



**HAL**  
open science

# Tables interactives et interfaces tangibles pour l'apprentissage humain : éléments de conception et d'évaluation

Christophe Kolski

► **To cite this version:**

Christophe Kolski. Tables interactives et interfaces tangibles pour l'apprentissage humain : éléments de conception et d'évaluation. 7ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2015), Jun 2015, Agadir, Maroc. pp.1-9. hal-01379308

**HAL Id: hal-01379308**

**<https://hal.science/hal-01379308>**

Submitted on 11 Oct 2016

**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.

# **Tables interactives et interfaces tangibles pour l'apprentissage humain : éléments de conception et d'évaluation**

Christophe Kolski  
LAMIH-UMR CNRS 8201,  
Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis,  
Le Mont Houy, 59313 Valenciennes cedex 9, France  
christophe.kolski@univ-valenciennes.fr

**Résumé.** Les tables interactives et interfaces tangibles apportent de nouvelles perspectives pour l'apprentissage humain, des approches innovantes ayant été proposées ces dernières années. Sans souci d'exhaustivité, mais plutôt de représentativité, il s'agit de passer en revue un ensemble d'études, souvent multidisciplinaires, dans lesquelles différents types de situations d'apprentissage humain sont mises en œuvre à l'aide de telles technologies. On s'intéresse aussi bien à des contextes d'interaction centralisés (par exemple autour d'une table interactive avec objets tangibles), que distribués, dans le cadre d'interactions impliquant plusieurs supports. Lors de cette conférence, des éléments de conception seront passés en revue et discutés, mettant l'accent en particulier sur différents types de modèles et architectures. Des éléments méthodologiques liés à l'évaluation seront également présentés et illustrés. Enfin, différentes pistes pour des recherches futures liant ces technologies et l'apprentissage humain seront fournies.

**Mots-clés.** Table interactive ; Interface tangible ; Objet tangible ; Apprentissage humain.

**Abstract.** Interactive tabletops and tangible interaction bring new perspectives for human learning; innovative approaches have been proposed in recent years. The objective is to review a set of studies, often multidisciplinary, in which different types of human learning situations are implemented using such technologies. We are interested in centralized interaction contexts (around an interactive tabletop with tangible objects) and in distributed contexts through interactions involving multiple media. Design aspects will be reviewed and discussed, focusing especially on different types of models and architectures. Methodological aspects related to evaluation will also be presented and illustrated. Finally, different ways for future research linking these technologies and human learning will be provided.

**Keywords.** Interactive tabletop; Tangible interface; Tangible object; Human learning.

## 1 Introduction

De nombreuses recherches sont actuellement menées sur de nouvelles surfaces larges d'interaction, qu'elles soient verticales ou horizontales (écrans verticaux, tables interactives, sol et murs interactifs, vitrines interactives, etc.), de même que sur des interactions qualifiées de tangibles, on parle alors d'interfaces utilisateur tangibles (*Tangible User Interfaces*). Sous l'angle de leur conception, de leur évaluation et de l'étude de nouveaux usages qui en découlent, elles font l'objet d'un nombre croissant d'articles dans des congrès et journaux spécialisés, en impliquant différentes communautés (Interaction Homme-Machine, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Jeux...). Des conférences et workshops dédiés sont aussi régulièrement organisés (voir par exemple les conférences *ACM Interactive Tabletops and Surfaces* et *ACM Tangible, Embedded and Embodied Interaction*), de même que des sessions spéciales dans différentes conférences (voir la série des conférences *ACM CHI*), de nombreux livres sont de plus en plus publiés dans ces domaines, de plus en plus de thèses sont soutenues aussi bien au niveau national qu'international, etc.

Sans souci d'exhaustivité, mais plutôt de représentativité, il s'agit de passer en revue un ensemble d'études, souvent multidisciplinaires, dans lesquelles différents types de situations d'apprentissage humain sont mises en œuvre à l'aide de telles technologies (cf. quelques illustrations en Fig. 1). Différents éléments technologiques, conceptuels et méthodologiques seront présentés et discutés, de même que des pistes pour des recherches futures liant ces technologies et l'apprentissage humain.

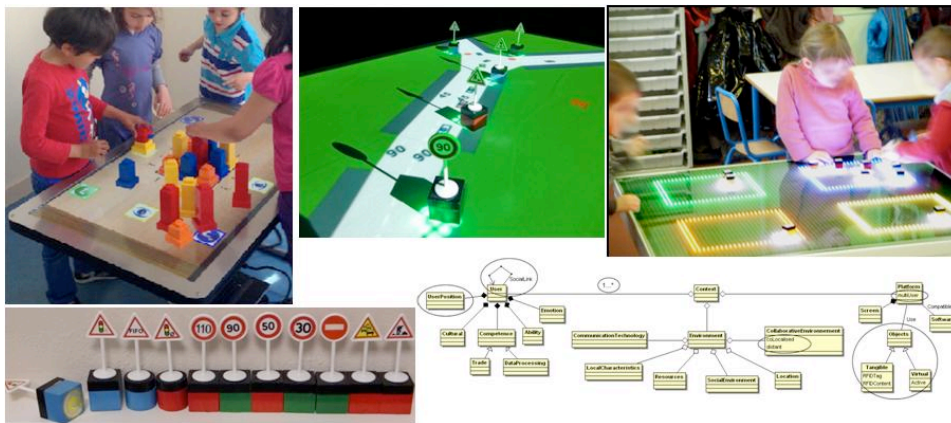


Fig. 1. Tables interactives et interaction tangibles en contexte d'apprentissage humain (intégrant des photos provenant de [22] [24] et [27])

## 2 Tables interactives et interaction tangible

Depuis le premier prototype de table interactive, appelé *Digital Desk*, proposé par Pierre Wellner [44], de nombreux prototypes ont été proposés, et un ensemble de tables interactives ont fait l'objet de commercialisations. Ainsi dans sa thèse en 2011, S. Kubicki recensait pas moins de 84 propositions de tables interactives dans la littérature, de technologies de capture et d'affichage variées [22]. La littérature est actuellement riche concernant les technologies mises en œuvre, de même que les usages possibles de tels dispositifs, cf. par exemple l'ouvrage édité par C. Müller-Tomfelde [35] ou différentes thèses récentes sur le sujet, telles [7] [19] [22] [28].

En parallèle, de nombreuses recherches sont menées relativement aux interactions tangibles, débouchant sur des interfaces utilisateur qualifiées de tangibles ; voir par exemple les recherches actives menées au MIT sous l'impulsion de T. Ishii et ses collègues [12] [15] [41], différentes thèses et HDR récentes telles [18] [34] [36] [38], ou encore pour des synthèses [17] et [39]. Notons que de telles recherches contribuent aussi au domaine de l'informatique ubiquitaire [43] ou rejoignent celui de l'internet des objets. On considère généralement que les interfaces utilisateur tangibles permettent de vivre une expérience plus naturelle et conviviale [16] et/ou intuitive [12].

C'est tout naturellement que de nombreux travaux couplent actuellement table interactive et interaction tangible en permettant l'exploitation simultanée, par plusieurs utilisateurs, d'objets tangibles sur table interactive.

Même si certaines difficultés, voire frustrations peuvent découler de l'utilisation, des tables interactives (impliquant des objets tangibles ou non) [2] [11], leur potentialité d'amélioration de l'eXpérience Utilisateur peut être soulignée, particulièrement dans le cadre de situations collectives [23] [32].

## 3 Contextes d'interaction centralisés vs. distribués

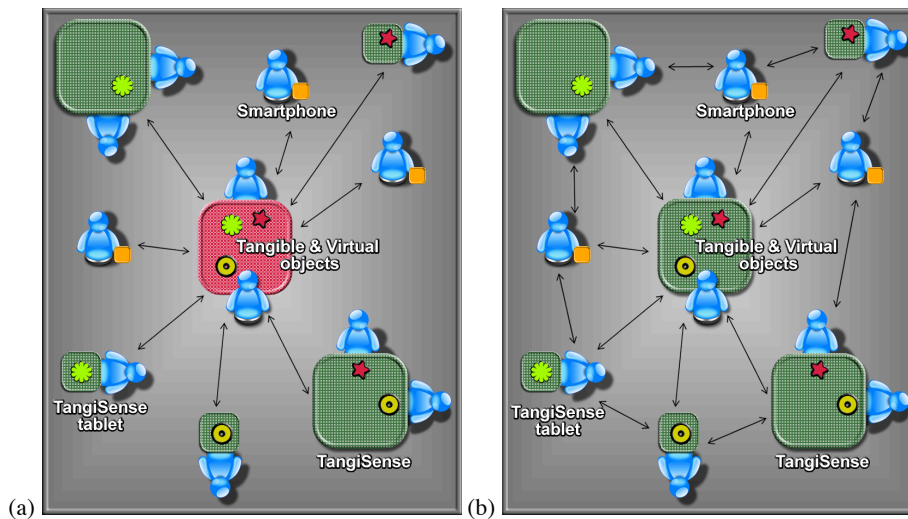
Comme rappelé dans [20], le contexte est un concept étudié depuis de nombreuses années dans la communauté scientifique (les définitions de Abowd et ses collègues [1] et Dey [9] étant à ce sujet les plus citées), comme l'est celui de système dit sensible au contexte. On trouve en fait dans la littérature les qualificatifs suivants : *Context-aware* et *Context-sensitive*, qui dénotent le fait d'utiliser le contexte ou celui de s'adapter à celui-ci. Les travaux sont nombreux dans ce domaine, tels [5] [8] [11] [14] [31] [42] [45].

Un problème de recherche concerne la modélisation du contexte, en lien avec les interactions avec tables interactives, impliquant ou non des interactions tangibles. Différentes pistes et premières propositions sont disponibles dans la littérature, voir par exemple [3] [4] [22] [25].

Pour la modélisation du contexte, de nombreux paramètres en lien avec les utilisateurs (ou l'organisation lorsqu'on se situe dans un cadre collectif), la ou les plateformes utilisées, l'environnement, les tâches, etc., doivent être considérées. Un point essentiel est de différencier les applications impliquant (1) un ou plusieurs

utilisateurs autour d'un même support interactif (le plus souvent une table) ou (2) un ensemble d'utilisateurs exploitant simultanément plusieurs supports d'interaction. Concernant ce second cas, deux stratégies globales peuvent être distinguées [21] [29]:

- Dans la première stratégie, une surface interactive est déclarée *maître* (en rouge dans la figure 2(a)) et les autres plateformes déclarées *esclaves* (dans cet exemple, elles prennent la forme de tables interactives *TangiSense* [26]). Dans ce cas, la table *maître* gère les échanges d'information selon les objectifs de chaque plateforme *esclave* et centralise toutes les informations du système distribué. La distribution d'interface peut être vue selon un arbre, dont la surface *maître* est la racine.
- Dans la seconde, toutes les plateformes sont indépendantes et au même niveau de décision, Fig. 2(b). Elles forment un graphe où  $n$  correspond au nombre d'interfaces distribuées (dans le cas de cette figure,  $n=9$ ). Ici une relation entre deux plateformes implique une interface utilisateur distribuée.



**Fig. 2.** Deux configurations : (a) distribution centralisée d'interface utilisateur et (b) réseau d'interfaces utilisateur distribuées [29].

De telles configurations laissent envisager des potentialités pour de nouveaux contextes, qu'ils soient centralisés ou distribués, d'apprentissage humain, et de nouvelles études à ce sujet.

Des études représentatives liées à l'apprentissage humain, impliquant table(s) interactive(s) et/ou interaction tangible sont recensées dans la partie suivante, et plusieurs perspectives de recherche sont envisagées en section 5.

## 4 Foisonnement actuel d'études dédiées apprentissage humain

Depuis plusieurs années, on constate un nombre grandissant d'études dédiées à l'apprentissage humain, impliquant tables interactives et/ou objets tangibles. Plusieurs auteurs mettent en avant les possibilités offertes par les larges surfaces horizontales en termes de co-présence et de collaboration autour d'elles, devenant ainsi des espaces sociaux (entre apprenants, dont le nombre peut être relativement important, et/ou tuteurs) ; on considère aussi que les objets tangibles peuvent apporter un côté pratique et naturel aux tâches (importance dans ce cas de l'affordance des objets tangibles, qui peuvent être aussi bien génériques et multi-applications que spécifiques, dédiés à une application [30]). On trouvera une première synthèse sur l'utilisation de tables interactives en milieu éducatif dans [10], et une seconde en lien avec l'utilisation de pédagogies collaboratives dans [13].

Les recherches à ce sujet sont actuellement très variées. Par exemple, dans [24], l'activité d'enfants de 3 à 5 ans en situation de reconnaissance et apprentissage de couleurs sur table interactive avec objets tangibles est étudiée. Dans [33], un environnement pour la capture de traces en apprentissage collaboratif est proposé. Dans [40], des recommandations sont fournies relativement à l'exploration collaborative en situation d'apprentissage dans des domaines riches en données. Dans [27], les auteurs étudient comment l'utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles peut favoriser l'activité des élèves. De multiples autres exemples auraient pu être cités ici.

Durant la conférence, un ensemble d'études représentatives seront passées en revue.

## 3 Pistes pour des recherches futures

Même si de nombreuses recherches ont déjà été menées ou initiées ces dernières années, impliquant table(s) interactive(s), interaction tangible et apprentissage humain, de nombreuses pistes peuvent être fournies pour les années à venir.

Sous l'angle de l'évaluation, dans un contexte d'apprentissage humain, en considérant que l'utilisation de tables et objets tangibles améliore l'expérience utilisateur, cet aspect est à étudier et à mettre en relation avec les critères liés directement à l'apprentissage. Ainsi, en s'appuyant sur [23], il existerait au moins cinq approches générales pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des tables interactives<sup>1</sup> : «(1) les études comparatives avec d'autres types de plateformes comportant différents types d'entrée des données (tactile, tangible) afin de pouvoir évaluer quel système serait plus adapté selon les tâches à effectuer ; (2) les études détaillées des nouvelles applications des tables interactives qui permettront d'identifier quelles nouvelles formes d'expérience utilisateur pourront être prises en

---

<sup>1</sup> Sans oublier, comme rappelé dans [23], l'importance d'évaluer, selon par exemple des méthodes disponibles dans [37], l'influence de l'aménagement de l'espace, dont la problématique variera énormément selon les contextes d'interaction, centralisés et/ou distribués.

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. »

Ces cinq approches nous semblent susceptibles de déboucher sur plusieurs questions, listées ici sans souci d'exhaustivité, pour le domaine de l'apprentissage humain :

- Relativement à l'approche (1) : pour quels types de tâches, collectives ou individuelles, d'apprentissage humain, les tables interactives, avec ou sans interaction tangible, devraient-elles être préconisées ?
- Relativement à l'approche (2) : quelles seraient les recommandations ou spécifications à prendre en compte pour les applications à visée d'apprentissage humain destinées à être utilisées sur table interactive (ou simultanément sur plusieurs tables) ?
- Relativement à l'approche (3) : quelles seraient les configurations collectives, aussi bien en contextes d'interaction centralisés que distribués, fournissant les meilleurs performances en termes d'apprentissage, mais aussi de motivation (pour les apprenants, comme pour les tuteurs) ? En cas d'interaction tangible, quels objets pourraient faciliter la collaboration, et quelles seraient les méthodes pour les concevoir et évaluer ?
- Relativement à l'approche (4) : le plaisir d'utiliser une large surface interface et des objets tangibles peut-il inciter naturellement à l'apprentissage et améliorer celui-ci ? Comment l'évaluer ? Lors des expérimentations et études, devrait-on évaluer systématiquement les phénomènes éventuels de lassitude, de fatigue ou de mauvaise posture au cours des interactions avec ces dispositifs ?
- Relativement à l'approche (5) : L'utilisation de tables interactives va-t-elle déboucher sur de nouvelles organisations de travail impliquant apprenants et tuteurs ? De même que vers de nouvelles méthodes d'apprentissage et de suivi pédagogique ?

De manière plus générale, un long chemin reste encore à parcourir, relativement à la mise en œuvre de situations d'apprentissage en contexte distribué, à la supervision d'activités d'apprentissage impliquant de telles technologies, à la mise en œuvre de mécanismes de collecte, traitement et analyse de traces dédiés, à la proposition de nouveaux principes d'adaptation liés aux objets tangibles actifs, à l'analyse des impacts sur différents profils d'apprenants, à l'ergonomie et aux dimensions didactiques de nouveaux dispositifs exploitant ces technologies, etc.

**Remerciements.** Nos travaux de recherche menés relativement aux tables interactives et objets tangibles ont été partiellement financés par le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie, la région Nord-Pas de Calais, le

PRES ULNF, le CNRS, le FEDER, le CISIT, l'ANR (Projets TTT et IMAGIT), la CCI Grand Hainaut. L'auteur souhaite remercier les membres du LAMIH avec lesquels il travaille dans ce domaine, en particulier Emmanuel Adam, Amira Bouabid, Clémentine Havrez, Yoann Lebrun, Sophie Lepreux, René Mandiau et Janick Naveteur, de même que Sébastien Kubicki (ENIB Brest) et Marion Wolff (Univ. Paris Descartes).

## References

1. Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., Steggle, P.: Towards a better understanding of context and context-awareness. Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, HUC '99, 304-307 (1999)
2. Benko, H., Wigdor, D.: Imprecision, inaccuracy, and frustration: the tale of touch input. In Müller-Tomfelde, C. (ed.), *Tabletops – horizontal interactive display*, Springer London Dordrecht Heidelberg New York, 249-275 (2010)
3. Blackwell, A.F., Fitzmaurice, G., Holmquist, L.E., Ishii, H., Ullmer, B.: Tangible user interfaces in context and theory. In CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems, pages 2817–2820, New York, NY, USA, ACM (2007)
4. Bouabid, A., Lepreux, S., Kolski, C., Havrez, C.: Context-sensitive and Collaborative application for Distributed User Interfaces on tabletops. Proc. DUI'2014, 4th Workshop on Distributed User Interfaces and Multimodal Interaction, Toulouse, France, july (2014)
5. Boy, G. A.: Indexing hypertext documents in context. Proceedings of Hypertext '91, 51–61, ACM Press (1991)
6. Brossard, A., Abed, M., Kolski, C.: Taking context into account in conceptual models using a Model Driven Engineering approach. *Information and Software Technology*, 53, 1349-1369 (2011)
7. Chaboissier, J.: Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs avec une table interactive. Thèse de Doctorat, Université de Paris 11, France, Janvier (2012)
8. Coutaz, J., Rey, G.: Foundations for a Theory of Contextors. In Kolski C., Vanderdonck J. (eds.), *Computer-Aided Design of User Interfaces III – Fourth International Conference of Computer-Aided Design of User Interfaces*, volume 3, 13–34, Kluwer Academic (2002)
9. Dey, A.K.: Understanding and Using Context. *Personal Ubiquitous Computing*, 5(1), 4–7 (2001)
10. Dillenbourg, P., Evans, M.: Interactive tabletops in education. *Computer-Supported Collaborative Learning*, 6, 491-514 (2011)
11. Fiebrink, R., Morris, D., Morris, M.R.: Dynamic mapping of physical controls for tabletop groupware. In CHI '09, 27th international conference on Human factors in computing systems, 471–480, New York, NY, USA, ACM (2009).
12. Fitzmaurice G.W., Ishii, H., William, A., Buxton, S.: Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. Proc. CHI '95, Conference on Human factors in computing systems, 442–449, New York, NY, USA, ACM Press (1995)
13. Higgins, S.E., Mercier, E., Burd, E., Hatch, A.: Multi-touch tables and the relationship with collaborative classroom pedagogies: A synthetic review. *Computer-Supported Collaborative Learning*, vol. 6, 515–538 (2011)
14. Hong, J.Y., Suh, E.H., Kim, S.J.: Context-aware systems: A literature review and classification. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8509-8522 (2009)
15. Ishii, H.: The tangible user interface and its evolution. *Communications of the ACM*, 51, 32–36 (2008).



16. Ishii, H., Ullmer, B.: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 234-241, New York, USA, ACM Press (1997)
17. Ishii, H., Ullmer, B.: Tangible user interfaces. In J. Jacko (Ed.), The Human-Computer Interaction Handbook, CRC Press, (2012)
18. Jansen, Y.: Physical and Tangible Information Visualization. PhD thesis, Université Paris-Sud, France, mars (2014)
19. Jones, A.: Co-located collaboration in interactive spaces for preliminary design. Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Compiègne, France, Décembre (2013)
20. Kolski, C., Boy, G.A., Mélançon, G., Ochs, M., Vanderdonckt, J.: Fertilisation croisée entre interaction personne-système et IA. In Marquis P., Papini O., Prade H. (eds.), L'intelligence artificielle : frontières et applications. Editions Cépaduès, Toulouse, France, Vol. 3, Chapitre 11, 1117-1141 (2014)
21. Kolski, C., Garbay, C., Lebrun, Y., Badeig, F., Lepreux, S., Mandiau, R., Adam, E.: Interactive Surfaces, Tangible Interaction: Perspectives for Risk Management. In P. Millot (Ed.), Risk Management in Life critical Systems, ISTE-Wiley, London, 351-373, ISBN 978-1-84821-480-4 (2014)
22. Kubicki, S.: Contribution à la prise en considération du contexte dans la conception de tables interactives sous l'angle de l'IHM, application à des contextes impliquant table interactive RFID et objets tangibles. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, Décembre (2011)
23. Kubicki, S., Borgiel, K., Lepreux, S., Wolff, M., Kolski, C.: Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. Le Travail Humain, 75 (3), 229-252 (2012)
24. Kubicki S., Lepreux S., Kolski C.: 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 (2011)
25. Kubicki, S., Lepreux, S., Kolski, C.: Distributed UI on Interactive tabletops: issues and context model. In M.D. Lozano, J.A. Gallud, R. Tesoriero, V.M.R. Penichet (Eds.), Distributed User Interfaces: Collaboration and Usability, Springer, pp. 27-38, ISBN 978-1-4471-5498-3 (2013)
26. Kubicki, S., Lepreux, S., Lebrun, Y., Dos Santos, P., Kolski, C., Caelen, J.: New Human-Computer Interactions Using Tangible Objects: Application on a Digital Tabletop with RFID Technology. In J.A. Jacko (Ed.), Human-Computer Interaction, 13th International Conference, HCI International 2009 (San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009), Proceedings, Part III, LNCS 5612, Springer-Verlag, 446-455 (2009)
27. Kubicki, S., Pasco, D., Arnaud, I.: Utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles pour favoriser l'activité des élèves : une évaluation comparative en cours préparatoire. Sticf, Volume 21, 1-32 (2014)
28. Lebrun, Y.: Architecture multi-agent pour la gestion d'objets tangibles et virtuels sur tables interactives. Mémoire de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, mars (2012)
29. Lepreux, S., Kubicki, S., Kolski, C., Caelen, J.: Distributed Interactive Surfaces: A step towards the distribution of tangible and virtual objects. In J.A. Gallud, R. Tesoriero, V.M.R. Penichet (Eds.), Distributed User Interfaces, Designing Interfaces for the Distributed Ecosystem, Springer, 133-143 (2011)
30. Lepreux, S., Kubicki, S., Kolski, C., Caelen, J.: From Centralized interactive tabletops to Distributed surfaces: the Tangiget concept. International Journal of Human-Computer Interaction, 28 (11), 709-721 (2012)

31. Limbourg, Q., Vanderdonckt, J., Michotte, B., Bouillon, L., Florins, M., Trevisan, D.: USIXML: A User Interface Description Language for Context-Sensitive User Interfaces. In ACM AVI 2004 Workshop: UIXML 2004, 55–62 (2004)
32. Manches, A., O'Malley, C., Benford, S.: Physical manipulation: evaluating the potential for tangible designs. In TEI '09, 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, 77–84, New York, NY, USA, ACM (2009)
33. Martinez, R., Collins, A., Kay, J., Yacef, K.: Who did what? Who said that?: Collaid: an environment for capturing traces of collaborative learning at the tabletop. In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS'11, ACM Press, New York, NY, USA, 172-181 (2011)
34. Maquil, V.: The ColorTable: an interdisciplinary design process. PhD Thesis, Vienna University of Technology, Austria, May (2010)
35. Müller-Tomfelde, C. (ed.): Tabletops – horizontal interactive display. Springer London Dordrecht Heidelberg New York (2010)
36. Rivière, G.: Interaction Tangible sur Table Interactive : application aux géosciences. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, France, Septembre (2009)
37. Rubin, J., Chisnell, D.: Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design and Conduct Effective Tests. Indianapolis, Wiley Publishing Inc. (2008)
38. Rouillon-Couture, N.: Interaction Tangible, de l'incarnation physique des données vers l'interaction avec tout le corps. Mémoire d'H.D.R., Université de Bordeaux 1, France, Décembre (2010)
39. Shaer, O., Hornecker, E.: Tangible user interfaces: Past, present and future directions. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, Vol. 3, Issue 1-2, 1-138 (2010)
40. Shaer, O., Strait, M., Valdes, C., Wang, H., Feng, T., Lintz, M., Ferreira, M., Grote, C., Tempel, K., Liu, S.: The design, development, and deployment of a tabletop interface for collaborative exploration of genomic data. International Journal of Human-Computer Studies, 70, 746–764 (2012)
41. Ullmer, B., Ishii, H.: Emerging frameworks for tangible user interfaces. IBM Syst. J., 39, 915–931 (2002)
42. Van den Bergh, J.: High-Level User Interface Models for Model-Driven Design of Context-Sensitive User Interfaces. Ph.D. Thesis, Hasselt University, Belgium (2006)
43. Weiser, M.: The Computer for the 21st Century. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 3(3), 3–11 (1999)
44. Wellner, P.: The Digital Desk calculator: tangible manipulation on a desk top display. Proc. UIST, 27–33, ACM Press (1991)
45. Winograd, T.: Architectures for context. Human-Computer Interaction, 16(2), 401–419 (2001)