6(4-5), 220-231.
- Scott, S. D., & Carpendale, S. (2006). Interacting with Digital Tabletops. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(5), 24-27.
- Scott, S.D., Sheelagh, M., Carpendale, T., & Inkpen, K.M. (2004). Territoriality in collaborative tabletop workspace. In *Proceedings of CSCW'04* (pp. 294-303). Chicago, IL : ACM Press.
- Scott, S. D., Grant, K. D., & Mandryk, R. L. (2003). System Guidelines for Co-located , Collaborative Work on a Tabletop Display. In H. Karasti, K. Baker, G.C. Bowker (Eds.), *Proceedings of ECSCW'03* (pp. 159-178). Helsinki: Kluwer Academic Publishers
- Shaer, O., & Hornecker, E. (2009). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Human-Computer Interaction*, 3(1-2), 1-137.
- Shen, C. (2006). Informing the Design of Direct-Touch Tabletops. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(5), 36-46.
- Schiphorst, T., Motamedi, N., & Jaffe, N. (2007). Applying an Aesthetic Framework of Touch for Table-Top Interactions. In *Second IEEE International Workshop on Horizontal Interactive HumanComputer Systems TABLETOP '07* (pp. 71-74). New Port, RI : IEEE.
- Toney, A., & Thomas, B. H. (2006). Considering Reach in Tangible and Table Top Design. In *First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP '06* (pp. 57-58). Adelaide, Austria : IEEE.
- Tse, E., Shen, C., Greenberg, S., & Forlines, C. (2006). Enabling interaction with single user applications through speech and gestures on a multi-user tabletop. In *Proceedings of AVI '06* (pp. 336-343). Venice : ACM Press.
- Tse, E., Shen, C., Greenberg, S., & Forlines, C. (2007). How pairs interact over a multimodal digital table. In *Proceedings of CHI '07* (pp. 215-218). San Jose, CA : ACM Press.
- Tse, E., Greenberg, S., Shen, C., Forlines, C., & Kodama, R. (2008). Exploring true multi-user multimodal interaction over a digital table. In *Proceedings of DIS '08* (pp. 109-118). Cape Town, South Africa : ACM Press.
- Turner, W.A., Buisine, S., Ganascia, J.G., Eveque, L., Fouladi, K., Marlier, J., Retamales, M. (in press, 2011). La conception innovante des objets à intelligence incorporée. In: J.M. Noyer, B. Juanals (Eds.), *Les technologies intellectuelles au cœur de la transformation socio-technique*, Paris : Lavoisier Hermès Science.
- Vernier, F., Lesh, N., & Shen, C. (2002). Visualization techniques for circular tabletop interfaces. In *Proceedings of AVI '02* (pp. 257-265). Trento, Italy : ACM Press.
- Wallace, J. R., & Scott, S. D. (2008). Contextual design considerations for co-located, collaborative tables. In *Proceedings of 3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems TABLETOP '08* (pp. 57-64). Amsterdam : IEEE.
- Wellner, P.(1991). The Digital Desk calculator : tangible manipulation on a desktop display. In *Proceedings of UIST '91* (pp. 27-33). Hilton Head, SC : ACM Press.
- Wellner, P.D. (1994). Interacting with paper on the DigitalDesk. Technical Report N 330. UCAM-CL-TR-330 ISSN 1476-2986. University of Cambridge, Computer Laboratory. March 1994.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 94-104.

- Wigdor, D., Penn, G., Ryall, K., Esenther, A., & Shen, C. (2007). Living with a Tabletop: Analysis and Observations of Long Term Office Use of a Multi-Touch Table. In *Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive HumanComputer Systems TABLETOP '07* (pp. 60-67). New Port, RI : IEEE.
- Wigdor, D., Leigh, D., Forlines, C., Shipman, S., Barnwell, J., Balakrishnan, R., & Shen, C. (2006). Under the table interaction. In *Proceedings of UIST '06* (pp. 259-268). Montreux, Switzerland : ACM Press.
- Wobbrock, J.O., Ringel Morris, M., & Wilson, A.D. (2009). User-defined gestures for surface computing. In *Proceedings of CHI '09* (pp. 1083-1092). Boston, MA : ACM Press.
- Wolff, M., Gattegno, M.P., & Adrien, J.-L. (2009). Rôle et avenir du psychologue superviseur français pour l'accompagnement de personnes avec autisme. *Revue Québécoise de Psychologie (RQP)*, 30(3), 143-162.
- Yamashita, N., Kuzuoka, H., Hirata, K., Aoyagi, S., & Shirai, Y. (2011). Supporting Fluid Tabletop Collaboration across Distances. In *Proceedings of CHI '11* (pp. 2827-2836). Vancouver : ACM Press.

RESUME EN FRANÇAIS

Depuis le début des années 1990, les tables interactives soulèvent un intérêt croissant tant dans les recherches académiques qu'industrielles. L'engouement pour ces nouvelles plateformes d'interaction ne cessant d'augmenter chaque année, nous proposons dans cet article un état de l'art associé à un ensemble de réflexions autour des tables interactives. Il s'avère que les applications sur tables interactives évoluent : celles-ci passent progressivement de l'exploitation d'objets virtuels à celle d'objets tangibles. Les usages étant différents des plateformes habituelles et courantes (ordinateur, appareils mobiles, etc.), nous proposons de présenter des pistes de réflexion tant sur l'expérience (multi) utilisateur(s) que sur l'utilisabilité des tables interactives. Nous terminons notre article par un ensemble de critères d'évaluation possibles, liés à l'usage de ces tables, et par une conclusion générale.

MOTS-CLES : tables interactives, ergonomie, utilisabilité, expérience utilisateur