

5<sup>ème</sup> Conférence francophone sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain

## **Actes de l'Atelier « IHM avancées pour l'apprentissage »**

**EIAH 2011**

**Mons, 24 mai 2011**

Édités par Audrey Serna et Sébastien George





## SOMMAIRE

Introduction .....	5
Programme de l'atelier .....	7
<b>Revue de littérature sur l'évaluation de l'usage de dispositifs mobiles et tactiles ludo-éducatifs pour les jeunes enfants.....</b>	<b>11</b>
<i>Christine Michel, Françoise Sandoz-Guermond, Audrey Serna.</i>	
<b>Maintenance aéronautique et mobilité : pour une efficacité de la documentation sur petit écran.....</b>	<b>19</b>
<i>Herimanana Zafiharimalala, André Tricot, Pascale Hugues, David Robin.</i>	
<b>V3S, un environnement virtuel pour la formation à la maîtrise des risques.....</b>	<b>29</b>
<i>Camille Barot, Domitile Lourdeaux, Dominique Lenne, Jean-Marie Burkhardt.</i>	
<b>Apprentissage autour d'une table interactive.....</b>	<b>37</b>
<i>Alistair Jones, Dominique Lenne, Atman Kendira, Thierry Gidel, Claude Moulin, Jean-Paul Barthès.</i>	
<b>Place de la réalité mixte dans les Serious Games .....</b>	<b>45</b>
<i>Florent Delomier, Bertrand David, René Chalon, Franck Tarpin- Bernard.</i>	
<b>Les Cartouches, un concept d'interfaces tangibles, appliquées à l'apprentissage des jeunes enfants .....</b>	<b>53</b>
<i>Guillaume Rivière, Katarzyna Borgiel, Nadine Couture.</i>	
Comité de programme .....	61



---

## Introduction

**Audrey Serna, Sébastien George**

*\*Université de Lyon, LIESP, INSA-Lyon, F-69621  
Laboratoire d'Informatique pour l'Entreprise et les Systèmes de Production  
Bâtiment Léonard de Vinci, 21 rue Jean Capelle  
69621 Villeurbanne Cedex France  
audrey.serna@insa-lyon.fr  
sebastien.george@insa-lyon.fr*

Les chercheurs et concepteurs en EIAH font de plus en plus appel à des techniques d'interactions dites avancées. En particulier, des travaux s'intéressent à l'apprentissage en situation de mobilité, de collaboration, ou encore en utilisant des systèmes mixtes (interfaces tangibles, réalité augmentée, etc.). Le but premier de cet atelier est de rassembler les communautés EIAH, IHM et ergonomie, trop souvent cloisonnées, autour de la thématique des IHM avancées pour l'apprentissage. L'idée est de mener une réflexion commune sur les apports mutuels des domaines scientifiques IHM et EIAH. Si, à première vue, on imagine les IHM innovantes venant améliorer l'aspect purement interactionnel, quand est-il de l'aspect pédagogique ? Est-ce que l'utilisation de ces technologies avancées peut avoir des influences sur l'apprentissage en lui-même ? Est-ce que des techniques d'interactions sont plus adaptées à certaines situations d'apprentissage ? D'un point de vue purement IHM, l'étude des EIAH peut ouvrir de nouvelles pistes de réflexion, notamment en matière d'adaptation (adaptation à la situation pédagogique par exemple) et d'usage. Enfin, une dimension essentielle à prendre en compte est celle de l'ergonomie. Quels sont les critères d'ergonomie à prendre en compte dans la conception et l'évaluation des EIAH. Comment s'intègrent les dimensions « apprentissage » et « interactions avancées » dans les référentiels classiques ?

Les propositions reçues et acceptées pour cet atelier émanent des différentes communautés visées : IHM, EIAH et ergonomie. Les actes de l'atelier sont composés de six articles.

Le premier article, de Michel, Sandoz-Guermond et Serna présente une revue de littérature sur les méthodes d'évaluation de dispositifs mobiles et tactiles pour des activités ludo-éducatives pour les jeunes enfants et ouvre des perspectives sur la prise en compte de l'expérience utilisateur comme méthode d'évaluation privilégiée.

Les deux articles suivants présentent des recherches appliquées à la formation en milieu industriel. Zafiharimalala, Tricot, Hugues et Robin s'intéressent à la mobilité, cette fois, pour l'apprentissage de la maintenance chez un public novice. Les auteurs présentent une étude réalisée auprès de 45 sujets et montrent le potentiel de l'utilisation de petits écrans pour la maintenance aéronautique. Barot, Lourdeaux, Lenne et Burkhardt présentent quant à eux l'utilisation d'un environnement virtuel immersif pour la formation à la maîtrise des risques dans l'industrie. Les auteurs s'intéressent notamment aux aspects de scénarisation et aux comportements des personnages virtuels pour des mises en situation de type serious games.

Les trois derniers articles s'intéressent aux interactions collaboratives et mixtes, supportées par des tables interactives, pour l'apprentissage. Jones, Lenne, Kendira, Gidel, Moulin et Barthès étudient les comportements collaboratifs autour d'une surface interactive lors de séances d'apprentissage. Leur étude expérimentale auprès de 48 sujets montre un apport de la table interactive pour la collaboration et ouvre des perspectives sur l'introduction d'objets tangibles pour augmenter leur table. Delomier, David, Chalon et Tarpin-Bernard discutent la place de la réalité mixte dans les serious games. Ils présentent notamment un pupitre interactif augmenté permettant d'explorer l'utilisation d'interfaces tangibles dans un scénario particulier. Enfin, c'est avec un retour à l'apprentissage chez les jeunes enfants que se clôture l'atelier, avec l'article de Rivière, Borgiel et Couture. Les auteurs proposent une réflexion théorique pour tirer parti d'objets tangibles particuliers, les cartouches, pour la conception d'environnements d'apprentissage pour les jeunes enfants ne sachant pas encore lire.

## Programme de l'atelier

### **13h30 – 13h45 : Introduction à l'atelier.**

Audrey Serna et Sébastien George.

*Université de Lyon, LIESP, INSA-Lyon*

### **13h45 – 14h10 : Revue de littérature sur l'évaluation de l'usage de dispositifs mobiles et tactiles ludo-éducatifs pour les jeunes enfants.**

Christine Michel, Françoise Sandoz-Guermond, Audrey Serna.

*Université de Lyon, LIESP, INSA-Lyon*

### **14h10 – 14h35 : Maintenance aéronautique et mobilité : pour une efficacité de la documentation sur petit écran.**

Herimanana Zafiharimalala\*, André Tricot\*, Pascale Hugues\*\*, David Robin\*.

*\*Laboratoire CLLE-LTC, UMR 5263 CNRS, Université de Toulouse le Mirail,*

*\*\* CTO IW SP IS - Multimodal Services, EADS Innovation Works*

### **14h35 – 15h00 : V3S, un environnement virtuel pour la formation à la maîtrise des risques.**

Camille Barot\*, Domitile Lourdeaux\*, Dominique Lenne\*, Jean-Marie Burkhardt\*\*.

*\* Laboratoire Heudiasyc, UMR 6599 CNRS, Université de Technologie de Compiègne*

*\*\* LATI, Université Paris Descartes*

### **15h00 – 15h25 : Pause et démonstrations**

**15h25 – 15h50 : Apprentissage autour d'une table interactive.**

Alistair Jones\*, Dominique Lenne\*, Atman Kendira\*\*, Thierry Gidel\*\*,  
Claude Moulin\*, Jean-Paul Barthès\*.

\* *Laboratoire Heudiasyc , UMR - CNRS 6599, Université de Technologie de  
Compiègne*

\*\* *Laboratoire Costech, EA 2223, Université de Technologie de Compiègne*

**15h50 – 16h15 : Place de la réalité mixte dans les Serious Games.**

Florent Delomier\*, Bertrand David\*, René Chalon\*, Franck Tarpin-Bernard  
\*\*.

\* *Ecole Centrale de Lyon, LIESP*

\*\* *Université de Grenoble, CNRS, LIG*

**16h15 – 16h40 : Les Cartouches, un concept d'interfaces tangibles, appliquées à  
l'apprentissage des jeunes enfants.**

Guillaume Rivière \*, Katarzyna Borgiel +, Nadine Couture\* ♦

\* *ESTIA*

+ *Université Paris-Descartes*

♦ *LaBRI, UMR CNRS 5800, Université Bordeaux I*

**16h40 – 17h00 : Discussion et clôture de l'atelier.**





---

## Revue de littérature sur l'évaluation de l'usage de dispositifs mobiles et tactiles ludo-éducatifs pour les jeunes enfants

*MICHEL Christine, SANDOZ-GUERMOND Françoise, SERNA Audrey*

*Université de Lyon*

*INSA-Lyon*

*Laboratoire LIESP*

*F-69621 Villeurbanne Cedex, France*

*{christine.michel ; francoise.sandoz-guermond ; audrey.serna}@insa-lyon.fr*

---

### RÉSUMÉ.

*En quelques années, la multiplication et la diversité des dispositifs mobiles et tactiles ont favorisé l'apprentissage informel en donnant accès à un ensemble d'activités ludo-éducatives disponibles dans l'espace (école, maison, ...) et dans le temps (à tout moment).*

*Dans cet article, nous cherchons à savoir comment évaluer l'adoption de tels dispositifs par l'utilisateur dans le but d'enrichir les guides de recommandations de conception d'activités ludo-éducatives pour jeunes enfants. À partir des méthodes générales d'évaluation des systèmes interactifs, nous montrerons comment elles peuvent être appliquées à ce domaine et en quoi la méthode de l'évaluation basée sur l'expérience de l'utilisateur paraît la plus adaptée. Nous concluons par des perspectives de définition d'un protocole expérimental basé sur cette méthode pour KizzTV, une application web comprenant 200 jeux ludo-éducatifs.*

*MOTS-CLÉS: Evaluation d'usage, expérience de l'utilisateur, dispositifs mobiles et tactiles, apprentissage par le jeu, enfants, adoption*

---

## Introduction

Les dispositifs mobiles et les écrans tactiles sont largement répandus dans nos vies quotidiennes. Petits, transportables et avec des capacités de puissance et de stockage qui rejoignent de plus en plus celles des ordinateurs de bureau, les dispositifs mobiles sont souvent assimilés à des ordinateurs miniaturisés. Ils permettent aux utilisateurs de se connecter, de travailler, de jouer, de s'informer, de consommer, d'apprendre en interagissant à distance avec un réseau complexe de systèmes. De part leurs caractéristiques intrinsèques, ces dispositifs entraînent des changements dans les usages. En mobilité, par exemple, l'utilisateur ne dispose pas du même temps pour réaliser ses tâches et son attention n'est pas constamment dirigée vers le dispositif. Les écrans tactiles, eux, permettent une interaction immédiate et plus naturelle. L'utilisateur peut manipuler l'information directement avec le doigt ou avec un stylet, améliorant ainsi l'utilisation et l'acceptation du dispositif.

L'un des enjeux de la recherche dans le domaine de l'apprentissage chez les jeunes enfants (3-10 ans) est de mettre à profit ces nouvelles technologies mobiles et tactiles. En effet, grâce à l'informatique ubiquitaire, l'apprentissage est envisagé de façon moins formelle, dans des contextes différents (lieux, accès aux ressources, interactions avec d'autres apprenants ou tuteurs, etc.) et à tout moment. Cela permet d'assurer une continuité des pratiques d'apprentissage entre l'école et le monde extérieur (maison ou autres lieux) en donnant accès à un ensemble d'activités ludo-éducatives (diffusées par téléchargement, diffusion en direct, vidéo à la demande, etc.) ainsi qu'à des parcours d'apprentissage personnalisés. Le travail fait hors de l'école peut alors être considéré comme partie intégrante d'une expérience d'apprentissage sans rupture avec l'école.

Notre problématique est de savoir quels sont les retours d'usage sur de tels produits et à défaut quels types de méthodes d'évaluation peuvent être pertinents pour les mesurer. Dans la littérature, il existe un ensemble de méthodes classiques d'évaluation de systèmes interactifs, méthodes qui ont chacune des finalités différentes et qui ont donné lieu à des guides de recommandations pour les concepteurs d'applications. Pour les produits ludo-éducatifs pour les jeunes enfants, ces guides définissent les caractéristiques des dispositifs technologiques de manière à ce qu'ils soient utilisables, efficaces et amusants. Les études sur les interactions considèrent le design visuel, le type d'interaction, le style d'interaction, le type de dispositif de pointage (crayon, souris, écran tactile) et l'usage du son comme les critères les plus importants à prendre en compte [COLOMBI ET AL. 08][HOURCADE 08][LUEDER & RICE 07][MARKOPOULOS ET AL. 08]. Cependant, ces études sont principalement centrées sur les interfaces dites WIMP (associées aux dispositifs clavier-écran-souris) et ne permettent pas d'avoir des recommandations détaillées sur la manière dont les caractéristiques mobiles et tactiles peuvent être prises en compte. De plus, face à l'émergence d'interfaces innovantes et donc des changements dans les usages qu'elles induisent, il est sûr que ces critères sont insuffisants. D'autres critères doivent donc être pris en compte comme l'agréabilité («likability»), le plaisir d'interagir, l'attachement pour le dispositif. Ces critères font référence, en terme d'évaluation des IHM, à ce qu'on appelle l'expérience utilisateur.

Après avoir donné un aperçu des usages possibles et apports attendus des dispositifs ludo-éducatifs mobiles et tactiles, nous étudierons alors les méthodes d'évaluation des

systèmes interactifs et comment elles sont mises en œuvre dans le contexte des activités ludo-éducatives pour des jeunes enfants de niveau maternelle et de primaire.

## **1. Utilisation des dispositifs mobiles et tactiles pour l'apprentissage chez les jeunes enfants**

Dans cette étude, nous nous intéresserons au caractère portable et transportable des dispositifs tactiles et à leur capacité à offrir une interaction naturelle, favorisant ainsi des apprentissages informels par le jeu. Nous considérerons donc les dispositifs mobiles tels que les PDA (Personal Digital Assistant), pocket pc, téléphones de 3ème génération (Smartphones), consoles de jeux, tablettes PC et ordinateurs portables. Nous présentons tout d'abord quelques résultats d'expérimentation avant de détailler les enjeux et apports attendus de tels dispositifs.

### ***1.1. Exemples d'utilisation***

#### *1.1.1. Utilisation de PDA en mode collaboratif*

Savannah explore l'utilisation de dispositifs mobiles pour étudier l'apprentissage par simulation active (« active Learning ») d'un système dynamique [FACER ET AL. 2004]. Deux lieux physiques permettent d'alterner les phases de jeux : la savanne, où les enfants expérimentent la vie de lion (à savoir se déplacer, explorer leur territoire, se nourrir, etc via l'interface de leur PDA et d'écouteurs) et la tanière où ils peuvent réfléchir à leurs expériences et développer des stratégies pour survivre via un tableau blanc interactif. Les objectifs fixés par le jeu, forcent les enfants à collaborer et/ou à négocier entre eux. Savannah a été testé sur dix enfants âgés de 11 à 12 ans. L'étude montre que les enfants s'engagent et sont motivés par le jeu. Cette observation est expliquée par l'identification de l'enfant au personnage du jeu (le lion) et la sensation de plaisir liée à la combinaison du jeu avec une activité sportive, toutes deux favorisées par l'introduction des dispositifs mobiles dans la partie jeu. Cependant, il est intéressant de noter que les enfants montrent une certaine exigence envers les technologies et qu'ils s'attendaient à une expérience interactive plus riche et plus immersive encore.

#### *1.1.2. Utilisation de console de jeux en mode individuel*

Le jeu vidéo Skills Arena [DONDLINGER 07] a pour objectif de faire apprendre les opérations arithmétiques. Il a été utilisé, en complément d'exercices classiques, sur une période de 19 jours. L'évaluation a montré une réelle motivation des élèves à utiliser le jeu et une meilleure efficacité dans l'apprentissage du fait du retour immédiat sur leur travail. Une certaine entraide entre les élèves a pu également être observée pendant les séances envers un élève qui maniait la console avec plus de difficultés que les autres. Par conséquent, un tel dispositif peut également consolider les interactions sociales.

#### *1.1.3. Expériences avec des tablettes PC en mode individuel*

Des expériences avec des tablettes PC ont été réalisées par des élèves d'écoles maternelles et primaires pour des tâches variées telles que l'écriture [SUE ET AL. 10] ou l'apprentissage des mathématiques [KERAWALLA 07]. Le stylet est rapidement assimilé au stylo : il n'y a pas de rupture culturelle et pas ou peu de temps d'apprentissage comme on peut le remarquer avec un clavier et une souris. Pour les jeunes enfants apprenant l'écriture, les tablettes fournissent un feed-back immédiat concernant l'exactitude de l'écriture en

convertissant le mot écrit manuellement grâce à un logiciel de reconnaissance de caractères. Le fait d'annoter manuellement les documents des élèves augmente l'impression de présence et offre une touche « humaine » au feed-back et à l'interaction en ligne [GRAY 02].

Enfin, les applications ludo-éducatives avec les tablettes destinées au grand public se répandent rapidement (« Poisson Rouge »<sup>1</sup>, « Clicky Sticky »<sup>1</sup>, « Mon Premier jeu »<sup>2</sup>, etc.) et sont particulièrement appréciées des parents du fait de leur caractère éducatif.

### ***1.2. Enjeux et apports attendus lors de l'utilisation de dispositifs mobiles et tactiles***

L'utilisation de dispositifs mobiles et tactiles dans l'apprentissage favorisent les interactions sociales et les situations de collaboration entre les apprenants de par leurs capacités à : 1) communiquer entre eux et permettre le partage ou l'échange de données; 2) être facilement déplaçables [ZURITA 03] ; 3) favoriser les interactions et interagir de façon plus naturelle à travers et autour les dispositifs [NAISMITH ET AL. 04]; 4) supporter le multipointage et donc rendre possible l'interaction de plusieurs apprenants en même temps ; 5) améliorer le feed-back avec la possibilité d'annotations grâce à l'encre électronique. Ce type de dispositifs est aussi recommandé pour augmenter la capacité d'acquisition et l'efficacité de l'apprentissage. En effet grâce à la petite taille des dispositifs, les enfants se concentrent plus sur l'activité et ils ont une meilleure compréhension du contenu pédagogique [MASAHIRO ANDO 10]. Néanmoins, il convient d'être vigilant à ce que le dispositif soit bien utilisé à des fins d'apprentissage : si le rôle des acteurs (enfants ici) n'est pas clairement défini, l'enfant pourra facilement détourner le dispositif pour l'utiliser dans un autre but. Ces dispositifs sont enfin recommandés pour faire de l'« Active learning ». Les dispositifs mobiles permettent par exemple de sortir les apprenants d'un contexte figé pour être mis en situation. Les études sur la participation à des jeux de type simulation montrent une motivation et un engagement plus forts de la part des apprenants (comme dans Savannah [FACER ET AL. 04] ou virus game [COLELLA 00]).

Ces enjeux d'apprentissage sont réalisés s'il y a un usage effectif. Cet usage est conditionné par la qualité de conception du dispositif, son utilisabilité et sa capacité d'adoption. Nous faisons l'hypothèse que les caractéristiques mobiles et tactiles de ces dispositifs favorisent l'adoption. La question est de savoir comment vérifier cette hypothèse : comment mesurer ce phénomène d'adoption expérimentalement, quelles sont les variables à prendre en compte et quelles sont les situations à construire pour le faire. Nous allons présenter des éléments de réponse dans le paragraphe suivant.

---

<sup>1</sup> <http://itunes.apple.com/fr/app/clickysticky/id365850969?mt=8#>

<sup>2</sup> <http://itunes.apple.com/fr/app/mon-premier-jeu/id358431604?mt=8>

## **2. Méthodes d'évaluation des dispositifs ludo-éducatifs**

Selon Abeele et Zaman, les méthodes et théories de l'évaluation des systèmes interactifs ont évolué en trois niveaux [ABEELE & ZAMAN 08A]. Le premier niveau est issu de la psychologie cognitive et teste comment les fonctionnalités du système interactif sont prises en compte pour réaliser l'activité. Le second niveau intègre en plus les aspects sociaux et situés liés à l'interaction. Ainsi les systèmes interactifs sont observés en contexte d'usage. Enfin, le troisième niveau ajoute le caractère émotionnel et culturel procuré par le système. Ainsi, il évalue l'expérience de l'utilisateur en considérant des facteurs affectifs comme l'amusement, le plaisir ou la confiance.

Nous décrivons dans ce paragraphe comment ces évaluations sont appliquées aux dispositifs ludo-éducatifs pour les jeunes enfants.

### ***2.1. Evaluation du dispositif pour la réalisation de la tâche***

Lorsqu'on évalue un dispositif, on peut faire varier soit sa nature physique soit la manière dont la tâche est réalisée. Les études qui testent la nature du dispositif vont comparer des dispositifs dans leur globalité (un ordinateur vs une tablette ou une tablette vs PDA) ou certaines parties du dispositif comme le type de pointage [SOUKOREFF & MACKENZIE 04]. A titre d'exemple Forlines [FORLINES ET AL. 07] compare le pointage au doigt (« direct touch ») et à la souris sur des tablettes graphiques. Les études qui font varier la manière dont la tâche est réalisée vont comparer les différentes modalités d'usage d'un même dispositif. Par exemple, Hourcade compare chez le jeune enfant le clic-mouve-click vs drag-and-drop [HOURCADE ET AL. 04]. D'autres études vont comparer différents types d'activités éducatives [PARETTE, ET AL. 08] ou la forme de gratification proposée à l'enfant [ZAMAN 07].

Les évaluations de ce type peuvent être faites avec ou sans utilisateur. Sans utilisateur, il est possible de mettre en œuvre des méthodes d'inspection comme les méthodes heuristiques qui testent si le système suit les règles de conception de haut niveau ou les méthodes « walkthrough » qui testent le comportement du système sur des séquences d'actions spécifiques. Avec utilisateur, les méthodes d'analyse généralement utilisées sont quantitatives et s'appuient sur l'analyse de la variance. Issue de la psychologie cognitive, ces méthodes consistent à mesurer différents paramètres selon des plans d'expérimentation qui font varier certaines modalités de variables en en fixant d'autres. Les paramètres qui sont pris en compte peuvent être des critères objectifs (comme les temps de pointage, le nombre de clicks, la capacité à faire des sélections multiples, la précision, le temps nécessaire pour pointer des items ...) enregistrés par des mouchards ou évalués par des ergonomes. Ils peuvent aussi être subjectifs comme la facilité et le confort d'utilisation ou la satisfaction générale [MARKOPOULOS ET AL. 08].

## **2.2. Evaluation de la réalisation de la tâche en contexte**

L'évaluation de la tâche en contexte a pour fonction de mesurer l'utilisabilité d'un système. L'objectif est d'identifier les problèmes d'usage que les enfants rencontrent en situation et de mesurer les conséquences sur la performance de l'apprentissage, la motivation, l'implication, la satisfaction qu'ils éprouvent vis-à-vis de ces systèmes. Ces critères peuvent être déclinés en trois indicateurs fondamentaux d'un système utilisable, à savoir l'efficacité, l'efficience et la satisfaction des utilisateurs. Les méthodes d'observation recommandées pour des enfants doivent être adaptées comme le propose Read dans le « fun toolkit » [READ 07]. En respectant ce principe, [MARKOPOULOS ET AL. 08] considère que toutes les méthodes suivantes sont à recommander : l'observation directe, les méthodes de verbalisation, les expériences en *magicien d'Oz*, les enquêtes, l'analyse de traces d'interaction enregistrées automatiquement et enfin les enregistrements audio et vidéo.

Un exemple illustratif est proposé dans l'étude de Savannah que nous avons présenté plus haut [FACER ET AL. 04]. L'évaluation a pour objectif de mesurer la motivation et l'engagement, entre autre par l'évaluation du degré d'identification des enfants aux personnages du jeu. Les enfants sont observés et filmés pendant toutes les phases de jeux. Certains sont équipés de caméra et micro pour pouvoir observer plus finement leurs interactions avec les autres joueurs et recueillir des verbatims du type « we need to get some water, let's go » qui montre bien l'identification de l'enfant au personnage avec lequel il joue dans le jeu.

## **2.3. Evaluation de l'expérience de l'utilisateur**

Pour compléter les études d'utilisabilité, les évaluations considèrent aussi les « expériences positives » des utilisateurs avec le dispositif informatique. On parle alors d'évaluation de l'expérience de l'utilisateur (ou UX pour User eXperience). Ces évaluations s'intéressent aux conditions particulières dans lesquelles l'utilisateur va interagir avec le système et prennent en compte la façon dont il interagit avec le système et les émotions (satisfaction, plaisir, etc.) qui en découlent [ARHIPAINEN & TAHTI 03][FORLIZZI & BATTARBEE 04]. Pour mesurer ces expériences auprès d'un enfant, [ABEELE ET AL 08] proposent d'utiliser la méthode « this-or-that » qui a l'avantage de minimiser le désir naturel de plaire de l'enfant (ne pas dire du mal directement) et minimiser sa charge cognitive en lui proposant toujours deux choix possibles. Après avoir utilisé deux types de dispositifs, il doit répondre à 5 questions : lequel a été le plus amusant, lequel aimerait-il recevoir en cadeau, lequel aimerait-il emmener chez lui, avec lequel aimerait-il jouer encore et lequel a-t-il été le plus stupide. Ces résultats peuvent être complétés par des enregistrements vidéo et des explicitations complémentaires en suivant la méthode de « laddering ». Cette méthode est basée sur des entretiens semi-directifs lors desquels les enfants expliquent quels sont les *attributs* qu'ils perçoivent du dispositif qu'ils testent et quelles *conséquences* ces attributs ont sur la *valeur* qu'ils lui attribuent [ZAMAN & ABEELE 10].

## **3. Conclusion et perspectives**

Nous avons présenté dans cet article quelques exemples d'utilisation des dispositifs mobiles et tactiles pour l'apprentissage des jeunes enfants et nous avons pu voir à quels enjeux pédagogiques et sociétaux ils peuvent répondre. Notre problématique était de savoir

comment évaluer l'adoption de tels dispositifs. Nous avons vu que les méthodes d'évaluation des systèmes interactifs pouvaient porter, à différents niveaux de sophistication. Les méthodes et objectifs qui sont proposés à chaque niveau sont différents et viennent compléter le niveau précédent. La méthode d'évaluation basée sur l'expérience utilisateur nous paraît la plus appropriée pour observer et évaluer le critère d'adoption des dispositifs ludo-éducatifs chez les jeunes enfants. En effet, ce type d'étude nous permet de mesurer l'impact des choix de conception sur l'usage effectif du produit mais d'en comprendre les raisons en particulier celles liées à l'affect et l'image portée par le produit. A plus long terme, ce type d'observation est utile pour construire des modèles d'acceptation des technologies qui prennent en compte plusieurs composantes de description des situations d'usage tant concernant le dispositif technique que l'utilisateur et les contraintes humaines de son contexte.

Nous travaillons actuellement dans un projet avec l'entreprise Cognik qui a développé une application web, KizzTV<sup>3</sup>, proposant plus de 200 activités ludo-éducatives à des enfants de 3-6 ans. Cette application nous donne la possibilité de recueillir des informations de bas niveaux sur l'interaction des enfants : le type d'activités choisies par l'enfant, le nombre de sélections sur des zones actives, le nombre de survols de zones actives, la durée de jeu, le score, le profil cognitif calculé, etc. Nous sommes en train de définir un protocole expérimental, basé sur la méthode d'évaluation que nous préconisons, pour pouvoir tester cette application selon différentes configurations matérielles et supports d'interaction. A l'aide d'évaluations comparatives sur les jeux utilisés sur des supports mobiles et tactiles variés (tablette PC, iPad, Smartphone) et dans différents environnements (à la maison, dans une ludothèque ou à l'école), nous mesurerons pour chaque scénario le degré d'adoption.

## Bibliographie

- [ABEELE & ZAMAN 08] Abeele, V. vanden and Zaman, B. The Extended Likeability Framework: A Theoretical Framework for and a Practical Case of Designing Likeable Media Applications for Preschoolers. No TitleAdvances in Human-Computer Interaction 2008, (2008), 11p.
- [ABEELE ET AL. 08] Abeele, V., Zaman, B., and Abeele, M. The Unlikeability of a Cuddly Toy Interface: An Experimental Study of Preschoolers' Likeability and Usability of a 3D Game Played with a Cuddly Toy Versus a Keyboard. 2008, 118-131.
- [ARHIPAINEN & TAHTI 03] Arhipainen, L. and Tahti, M. Empirical evaluation of user experience in two adaptive application prototypes. In MUM Proceedings, pages 27-34, December 2003.
- [COLELLA 00] Colella, V. Participatory Simulations: Building Collaborative Understanding Through Immersive Dynamic Modeling. Journal of the Learning Sciences 9, 4 (2000), 471-500.
- [COLOMBI ET AL. 08] Colombi, T., Russo, A., and Synyukov, L. L'ergonomie cognitive appliquée aux produits ludiques et éducatifs : nouveaux enjeux et nouvelles approches. (2008).
- [DONDLINGER 07] Dondlinger, M.J. Educational Video Game Design : A Review of the Literature. 4, 1 (2007), 21-31.
- [FACER ET AL. 2004] Facer, K., Joiner, R., Stanton, D., Reid, J., Hull, R., and Kirk, D. Savannah: mobile gaming and learning? Journal of Computer Assisted Learning 20, 6 (2004), 399-409.
- [FORLINES ET AL. 07] Forlines, C., Wigdor, D., Shen, C., and Balakrishnan, R. Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '07, (2007), 647.

---

<sup>3</sup> <http://play.kizzTV.fr>

- [FORLIZZI & BATTARBEE 04] Forlizzi, J. and Battarbee, K. Understanding experience in interactive systems. In Proceedings of the 5th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques (DIS '04). ACM, New York, NY, USA, 261-268.
- [GRAY 02] Gray, R. Assessing students' written projects. *New directions for Teaching and Learning* 91, (2002), 37-42.
- [HOURCADE ET AL. 04] Hourcade, J.P., Bederson, B.B., Druin, A., and Ere, O.I.S.G. Differences in Pointing Task Performance Between Preschool Children and Adults Using Mice. *11, 4 (2004), 357-386.*
- [HOURCADE 08].Hourcade, J.P. Interaction Design and Children. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction* 1, 4 (2008), 277-392.
- [KERAWALLA 07] Kerawalla, L., O'Connor, J., Undersood, J., duBoulay, B., Holmberg, J., Luckin, R. Exploring the potential of the Homework System and Tablet PCs to support continuity of numeracy practices between home and primary school. *Educational Media International* 44, 4 (2007), 289-303.
- [LUEDER & RICE 07] Lueder, R. and Rice, V.J.B. *Ergonomics for Children: Designing Products and Places for Toddlers to Teens.* 2007.
- [MARKOPOULOS ET AL. 08] Markopoulos, P., Read, J.C., MacFarlane, S., and Hoysniemi, J. *Evaluating Children's Interactive Products Principles and Practices for Interaction Designers.* Morgan Kaufmann Pub, Burlington, 2008.
- [MASAHIRO ANDO 10] Masahiro Ando, M.U. Analysis of the Advantages of Using Tablet PC in e-Learning. *10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, (2010), 122-124.
- [NAISMITH ET AL. 04] Naismith, L., Lonsdale, P., Vavoula, G., and Sharples, M. *Literature Review in Mobile Technologies and Learning Literature Review in Mobile Technologies and Learning.* 2004.
- [PARETTE, ET AL. 08] Parette, H.P., Boeckmann, N.M., and Hourcade, J.J. Use of Writing with Symbols 2000 Software to Facilitate Emergent Literacy Development. *Early Childhood Education Journal* 36, 2 (2008), 161-170.
- [READ 07] Read, J.C. Validating the Fun Toolkit : an instrument for measuring children ' s opinions of technology. *Work*, (2008), 119-128.
- [SOUKOREFF & MACKENZIE 04] Soukoreff, R. and Mackenzie, I. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. *International Journal of Human-Computer Studies* 61, 6 (2004), 751-789.
- [SUE ET AL. 10] Sue, B., Steinweg, B., Williams, S.C., and Stapleton, J.N. Faculty Use of Tablet PCs in Teacher Education and K-12 Settings. *TechTrends* 54, 3 (2010), 54-61.
- [ZAMAN & ABEELE 10] Zaman, Bieke ; Abeele, V.V. Laddering with Young Children in User eXperience Evaluations : Theoretical Groundings and a Practical Case. *ICD 2010, ACM (2010), 156-165.*
- [ZAMAN 07]Zaman, B. Towards a Likeability Framework that meets Child-Computer Interaction & Communication Sciences. *Methodology*, (2007), 1-8.
- [ZURITA 03] Zurita, G., Nussbaum, M., Shaples, M. Encouraging Face-to-Face Collaborative Learning through the Use of Handheld Computers in the Classroom. *Proceedings of the 5th International Symposium on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, (2003).

---

# Maintenance aéronautique et mobilité : pour une efficacité de la documentation sur petit écran

## Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain)

**Herimanana Zafiharimalala\*, André Tricot\*, Pascale Hugues\*\*, David Robin\***

\*Laboratoire CLLE-LTC, UMR 5263 CNRS,  
Université de Toulouse le Mirail,  
5 Allées A. Machado, 31058 TOULOUSE CEDEX  
Herimanana.Zafiharimalala@univ-tlse2.fr  
andre.tricot@toulouse.iufm.fr  
david.robin@univ-tlse2.fr

\*\* CTO IW SP IS - Multimodal Services  
EADS Innovation Works  
Campus Engineering – Parc d'activités Saint Martin du Touch  
18, rue Marius Terce  
31300 Toulouse - France  
pascale.hugues@eads.net

---

*RÉSUMÉ. L'évolution technologique a entraîné l'introduction de l'utilisation de l'appareil à petit écran ou mobile pour la consultation et la recherche d'information dans la documentation de maintenance aéronautique. Cette même documentation est utilisée pour la réalisation de la tâche de maintenance et pour la formation des opérateurs en maintenance aéronautique. Actuellement, elle est destinée à une consultation sur écran standard (15 ou 17 pouces). L'objectif de cette étude est d'étudier l'impact de l'utilisation de l'appareil à petit écran sur les performances des utilisateurs et de fournir des recommandations pour une présentation de la documentation de maintenance adaptée à la fois au support à petit écran (type PDA), à l'utilisateur et au contexte de la tâche de maintenance aéronautique. Les résultats montrent que l'utilisation du petit écran est bénéfique aussi bien avec une application destinée aux petits écrans qu'avec celle destinée aux écrans standard (si l'utilisation est ponctuelle). En outre, l'utilisation du petit écran ne détériore pas, d'une façon générale, les performances des utilisateurs et qu'elle est envisageable aussi bien chez les novices, donc pour l'apprentissage de la maintenance aéronautique, que chez les experts qui sont encore réticents mais n'y sont pas opposés.*

*MOTS-CLÉS : maintenance aéronautique, documentation technique, PDA, petit écran, ergonomie de la documentation.*

---

## 1. Introduction

L'utilisation d'appareil à petit écran (téléphone mobile, Smartphone, etc.) a le vent en poupe depuis quelque temps aussi bien dans le cadre de la vie quotidienne que dans le domaine professionnel. En maintenance aéronautique, après le passage de la documentation en papier vers la documentation sous format numérique, la tendance est l'utilisation de l'appareil à petit écran pour la consultation de la documentation de maintenance

aéronautique (DMA). En effet, les opérateurs de maintenance expriment la nécessité de bénéficier à la fois de la mobilité que leur offre la version papier<sup>1</sup> de la documentation et des fonctionnalités disponibles sur la version électronique. Les utilisateurs potentiels de la DMA consultable sur petit écran incluent non seulement les opérateurs en activité mais également les novices en cours d'apprentissage, la DMA servant également un support pour l'apprentissage du métier. Actuellement, la plupart des DMA électroniques sont consultées sur un écran standard (PC de 15 ou 17 pouces). Une étude dans le domaine de la maintenance aéronautique [BARNARD et al. 07] fait ressortir que l'utilisation de la DMA répond à quatre types de besoins : suivre étape par étape la procédure, avoir une vue globale de la procédure, extraire une information spécifique et vérifier si rien n'a été oublié ou si tout a été effectué conformément à ce qui est prescrit dans la documentation. L'utilisation de la DMA correspond également à une activité de recherche d'informations (RI) [ZAFIHARIMALALA & TRICOT 09] car elle se manifeste par une interaction entre l'utilisateur qui a besoin d'information et un document qui fournit les informations pouvant répondre plus ou moins à ce besoin [MIZZARO 98]. Si on se réfère à Tricot & Rouet [TRICOT et ROUET 98], on peut dire que cette activité de RI en maintenance aéronautique implique deux tâches : la tâche principale (la maintenance aéronautique) et la tâche secondaire (la tâche de RI). Pour la maintenance aéronautique, chacune de ces deux catégories se subdivise en deux sous catégories qui sont la tâche de préparation et la tâche de réalisation [ZAFIHARIMALALA & TRICOT 09]. En ce qui concerne les appareils à petits écrans, la littérature dit que l'utilisation de ce type d'appareils entraîne des conséquences négatives sur la performance de l'utilisateur [JONES et al. 02]. De plus, utiliser les appareils mobiles pour consulter ou pour interagir avec la documentation ne consiste pas en un simple ajustage de la présentation de l'information sur grand écran vers le petit écran [NOIRHOMME et al. 05]. Cette étude consiste donc à étudier l'impact sur la performance de l'utilisateur que pourrait avoir la consultation d'une documentation procédurale conçue pour un appareil à écran standard sur un appareil à petit écran, et vice-versa. Ainsi, on s'attend à ce que :

- les performances de l'ensemble de la population soient meilleures sur PC que sur PDA en raison de l'habitude d'utilisation ; avec l'application pour écran standard ou large (notée « ApL ») sur PC qu'avec ApL sur PDA et avec l'application destinée au petit écran (notée « ApS ») sur PDA qu'avec ApS sur PC, et ce en raison de l'adéquation de l'application au format pour lequel elle a été conçue. On considère ainsi que ApL sur PC et ApS sur PDA constituent des configurations « réalistes » ;

- les novices aient de meilleures performances sur PDA en raison de l'habitude d'utilisation du petit écran et de l'écran tactile ;

- les experts soient meilleurs que les novices sur toutes les configurations définies pour les tests et sur le test global du fait de leur expertise. En effet, même avec le format PDA avec lequel on pourrait supposer une performance moindre de la part des experts, cette lacune pourrait être compensée par la connaissance de la documentation, la tâche et l'expérience dans le métier.

---

<sup>1</sup> La mobilité de la version papier de la documentation se traduit ici par la possibilité dont dispose l'opérateur de maintenance d'apporter avec lui au poste de travail (par exemple sur l'avion) la partie de la DMA dont il a besoin pour réaliser sa tâche.

## **2. Objectif**

L'objectif de cette étude consiste à déterminer l'influence du format (PC et PDA), du type d'application (application pour le petit écran et application pour le grand écran) et de l'expertise sur les performances de l'utilisateur (durée et réussite de la tâche) lors d'une activité de RI pendant la réalisation d'une tâche de maintenance. Les opinions des participants sur l'utilisation du système sont également prises en compte.

## **3. Méthodologie**

### **3.1. Population**

Les participants sont au nombre de 45 et relèvent de deux niveaux d'expertise en maintenance aéronautique : des opérateurs experts (ayant au moins six années d'expérience dans le métier ; N=17, femmes=2, hommes=15) et des opérateurs novices (N=28, femmes=3 ; hommes=25) qui sont des élèves en formation de maintenance aéronautique, de niveau BTS première et deuxième années, au Lycée Saint-Exupéry de Blagnac.

### **3.2. Matériels**

Deux applications de consultation de documentations de maintenance ont été utilisées : la première est destinée à la consultation d'une documentation conçue pour l'écran standard ou PC (ApL), la deuxième pour la consultation d'une documentation conçue pour le petit écran ou PDA (ApS). L'application ApL est une application déjà opérationnelle, contrairement à l'ApS qui est encore en cours de développement. De plus, les deux applications diffèrent par le fait que dans l'ApL, l'utilisateur dispose d'une liste des procédures sous forme arborescente et qu'une procédure est affichée entièrement sur une même page à l'écran, contrairement pour l'application ApS dans laquelle une procédure est déroulée sur plusieurs pages successives, chaque étape correspondant à une page. Pour l'expérimentation, les deux applications ont été affichées sur les deux formats (PC et PDA). Le test a également nécessité l'utilisation d'un livret de consignes, des stylos, des PC (15 et 17 pouces), des PDA (HTC SMARTPHONE X9500 SHIFT – 7 pouces, à écran tactile), un logiciel traceur et un serveur.

### **3.3. Protocole**

Au cours de l'expérimentation, le participant effectue une tâche de recherche et de consultation d'information dans le manuel de maintenance. Il est placé dans une situation proche de certaines situations de travail dans lesquelles il doit chercher et collecter des informations en vue de réaliser une tâche de maintenance. Une séance de test se divise en trois parties. La première partie dure environ 7 minutes et consiste à l'explication de l'objectif de l'étude, du déroulement du test et au recueil d'informations sur les participants (âge, expérience dans le métier de la maintenance aéronautique, expérience dans l'utilisation de la documentation de maintenance sous les formats papier et électronique, expérience dans l'utilisation des petits écrans et de l'écran tactile). La deuxième partie correspond au déroulement du test proprement dit et dure en moyenne 45 minutes. La troisième partie est consacrée aux questions qui visent à récolter les opinions et les ressentis des participants sur l'utilisation de la documentation. Les tâches proposées sont basées sur les études antérieures concernant l'utilisation de la DMA [BARNARD et al. 07]

[ZAFIHARIMALALA & TRICOT 09] et sont au nombre de six : (t1) chercher une procédure dans la documentation à partir de sa référence et de son intitulé, puis lire la procédure ; (t2) consulter la même procédure qu'en première tâche et remplir un schéma avec le nom de chaque pièce/système concerné par chaque étape de la procédure ; (t3) remplir un tableau avec les actions à faire et les pièces ou systèmes concernés pour effectuer la procédure mentionnée dans la première tâche ; (t4) identifier la référence d'une pièce donnée ; (t5) chercher des références de plusieurs pièces et équipements puis remplir un tableau avec ces informations ; (t6) demander au participant de vérifier si la procédure qu'il a exécutée à la tâche 3 est conforme à celle qui est indiquée dans la documentation. Quant au questionnaire post-test, il est composé des questions suivantes : *comment avez-vous trouvé l'utilisation du petit écran ? Comment avez-vous trouvé la présentation de l'information ? Avez-vous des suggestions pour améliorer le système ?* Le tableau ci-dessous présente le plan expérimental.

	ApL		ApS		TOTAL
	PC	PDA	PC	PDA	
Novices	7	10	7	4	28
Experts	2	4	3	8	17
TOTAL	9	14	10	12	45

**Tableau 1.** Plan d'expérience et effectifs de chaque groupe expérimental

### 3.4. Mesures (critères d'évaluation)

Les mesures des performances des utilisateurs sont : le temps mis pour effectuer le test global et chacune de six tâches (mesuré en secondes), le nombre de réponses correctes (NRC) dans le carnet (score = 1 pour une réponse correcte ; score = 0 pour une réponse incorrecte) et à partir des traces d'interactions, le suivi du chemin optimal (SCO) pour effectuer la tâche (score = 1 pour un chemin correct, score = 0 pour un chemin différent du chemin attendu).

## 4. Résultats

### 4.1. Recherche et consultation d'information sur petit écran

Application	Format	Expertise	Durée totale (en sec.)	Nombre de réponses correctes	Suivi du chemin optimal
ApL	PC	Experts	1916 (238)	4.5 (2.12)	2.5 (3.54)
		Novices	3216 (2016)	3.2 (0.49)	0.29 (0.49)
	PDA	Experts	2075 (390)	5 (2)	0 (0)
		Novices	2998 (997)	3.3 (1.77)	1 (0.67)
ApS	PC	Experts	2662 (879)	2.6 (2.08)	0.67 (0.58)
		Novices	2022 (602)	4 (1)	0.43 (0.79)
	PDA	Experts	2852 (841)	4.6 (0.74)	2.18 (1.39)
		Novices	1782 (209)	3.5 (1.29)	1.25 (1.50)

**Tableau 2 - Interactions entre les trois facteurs : performances moyennes (et écart-type)**

Au niveau du test global, l'analyse de l'interaction entre les trois facteurs (format, application et expertise) par le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative uniquement pour le score lié au suivi du chemin optimal (SCO) :  $H(7) = 20.376$  ;  $p = .005$ .

Les experts réalisent leurs tâches en suivant un chemin plus proche de l'optimum que les novices, dans les conditions ApL sur PC et ApS sur PDA, c'est à dire les deux conditions "réalistes", ainsi que dans la condition ApS sur PC, alors que cela ne semble pas être le cas dans la condition ApL sur PDA. Ainsi, aucune configuration ne semble globalement entraîner de performances meilleures ou moins bonnes que les autres. Contrairement à notre hypothèse, l'ApS ne semble pas entraîner une baisse de performance générale.

L'analyse de l'interaction entre l'application et le format sur le plan global avec le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative uniquement au niveau du SCO ( $H(3) = 11.345$  ;  $p = .010$ ). Avec ApL, les sujets réalisent le test en suivant un chemin plus proche de l'optimum sur le format PC que sur le format PDA. Avec ApS, les sujets sont plus proches du chemin optimal avec le PDA qu'avec le PC. Comme prévu dans notre hypothèse, les sujets ont de meilleures performances, pour le SCO, avec les configurations réalistes (ApL sur PC et ApS sur PDA). Selon les résultats de cette étude, l'utilisation des applications sur les deux formats ne diffèreraient pas.

L'analyse des interactions entre l'expertise et l'application à l'aide du test de Kruskal-Wallis montre une différence significative au niveau global du test pour la durée ( $H(3) = 10.44$  ;  $p = .015$ ) : les experts réalisent le test plus rapidement que les novices avec ApL tandis qu'avec ApS contrairement à notre hypothèse, les novices sont plus rapides que les experts. Pour le SCO, une différence significative a également été relevée ( $H(3) = 10.37$  ;  $p = .016$ ) : les experts sont plus proches du chemin optimal pour réaliser le test avec ApL par rapport aux novices. C'est également le cas avec l'ApS. Ainsi, d'après ces résultats, les experts ne seraient pas plus performants que les novices dans toutes les configurations. Cela va à l'encontre de notre hypothèse selon laquelle les experts sont plus performants que les novices avec les deux applications du fait de leur expertise et de la connaissance de la tâche.

Certains éléments du tableau 2 méritent également d'être soulignés. Ceux-ci concernent l'effet de l'expertise sur les performances des utilisateurs et sont en contradiction avec l'hypothèse selon laquelle les experts sont plus performants que les novices dans toutes les configurations en raison de leur expertise. Pour le nombre de réponses correctes par exemple, les novices enregistrent un score plus élevé que les experts pour la configuration ApS sur PC. Le changement d'application aurait ainsi perturbé les experts qui n'ont pas pu bénéficier de leur expertise pour compenser le manque d'expérience dans l'utilisation de l'application pour petit écran. De même, pour le score lié au suivi du chemin optimal concernant la configuration ApL sur PDA, les novices sont plus performants que les experts dont l'expérience d'utilisation de l'application n'a probablement pas suffi à compenser le manque d'expérience dans l'utilisation de l'écran tactile et du petit écran.

#### *4.1.1. Effet de chaque facteur sur les performances des sujets*

Les effets de l'application sur les performances des utilisateurs n'ont pas pu être déterminés dans cette étude. Concernant les effets du format, l'analyse par le test U de Mann Whitney montre une différence significative pour le suivi du chemin optimal ( $U = 151.5$  ;  $p = .020$ ) : le groupe est plus proche du chemin prévu sur PDA que sur PC. D'une façon générale, les effets de l'application sur les trois mesures n'ont pas été mis en évidence dans cette étude. Quant à l'analyse des effets de l'expertise, elle fait ressortir une différence significative concernant le nombre de réponses correctes ( $U = 151.5$  ;  $p = .037$ ) : sur l'ensemble du test, on enregistre plus de bonnes réponses de la part des experts ( $MEx =$

4.35 ;  $\sigma = 1.58$ ) que des novices ( $M_{No} = 3.5$  ;  $\sigma = 1.26$ ). L'expertise aurait ainsi un effet sur le NRC. En revanche, les effets de l'expertise sur la durée de la tâche et sur le SCO n'ont pas été démontrés dans l'étude.

#### 4.1.2. Analyse au niveau des six tâches

			Durée (en sec.)	Nombre de réponses correctes		Score du chemin opt.
			t1	t1	t3	t4
ApL	PC	Experts	173(36.06)	1 (0)	0.5 (0.7)	0.5 (0.7)
		Novices	1263(1195.24)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	PDA	Experts	281(103.74)	1 (0)	0.7 (0.5)	0 (0)
		Novices	773(484.59)	0 (0)	0.4 (0.51)	0 (0)
ApS	PC	Experts	354.33(108.51)	0 (0)	0.3 (0.57)	0.7 (0.57)
		Novices	342(146.77)	0 (0)	0.6 (0.53)	0.3 (0.48)
	PDA	Experts	770(311.93)	0 (0)	1 (0)	0.7 (0.46)
		Novices	318(115.08)	0 (0)	0.2 (0.5)	0.5 (0.57)

Tableau 3 – Résultats significatifs au niveau des six tâches

L'analyse des interactions entre les facteurs (par les test de Kruskal-Wallis) sur les six tâches montre une différence significative concernant la durée pour la tâche t1 – *recherche d'une procédure* ( $H(7) = 17.333$  ;  $p = .015$ ) : les experts réalisent la tâche t1 plus rapidement que les novices avec les conditions ApL sur PC et ApL sur PDA. Au niveau du nombre de réponses correctes, des différences significatives ont aussi été relevées pour la tâche t1 ( $H(7) = 44$  ;  $p = .000$ ) et la tâche t3 – *remplissage d'un tableau* ( $H(7) = 1.466$  ;  $p = .001$ ) pour laquelle les experts ont une meilleure performance sur les deux conditions réalistes (avec ApL sur PC et ApS sur PDA) ainsi qu'avec ApL sur PDA ( $M_{ExApL} = 0.7$  ;  $\sigma = 0.5$ ). Pour ce qui est du suivi du chemin optimal, une différence significative existe uniquement pour la tâche t4 – *recherche d'une référence* ( $H(7) = 17.749$  ;  $p = .006$ ) : les experts réalisent la tâche en suivant un chemin plus proche de l'optimum par rapport aux novices avec ApL sur PC, ApS sur PC et avec ApS sur PDA. Avec les deux configurations réalistes, les experts auraient donc des performances meilleures que les novices pour la tâche 4.

#### 4.2. Réponses au questionnaire

- **Comment avez-vous trouvé l'utilisation du petit écran ?** : « C'est très bien pour gagner du temps au lieu de feuilleter plusieurs pages en papier et pour amener la documentation sur avion » (Novice 2) ; « Ce système présente un avantage par rapport au papier quand il pleut ou il vente » (Expert 6).

- **Comment avez-vous trouvé la présentation de l'information ?** : « J'ai de la difficulté pour trouver les procédures » (Experts 6) ; « vérifier à chaque fois le changement du numéro de la tâche est assez contraignant » (Expert 2) ; « On a besoin d'utiliser les figures. Les figures manquent » (Novice 1) ; « [...] La tournure n'est pas habituelle : il faut que ça parle aéronautique » (Expert 3).

- **Avez-vous des suggestions pour améliorer le système ?** : « Il faut ajouter une recherche par mot clé » (Novice 2) ; « Reprendre la représentation sous forme arborescente des procédures comme dans la documentation utilisée actuellement » (Expert 2) ; « Je trouve que ce serait bien d'avoir un schéma car on s'y réfère pour faire une procédure, mais ça

dépend des tâches [...] » (Expert 3) ; « Il faut reprendre les mêmes termes utilisés dans la documentation actuelle » (Expert 4).

## 5. Conclusion et discussion

Le but de cette expérimentation était d'étudier l'utilisation du petit écran pour la recherche et la consultation d'information dans le contexte de la maintenance aéronautique. L'objectif était alors de déterminer l'influence du format (PC et PDA), du type d'application (ApS pour le petit écran et ApL pour le grand écran) et de l'expertise sur la performance de l'utilisateur en matière de durée de la tâche, du nombre de réponses correctes et du score relatif au suivi du chemin optimal. Les différents niveaux d'analyses, que ce soit au niveau de chaque facteur (expertise, format et application) ou au niveau des interactions entre ces facteurs font ressortir très peu de différences significatives. Les hypothèses que nous avons initialement formulées (notamment, des meilleures performances des sujets sur PC que sur PDA en raison de l'habitude d'utilisation ; avec ApL sur PC qu'avec ApL sur PDA et avec ApS sur PDA qu'avec ApS sur PC ; meilleures performances des novices par rapports aux experts avec le PDA ; des meilleures performances des experts par rapport aux novices sur toutes les configurations du fait de leur expertise) ne sont pas retenues pour tous les cas et sont même la plupart du temps rejetées. Au niveau des six tâches, pour la recherche d'une procédure (objet de la tâche t1), l'affichage de l'application ApL qui permet d'avoir des informations et des indications sur le chemin à suivre ou des repères pour arriver à la procédure voulue apporte une aide importante à l'utilisateur dans sa navigation et facilite ainsi l'accès à la procédure. En revanche, pour la tâche t6, le groupe a une meilleure performance (NRC) avec l'application ApS. Celle-ci semble alors être plus efficace pour les tâches de vérification, telle que la tâche t6 du test, car l'affichage étape par étape de la procédure permet une focalisation sur chacune des étapes et évite la dispersion de l'attention de l'utilisateur sur d'autres informations inutiles mais affichées sur l'écran.

L'analyse des données quantitatives montrent que dans la majorité des cas, les participants auraient des performances équivalentes sur toutes les configurations, quelque soit leur niveau d'expertise. Concernant les opinions des participants, les experts voient en l'utilisation du petit écran une réponse à un besoin réel qui est celui d'avoir la DMA à proximité avec différentes fonctions de navigation, et les novices un moyen qui facilite leur apprentissage. En effet, ces derniers ont jugé plus aisé (notamment en terme de coûts temporel et cognitif) de chercher et de consulter une information sur un support électronique mobile que sur un support papier. De plus, la familiarité avec les caractéristiques du support (petit écran, écran tactile) s'avèrent être une motivation pour l'utilisation du petit écran. Ces informations permettraient de conclure que l'utilisation du petit écran serait tout à fait envisageable pour la maintenance aéronautique aussi bien pour la réalisation des tâches que pour l'apprentissage de celles-ci. Des réserves sont toutefois à formuler : des différences significatives ont été notées lors de cette étude, et même si celles-ci sont très peu nombreuses, les cas où elles apparaissent doivent être pris en compte et examinés de plus près. Une différence significative concernant le SCO entre l'utilisation d'ApL et celle de ApS pourrait par exemple être liée à la difficulté pour atteindre une cible, ce qui pourrait se traduire par un problème de navigation ou de repères (absence ou inefficacité) au sein de l'application pour guider l'utilisateur. Les résultats obtenus lors des entretiens avec les

participants nous confirment l'importance des repères pour éviter la désorientation et l'égarément lors de l'utilisation de la documentation (« pas facile d'arriver à la liste des procédures » (Novice 2) ; « l'ordre des références des sous-tâches trompe : on s'attend à ce que la sous-tâche DMC-XX-040-XX soit avant la sous-tâche DMC-XX-095-XX par exemple, et cela conduit à des allers-retours dans la documentation » (Novice 4). Une autre différence relevée entre les deux populations concerne l'utilisation de l'application ApS en termes de durée d'exécution du test : les novices sont plus rapides que les experts. Cela contredit notre hypothèse mais montre une meilleure adaptation des novices à l'application qui est destinée au petit format, probablement en raison du fait que cette population est plus familière avec l'utilisation du petit format qui la plupart du temps adopte la même navigation que l'application ApS, c'est-à-dire avec un déroulement des informations page par page. Il y aurait donc un transfert des connaissances liées à l'utilisation d'un format et d'une application utilisés dans la vie quotidienne vers l'utilisation d'un système destiné au milieu professionnel.

Les participants ont évoqué le fait que l'affichage des informations sur les tâches proposé lors des tests (uniquement la référence de la tâche) ne leur permet pas de trouver facilement une procédure par manque de détails pour se faire une représentation mentale de la tâche concernée. Une recommandation consiste alors à proposer à l'utilisateur un moyen qui lui permet de construire une représentation de la tâche à l'aide d'une fenêtre ponctuelle (*popup*), compte tenu de la surface limitée du petit écran. La fenêtre ponctuelle est une « fenêtre déroulante » qui intègre un ensemble d'informations et qui apparaît localement à la demande de l'utilisateur [CARO & BÉTRANCOURT 01]. En effet, l'utilisation de ces fenêtres pourrait améliorer les performances des utilisateurs en raison de leurs caractéristiques [JAMET & ERHEL 06] : rendre les informations principales permanentes et les informations secondaires ponctuelles, ce qui facilite la recherche d'information ; permettre une consultation à la demande (l'utilisateur ne voit alors affiché sur le petit écran que l'information dont il a besoin à chaque fois et ne se retrouve pas avec des informations inutiles dans un espace déjà réduit du petit écran) ; diminuer la surcharge perceptive occasionnée par une trop grande quantité d'informations à l'écran ; permettre la disparition de l'effet de partage de l'attention entre deux sources d'informations ou deux niveaux d'informations. Dans notre cas, le partage de l'attention serait lié à la localisation des informations qui devraient être présentées simultanément : la référence de la tâche, son intitulé et les différentes sous-tâches.

## 6. Bibliographie

- [BARNARD et al. 07] Barnard, Y., Moal, M., Tapie, J., « Ergonomie, documentation électronique et maintenance : exemple de l'aéronautique », *Forum Maintenance & Transports*, Paris, mai 2007.
- [CARO & BÉTRANCOURT] Caro, S., Bétrancourt, M., « Ergonomie des documents numériques », *Encyclopédie des techniques de l'ingénieur, traité informatique, documents numériques*, Techniques de l'ingénieur, Paris, 2001.
- [JAMET & ERHEL 06] Jamet, E., Erhel, S., « Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents pédagogiques illustrés », *Psychologie Française*, 51(1), 2006, p. 73-86.
- [JONES et al. 02] Jones, M., Buchanan, G., Thimbleby, H., « Sorting out searching on small screen devices », *Lecture Notes in Computer Science*, 2411, 2002, p. 555-567.
- [MIZZARO 98] Mizzaro, S., « How many relevances in information retrieval ? », *Interacting With Computers*, 10(3), 1998, p. 305-322.

- [NOIRHOMME-FRAITURE et al. 05] Noirhomme-Fraiture, M., Randolet, F., Chittaro, L., Custinne, G., « Data Visualizations on small and very small screens », *Proceedings of the 11th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis*, ENST, mai 2005, Brest.
- [TRICOT & ROUET 98] Tricot A., Rouet, J.-F., « Avant propos : Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques », *Hypertextes et Hypermédias*, n° hors série, 1998.
- [ZAFIHARIMALALA & TRICOT 09] Zafiharimalala, H., Tricot, A. (2009). « Vers une prise en compte de l'utilisateur dans la conception de documents en maintenance aéronautique », *Actes-PeCUSI 2009, INFORSID*, Toulouse, 26-29 Mai 2009, p. 63-74.



---

## V3S, un environnement virtuel pour la formation à la maîtrise des risques

**Camille Barot\*, Domitile Lourdeaux\*, Dominique Lenne\*, Jean-Marie Burkhardt\*\***

\* Laboratoire Heudiasyc, UMR 6599 CNRS  
Université de Technologie de Compiègne  
BP 20529, 60205 Compiègne Cedex, France  
{camille.barot, domitile.lourdeaux, dominique.lenne} @hds.utc.fr  
\*\* LATI

Université Paris Descartes  
71, avenue Edouard Vaillant  
92774 Boulogne Billancourt  
jean-marie.burkhardt@parisdescartes.fr

---

*RÉSUMÉ. Dans les industries à haut risque, la formation à la maîtrise des risques est devenue un enjeu majeur. Elle nécessite de former les apprenants aux bonnes procédures, mais aussi de promouvoir une réelle compréhension des risques encourus et de les entraîner au travail en situations dégradées (stress, avaries matérielles, co-activité difficile, etc.). Nous présentons ici les résultats du projet V3S, ayant abouti à un environnement virtuel axé sur la visualisation des conséquences des erreurs de l'apprenant et des personnages virtuels autonomes. Nous proposons à présent de scénariser l'environnement et les comportements des personnages virtuels pour permettre d'une part des mises en situations de type "jeux de rôles" s'inspirant des domaines des serious games et de l'interactive storytelling, et d'autre part l'adaptation de la difficulté aux performances de l'apprenant via des personnages virtuels capables d'aider ou de gêner l'apprenant.*

*MOTS-CLÉS : environnements virtuels pour l'apprentissage humain, personnages virtuels autonomes, maîtrise des risques, scénarisation*

---

## 1. Introduction

Dans le domaine de la formation à la maîtrise des risques, les objectifs sont multiples. Il s'agit de permettre à la fois la formation aux bonnes pratiques et procédures, l'entraînement dans des conditions dégradées et des situations rares, et l'aide à la décision (via la conduite d'analyses de risques post-accidentelles). Pour cela, l'utilisation d'environnements de réalité virtuelle offre de nombreux avantages [BURKHARDT et al. 06]. On peut notamment citer la possibilité de simuler l'activité sans danger réel pour l'apprenant et son environnement, la flexibilité dans la présentation de l'information ou encore le contrôle précis des paramètres de la simulation permettant de reproduire des situations particulières.

Si les Environnements Virtuels pour l'Apprentissage Humain (EVAH) sont désormais nombreux [MIKROPOULOS et al. 11], la majorité d'entre eux se situe dans un contexte éducatif et non professionnel. De plus, peu d'entre eux s'intéressent à l'activité en situation dégradée. Souvent, l'apprenant doit répéter un geste technique ou une procédure idéale. Or, notamment dans le cas des industries à haut risque, il est primordial de former au respect des bonnes pratiques dans des conditions de travail perturbées ou des situations de co-activité difficiles (stress, fatigue, environnement ou acteurs inhabituels...) et d'entraîner à réagir à des situations rares. Dans cette optique, le projet V3S<sup>1</sup> a proposé un environnement virtuel doté d'un module de suivi de l'apprenant capable de contrôler les événements de l'environnement en fonction de règles pédagogiques, et peuplé de personnages virtuels autonomes susceptibles de faire des erreurs et des compromis. Nous proposons à présent de mêler ces deux aspects pour travailler sur la scénarisation de l'environnement.

## 2. Scénarisation dans les environnements virtuels

Dans les environnements virtuels, le mot scénarisation peut être utilisé pour désigner des concepts distincts. D'un côté, on trouve les termes de scénarisation pédagogique pour désigner la spécification de l'enchaînement et du déroulement des activités pédagogiques prescrites à l'apprenant. D'un autre côté, certains auteurs utilisent ce terme pour parler de scénarios au sens cinématographique. Le scénario peut alors désigner à la fois le *screenplay*, c'est-à-dire la spécification des événements et actions ayant lieu dans l'environnement virtuel, et le *shooting script*, qui décrit la façon dont ceux-ci sont mis en scène (décor, caméras...). Enfin, dans le contexte des environnements interactifs, la scénarisation peut aussi désigner le contrôle des actions de l'utilisateur. Nous proposons d'articuler ces différents aspects en définissant la scénarisation comme étant à la fois la spécification du ou des déroulement(s) possible(s) ou souhaitable(s) de la simulation, et le contrôle (suivi et correction) du déroulement des événements en temps réel.

On retrouve ainsi dans les environnements virtuels l'intégration des scénarios pédagogiques issus de travaux dans le domaine des EIAH. [MARION 10] propose POSEIDON, un modèle de scénarios pédagogiques pour les environnements de formation en réalité virtuelle, inspiré en partie du langage IMS-LD. Ces scénarios pédagogiques sont décrits de manière très fine, liant des erreurs classiques, identifiées au préalable, à un ensemble de rétroactions (mise à disposition d'un média, mise en valeur d'un objet, etc.).

---

<sup>1</sup> Virtual Reality for Safe Seveso Subcontractors

Cette approche très aboutie ne concerne cependant que des couples « action-réaction », sans adaptation de la situation d'apprentissage à l'ensemble de l'activité de l'apprenant, via l'exploitation de ses traces par exemple. [LUENGO et al. 06] ont également proposé des rétroactions dans leurs travaux sur TELEOS, un environnement destiné à la formation de chirurgiens orthopédiques. Leur système offre plusieurs types de rétroactions, renvoyant l'apprenant à certaines parties du cours ou à des exercices plus adaptés à son niveau. Ces approches conviennent bien à l'acquisition de connaissances ou de compétences de base. Dans notre cas, nous nous intéressons moins à l'acquisition de connaissances par transmission explicite qu'à l'entraînement d'opérateurs par l'action dans des situations complexes. Il est alors intéressant de guider l'apprenant de manière plus souple, en lui laissant une marge de manœuvre suffisante pour favoriser une approche exploratoire et un apprentissage par l'action.

Dans le domaine de l'*interactive storytelling*, des techniques issues de l'intelligence artificielle, comme les automates ou la planification, sont utilisées pour orchestrer le comportement d'acteurs virtuels. On peut notamment citer Sluhrg [DEVILLERS 01], un langage de scénario basé sur des machines à états hiérarchiques utilisé pour diriger des groupes d'acteurs virtuels semi-autonomes. Si les environnements virtuels intégrant des personnages virtuels autonomes se concentrent surtout sur les personnages réactifs, il existe un autre courant qui, à l'inverse, se focalise sur la modélisation de processus cognitifs pour animer ces personnages. [GRATCH et al. 04] utilisent des modèles cognitifs très poussés pour générer des simulations impliquant émotionnellement l'utilisateur. Certains travaux intègrent à la fois un contrôle global des comportements des personnages virtuels et des modèles et architectures cognitives, comme notamment [PEINADO et al. 08]. Cependant ces modèles pour l'animation des personnages prennent très peu en compte les actions de l'utilisateur.

### **3. Le projet V3S**

Le projet V3S portait sur la simulation de situations de travail dangereuses touchant aux activités de maintenance effectuées par des entreprises extérieures sur des sites Seveso. Ces situations, du fait de la sous-traitance, posent des problèmes particuliers au niveau de la sécurité. En effet, le manque de contrôle du donneur d'ordre sur l'activité de son sous-traitant impose une application très formelle des procédures, ne garantissant pas une complète maîtrise des risques. Les industriels éprouvent donc un réel besoin d'outils permettant de promouvoir une réflexion de la part des acteurs (décideurs, encadrement, opérateurs), afin de mener à une prise de conscience des risques.

#### **3.1. Le positionnement de V3S**

Afin de favoriser une activité réflexive de la part des apprenants, le projet V3S s'est orienté vers la prise en compte des erreurs dans l'activité humaine à au moins deux niveaux. Le premier concerne la possibilité de laisser l'apprenant commettre des actions erronées – et les diagnostiquer le cas échéant. Le second niveau concerne les personnages virtuels qui peuplent l'environnement, et qui sont dotés d'une certaine capacité à engendrer des actions et des comportements erronés. L'hypothèse portée par le projet est que les formations en réalité virtuelle peuvent être plus efficaces en permettant à l'utilisateur de visualiser l'impact de ses actions ou décisions sur le système technique, organisationnel ou humain dont il a la

charge. Les différents modules proposés permettent ainsi à l'utilisateur d'appréhender les conséquences de ses actions ou de celles des autres opérateurs.

### ***3.2. Modèles d'activité pour fonder le comportement des personnages et le suivi de l'apprenant***

Disposer d'un modèle spécifique à l'activité concernée et au contexte représenté constitue un prérequis pour fonder tant le comportement des personnages virtuels que l'analyse et le suivi des actions des utilisateurs apprenants. Le langage de description de tâches HAWAI-DL [EDWARD et al. 10] a été développé dans cet objectif, pour assister la construction de modèles d'activités à partir d'analyses ergonomiques menées sur le terrain. Ce langage a la particularité d'être issu de langages ergonomiques, notamment MAD\* [SCAPIN et al. 01] et GTA [VAN DER VEER et al. 96], tout en étant directement interprétable par des modules informatiques. De plus, en prenant en compte la formalisation de l'activité en situation dégradée et des « mauvaises » pratiques issues de compromis cognitifs, il permet d'une part la reconnaissance des situations de prise de risques et des erreurs dans l'activité de l'apprenant et d'autre part la restitution par les personnages virtuels de tels comportements de compromis. Pour cela, HAWAI-DL intègre la notion de Conditions Limites d'Usage (CLU) [AMALBERTI 96]. Les CLU sont un concept issu de travaux en psychologie cognitive, traduisant le résultat d'un compromis local et souvent informel entre les acteurs du domaine. Par exemple, travailler avec un produit chimique sans équipements de protection individuelle, dans le but de gagner du temps, peut exister dans certains cas en tant que CLU, c'est-à-dire pratique à risque tolérée dans l'usage [EDWARD et al. 10].

### ***3.3. Personnages Virtuels Autonomes***

Un axe de recherche du projet V3S était de pouvoir représenter certains processus cognitifs amenant les opérateurs à des comportements erronés. Contrairement aux travaux existants se basant sur des architectures inspirées de formalismes informatiques (automates, réseaux de Petri...), l'approche adoptée pour V3S repose sur des modèles cognitifs dans le domaine de la sécurité et du comportement humain dans des situations à risque. Les personnages virtuels autonomes s'appuient sur l'architecture MASVERP, décrite dans [EDWARD et al. 09]. Cette architecture se base sur le modèle BDI, enrichi par la prise en compte dans le processus de décision du personnage de différents traits de personnalité (prudence, expertise...) et de ses caractéristiques physiques et physiologiques. Elle intègre plusieurs modèles issus de travaux en psychologie cognitive, notamment le modèle COCOM [HOLLNAGEL 93], qui définit plusieurs modes de contrôle en fonction de la pression temporelle, influant sur les capacités d'anticipation et de planification du personnage. Grâce à l'intégration dans ces architectures cognitives des modèles de tâches prenant en compte des activités dégradées, les personnages virtuels autonomes peuvent dévier de la procédure idéale et présenter des comportements erronés ou de compromis.

### ***3.4. Suivi de l'apprenant***

Un des éléments du projet V3S était de pouvoir assister le formateur dans sa tâche de suivi grâce à des traces et des critères de performance, d'aider l'apprenant à interpréter son activité en temps réel ou a posteriori via l'analyse des causes-conséquences, et de scénariser

de manière adaptative l'environnement virtuel selon les objectifs de formation, le niveau et les actions successives (erronées ou non) de l'apprenant. Ainsi, [AMOKRANE 10] a proposé un module pédagogique nommé HERA destiné à la fois au formateur et à l'apprenant. La différence avec les approches de « scénarisation pédagogique » classiques qui renvoient l'apprenant vers des médias est qu'HERA se place dans un paradigme d'apprentissage par l'action autorisant les erreurs, et permet de déclencher ou non les risques, selon le niveau de l'apprenant, pour favoriser un apprentissage progressif.

### 3.5. Implémentation, évaluations et résultats

Le projet V3S a donné naissance à un démonstrateur portant sur le chargement de matière dangereuse en dépôt pétrolier. Les résultats du projet ont été intégrés dans un environnement photoréaliste, avec deux interfaces différentes : une version légère pilotée à la souris et au clavier, où l'utilisateur agit sur les objets via des menus contextuels, et une version immersive à l'échelle 1, intégrant de la capture de mouvements et une simulation physique.

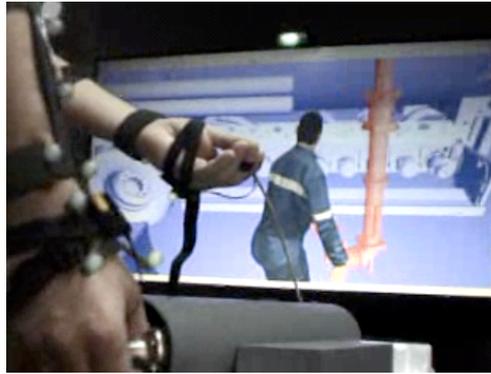


Figure 1. Capture d'écran du démonstrateur

Des évaluations ont été réalisées sur les aspects utilité, acceptabilité et utilisabilité. L'approche adoptée pour ces évaluations était à la fois qualitative, par le biais d'entretiens et d'échanges informels, et quantitative : questionnaire d'acceptabilité et utilisabilité SUS (System Usability Scale) [BROOKE 96], questionnaire d'utilisabilité QUIS (Questionnaire for User Interface Satisfaction) [HARPER 93] et enregistrement des performances. La version immersive a fait l'objet d'une évaluation portant sur un scénario simplifié de branchement du bras de chargement du camion, avec un panel de 15 sujets. Il en ressort une appréciation très positive de la part des utilisateurs, avec une acceptabilité forte (score SUS moyen de 75/100), même si les interfaces ont parfois été perçues comme invasives, en particulier la combinaison pourvue de marqueurs infrarouges.

La version légère a été utilisée en conditions réelles, lors de deux sessions collectives de formation initiale de conducteurs de camions citernes. Dans ce cadre, le démonstrateur a été utilisé par un formateur et 7 stagiaires. Les résultats des évaluations ont montré une acceptabilité très forte (score SUS moyen de 85/100), ainsi qu'un très bon niveau d'utilisabilité. L'organisme de formation était très satisfait de la manière dont le démonstrateur pouvait s'insérer dans leurs sessions de formation initiale. Il a proposé d'étendre l'utilisation du démonstrateur à des stages « pro » plus spécialisés, portant notamment sur la formation à l'intervention en cas d'accident. De plus, les stagiaires ont spontanément mentionné l'intérêt d'avoir accès à une version en ligne, individuelle, du

démonstrateur afin de pouvoir s'entraîner après la fin de la session de formation. Dans un cadre de formation continue, le démonstrateur a également servi de base à une expérimentation sous forme de jeu de rôle, où trois formateurs étaient chargés de mettre un expert en situation et de le perturber au cours de la simulation. Le conducteur ainsi testé a effectué de nombreuses erreurs, qu'il a ensuite justifiées par le fait qu'il était paniqué et s'était précipité, suite à quoi les formateurs ont prôné l'utilisation du dispositif pour entraîner les conducteurs sur des situations stressantes



**Figure 2.** *Utilisation du démonstrateur dans sa version immersive*

#### 4. Perspectives

Le prototype issu de V3S laisse ainsi envisager la possibilité d'un usage réel. Pour l'instant seule une partie des fonctionnalités a été testée en conditions de formation, mais les perspectives d'utilisation du démonstrateur comme support dans d'autres situations pédagogiques révèlent déjà de nouveaux besoins en termes de scénarisation. Dans la formation à l'intervention en cas d'accident, par exemple, le formateur doit exercer un contrôle sur le déroulement des événements dans l'environnement virtuel, et pouvoir guider les actions de l'apprenant pour faire apparaître les situations pertinentes (déclenchement d'une fuite, d'un incendie...). De plus, la transposition des jeux de rôles sur des personnages de l'environnement virtuel serait intéressante pour le formateur, lui évitant de devoir faire intervenir plusieurs personnes. Elle pourrait aussi motiver l'apprenant dans le cas de formations individuelles à distance. Il serait ici pertinent de s'inspirer de résultats issus de l'interactive storytelling en termes de mise en situation, tout en leur adjoignant un contrôle pédagogique permettant d'adapter le déroulement des événements au niveau de l'apprenant.

Les évaluations réalisées sur le démonstrateur portaient sur les aspects utilité, acceptabilité et utilisabilité. Il serait également intéressant d'étudier l'impact des différentes configurations en termes d'apprentissage, en particulier pour la version immersive qui permet des manipulations naturelles dans un environnement entièrement physicalisé. De même, il serait nécessaire d'étudier le ressenti vis-à-vis des personnages virtuels autonomes et d'évaluer l'apport de la scénarisation.

A l'heure actuelle le projet V3S se limite à une scénarisation pédagogique en termes de rétroactions, via notamment le déclenchement d'événements, et ne permet pas de scénariser le comportement des personnages virtuels autonomes. En effet, le module qui gère leur comportement et celui chargé du suivi de l'apprenant sont complètement indépendants l'un de l'autre. Les personnages évoluent de leur côté, sans interagir avec l'utilisateur ni

s'adapter à son comportement. Nous souhaitons coupler ces modules pour proposer des personnages réagissant de façon pertinente aux actions de l'apprenant dans l'environnement, compte tenu des objectifs pédagogiques de la session de formation, de règles pédagogiques, du niveau de l'apprenant, de traces issues de sessions précédentes, etc. Les personnages pourraient ainsi tenter de minimiser ou de maximiser les risques liés à une procédure collaborative, aider l'apprenant quand il est en difficulté en lui donnant des conseils ou en réalisant des actions à sa place, ou au contraire le mettre en situation de stress, etc.

La difficulté majeure pour la mise en place de cette scénarisation tient au fait que nos environnements contiennent des entités autonomes – utilisateurs humains ou personnages virtuels. De plus, dans un paradigme d'apprentissage par l'erreur, la liberté d'action de l'apprenant est primordiale. Il y a donc des compromis à trouver, d'une part entre la sensation de liberté de l'utilisateur et le respect du déroulement souhaité des événements, et d'autre part entre l'autonomie des personnages virtuels et le maintien de la cohérence du scénario.

## **5. Conclusion**

Les travaux réalisés dans le cadre du projet V3S permettent déjà de répondre à de nombreux besoins en formation initiale ou continue à la maîtrise des risques. La multiplicité des usages des environnements virtuels en formation offre à présent de nouvelles perspectives en termes de scénarisation. La scénarisation de l'environnement que nous proposons sera intéressante sur trois points. Premièrement, elle permettra d'orienter l'apprenant vers des situations pertinentes d'apprentissage, que ce soit en provoquant des situations de travail dégradées (anomalies matérielles, pression temporelle...), en amenant le déclenchement de risques particuliers (le personnage virtuel oublie de vérifier la vacuité d'une cuve, ce qui déclenche un débordement lors du chargement), ou au contraire en les prévenant (le personnage virtuel repère que l'apprenant n'a pas ramené le levier de la vanne du camion et le lui signale, ce qui évite le déclenchement d'une fuite). Deuxièmement, elle permettra de motiver l'apprenant par le biais d'une mise en scène, en favorisant son implication émotionnelle dans une histoire. Nous pensons qu'insuffler une trame scénaristique permettrait une implication plus forte de l'apprenant dans la scène et son apprentissage. La scénarisation permettra également de contrôler le niveau de tension et de difficulté. En effet, afin que l'apprentissage soit efficace, nous souhaitons que la simulation reste adaptée au niveau de l'apprenant : si celui-ci semble submergé et avoir du mal à gérer ses différentes tâches en situation de stress, alors un personnage virtuel pourra lui venir en aide, tandis que si l'apprenant semble évoluer dans la simulation avec beaucoup de facilité alors au contraire les personnages virtuels pourront faire en sorte de lui compliquer la tâche. Enfin, cette scénarisation pourra permettre de rejouer des scénarios accidentels précis, ce qui est impossible à l'heure actuelle dans le cas de procédures collaboratives.

## **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier l'ANR/RNTL, les partenaires du projet V3S, ainsi que la région Picardie et le FEDER pour le financement de ces travaux.

## 6. Bibliographie

- [AMALBERTI 96] Amalberti, R., La conduite de systèmes à risques, Presses Universitaires de France, Paris, 1996.
- [AMOKRANE 10] Amokrane, K., Suivi de l'apprenant en environnement virtuel pour la formation à la prévention des risques sur des sites SEVESO, Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 2010, 240 p.
- [BROOKE 96] Brooke, J., « SUS : a quick and dirty usability scale », *Usability evaluation in industry*, pages 189-194. Taylor & Francis, Londres, 1996.
- [BURKHARDT et al. 06] Burkhardt, J. M., Lourdeaux, D., Mellet-d'Huart, D., « La réalité virtuelle pour l'apprentissage humain », *Le traité de la Réalité Virtuelle*, vol. 4 *Les applications de la Réalité Virtuelle*, pages 43-103. Presses de l'école des mines, Paris, 2006.
- [DEVILLERS 01] Devillers, F., « Langage de scénario pour des acteurs semi-autonomes », Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 2001.
- [EDWARD et al. 09] Edward, L., Lourdeaux, D., Barthès, J. P., « Cognitive Modeling of Virtual Autonomous Intelligent Agents Including Human Factors », *Proceedings of the 2009 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology WI-IAT '09*, vol. 3, IEEE Press, 2009.
- [EDWARD et al. 10] Edward, L., Amokrane, K., Lourdeaux, D., Barthès, J. P., « Knowledge representation : an ontology for managing a Virtual Environment », *Proceedings of ICAART 2010: the International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, Valence, INSTICC Press, 2010, p. 332-335.
- [GRATCH et al. 04] Gratch, J., Marsella, S., « A domain-independent framework for modeling emotion », *Cognitive Systems Research* 5, n°4, 2004, p. 269-306
- [HARPER 93] Harper, B., Norman, K., « Improving User Satisfaction: The Questionnaire for User Interaction Satisfaction Version 5.5 », *Proceedings of the 1<sup>st</sup> Annual Mid-Atlantic Human Factors Conference*, Virginia Beach, 1993.
- [HOLLNAGEL 93] Hollnagel E., *Human Reliability Analysis: Context and Control*, Academic Press, Londres, 1993.
- [LUENGO et al. 06] Luengo, V., Vadcard, L., Dubois, M., Mufti-Alchawafa, D., « Teleos : de l'analyse de l'activité professionnelle à la formalisation des connaissances pour un environnement d'apprentissage », *Actes des 17<sup>ème</sup> journées francophones d'Ingénieries des connaissances IC2006*, Nantes, 28-30 juin 2006.
- [MARION 10] Marion, N., Modélisation de scénarios pédagogiques pour les environnements de réalité virtuelle d'apprentissage humain, Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 2010, 197 p.
- [MIKROPOULOS et al. 11] Mikropoulos, T. A., Natsis, A., « Educational virtual environments : A ten-year review of empirical research (1999-2009) », *Computers & Education*, vol 56, n°3, 2011, p. 769-780.
- [PEINADO et al. 08] Peinado, F., Cavazza, M., Pizzi, D., « Revisiting character-based affective storytelling under a narrative BDI framework », *Interactive Storytelling*, 2008, p. 83-88.
- [SCAPIN et al. 01] Scapin D., Bastien J., « Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD\* », *Analyse et conception de l'IHM. Interaction ergonomique pour les SI*, pages 85-116. Hermes, Paris, 2001.
- [VAN DER VEER et al. 96] van der Veer G., Lenting B., Bergevoet B., « Gta : Groupware task analysis – modeling complexity », *Acta Psychologica*, n°91, 1996, p. 297-322.

---

## Apprentissage autour d'une table interactive

### Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain)

**Alistair Jones\***, **Dominique Lenne\***, **Atman Kendira\*\***, **Thierry Gidel\*\***, **Claude Moulin\***, **Jean-Paul Barthès\***

\* *Laboratoire Heudiasyc, UMR - CNRS 6599  
Université de Technologie de Compiègne  
Centre de Recherche de Royallieu  
60205 COMPIÈGNE Cedex*

\*\* *Laboratoire Costech, EA 2223  
Université de Technologie de Compiègne  
Centre Pierre Guillaumat  
60203 COMPIÈGNE Cedex*

{*alistair.jones | dominique.lenne | atman.kendira | thierry.gidel |  
claude.moulin | jean-paul.barthes*} @utc.fr

---

*RÉSUMÉ. Dans cet article, nous traitons des questions de collaboration et de comportement humain pour des séances d'apprentissage en groupe colocalisé autour d'une grande table interactive. Pour cela nous présentons d'abord un état de l'art sur l'apprentissage collaboratif autour d'une table et sur les choix de critères ergonomiques à prendre en compte pour l'évaluation de la table que nous avons conçue. Nous présentons une expérimentation réalisée lors d'une phase de conception préliminaire effectuée sur notre table interactive. Les ressentis des utilisateurs sont analysés à partir de questionnaires subjectifs et les comportements collaboratifs sont analysés à partir d'annotations vidéos.*

*MOTS-CLÉS: apprentissage, collaboration, table tactile*

---

## 1. Introduction

Le domaine de l'apprentissage collaboratif fait souvent appel aux nouvelles technologies pour rendre les séances d'apprentissage plus efficaces. Ce domaine, qui a comme objectif de faciliter l'échange et la création de connaissances, doit pouvoir bénéficier de l'apport des tables interactives. Dans notre quotidien, les tables ont plusieurs fonctions : elles peuvent aussi bien être le support de notre travail, de nos repas, que de nos réunions d'équipe. Les rendre interactives permet d'augmenter l'expérience utilisateur dans de nombreuses situations grâce à la collaboration et à la communication qu'elles engendrent.

Le projet TATIN - Table Tactile INteractive - initié par l'Université de Technologie de Compiègne [KENDIRA 10] a pour objectif d'explorer une nouvelle voie dans le domaine de l'apprentissage assisté par des dispositifs innovants d'interaction tactile, multipoints et multiutilisateurs. Son approche est articulée autour de deux axes conduits parallèlement : une réflexion sur la conception d'une table de taille suffisante pour constituer un espace de formation et de collaboration et une recherche sur les usages et les méthodologies qu'un tel environnement requiert ou fait naître. L'objectif est de construire un prototype fonctionnel de table interactive (matériel & logiciel) qui permet de tester les scénarios d'usage appropriés afin d'optimiser le processus de conception collaborative. Parmi les phases de conceptions préliminaires, certaines font appel aux méthodes d'apprentissage collaboratif.

Dans cet article, nous traitons des questions d'ergonomie et de comportement humain lors des séances d'apprentissage en groupe colocalisé. Nous commençons par présenter notre état de l'art sur l'apprentissage collaboratif autour d'une table puis nous détaillons notre choix de critères ergonomiques à prendre en compte pour l'évaluation de la table TATIN. Ensuite nous présentons une expérimentation réalisée lors d'une phase de conception préliminaire de projet. Les résultats de notre questionnaire d'évaluation subjective et des vidéos des séances de collaboration sont également présentés. Nous terminons par une discussion autour des sujets évoqués et la présentation des futures étapes du projet.

## 2. État de l'art

Lipponen examine les théories de l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur en soulignant l'importance de la coconstruction des connaissances [LIPPONEN 02]. L'apprentissage collaboratif suppose un engagement mutuel des différents participants ; en s'appuyant sur les travaux de Cole et Wertsch (1996) il considère que la connaissance est distribuée et émerge des interactions entre les individus et de celles avec leur environnement [SULAIMAN 10].

Une table interactive est un dispositif particulièrement adapté à l'apprentissage collaboratif. Selon Morris, les tables conventionnelles présentent des avantages ergonomiques par rapport aux tableaux blancs [MORRIS 04]. Elles permettent une meilleure collaboration et s'adaptent mieux à différents type d'artefacts (papier, stylo, ordinateur portable, etc.). En concevant une table interactive, le but est d'augmenter les interactions entre les utilisateurs et de fournir de nouvelles fonctionnalités qui rendent les séances plus effectives. La gamme des tables interactives est large. Elle va des tables monoutils/monotactiles aux tables multiutilisateurs et multitactiles. Certaines tables expérimentales permettent de détecter des objets tangibles [KUBICKI 09], d'identifier les

utilisateurs [DIETZ 01], ou de proposer des interactions multimodales [HUNTER 09]. Celle que nous avons conçue dans le cadre du projet TATIN est une table interactive de grande dimension accueillant jusqu'à 8 utilisateurs, tout en permettant des interactions multitactiles. Elle autorise les interactions bimanuelles, ce qui permet aux utilisateurs d'interagir de façon naturelle et facilite l'apprentissage par une focalisation sur des tâches de haut niveau [SULAIMAN 10].

Sulaiman et Oliver [SULAIMAN 10] ont analysé des séances de collaboration autour d'une table classique afin de définir une liste des besoins nécessaires pour l'apprentissage autour d'une table interactive. Selon leur protocole, les participants devaient lire et annoter des articles pendant une phase individuelle et ensuite partager leurs annotations et leurs idées dans une phase de collaboration pour préparer une soutenance orale de cinq minutes. En analysant les vidéos de leurs expérimentations, ils ont identifié deux besoins importants : la communication verbale et non instrumentée (le dispositif ne doit pas encombrer la conversation) et la communication non-verbale et non instrumentée (le dispositif ne doit pas encombrer les gestes, les postures, et les regards qui indiquent l'état des utilisateurs et le niveau de coordination entre eux). Nous avons pris en compte ces deux critères ergonomiques dans nos expérimentations pour mesurer les effets de notre dispositif.

### 3. Méthodologie

La table interactive TATIN utilise deux vidéos projecteurs permettant de restituer une image finale double Full HD de 83 pouces (1m60 x 1m40). Un dispositif optique constitué de lasers plans infrarouges, de miroirs et de caméras infrarouges permet la détection multitouche des utilisateurs (technologie LLP) [SCHONING 08]. Pour évaluer la collaboration en coprésence sur des tables interactives et face à des situations traditionnelles d'apprentissage, nous avons mené des expérimentations portant sur la simulation d'une tâche de conception collaborative : le brainstorming (Figure 1).



**Figure 1** : La phase de catégorisation dans la condition 'table interactive' (gauche) et la condition de contrôle (droite).

Ces séances de brainstorming permettent de générer des fonctions à partir d'un thème donné en offrant aux apprenants la possibilité de noter leurs idées sur des post-it individuellement. Les fonctions sont ensuite mises en commun, regroupées, classées et catégorisées. Le protocole prévoit de confronter les résultats des séances de brainstorming effectuées en condition contrôle (sur une table conventionnelle avec post-it en papier /

crayon) à des séances de brainstorming sur la table TATIN (via un logiciel de création de post-it numériques intitulé BrainTouch<sup>©</sup>) (Figure 2).

Dans la condition TATIN, le brainstorming s'organise donc autour de post-it et de Polaroids virtuels. Les utilisateurs peuvent les déplacer (possibilité de les lancer avec une certaine inertie), les redimensionner, les réorienter, ou les stocker dans leur base d'idées en déplaçant leur clavier. Ils ont également la possibilité de réaliser un groupement de post-it pour faciliter le déplacement et la catégorisation de ces derniers. Pour ce faire, il suffit d'entourer un groupe de post-it avec un doigt. Ces groupes peuvent être défaites de la même manière.



**Figure 2 :** Une capture d'écran de BrainTouch pendant un des séances de brainstorming. Les six utilisateurs saisissent leurs idées en utilisant un des claviers virtuels. Après avoir tapé le mot, ils peuvent créer leur post-it (à l'aide de la touche "entrée") ou effectuer une recherche d'image avec la phrase saisie (touche "Flickr"). Lorsque la recherche d'image est terminée, ils en sélectionnent une pour créer un Polaroid. Les post-it et les Polaroids peuvent être supprimés en les faisant glisser dans une des icônes corbeilles.

Ces expérimentations ont mobilisé un total de 48 utilisateurs répartis en 8 groupes de 6. Les groupes étaient composés de 2 catégories : 34 élèves ingénieurs de 20 à 25 ans et 14 personnes de 24 à 50 ans. Chaque séance a permis à un groupe d'expérimenter les deux conditions (contrôle et TATIN) à la suite. Il y a eu 8 séances au total avec un contrebalancement entre les groupes sur l'ordre de passage des conditions et sur les sujets traités pour les brainstormings. Ceux-ci ont porté sur la conception d'un *calendrier partagé pour une famille* et sur celle du *couteau-suisse du XXIème siècle*. Les séances ont duré 3 heures pour chaque groupe et se sont succédé au rythme d'une par après-midi pendant 2 semaines. Chaque après-midi était divisé en deux grandes parties qui correspondaient aux deux conditions expérimentales. Les brainstormings duraient 30 minutes, répartis comme suit :

- 8 minutes de création individuelle de post-it : les participants notaient une idée sur chaque post-it,
- 10 minutes de mise en commun : chaque participant devait présenter ses idées au groupe,
- 12 minutes de catégorisation : le groupe devait faire le nettoyage sémantique (suppression des doublons) et le regroupement sémantique des post-it créés en attribuant un nom à chacune des catégories. (Figure 1)

Les expérimentations ont été filmées et les vidéos analysées afin d'observer et d'évaluer les performances de créativité et les comportements collaboratifs. Le dispositif comprend trois caméras recueillant des images sur des points de vue différents et un microphone pour enregistrer les sons de la séance. Chacune d'elles est contrebalancée de la manière suivante : après la condition TATIN, un questionnaire destiné à l'évaluation subjective de l'expérience est rempli par chaque participant. Après la réalisation des deux conditions, un nouveau questionnaire portant sur la comparaison entre les deux est rempli.

Les séances d'expérimentation ont permis de recueillir deux types de données :

1. l'évaluation subjective des utilisateurs par le recueil de leurs avis concernant la table interactive, l'application, les méthodes de communication, et les différences avec la situation de référence papier/crayon, etc.
2. l'analyse vidéo de la répartition des temps de parole des participants.

Dans chacun des questionnaires, les participants évaluent des critères subjectifs de leur expérience à l'aide d'une échelle de Likert à sept niveaux. Ils peuvent également ajouter des commentaires écrits relatifs à chacun des critères évalués. En effet, les mécanismes sociaux en jeu dans une séance de brainstorming sont susceptibles d'être modulés par la distance entre les participants (dimensions de la table) et par la taille du groupe.

## 4. Résultats

Nous présentons ici les résultats statistiques extraits des questionnaires auxquels les participants ont répondu, ainsi que l'analyse et l'annotation des vidéos.

### 4.1. Les questionnaires

Ces questionnaires portent sur la perception subjective des utilisateurs dans chacune des conditions : brainstorming papier (condition contrôle) et brainstorming sur la table multitactile (condition TATIN). Les variables observées sont : la facilité d'utilisation, l'efficacité, l'agréabilité, la motivation, le caractère ludique, etc.

Le critère qui caractérise le plus l'expérience utilisateur en condition table interactive est le caractère ludique de la séance de brainstorming ( $\bar{T} = 6,33$  vs  $\bar{p} = 4,77$  ;  $t(47)=6,67$ ,  $p<0,001$ )<sup>1</sup>. Nous notons une motivation supérieure pour la condition table tactile ( $\bar{T} = 5,80$  vs  $\bar{p} = 5,38$  ;  $t(47) = 5,6$ ,  $p<0,001$ ) mais surtout des commentaires d'utilisateurs qui

---

<sup>1</sup>  $\bar{T}$  correspond à la *moyenne* observée sur la condition TATIN ;  $\bar{p}$  correspond à la *moyenne* observée sur la condition contrôle ;  $t$  correspond au *test de student* ;  $p$  correspond à la *p-value* (valeur de significativité).

insistent sur l'effet motivant des fonctionnalités proposées en condition TATIN. Son caractère ludique et la motivation qu'elle engendre rendent la collaboration plus agréable ( $\bar{T} = 5,83$  vs  $\bar{p} = 5,35$  ;  $t(47) = 2,23$ ,  $p = 0,03$ ) en favorisant les échanges (verbaux et post-it) et en améliorant l'aspect proxémique.

En condition TATIN, la facilité s'est révélée moins bonne qu'en condition contrôle ( $\bar{T} = 5,04$  vs.  $\bar{p} = 5,35$  ;  $t(46) = 4,36$ ,  $p < 0,001$ ). L'efficacité de la collaboration a également été jugée supérieure en condition contrôle ( $\bar{T} = 5,11$  vs  $\bar{p} = 5,62$  ;  $t(46) = 2,19$ ,  $p = 0,034$ ) Quelques éléments permettent d'expliquer ces différences :

- La dimension novatrice de l'outil TATIN nécessite une phase d'apprentissage pour l'utilisateur, dont la durée n'a sans doute pas été suffisamment prise en compte dans notre expérimentation. Nous pouvons donc supposer qu'avec une période d'adaptation plus longue, les utilisateurs se seraient plus à l'aise dans son usage.
- L'écriture du texte sur la table tactile sans périphérique de saisie tangible est plus lente et plus laborieuse que sur un post-it avec un crayon.
- Pendant notre expérimentation, les utilisateurs ont rencontré quelques difficultés avec la partie logicielle de la table (bug) qui a dégradé leur perception de la facilité d'usage. Cette impression de facilité d'utilisation pourrait être améliorée par une meilleure mise au point.

On pourra trouver dans [LEHOUX 10] une analyse plus détaillée des résultats des questionnaires.

#### 4.2. L'analyse des vidéos

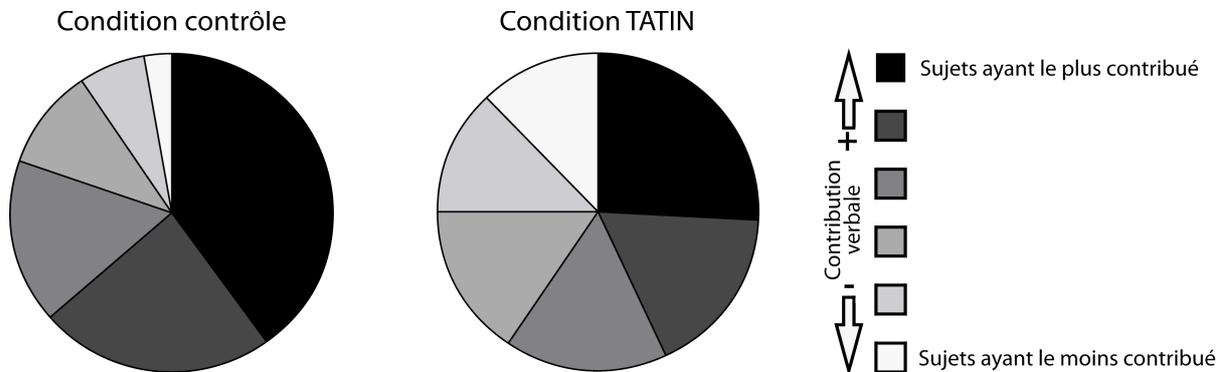
Les vidéos prises lors des séances de collaboration ont été analysées, et les comportements collaboratifs ont été annotés en utilisant le logiciel ANVIL [RASOULIFAR 09]. Cela nous a permis d'annoter les comportements de communication suivants : les conversations (le partage d'une idée), les requêtes d'information (pour préciser une idée), les requêtes d'action (pour faire passer un post-it), les réponses aux questions, les expressions d'opinions (concernant la tâche ou non). Nous cherchons également à mesurer l'influence du comportement non verbal en situation de collaboration. 5 catégories de comportements non verbaux ont été codés [EKMAN 69] : les déictiques (gestes de pointage qui servent à désigner quelque chose dans l'environnement), les adaptateurs, (mouvements dits de "confort" comme les gestes d'auto-contact, de manipulations d'objets, de grattages ...), les métaphoriques (gestes illustrant un contenu discursif et représentant par analogie une action, un objet, un lieu, un mouvement ...), les ponctuateurs (gestes de scansion, de ponctuation qui rythment le discours) et les interacteurs (gestes de la main et/ou d'orientation de la tête et/ou du tronc à l'adresse d'autres interlocuteurs).

Les premières analyses des patterns de collaboration nous montre que les contributions verbales des participants (somme des comportements verbaux) sont significativement plus équilibrées pour la condition table multitactile que pour la condition de contrôle ( $F(1/76)=7,93$ ,  $p=0,013$ )<sup>2</sup> (Figure 3). Les résultats confirment que la condition TATIN est,

---

<sup>2</sup> F correspond à la teste de Fischer ; p correspond à la *p-value* (valeur de significativité)

de manière significative, plus proche d'une séance idéalement équilibrée. Les résultats montrent de manière analogue que pour les gestes de communication la condition TATIN est plus équilibrée que la condition contrôle ( $F(1/76)=8,94$ ,  $p=0,007$ ).



**Figure 3 :** Les participants sont classés en fonction de leur contribution à la conversation pour les deux conditions. Ceux qui ont contribué le plus, les leaders, figurent en noir, et ceux qui ont contribué le moins, les suiveurs, sont en blanc.

## 5. Discussion

Les commentaires recueillis dans les questionnaires mettent en avant l'attrait pour la nouvelle technologie, en particulier pour les fonctionnalités relatives à la conduite du brainstorming : possibilité d'ajouter des images, inertie des post-it numériques facilitant le déplacement et l'échange, possibilité de grouper des post-it pour les catégoriser et les déplacer par groupes. En effet, les fonctionnalités et les modalités d'interaction permises par la table facilitent les séances de créativité et améliorent l'envie d'accomplir la tâche.

Nos observations sur la répartition de la parole lors des réunions classiques corroborent les conclusions de Sulaiman et Olivier [SULAIMAN 10] qui établissent que les échanges s'effectuent principalement entre les deux participants les plus actifs. Nos résultats s'accordent également avec ceux du projet DigiTable concernant l'évaluation subjective des séances de créativité effectuées dans les mêmes conditions [BUISINE 07]. On remarque également une plus forte motivation pour l'usage de la table tactile ainsi qu'une meilleure répartition des participants autour de la table.

Nos expérimentations se sont appuyées sur deux des besoins établis par Sulaiman et Olivier : les communications verbale et non verbale non instrumentées. Leurs travaux ont aussi montré la nécessité de faciliter le repositionnement spatial des artefacts [ACKAD 10] et la nécessité d'utiliser des outils interactifs tels que des stylos. Ces deux thèmes ont été choisis comme sujets d'expérimentation pour la prochaine étape de notre projet appelé TATIN-PIC (Table Tactile INteractive - Plate-forme Intelligente de Conception). Ce projet, financé par la région Picardie, a pour objectif de réaliser une plate-forme de collaboration utilisant une nouvelle table multiutilisateurs et multipoints, couplée à un tableau interactif et à des systèmes vocaux. Les participants seront de plus assistés par des agents personnels.

## Remerciements

Ce projet est cofinancé par l'Union Européenne et par la région Picardie. L'Europe s'engage en Picardie avec le Fond européen de développement régional.

## 6. Références

- [ACKAD 10] Ackad, C. J., Collins, A., Kay, J. « Switch: Exploring the design of application and configuration switching at tabletops ». In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '10*, ACM Press, New York, NY, USA, 2010, p. 95-104.
- [BUISINE 07] Buisine, S., Besacier, G., Najm, M., Aoussat, A., Vernier, F. « Computer-supported creativity: Evaluation of a tabletop mind-map application », In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, HCII '07, Lecture Notes in Computer Science*, 2007, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.22-31.
- [DIETZ 01] Dietz P.H., Leigh D., « Diamondtouch: A multi-user touch technology », In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Orlando, USA, 2001, p. 219-226.
- [EKMAN 69] Ekman, P., Friesen, W.V., « The repertoire of nonverbal behavior: Categories, origins, usage, and coding. » *Semiotica*, Vol. 1, 1969, p. 49-98
- [HUNTER 09] Hunter, S. MemTable : contextual memory in group workspaces. Thèse de master, Massachusetts Institute of Technology Press, 2009.
- [KENDIRA 10] Kendira, A. and Jones, A. and Lehoux, G. and Gidel, T. and Buisine, S. and Lenne, D. « Project TATIN: creativity and collaboration during a preliminary product design session using an interactive tabletop surface », *IDMME Virtual Concept 2010*, pp. 158-164, 2010
- [KUBICKI 09] Kubicki, S., Lepreux, S., Kolski, C., Perrot, C., Caelen, J., « TangiSense: présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables », In *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, IHM '09*, ACM, New York, NY, USA, 2009 p. 351-354.
- [LEHOUX 10] Lehoux, G., Kendira, A., Gidel, T., Buisine, S. « Projet TATIN : Vers l'analyse de la créativité en phase de conception préliminaire collaborative autour d'une table interactive ». In *CONFERE'10*, Sousse, Tunisie, 2010.
- [LIPPONEN 02] Lipponen, L., « Exploring foundations for computer-supported collaborative learning », In *Proceedings of the Conference on Computer Support for Collaborative Learning: Foundations for a CSCL Community, CSCL '02*, Boulder, CO, USA, 2002, International Society of the Learning Sciences, p. 72-81.
- [MORRIS 04] Morris, M. R., Ryall, K., Shen, C., Forlines, C., Vernier, F., « Beyond "social protocols": multi-user coordination policies for co-located groupware », In *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work, CSCW '04*. ACM, New York, NY, USA, 2004, p. 262-265.
- [RASOULIFAR 09] Rasoulifar, R., Meillon, B., Thomann, G., Villeneuve, F., « Observation, Annotation and Analysis of Design Activities: How to Find an Appropriate Tool », In *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design, ICED'09*, vol. 5, 2009, p.193-204.
- [SCHONING 08] Schöning J., Brandl P., Daiber F., Echtler F., Hilliges O., Hook J., Löchtefeld M., Motamedi N., Muller L., Olivier P., Roth T., Zadow U., *Multi-Touch Surfaces: A Technical Guide*, Technical University of Munich, Munich, Germany, 2008.
- [SULAIMAN 10] Sulaiman, K., Olivier, P., « Exploring the requirements of tabletop interfaces for education », *International Journal of Learning Technology*, vol. 5, n° 1, Inderscience Enterprises Ltd, 2010, p.42-62.

---

# Place de la réalité mixte dans les Serious Games

## Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain)

**Florent Delomier\*, Bertrand David\*, René Chalon\*, Franck Tarpin-Bernard \*\***

\* Ecole Centrale de Lyon, LIESP  
F-69134, Ecully, France  
florent.delomier@ec-lyon.fr  
bertrand.david@ec-lyon.fr  
rene.chalon@ec-lyon.fr

\*\* Université de Grenoble, CNRS, LIG  
F-38041, Grenoble, France  
Franck.Tarpin@ujf-grenoble.fr

---

*RÉSUMÉ. Les jeux sérieux sont pour l'instant soit réalisés intégralement dans le monde réel soit intégralement réalisés dans un environnement virtuel. En utilisant des environnements de réalité mixte, il est possible d'exploiter et coupler les avantages issus des deux mondes. Nous présentons dans cet article notre réflexion sur l'adaptation d'une activité présente dans un Serious Game en environnement non informatisé vers un environnement utilisant des interfaces tangibles. Il s'agit de mettre en valeur, dans notre cas d'étude, différentes possibilités d'utilisation d'interfaces tangibles dans un scénario en relation avec l'apprentissage visé.*

*MOTS-CLÉS: Interface Tangible, Réalité mixte, Serious Games, Interaction avancée.*

---

### 1. Cadre du projet

Dans le cadre du projet SEGAREM, nous cherchons à étudier l'introduction de la réalité mixte dans les Serious Games dits « learning games ». Ces Serious Game sont des « environnements informatisés utilisant des ressorts ludiques pour favoriser des apprentissages ». Cet outil d'apprentissage se base sur des méthodes utilisant l'affect pour rendre l'apprentissage plus rapide, plus efficace, plus accessible.

De nombreux jeux (sérieux) utilisés dans le cadre de la formation d'ingénieur en Génie Industriel de l'INSA de Lyon [PREVOT 09] reposent sur la mise en situation des apprenants à travers des scénarios pédagogiques faisant interagir acteurs humains et agents artificiels dans des situations individuelles ou collaboratives. Dans ces jeux, certains apprenants se heurtent à la décontextualisation de la situation d'apprentissage : ils peuvent en effet avoir du mal à utiliser des connaissances, compétences, savoir-faire appris dans un contexte d'utilisation différent.

Aussi, l'utilisation d'EIAH peut conduire à une trop grande artificialité : en centrant les intentions pédagogiques sur des points très formels, on peut simplifier certaines actions et perceptions des éléments présents dans l'environnement d'utilisation des connaissances apprises. Ces éléments se retrouvent tellement simplifiés et abstraits qu'ils en deviennent exclus de l'apprentissage. Pour cela nous proposons d'intégrer dans les Serious Games des technologies de réalité mixte par l'intermédiaire d'interfaces tangibles.

### 2. Réalité mixte et apprentissage

Atelier IHM avancées pour l'apprentissage, Conférence EIAH, Mons 2011

La réalité mixte désigne les environnements intégrant des systèmes interactifs associant objets réels et données informatiques de manière cohérente [MILGRAM et al. 94]. En réalité augmentée, des informations numériques contextualisées sont utilisées pour enrichir la perception du monde réel par l'utilisateur (interaction homme-monde réel augmentée), alors qu'en virtualité augmentée, les capacités interactives de l'utilisateur sont augmentées (interaction homme-machine augmentée), en utilisant des objets réels et/ou des mouvements dynamiques comme support de l'interaction.



Les termes « objet physique » et « objet numérique » désignent ici des objets issus du monde « réel » et du monde « numérique ». Un objet physique peut cependant posséder des capteurs pour que celui-ci puisse communiquer son état, et, de la même manière, un objet numérique peut être représenté physiquement (sur un écran par exemple) sans que ce soit un objet mixte. Un objet étant mixte si celui-ci possède des composantes (propriétés ou possibilités d'actions) physique et numérique.

La réalité mixte peut constituer un support très utile dans différents domaines dont l'apprentissage. Cependant, selon les types de connaissances, qu'elles soient abstraites ou concrètes, théoriques ou pratiques, le support d'apprentissage à privilégier n'est pas le même.

## ***2.1. Apports des interfaces tangibles aux Serious Games***

L'introduction de ces technologies a, pour nous, deux niveaux d'impact : faciliter l'apprentissage par une plus grande immersion dans le contexte concret et permettre un apprentissage mal appréhendé par des environnements d'apprentissage humain non mixte.

### ***2.1.1. Nouveaux apprentissages***

Lorsque l'apprentissage fait intervenir des gestes techniques, l'apprentissage en réalité mixte est instrumenté, que ce soit directement sur l'acteur (capteurs), à distance (reconnaissance vidéo par exemple), ou encore en utilisant des dispositifs appropriés qui ce soit des outils ou des objets (accéléromètre, bras haptique..). La visualisation du geste sur un écran, son contrôle par des capteurs placés sur la main, l'utilisation d'un système haptique sont autant de moyens pour faciliter l'apprentissage et le contrôle de la réalisation du bon geste. Des outils ont déjà été développées dans le domaine de la chirurgie [MARESCAUX et al. 06] ou, dans l'industrie, pour l'apprentissage des gestes de soudure [PARK 07]. Ces environnements donnent une plus grande importance à la précision et à la fidélité du geste technique.

### 2.1.2. Amélioration des méthodes d'apprentissages existantes dans les Serious Games

L'utilisation d'interface tangible [ISHII et ULLMER 97] est privilégiée dans certains environnements cherchant à apprendre des concepts abstraits : « System blocks » [ZUCKERMAN et al. 05], basé sur la manipulation de blocs pour faciliter la compréhension de concepts mathématiques. L'utilisation d'objets physiques et d'objets numériques assurerait une compréhension plus complète de ces notions abstraites [STEDMON 01]. Ainsi, montrer un objet physique et les notions abstraites qui lui sont associées, comme par exemple son processus de conception ou sa manière d'être utilisé, peut être utile. Cette association permet aussi de faciliter la représentation des relations spatiales entre les différentes entités [SHELTON & HEDLEY 03]. L'utilisation d'interface tangible permet à l'utilisateur à la fois une manipulation des objets réels pour permettre l'interaction et l'accès à des informations complémentaires permettant une meilleure mémorisation.

Des dispositifs de réalité augmentée permettent la réalisation de tâches selon certaines règles et selon un certain ordre [CHALON et al. 06]. Ce type d'apprentissage utilise des techniques du « Learning by doing » (*apprentissage par l'action*) dans un contexte d'apprentissage situé. Il existe un lien de cause à effet entre l'utilisation d'une gestuelle et le processus de mémorisation de cette gestuelle.

En permettant la concrétisation d'objets abstraits, d'actions et d'informations supplémentaires, l'utilisation de réalité mixte semble donc sensée.

## 2.2. Problématiques traitées

Ces raisons orientent nos recherches vers l'étude d'utilisation d'objets réels comme supports physiques des concepts à apprendre. Notre approche vise à trouver de bonnes configurations en termes de « tangibilité » pour l'apprentissage de connaissances, de compétences et de savoir-faire à l'aide d'un Serious Game. L'utilité de la mise en place d'objets physiques et de la manière de les utiliser dans un contexte donné constitue notre fil d'Ariane.

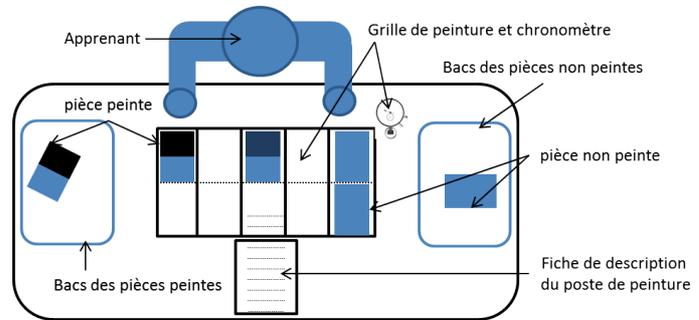
Il s'agit donc choisir une activité abstraite, d'identifier l'apprentissage visé et d'étudier les différentes possibilités d'utilisations d'interfaces tangibles pour cette activité. Pour cela il faut d'abord mettre en valeur les entités pouvant, selon les cas, être « tangibilisées » ou numérisées. Nous présentons cette approche à l'aide d'une étude de cas.

## 3. Cas d'étude

### 3.1. Présentation de l'activité transposée

Le cas d'étude porte sur la transposition d'un jeu d'entreprise [THE BUCKINGHAM LEAN GAME] utilisé en présence d'un tuteur qui guide les élèves dans la progression du jeu. Ce jeu d'entreprise, utilisé pour des groupes de 10-20 personnes, **d'appliquer et consolider les connaissances et méthodologies apprises dans le cadre d'une formation en LEAN Manufacturing** (méthode d'amélioration continue et de suppression des gaspillages dans les systèmes de productions).

Un expert pédagogique, qui utilise le jeu dans son cours, nous a fait part des objectifs pédagogiques (besoin en termes de compétences métier) des différentes phases du jeu. Ce jeu, utilisé sans support informatique, se base sur une simulation d'une chaîne de construction d'un montage de à base de LEGO, où les élèves sont des opérateurs la chaîne de montage. Chacun d'eux a un rôle spécifique dans la transformation des pièces de LEGO. Après chaque itération, le groupe propose, puis met en œuvre des améliorations quant à l'organisation de la chaîne de montage et vérifie leurs impacts. Chacun des apprenants est ainsi opérateur puis décideur. Ce double point de vue leur permet de voir certaines des problématiques de l'opérateur et se rendre compte de la complexité d'une chaîne de production.



Notre cas d'étude porte sur l'activité d'un des opérateurs, responsable du poste de peinture. Celui-ci transforme abstraitement des pièces non peintes en des pièces peintes. Pour cela, celui-ci prend les pièces à peindre deux par deux dans le bac des pièces non peintes, les déplace successivement dans différentes cases (2 fois 5 cases) pour simuler différentes étapes de l'acte de peindre, puis les met dans le bac de pièces peintes. Lorsque la pièce est arrivée à la dernière case, celle-ci est considérée comme peinte. Quand l'opérateur a fini l'opération, il déplace les pièces peintes vers un bac en sortie, où celles-ci sont accessibles pour l'opérateur responsable de la prochaine transformation.

Nous avons identifié les différentes entités ayant un rôle dans l'activité présentée : l'« *apprenant* », acteur de l'activité, « *les pièces de Lego* », objets sur lesquels porte l'activité « *Peindre les pièces en série* » sur « *la zone de peinture* », lieu où les pièces de Lego peuvent être peintes. « *Les bacs* », zone d'entrée et de sortie des pièces qui permettent à l'opérateur et au suivant d'accéder aux pièces. Les « zones » correspondent aux « bacs » et à la zone de peinture. L'opérateur doit déplacer « les pièces de Lego » du bac d'entrée à la zone de peinture, puis au bac de sortie.

Chacune de ces différentes entités peut être instanciée sous plusieurs formes, et être plus ou moins proche de leurs équivalents dans la situation d'utilisation des connaissances sous-jacentes. Les entités identifiées jouent des rôles différents dans l'activité : certaines sont acteurs de l'action, d'autres cibles de l'action et d'autres réalisent ces actions en elles-mêmes. Nous ne parlons pas ici de transposition numérique de l'opérateur humain (en agent informatisé), puisque notre cas ne présente pas l'aspect collaboratif du Serious Game. Cependant, dans certains cas (si par exemple le jeu prévoit un nombre fixe de participants), il est utile de pouvoir utiliser des agents numériques pour, par exemple remplacer des apprenants manquants par des avatars numériques.

### 3.2. Différentes configurations envisagées

Ces différentes entités (apprenant, pièces, ...) sont représentables de manière physique, mixte ou numérique. La transposition de cette activité dans notre environnement de travail nous laisse donc de nombreuses possibilités de combinaison des différents éléments.

En reprenant des notions issues d'un modèle de description de l'environnement de réalité mixte [CHALON et al. 06] nous allons formaliser ces différents éléments comme étant des tâches, objets du domaine de la tâche, outils de la tâche et l'environnement de la tâche. Un **objet du domaine de la tâche** étant l'objet sur lequel se porte l'intérêt de l'utilisateur pour une activité (les pièces de Lego). Cette activité est caractérisée par une **action**, modification du comportement ou/et d'attributs d'un objet du domaine de la tâche (peindre par exemple). Un **outil** peut-être le support d'une action (le pinceau pour peindre).

Les actions ne sont pas forcément incarnées dans l'utilisation de l'outil, il existe des cas où l'utilisateur les réalise directement (le déplacement des pièces par exemple) ou l'objet du domaine de la tâche peut posséder des capacités intrinsèques (par exemple si les pièces de notre cas d'étude pouvaient changer de forme sans aucune action de l'utilisateur).

#### 3.2.1. Perception des objets du domaine de la tâche

Deux de ces entités sont objets du domaine de la tâche : « les pièces à peindre » et « les zones ». Pour des questions de cohérence, chaque type d'objet doit être instancié de la même manière. Pour chaque type d'objet du domaine de la tâche, 3 possibilités sont envisagées : une où l'objet est physique, une où l'objet est numérique et une dernière où l'objet est mixte.

Ici, l'utilisation d'objets numériques peut permettre d'avoir un rendu visuel plus réaliste et de visualiser des zones peu accessibles de la pièce. En effet, si le montage des pièces de Lego permet d'avoir une vision schématique des pièces à assembler, de nombreux détails de l'objet simulé par les Legos ne sont pas présents. L'utilisation de pièces mixtes permet théoriquement de cumuler les avantages de l'utilisation d'objets physiques et d'objets numériques. Cependant, la perception de ces objets se fait à travers deux modalités : la vision et le toucher. Ainsi, un objet numérique peut avoir un rendu visuel photo-réaliste (encore plus dans le cas de l'utilisation de visualisation en relief) mais ne pourra pas (avec une technologie mature) permettre de réalisme tactile.

En rapport avec le nombre important de pièces dans la simulation, pour des raisons logistiques, la préférence est donnée à l'utilisation de pièces numériques, car les pièces ne sont pas en elles-mêmes porteuses de contenus pédagogiques.

Pour les objets «zones», une représentation physique permet d'être échangé physiquement par les participants. Entant donné la présence d'un manutentionnaire ayant pour rôle de déplacer dans des bacs les différents composants de postes en postes, une représentation physique du flux de la chaîne s'avère importante.

Le choix réalisé pour les pièces de Lego a une influence sur la nature de ces zones : si les pièces sont numériques, les zones ne peuvent être que numériques ou mixtes. En effet, lorsque l'on déplace une zone, les pièces sont déplacées avec elle. Les pièces sont pour la tâche de déplacement de la zone incluse dans celle-ci. Aussi, l'utilisation de pièces physiques impose l'utilisation de zones physiques ou mixtes pour la tâche de déplacement ou d'avoir un outil mixte qui réalise cette tâche.

### 3.2.2. Les actions réalisées sur les objets du domaine de la tâche

Nous distinguons également les différentes actions qui peuvent se trouver dans une tâche et qui s'appliquent à l'objet du domaine. Concrètement dans notre cas les pièces peuvent recevoir 2 actions : « peindre », « déplacer les pièces ». Chacune de ces actions peut être incarnée dans un objet (comme le pinceau pour l'action peindre). En rapport avec les objectifs pédagogiques visés, il est important dans notre cas, que l'apprenant soit en permanence à faire une action. Il ne faut donc pas simplifier les actions réalisées et encore moins les automatiser.

L'action « peindre » peut être réalisée en exécutant le geste simulant l'action de peindre dans un monde purement physique, en pointant les pièces à peindre par un doigt comme s'il utilisait un pistolet (avec ou sans le pistolet), par la présence de cette pièce dans la zone de peinture considérer que l'opération peindre s'effectue.

L'action « Déplacer les pièces », qui n'est pas incluse dans un outil dans la version non informatisée, peut potentiellement l'être, si, par exemple, l'apprenant doit s'habituer à utiliser des précautions de sécurité et ne pas manipuler les pièces directement.

## 4. Description du support

L'environnement utilisé dans notre Serious Game doit permettre de détecter à la fois la présence d'objets, de doigts, et de certains types d'outils (comme des stylos infra-rouges). Aussi, la prégnance de l'ordinateur se doit d'être limitée pour laisser la place à l'apprentissage et la collaboration. Ces caractéristiques nous ont orientés vers la mise en place d'un support spécifique : un **pupitre interactif augmenté**. Nous prévoyons à court terme de pouvoir connecter plusieurs pupitres : ainsi, nous pourrions prendre en compte des aspects collaboratifs. Pour l'instant un seul des pupitres est fonctionnel. La réalisation d'interface tangible est possible sur table interactive grâce à l'utilisation de caméras et de techniques de vision par ordinateur. La technique DSI (Diffused Surface Illumination) est utilisée pour détecter la présence d'objet et de doigts sur la table. L'application est réalisée sous AIR2.0 en utilisant le framework opensource [TUIO] comme protocole de communication, D'Fusion Player [TOTAL IMMERSION] pour la détection de la forme de la surface des objets présents sur la table.



## 5. Discussions

Le cas d'étude présenté dans cet article constitue une première concrétisation permettant la création d'une démarche pour la mise en place d'environnements de Serious Games Mixtes. Cette généralisation devrait permettre de créer un modèle facilitant l'évaluation de plusieurs types de configuration en fonction des tâches, des objets de la tâche, des outils, et d'autres entités responsables de la prise en compte numérique du contexte. Les différentes entités présentes sont décrites selon leurs degrés de réalisme perceptif (visuel et tactile) et leurs degrés de transitivité (de réalisme exécutif) des gestes à réaliser.

Puisque la distinction physique-mixte-numérique n'est pas suffisante pour décrire le degré de réalisme perceptif des différents objets présents, celle-ci va devoir être complétée.

Concernant l'exécution des actions de la part de l'utilisateur, nous pouvons caractériser le geste déclencheur de l'action « peindre » par son réalisme : un geste peut être transitif (geste de va et vient proche du geste courant lorsque l'on peint réellement), symbolique (geste simple associé à l'action à réaliser grâce à une relation), arbitraire (geste simple n'ayant pas de sens pour l'action à réaliser), ou même sans aucune action de l'utilisateur (l'action est réalisée automatiquement lorsque les pré-conditions sont remplies). Le geste transitif est le plus élaboré et le plus technique à mettre en place en réalité mixte. Il peut être utilisé dans les cas où l'apprenant doit apprendre le geste à réaliser ou dans des cas où la réalisation du geste peut-être intéressante pour un objectif pédagogique associé (ici les apprenants doivent être occupés en permanence, la réalisation d'un geste long est donc préconisée). Les gestes arbitraires et symboliques sont à utiliser dans les cas où le fait de réaliser une action est important, mais pas la manière de réaliser cette action. L'utilisation de gestes arbitraires est à proscrire dans le cas d'utilisation de nombreuses actions.

Concernant la présence ou non d'un outil, si l'activité simulée est normalement réalisée par un outil, l'utilisation d'un outil physique dans le serious game augmentera son niveau de réalisme.

## 6. Conclusion

Nous décrivons ici une activité présente dans un serious game et différentes alternatives pour la mise en place de cette activité. En fonction des différentes configurations choisies, nous pouvons rendre la situation plus ou moins artificielle, que ce soit au niveau de la perception ou de l'exécution.

Si à un type d'apprentissage ou à une méthode d'apprentissage, nous sommes capables de déterminer une configuration de réalité mixte, nous pourrions aider à la conception de Serious Games Mixtes.

L'identification de bonnes pratiques validées par la réalisation de tests précisera les bonnes configurations en termes de mixité en fonction du type d'apprentissage et des méthodes d'apprentissages associées.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la DGCIS (Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services) financeur du projet SEGAREM et les partenaires de ce projet Symetrix et Total Immersion pour leur collaboration.

### 6.1. Bibliographie

- [CHALON et al. 06] Chalon, R., David, B., & Champalle, O, «Conception de Systèmes Portés et Collaboratifs supportant la Réalité Mixte, Application à des Activités de Maintenance et de Dépannage», "*Premières journées de l'AFRV*", Rocquencourt, 2006, France.
- [ISHII et ULLMER 97] Ishii, H., & Ullmer, B, «Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms», *Proceedings of CHI '97, March 22-27, 1997*
- [MARESCAUX et al. 06] Marescaux J., Soler L., Rubino F. «Augmented Reality for Surgery and Interventional Therapy». *Operative Techniques in General Surgery*, Volume 7, 2006, pages 182-187.
- [MILGRAM et al. 97] Milgram, P. and Kishino, F. « A taxonomy of mixed reality visual displays », *IEICE Transactions on information Systems*, Vol E77-D, No.12, 1994. pages 1321-1329.
- [LIU et al. 07] Liu, W., Cheok A.D., Mei-Ling,C., Theng, Y.L., «Mixed reality classroom», *Proceedings of the 2nd international conference on Digital interactive media in entertainment and arts - DIMEA '07*, 2007, pages 65.
- [PARK et al. 07] M. Park, L. Schmidt, C. Schlick, H. Luczak, «Design and evaluation of an augmented reality welding helmet». *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, Volume 17, Issue 4, 2007, pages 317–330.
- [SHELTON & HEDLEY 03] Shelton, B. E. , Hedley, N. R., «Exploring a Cognitive Foundation for Learning Spatial Relationships with Augmented Reality». *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, Volume 1, No. 4, 2003, Philadelphia, PA: Old City Publishing.
- [STEDMON 01] Stedmon, ALEX W. «Re-viewing reality: human factors of synthetic training environments». *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 55, Issue 4, 2001, pages 675-698.
- [ZHONG et al. 03] Zhong, Liu, Georganas, & Boulanger., «Designing a Vision Based Collaborative Augmented Reality Application for Industrial Training». *IT-Information Technology*, 45, 2003, pages 7-18.
- [ZUCKERMAN et al. 05] Zuckerman, O., S. Arida, et M. Resnick., «Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives», *Proceedings of the SIG CHI conference on Human factors in computing systems*, 2005, pages 859–868.

### 6.2. Références sur le WEB.

- [PREVOT 09] Catalogue Serious Games pour la formation professionnelle à l'INSA de Lyon [http://gi.insa-lyon.fr/files/rte/Recapitulatif\\_jeux-v5.pdf](http://gi.insa-lyon.fr/files/rte/Recapitulatif_jeux-v5.pdf) , février 2011.
- [THE BUCKINGHAM LEAN GAME] Présentation du jeu d'entreprise utilisée dans la formation [http://picsie.co.uk/shop/product/the\\_buckingham\\_lean\\_game/](http://picsie.co.uk/shop/product/the_buckingham_lean_game/) , février 2011.
- [TOTAL IMMERSION] Logiciel D'Fusion CV, <http://www.t-immersion.com/en.interactive-kiosk.32.html>, février 2011.
- [TUIO] TUIO est un framework ouvert qui définit un protocole de communication et une API pour les surfaces multitouch et les interfaces tangibles. <http://www.tuio.org/>, février 2011.

# Les Cartouches, un concept d'interfaces tangibles, appliquées à l'apprentissage des jeunes enfants.

Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) – Atelier « IHM avancées pour l'apprentissage »

Guillaume Rivière<sup>\*</sup>, Katarzyna Borgiel<sup>+</sup>, Nadine Couture<sup>\*♦</sup>

\*

ESTIA

Technopôle Izarbel, 64210 Bidart, France

+

Université Paris-Descartes

12 Rue de l'Ecole de Médecine, 75006 Paris

♦

LaBRI, UMR CNRS 5800, Université Bordeaux I

351, cours de la Libération

33405 Talence, France

g.riviere @ estia.fr, kborgiel @ gmail.com, n.couture @ estia.fr

*RÉSUMÉ. Les interfaces homme-machine dites avancées offrent une interaction en situation de mobilité ou de collaboration, ou encore en utilisant des systèmes mixtes et en particulier des interfaces tangibles, dans lesquelles les données numériques sont incarnées par des objets physiques. En effet, dans certaines situations ces technologies tangibles permettent des expériences d'apprentissage qui n'auraient pas été atteintes par d'autres moyens. Cependant, ces nouvelles interfaces manquent souvent de représenter d'une manière tangible des actions de base comme lancer ou fermer une application, s'authentifier, sauvegarder, ou encore sélectionner un champ pour sélectionner une couleur, un fichier, etc.. Ainsi, ces systèmes conservent une part d'inachevé. Les Cartouches, qui sont un concept particulier d'interfaces tangibles, sont une proposition de réponse à cette problématique au sein de tout environnement informatisé. Nous étudions dans cet article l'utilisation des Cartouches pour la conception d'environnements d'apprentissages pour les jeunes enfants ne sachant pas encore lire. En effet, l'interaction tangible offre de nombreux avantages pour l'apprentissage, notamment à destination des jeunes enfants. Nous proposons d'implanter diverses opérations avec les Cartouches dans le contexte de l'apprentissage et soumettons un exemple de conception à réaliser pour une table interactive. Les Cartouches ouvrent la voie à la conception de nouveaux environnements d'apprentissage informatisés achevés.*

*MOTS-CLÉS : apprentissage ; enfants ; IHM avancées ; interfaces tangibles ; cartouches.*

## 1. Introduction

De nos jours, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) sont un élément inhérent du domaine de l'apprentissage et de l'enseignement. L'évolution des théories de l'apprentissage et le développement des technologies offrent en effet de nouvelles possibilités. De nombreux projets sont apparus en coopération entre les représentants des domaines de l'interaction homme-machine (IHM), de l'éducation et de la psychologie dans le contexte de l'apprentissage. Les interfaces homme-machine avancées

(post-WIMP), parmi lesquelles les interfaces utilisateur tangibles (TUI), font parties des pistes explorées. L'ambition des travaux sur les interfaces utilisateur post-WIMP est de passer outre le paradigme "fenêtre, icônes, menus et dispositif de pointage" (i.e. WIMP). Les TUIs s'inscrivent dans cette volonté de proposer de nouvelles formes d'interaction. Selon Ullmer et Ishii, les interfaces tangibles « donnent une forme physique à l'information numérique, en employant des artéfacts physiques à la fois comme représentation et contrôle pour la médiation de l'information numérique » [ULLMER & ISHII 00]. Par exemple, dans l'interface des Passive Props pour la neurochirurgie [HINCKLEY et al. 94] le modèle 3D d'un crâne (numérique) est incarné par une tête de poupée (physique). Une panneau rectangulaire permet alors au praticien de spécifier le plan de coupe (dans le modèle 3D) en positionnant la panneau autour de la tête de poupée. Un autre exemple est l'interface PinWheels [ISHII et al. 01] où le débit d'un réseau informatique est incarné par la vitesse de rotation de virevents installés au plafond (*ambient tangible*).

Un des enjeux actuels de l'interaction tangible est d'uniformiser certaines opérations communes à la plupart des systèmes informatisés. Dans [ULLMER et al. 08], une solution est proposée, les interfaces tangibles dites de base<sup>1</sup>. Ces tangibles de base ont pour rôle d'implémenter les opérations de type : lancement/fermeture d'applications, authentification, sauvegarde. Ces tangibles de base permettent d'aboutir à un système tangible fini et utilisable aisément sans avoir à recourir à la souris et au clavier. Ce besoin est particulièrement prégnant pour les outils d'apprentissage qui demandent une interaction soignée à toutes les étapes du processus d'apprentissage. En 2010, [ULLMER et al. 10], proposent les Cartouches, qui sont un concept particulier d'interface tangible de base, comme élément de base conventionnel (dimensions, signalétique, ...) pour concevoir certaines opérations.

Nous étudions dans cet article l'usage des Cartouches pour la conception d'environnements d'apprentissages pour les jeunes enfants ne sachant pas encore lire. Tout d'abord, nous développons l'argumentation en faveur des TUIs pour ce type d'apprentissage. Puis, nous présentons des travaux existants dans ce domaine. Ensuite, nous explorons l'implantation de certaines opérations avec des Cartouches. Enfin, nous illustrons les possibilités avec un exemple de table interactive.

## 2. Interfaces Tangibles et Apprentissage

Malgré le nombre des disciplines concernées par l'apprentissage et la diversité des populations cibles, l'apprentissage des enfants reste toujours un champ d'intérêt très élevé pour les recherches en nouvelles technologies. Cet intérêt s'explique notamment par un argument professionnel et techno-romantique [O'MALLEY & FRASER 04]. D'après le premier, il est important pour les jeunes personnes de devenir douées en technologies informatiques dans la perspective de leur vie professionnelle. Selon le deuxième, les technologies fournissent des expériences d'apprentissage qui n'auraient pas été atteintes par d'autres moyens. De ce fait, de nombreux exemples de TUIs sont apparus ces dernières années, dont plusieurs pour l'apprentissage et l'éducation. En effet, les interfaces tangibles sont un moyen novateur pour les enfants pour apprendre en jouant. De nombreuses interfaces tangibles sont classées comme des outils et des environnements d'apprentissage, avec plus d'opportunités pour le développement cognitif, linguistique et social qu'un système traditionnel des interfaces graphiques [SHAER & HORNECKER 09]. Des

---

<sup>1</sup> Le terme anglais est « core tangible » que nous proposons de traduire par tangible de base, contraction d'interface tangible de base.

recherches en psychologie et en éducation [O'MALLEY & FRASER 04] montrent que les TUIs peuvent produire de réels gains pour l'apprentissage. En effet, cette technologie place l'activité physique et la manipulation active au premier plan de l'apprentissage. Elle permet aux enfants et aux adolescents de combiner et recombiner, le connu comme le familier, de façons nouvelles ou inconnues.

Les interfaces tangibles permettent surtout l'élargissement des moyens d'apprentissage par l'utilisation des objets physiques pour manipuler des informations numériques et permettent de mettre en jeu toute la richesse du système sensoriel humain. En effet, en profitant du toucher en parallèle de la vision et de l'audition, cela permet de lier le niveau purement cognitif et abstrait du savoir avec son côté pratique, concret et tangible. Par exemple, le projet Brevie a permis l'élaboration d'une nouvelle interface tangible [ERNST et al. 99] comme outil pédagogique pour comprendre la structure et le fonctionnement d'un circuit à air comprimé complexe. L'étudiant construit une maquette physique du circuit pneumatique et simule ensuite numériquement la pression des flux d'air dans le circuit abstrait qu'il a imaginé. Il peut alors en repérer les éventuels dysfonctionnements, ce qui lui permet de revenir ensuite à son travail, pour le modifier.

Le sens du toucher a une grande valeur pour les enfants, il est pour eux une des premières manières de découvrir le monde qui les entoure, avant de savoir parler, lire ou écrire. En général la gestuelle favorise la réflexion et l'apprentissage, et l'interaction physique avec les objets permet d'entraîner les capacités perceptivo-motrices et soutient un développement global de l'enfant, en offrant une expérience sensorielle et multimodale [SHAER & HORNECKER 09]. De plus, étant donné le stade de développement physique et cognitif des jeunes utilisateurs, l'interaction avec une interface constituée d'objets est plus facile qu'avec une souris ou un clavier. Cela permet aux petits enfants un apprentissage de concepts qui sont d'habitude réservés aux enfants plus âgés [CHIASSON & GUTWIN 05]. Par exemple, les plus petits peuvent avoir des difficultés pour comprendre les catégories abstraites ou les métaphores. Les avantages d'utilisation des objets pour l'apprentissage ont été entre autres soulignés dans les travaux de Piaget [O'MALLEY & FRASER 04] qui a montré que les petits enfants sont capables de résoudre les tâches de comparaison de volumes s'ils peuvent le faire avec des récipients et du liquide. L'interface tangible Flow Blocks de [ZUCKERMAN et al. 06], conçue pour apprendre les formes complexes de causalité et de probabilité aux enfants de 9-11 ans est une application des travaux de Piaget. De plus, la possibilité des interfaces tangibles d'offrir de multiples points de contrôle simultanés dans un contexte multi-utilisateurs est aussi un avantage pour l'apprentissage. En effet, l'apprentissage, et surtout l'apprentissage des enfants, est aussi un phénomène social [CHIASSON & GUTWIN 05]. Les plus petits se regroupent naturellement devant une machine, ils aiment jouer avec les autres et partager les expériences.

La diversité des types et formes des interfaces tangibles permet de les utiliser dans des différents domaines d'apprentissage. Parmi les domaines qui ont été déjà étudiés sont présents les sciences (comme la biologie, la médecine et la chimie), le développement des capacités de lecture et d'écriture (la narration et la rhétorique), les langues étrangères, la résolution des problèmes, la planification, les systèmes de simulation, la programmation et enfin les systèmes dynamiques [MARSHALL 07, O'MALLEY & FRASER 04, SHAER & HORNECKER 09].

### 3. Utiliser les Cartouches au sein d'un environnement d'apprentissage

Les Cartouches, introduites dans [ULLMER et al. 10], sont de petits boîtiers qui représentent physiquement des informations numériques au sein d'un environnement informatisé. Par convention, la taille d'une Cartouche est de 2,5"×3,5" par 1/3" d'épaisseur (soit environ 63×89×9 mm). La normalisation de la taille des éléments permet d'assurer un certain degré de compatibilité entre les systèmes. Des symboles, des mots-clés ou encore des codes couleurs peuvent agrémenter les Cartouches. L'interaction avec une Cartouche consiste à l'emboîter dans un emplacement prévu à cet effet (ou de la retirer) afin, par exemple, de symboliser l'activation d'une donnée, d'un mode ou encore d'une fonction dans le monde numérique. Par exemple, l'interaction avec des Cartouches a déjà été utilisée dans un programme américain de sensibilisation de la jeunesse « Le Kiosk » [ULLMER et al. 11], dans le but de renforcer la culture scientifique des 11-14 ans en astronomie. Il a été déployé dans les écoles, bibliothèques et autres lieux adéquats. Une étude sur plusieurs mois a montré des améliorations possibles du prototype, mais a avant tout démontré la légitimité des Cartouches auprès des utilisateurs non-initiés et non-guidés.

L'utilisation des Cartouches au sein d'un environnement d'apprentissage est motivée par trois principaux arguments. Le premier est le faible coût de développement et de matériel, car l'interaction sous-jacente ne nécessite que de détecter la présence et l'identité d'une Cartouche à des emplacements prédéterminés, ce qui n'implique pas de technologie coûteuse. Le deuxième est le pouvoir de conception offert par les Cartouches pour représenter l'activation/sélection de fonctions, de données, de paramètres, d'options, etc. au sein d'une IHM avancée. Un troisième argument en faveur des Cartouches est le dialogue facile et ludique offert avec le système informatique, apporté par leur tangibilité. Nous proposons dans la partie suivante d'illustrer l'emploi possible des Cartouches pour implanter certaines opérations au sein d'un environnement d'apprentissage pour les jeunes enfants.

#### 3.1. Implantation des opérations de base

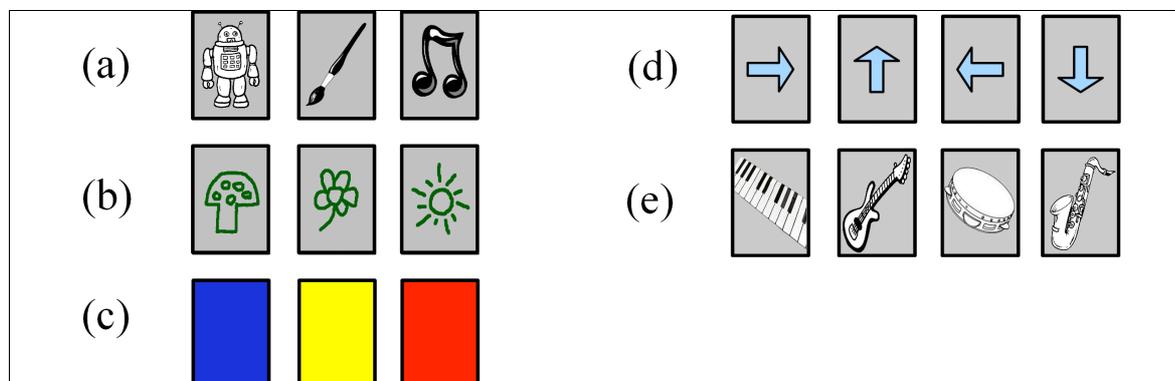
Dans le contexte de l'apprentissage avec les technologies, nous avons identifié trois opérations dites de base<sup>2</sup> qui sont représentables par des Cartouches : changer d'activité (i.e. d'application) ; marquer sa propriété (i.e. authentification) et former des équipes (activités en groupes). Dans notre approche, chaque application de l'environnement informatique pour l'apprentissage serait alors incarnée par une Cartouche portant un symbole représentatif de l'activité offerte (voir Figure 1-a). Au sein de l'environnement informatisé, un emplacement physique unique est dédié à la spécification de l'application à lancer. Ainsi, par exemple, allumer le système consisterait à glisser une des Cartouches dans cet emplacement et changer d'application consisterait à remplacer la Cartouche en place par une autre.

Dans un système d'apprentissage, il peut être important, pour certaines activités, de permettre un suivi de l'évolution de l'apprenant (scores, acquis validés) afin d'entretenir sa motivation. L'authentification de l'utilisateur par le système est donc parfois souhaitable. Pour que les jeunes enfants ne sachant pas encore lire et écrire puissent marquer leur propriété, un moyen fréquemment utilisé dans les salles de classe est que chaque individu s'identifie par une icône. Ainsi, dans notre approche, chaque enfant posséderait une

---

<sup>2</sup> Par analogie avec le terme « core tangible », Ullmer et al. introduisent la terminologie « core operation », que nous proposons de traduire par opération de base.

Cartouche décorée du dessin qui l'identifie (voir Figure 1-b). De même que précédemment, un emplacement physique serait dédié pour accueillir la Cartouche permettant au système de connaître son utilisateur. Dans le cadre d'une activité pratiquée en groupe, les Cartouches des membres d'une même équipe seraient superposées pour former une pile.



**Figure 1.** Exemple d'un jeu de Cartouches. (a) Pour choisir une activité. (b) Pour identifier un individu. (c) Pour choisir une couleur. (d) Pour spécifier des directions. (e) Pour choisir un instrument de musique.

Dans le contexte de l'apprentissage, au même titre que l'activité principale, des activités secondaires sont également un prétexte pour apprendre [O'MALLEY & FRASER 04]. Par exemple, spécifier une couleur est une opération présente au sein d'activités variés (e.g. de texte, de dessin, de diagramme), qui se retrouve au sein de nombreuses interfaces (tangibles ou autres). Cette opération n'est généralement pas la tâche principale. Une solution tangible pour composer une couleur avec des Cartouches, et initier par là même l'enfant à la composition des couleurs primaires, serait d'en utiliser trois : une bleue ; une jaune et une rouge (voir Figure 1-c). L'empilement de ces Cartouches sur un emplacement physique prévu à cet effet permettra de spécifier 7 couleurs différentes : les couleurs possibles sont bleu, jaune et rouge avec 1 Cartouche ; vert, rose et orange avec 2 Cartouches superposées ; et enfin le noir lorsque les 3 Cartouches sont empilées.

### 3.2. Implantation d'opérations spécifiques

L'utilisation des Cartouches ne se limite pas aux opérations de base. Des opérations spécifiques à une activité peuvent aussi être représentées avec des Cartouches. Par exemple, pour décrire la trajectoire d'un robot, un jeu de flèches directionnelles peut se révéler approprié (voir Figure 1-d). Ou encore, des Cartouches représentant chacune un instrument de musique pour composer des pistes dans des applications musicales (voir Figure 1-e).

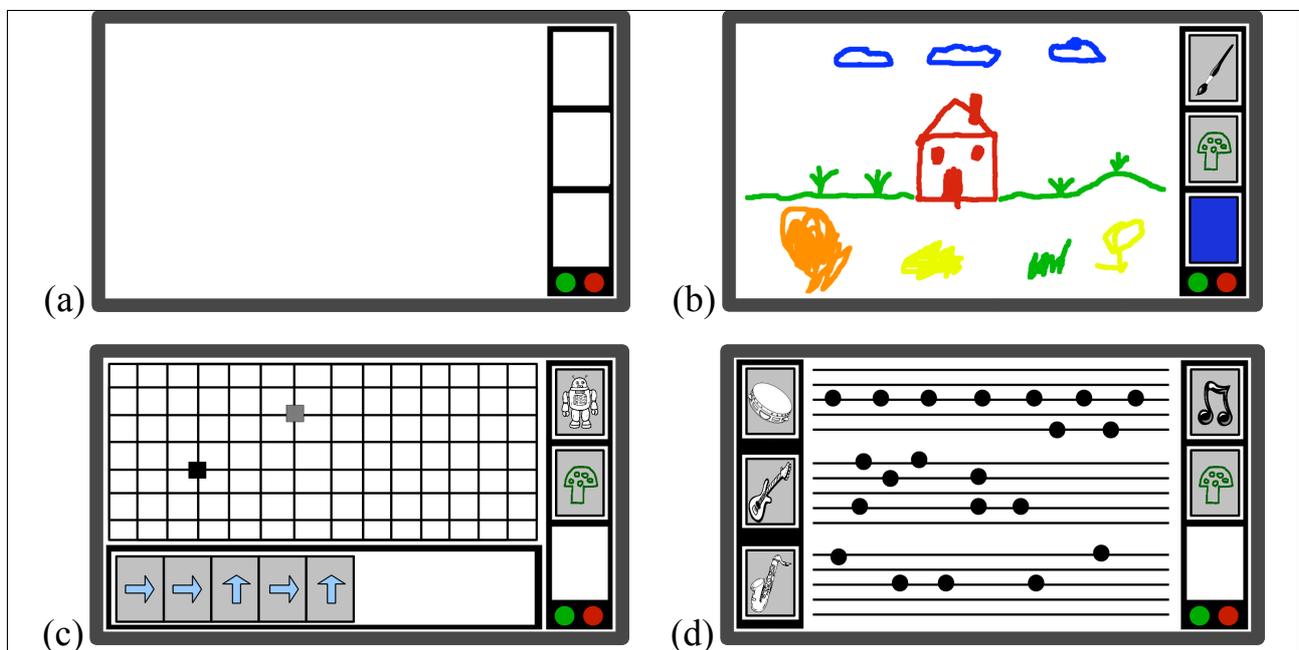
Dans la suite, nous présentons la conception d'un environnement informatique pour l'apprentissage, dont la construction est basée sur une table interactive, qui intègre plusieurs opérations avec des Cartouches.

## 4. Conception d'un environnement informatique pour l'apprentissage et l'éducation

Afin d'illustrer le potentiel d'adaptabilité offert par les Cartouches lorsqu'elles sont utilisées comme élément de base pour certaines opérations d'une interface utilisateur, nous proposons le concept d'une table interactive pour l'apprentissage et l'éducation, conçue pour des jeunes enfants ne sachant pas encore lire. Cet environnement proposerait trois activités : dessin, planification du chemin d'un robot (ou d'une tortue) et partitions de musique. Les tables interactives fonctionnant par technologie de vision infrarouge (telles DI ou FTIR [HAN 05]) permettent d'instaurer aussi bien la détection du contact des doigts

pour l'interaction tactile que la détection d'objets [KALTENBRUNNER & BENCINA 07] ou de piles d'objets [BAUDISCH et al. 10], pour l'interaction tangible. La présence, ainsi que la position, d'une Cartouche ou d'une pile de Cartouches sur le plateau de la table sont de ce fait détectables.

Des panneaux amovibles viendraient habiller le plateau de la table à des emplacements bien déterminés. Ces panneaux seraient prédécoupés et matérialiseraient les emplacements physiques de détection et d'activation des Cartouches. Le panneau de droite disposerait de trois emplacements pour accueillir trois opérations de base spécifiant l'activité, l'utilisateur et une couleur (voir Figure 2-a). Ce panneau disposerait également de deux boutons physiques : valider et rétablir (implantés comme dans [WEISS et al. 09]). Un deuxième panneau disposé en bas du plateau de la table offrirait une rampe qui permettrait d'accueillir une suite de Cartouches (voir Figure 2-c). La place libre à gauche pourrait permettre d'accueillir trois Cartouches représentant des opérations spécifiques à l'application (voir Figure 2-d) en cours.



**Figure 2.** Vue de dessus du concept de la table interactive tangible. (a) La table avec 1 panneau. (b) L'activité dessin au doigt. (c) L'activité planification de chemin, avec 2 panneaux. (d) L'activité partition de musique, avec 2 panneaux.

Les trois applications fonctionneraient comme suit :

- L'application de dessin requerrait un unique panneau placé sur la droite du plateau de la table (voir Figure 2-b). L'utilisateur dessinerait au doigt sur la partie centrale (i.e. comme dans du sable) et pourrait changer la couleur active avec la Cartouche du bas.. Le bouton rétablir (Rouge) permettrait d'effacer le dessin.

- L'application du robot (ou de la tortue) utiliserait le panneau de droite et le panneau du bas (voir Figure 2-c). Le chemin à parcourir par la tortue, le long du quadrillage, pour atteindre son point d'arrivée, serait planifié en alignant une séquence de Cartouches directionnelles dans le panneau du bas. L'exécution du déplacement par la tortue serait déclenchée par le bouton valider. Le bouton rétablir permettrait de charger un nouveau parcours. Enfin, les Cartouches couleur provoqueraient le changement de la couleur du robot (ou de la tortue).

– L'application de musique utiliserait les panneaux de droite et de gauche (voir Figure 2-d). La couleur de fond de la partition de musique serait modifiable avec les Cartouches couleur. Des lignes de partition seraient affichées en face de chaque emplacement du panneau de gauche. Placer une Cartouche permettrait alors d'assigner un instrument de musique aux différentes partitions. Ensuite, reprenant l'idée du projet [NOTEPUT 09], l'utilisateur pourrait ajouter des notes de musique à l'aide de palets physiques : poser un palet permettrait d'ajouter une note, déplacer le palet de changer la note et enlever le palet de supprimer la note. Pour écouter le résultat de la composition musicale, l'utilisateur presserait le bouton valider. Lors de l'écoute, un trait vertical balayerait les partitions pour visualiser la lecture des notes par le système.

Remarquons que les panneaux pourraient être remplacés par des zones d'accueil de Cartouches qui soient graphiques. Seulement, la matérialisation physique de ces emplacements offre des affordances que la solution graphique n'offre pas. De plus, les panneaux permettent de fixer les Cartouches pour éviter qu'un mouvement de bras ne les renverse par inadvertance.

## 5. Conclusion et perspectives

Notre proposition souffre du fait de ne pas avoir encore été validée par des expérimentations. En effet, elle repose pour l'instant sur une réflexion purement théorique. La première perspective de ce travail est donc de construire un prototype. Sur le plan technologique il conviendra de choisir le mode de reconnaissance le mieux adapté à la tâche et à cet usage (RFID, caméra et traitement de l'image, etc.). En effet le concept de Cartouche n'est pas lié à une technologie. Sur le plan méthodologique, ce prototype devrait être implanté dans un environnement où il pourra être utilisé par des jeunes enfants dans le but d'apprentissage. Cela permettra de conduire des nombreuses évaluations, en particulier à base d'observations. Sur un plan plus général de recherche, l'utilité et l'utilisabilité des Cartouches au sein d'une interaction sur table interactive pourraient être montrées en particulier par comparaison avec des formes tactiles pour la résolution des mêmes opérations, et également l'impact de l'usage d'une table interactive munie d'éléments tangibles de type Cartouches dans l'apprentissage des jeunes enfants pourrait être évalué.

En effet, l'apprentissage des enfants reste un point d'intérêt élevé et l'interaction tangible permet d'offrir à cette population cible un bon moyen de lier l'abstrait (le numérique) au concret (le physique). Les Cartouches sont des briques de base simple (à concevoir, à réaliser et à utiliser) pour implanter des opérations au sein des TUIs mais également des IHMs avancées. L'emploi des Cartouches au sein des environnements d'apprentissage est une piste qui mérite des investigations. Il nous semble également intéressant d'explorer l'apprentissage avec des TUIs, dont les Cartouches, pour d'autres populations cibles que les enfants. Par exemple, des populations pour lesquelles le toucher et la vision ont une signification particulière, comme les aveugles ou les analphabètes.

## Bibliographie

[BAUDISCH et al. 10] Baudisch, P., Becker, T., Rudeck, F., « Lumino: tangible blocks for tabletop computers based on glass fiber bundles », *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems CHI'10*, Atlanta, GA, USA, April 10-15 2010, ACM, New York, NY, USA, p.1165-1174.

[CHIASSON & GUTWIN 05] Chiasson, S., Gutwin, C., *Design Principles for Children's Technology*, Technical Report HCI-TR-2005-02, 2005, University of Saskatchewan, 9 p.

- [ERNST et al. 99] Ernst, H., Schäfer, K., Bruns, W., « Creating Virtual Worlds with a Graspable User Interface », *Interactions in Virtual Worlds, Proceeding of the 15<sup>th</sup> Twente Workshop on Language Technology TWLT'99*, vol. 15, University of Twente, Enschede, The Netherlands, May 19-20 1999, p. 45-57.
- [HAN 05] Han, J., « Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection », *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology UIST'05*, October 23-26 2005, ACM, New York, NY, USA, p. 115-118.
- [HINCKLEY et al. 94] Hinckley, K., Pausch, R., Goble, J., Kassell, N., « Passive real-world interface props for neurosurgical visualization », *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: celebrating interdependence CHI'94*, Boston, MA, USA, April 24-28 1994, ACM, New York, NY, USA, p. 452-458.
- [ISHII et al. 01] Ishii, H., Ren, S., Frei, P., « Pinwheels: visualizing information flow in an architectural space », *CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems*, Seattle, WA, USA, March 31 - April 5 2001, ACM, New York, NY, USA, p. 111-112.
- [KALTENBRUNNER & BENCINA 07] Kaltenbrunner, M., Bencina, R., « reacTIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction », *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction TEI'07*, Baton Rouge, Louisiana, USA, February 15-17 2007, ACM, New York, NY, USA, p. 69-74.
- [MARSHALL 07] Marshall, P., « Do tangible interfaces enhance learning? », *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction TEI'07*, Baton Rouge, Louisiana, USA, February 15-17 2007, ACM, New York, NY, USA, p. 163-170.
- [NOTEPUT 09] Graef J., Heur J.F., <http://www.jonasheuer.de/index.php/noteput/>, 2009.
- [O'MALLEY & FRASER 04] O'Malley, C., Fraser, D., « Literature Review in Learning with Tangible Technologies », *Nesta FutureLab Series*, Report 12, Bristol, 2004, 27 p.
- [SHAER & HORNECKER 09] Shaer, O., Hornecker, E., « Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions », *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, vol. 3, n° 1-2, Now Publishers Inc., Hanover, MA, USA, 2010, p. 23-27.
- [ULLMER et al. 08] Ullmer, B., Sankaran, R., Jandhyala, S., Tregre, B., Toole, C., Kallakuri, K., Laan, C., Hess, M., Harhad, F., Wiggins, U., Sun, S., « Tangible menus and interaction trays: core tangibles for common physical/digital activities », *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction TEI'08*, Bonn, Germany, February 18-20 2008, ACM, New York, NY, USA, p. 209-212.
- [ULLMER et al. 10] Ullmer, B., Dever, Z., Sankaran, R., Toole, C., Freeman, C., Cassady, B., Wiley, C., Diabi, M., Wallace, A., DeLatin, M., Tregre, B., Liu, K., Jandhyala, S., Kooima, R., Branton, C., Parker, R., « Cartouche: conventions for tangibles bridging diverse interactive systems », *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction TEI'10*, Cambridge, MA, USA, January 25-27 2010, ACM, New York, NY, USA, p. 93-100.
- [ULLMER et al. 11] Ullmer, B., Dell, C., Gil, C., Toole, C., Wiley, C., Dever, Z., Rogge, L., Bradford, R., Rivière, G., Sankaran, R., Liu, K., Freeman, C., Wallace, A., DeLatin, M., Washington, C., Reeser, A., Branton, C., Parker, R., « Casier: Structures for Composing Tangibles and Complementary Interactors for Use Across Diverse Systems », *Proceedings of the fifth ACM International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction TEI'11*, Funchal, Portugal, January 23-26 2011, ACM, New York, NY, USA, p. 229-236.
- [ULLMER & ISHII 00] Ullmer, B., Ishii, H., « Emerging frameworks for tangible user interfaces », *IBM System Journal*, vol. 39, n° 3/4, IBM Corp., Riverton, NJ, USA, 2000, p. 915-931.
- [WEISS et al. 09] Weiss, M., Wagner, J., Jennings, R., Jansen, Y., Khoshabeh, R., Hollan, J., Borchers, J., « SLAPbook: tangible widgets on multi-touch tables in groupware environments », *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction TEI'09*, Cambridge, UK, February 16-18 2009, ACM, New York, NY, USA, p. 297-300.
- [ZUCKERMAN et al. 06] Zuckerman, O., Grotzer, T., Leahy, K., « Flow blocks as a conceptual bridge between understanding the structure and behavior of a complex causal system », *Proceedings of the 7th international conference on Learning sciences ICLS'06*, Bloomington, Indiana, June 27 - July 1 2006, International Society of the Learning Sciences, p. 880-886.

**COMITÉ DE PROGRAMME****Présidents :**

Audrey Serna, Laboratoire LIESP, INSA, Lyon, France

Sébastien George, Laboratoire LIESP, INSA, Lyon, France

**Membres :**

Bertrand David, Laboratoire LIESP, Ecole Centrale, Lyon, France

Elisabeth Delozanne, Laboratoire LIP 6, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France

Alexandre Demeure, Laboratoire LIG, INRIA, Grenoble, France

Christophe Kolski, Laboratoire LAMIH, Université de Valenciennes, France

Odile Martial, École Polytechnique Montréal, QC, Canada

Guillaume Rivière, ESTIA, Biarritz, France

Franck Tarpin-Bernard, Laboratoire LIG, Université Joseph Fourier, Grenoble, France

André Tricot, Cognition Langues Langage Ergonomie, Université de Toulouse 2, France