

# Modèles et facteurs humains en IHM - Application à la réalité virtuelle

F. Tyndiuk, C. Schlick, B. Claverie\*  
tyndiuk, schlick, claverie@scico.u-bordeaux2.fr

G. Thomas†  
gthomas@labri.fr

\*Laboratoire de Sciences Cognitives - Université Victor Segalen Bordeaux 2 - 33 076 Bordeaux cedex – FRANCE

†Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique LaBRI - Université Bordeaux 1 - 33 405 Talence cedex – FRANCE

## Résumé :

Notre objectif est d'identifier les facteurs humains qui influencent la performance lors des tâches de manipulation et de locomotion en environnement virtuel afin d'adapter les interfaces aux utilisateurs. L'étude des modèles IHM et de l'interaction en réalité virtuelle montre la pertinence des modèles de Card et al. [5] et de Fuchs [11] pour modéliser l'interaction. De plus, de nombreux résultats expérimentaux montrent l'impact des facteurs cognitifs, socioculturels, biologiques et idiosyncrasiques sur la performance en réalité virtuelle. En combinant les approches modélisatrices et expérimentales, nous proposons une méthodologie d'analyse des tâches de manipulation et de locomotion en environnement virtuel basée sur la recherche de corrélations entre performance et facteurs humains.

**Mots-clés :** Modélisation, Expérimentation, Interaction Homme Machine, Réalité Virtuelle, Facteurs Humains

## Abstract:

In order to create efficient and easy to use interface for virtual reality, we try to identify the human factors that influence manipulation or travel task in a virtual environment. Study of CHI model and virtual reality interaction show the relevance of Card's [5] and Fuchs' model [11] to explain interaction. Moreover, a lot of experimental results show the impact of cognitive, sociocultural, biological and idiosyncratic factors on the user's achievement in virtual reality. We combine modeling and experimental approach and we propose a method to analyze manipulation and travel tasks in virtual environment based on the search of correlation between achievement and human factors.

**Keywords:** Modeling, Experimentation, Human Computer Interaction, Virtual Reality, Human Factors

## 1 Introduction

Dans cet article, nous nous intéressons aux outils et aux modèles de l'Interaction Homme Machine (IHM) et de la Réalité Virtuelle (RV). Pour étudier l'interaction en RV, nous nous appuyons sur des modèles issus de l'IHM. Notre objectif est d'identifier les facteurs humains qui influencent la performance lors d'une tâche de manipulation ou de locomotion en environnement virtuel afin d'adapter les interfaces aux utilisateurs. Les références de l'état de l'art sont issues de l'informatique, l'ergonomie et la psychologie cognitive. La première étape de cette étude identifie et critique les modèles de l'inter-

action entre un utilisateur et un système informatique (éditeur de texte, système de RV etc.). La deuxième étape consiste en une revue de la littérature expérimentale en IHM et en RV. Ces études identifient les facteurs humains corrélés avec les performances d'un utilisateur face à un système informatique. Dans la dernière partie, nous relierons l'approche modélisatrice et les données expérimentales afin de proposer une méthodologie d'analyse des tâches de manipulation et de locomotion en environnement virtuel.

## 2 Les modèles de l'interaction en IHM et en RV

Dans un premier temps, nous nous focalisons sur les quatre principaux modèles IHM le modèle du processeur humain de Card et al. [5], le modèle ICS de Barnard [3], la théorie de l'action de Norman [16] et la théorie instrumentale de Rabardel [17]. Dans un second temps, nous nous intéressons aux deux principaux modèles de la RV, les modèles de Fuchs [11] et de Verna [22]. Enfin, nous tentons de déterminer si les modèles IHM sont transférables à la RV.

### 2.1 Les modèles en IHM

**Le modèle du processeur humain de Card, Moran et Newell [5]** est issu de la théorie de l'information. Comme l'indique la figure 1, ce modèle se compose de mémoires hiérarchisées (mémoire à long terme, de travail, iconique et échoïque) et de trois processeurs : perceptif, cognitif et moteur. Chaque mémoire se caractérise par sa taille, sa durée et le type d'information qu'elle traite. Le système perceptif comprend les récepteurs sensoriels, le processeur perceptif et les mémoires sensorielles (mémoire iconique et mémoire échoïque). Le système cognitif comprend le processeur cognitif, la mémoire de travail et la mémoire à long terme. Le système moteur comprend le processeur moteur et les effecteurs moteurs.

Le trajet de l'information à travers le modèle du

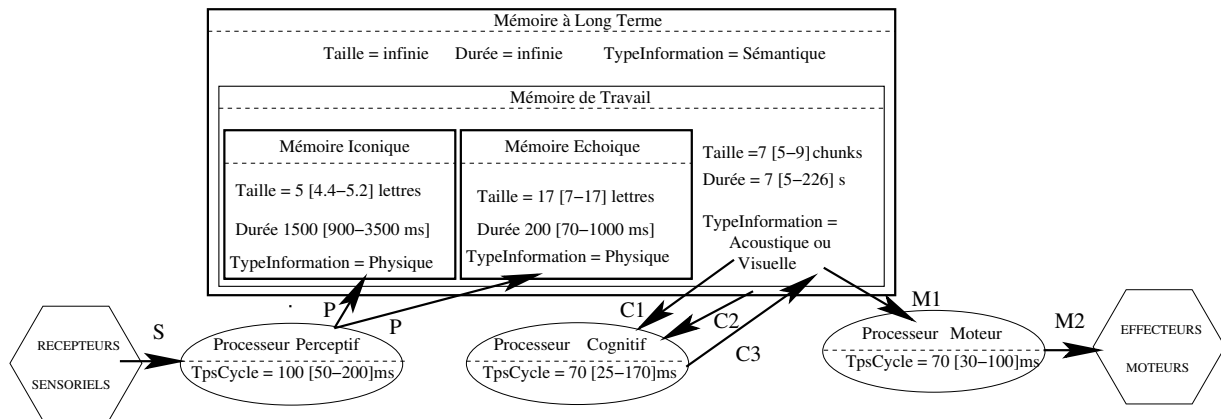


FIG. 1 – Le modèle du processeur humain [5]

processeur humain peut se décrire comme suit : les récepteurs sensoriels reçoivent l'information et la transmettent au processeur perceptif (noté **S** sur la figure 1) puis le processeur perceptif dirige cette information vers les mémoires iconique ou échoïque (noté **P**). La mémoire de travail récupère l'information. Le processeur cognitif recherche dans la mémoire à long terme les actions associées aux informations présentes dans la mémoire de travail (noté **C1** et **C2**). Les actions sélectionnées (noté **C3**) sont transmises aux processeurs moteurs (noté **M1**) et en parallèle aux différents effecteurs (noté **M2**).

Ce modèle a fait l'objet de nombreuses extensions et modifications. Wickens [24] y ajoute notamment le système de ressources attentionnelles.

Deux méthodes d'analyse du comportement humain sont nées de ce modèle : *GOMS* et *Keystroke* (version simplifiée de *GOMS*). Elles prédisent le temps d'exécution d'une tâche routinière primitive par un utilisateur expert en fonction d'un langage de commande, des caractéristiques de l'utilisateur et des temps de réponse du système. Elles permettent d'évaluer et de comparer différentes options de conception.

**Le modèle ICS, Interacting Cognitive Subsystems, de Barnard [3]** représente les mécanismes de traitement de l'information comme une organisation parallèle avec une structure modulaire. Les composants de l'ICS supportent tous les aspects de la perception, de la cognition, des émotions, du contrôle de l'action et des réactions internes du corps. Le modèle ICS a fait l'objet de peu de mise en pratique. Ce modèle s'applique surtout à la production langagière. Les sous-systèmes de l'ICS sont définis fonctionnellement mais la quantité d'informa-

tion traitée et le temps de traitement de l'information sont peu précisés.

**La théorie de l'action de Norman [16]** propose une modélisation de l'accomplissement d'une tâche en sept étapes allant de l'établissement du but à l'évaluation de l'état du système par rapport à ce but. L'introduction de cette notion de but met en avant des processus de haut niveau. Cette théorie est d'une aide précieuse dans l'analyse fonctionnelle et l'analyse des tâches. Découlant de cette théorie, un modèle de la navigation en RV a été proposé par Jul et Furnas [13]. Ce modèle intègre seulement l'aspect cognitif de la navigation c'est-à-dire la recherche d'un itinéraire dans un environnement. L'aspect interaction n'est pas pris en compte.

**La théorie instrumentale de Rabardel [17]** qualifie les relations qui existent entre un sujet, un instrument et l'objet vers lequel l'action est dirigée. Elle décrit toutes les relations entre un opérateur, un instrument et une tâche, ainsi que l'utilisation de cet instrument grâce à des schèmes d'usage. Cette théorie sert de fondement à d'autres modèles d'interaction comme par exemple celui de Fuchs [11].

## 2.2 Les modèles de l'interaction en RV

De nombreuses études en RV, comme celles de Bowman [4] et Lampton [14] proposent des méthodes d'évaluation et de conception d'interface. Bien que ces méthodes identifient les facteurs liés à la tâche, au système, à l'environnement et à l'utilisateur influençant la performance en RV, elles ne rendent pas compte des influences réciproques de ces différents facteurs. Les travaux de Fuchs [11] et Verna [22],

que nous allons détailler, tentent de préciser ces influences.

**Le modèle de Fuchs [11]** propose trois niveaux d'analyse d'un système de réalité virtuelle : *l'immersion et l'interaction sensori-motrices*, *l'immersion et l'interaction mentales* et *l'immersion et l'interaction fonctionnelles* (cf figure 2). La conception d'une application de RV doit passer par une analyse du problème allant du niveau fonctionnel vers le niveau sensori-moteur.

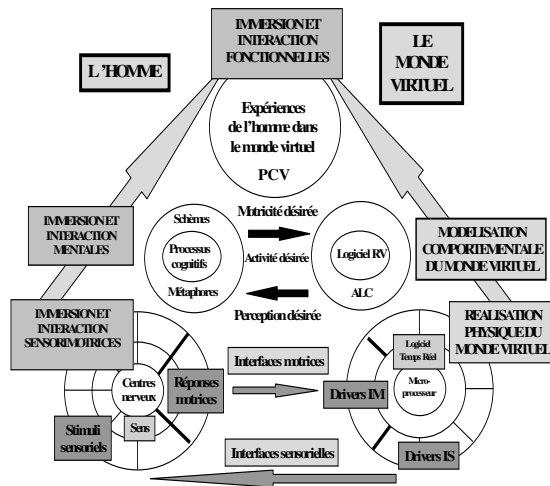


FIG. 2 – Modèle d'analyse de Fuchs [11] (*copyright* Presses de l'Ecole des Mines, Paris)

Au niveau théorique, le modèle de Fuchs trouve ses fondements dans la théorie de Rabardel décrite à la section précédente. Fuchs souligne, sans les définir, l'intervention des processus sensoriels, cognitifs et moteurs. Il propose une approche macroscopique des phénomènes cognitifs. Ce modèle a été validé par la construction de nombreuses applications comme par exemple le magasin virtuel IN VIVO<sup>1</sup>.

**Le modèle MRIC, Modèle Représentatif de l'Interaction Cognitive**, de Verna [22] décrit l'interaction entre un humain et son environnement. Verna définit *les processus de virtualisation, c'est à dire les mécanismes cognitifs qui font qu'à partir d'une situation réelle, l'humain entre progressivement dans le virtuel*. La définition des processus de virtualisation permet de catégoriser les applications de RV. Ainsi, la virtualisation de l'environnement réel est représentative des applications de type CAO tri-

<sup>1</sup>Centre de robotique ARMINES et SimTeam. Magasin virtuel d'expérimentation commerciale. 2000. <http://caor.ensmp.fr/Francais/Recherche/Theme1/MagasinWeb.html>

dimensionnelle ; la virtualisation des sens et réponses motrices de l'utilisateur est représentative de la RV immersive. Ce modèle semble pertinent pour catégoriser les applications en fonction de leur degré de virtualisation et propose une réflexion épistémologique sur la RV.

## 2.3 Synthèse et critique des modèles

Les modèles que nous venons de présenter sont difficilement comparables car ils ont des vocations différentes : prédiction de la performance, réflexion épistémologique, explication du fonctionnement humain ou aide à la conception d'interface. Nous analysons dans cette dernière partie l'adaptabilité des modèles IHM à la RV et vice-versa. Certains modèles IHM, comme la théorie instrumentale, base du modèle de Fuchs, et la théorie de l'action, base du modèle de Jul et Furnas, ont fait l'objet d'une extension à la RV. Les modèles de Card et al. et de Barnard n'ont pas, à notre connaissance, été exploités en RV. Par contre, les modèles de Fuchs et de Verna sont, par définition, spécifiques à la RV. Le modèle de Fuchs s'inspire de Rabardel, par contre, le modèle de Verna ne trouve aucun fondement dans les modèles IHM. Du point de vue de la RV, le modèle de Fuchs semble le plus pertinent, son approche macroscopique mériterait d'être complétée par une étude microscopique des processus cognitifs. Le modèle du traitement de l'information de Card et al.[5] pourrait servir de support à cette étude.

Dans cette première section, nous avons étudié les modèles IHM et RV existants. Nous proposons maintenant une revue de la littérature expérimentale en RV.

## 3 Les études expérimentales

Nous nous focalisons sur les protocoles recherchant des corrélations entre les performances en RV et les scores à des tests psychométriques (mesure des facteurs humains). Nous classons les facteurs humains en deux catégories : les facteurs principaux liés au modèle du traitement de l'information de Card et al [5] et les facteurs secondaires qui regroupent les facteurs socioculturels, biologiques et idiosyncrasiques.

### 3.1 Les facteurs principaux

Les facteurs principaux regroupent les processus sensoriels, cognitifs et moteurs qui appa-

raissent dans le modèle de Card et al. [5].

**Les processus sensoriels** les plus étudiés sont les processus de la perception visuelle (vitesse de balayage de l'écran, détection de cible). Ils sont cités par Fuchs, Moreau et Papin [11] comme intervenant dans la performance en RV. Allen [2] montre l'implication de ces processus dans la recherche d'informations sur un thème précis dans un document électronique. Dans une étude complémentaire, il identifie une triple interaction entre la tâche, l'utilisation d'une carte et les processus de la perception visuelle.

**Les processus cognitifs** les plus étudiés en IHM et en RV sont les capacités spatiales et les capacités mnésiques.

**Les capacités spatiales** sont fréquemment corrélées avec la performance du sujet quelle que soit la tâche demandée : recherche d'informations [6], navigation dans des environnements virtuels [7], [6]. Chen [6] a étudié le rôle des capacités spatiales lors d'une recherche d'informations dans des environnements virtuels sémantiques (base de mots). Les résultats montrent une corrélation positive entre les capacités spatiales des sujets et le nombre d'éléments pertinents recueillis. Dans une autre étude, Waller [23] identifie des corrélations entre les capacités spatiales des individus et la construction d'une carte cognitive de l'environnement. Cutmore et al. [7] montrent que les sujets qui enregistrent l'information en mémoire sous format spatial ont de meilleures performances en navigation. L'ajout d'indices dans l'environnement permet de gommer les différences inter-individuelles.

**Les capacités mnésiques** ont été moins étudiées en RV, elles apparaissent néanmoins comme corrélées avec la performance. Par exemple ; Chen [6] montre l'existence d'une corrélation positive entre le nombre d'éléments pertinents relevés dans un environnement virtuel sémantique et les performances en mémoire associative. D'autres études en RV menées par Cutmore et al. [7] identifient des corrélations positives entre la performance de navigation et les performances en mémoire de travail.

D'autres facteurs, comme le raisonnement, les capacités verbales, influencent la performance en IHM. Pour une revue plus détaillée, nous renvoyons le lecteur à [8]. Ces facteurs n'ont pas fait l'objet, à notre connaissance, d'études en RV.

**Les processus moteurs** comme la dextérité, la réponse motrice, sont souvent cités comme intervenant dans la performance en RV. La sélection de cible souvent étudiée à travers la loi de Fitts [9] en IHM a fait l'objet de quelques d'études en RV [1], [15].

### 3.2 Les facteurs secondaires

Les facteurs secondaires sont les facteurs socio-culturels, biologiques et idiosyncrasiques. Ces facteurs secondaires sont reconnus comme pouvant influencer la performance dans de nombreuses tâches cognitives.

**Les facteurs socioculturels** comme l'ethnicité, le niveau d'étude, l'expérience du sujet (expérience des ordinateurs, de la RV, des jeux vidéo, dans la tâche) influencent fortement certaines tâches en IHM et en RV. Par exemple, Waller [23] et Rozell et Gardner [18] montrent une corrélation entre l'utilisation d'une interface et l'expérience envers les ordinateurs. Nous avons montré dans [21] l'influence de l'expérience en RV et en jeu vidéo sur les performances de navigation en environnement virtuel urbain. Egan [8] montre l'impact de l'expérience de la tâche sur la performance.

**Les facteurs biologiques** comme le sexe, l'âge et la latéralité sont considérés en psychologie cognitive comme pouvant influencer certaines performances [8]. Cutmore et al. [7] montrent une corrélation entre le sexe et les performances de navigation en environnement virtuel. Les hommes ont de meilleures performances. De plus, en ergonomie des postes de travail, la taille, le poids et la stabilité posturale sont reconnus comme influençant la performance. Enfin, selon Salzman et al. [19], le mal des simulateurs (dû à un conflit visuo-vestibulaire) influence la qualité de l'apprentissage en RV.

**Les facteurs idiosyncrasiques** (stress, motivation) influencent la performance en RV. A titre d'exemple, Rozell et Gardner [18] ont montré des corrélations entre humeur et performance sur machine, Sas et O'Hare [20] ont montré des corrélations positives entre absorption, imagination, empathie et sentiment de présence en RV. Ce dernier est connu pour influencer la performance. De plus, Chen [6], Jones [12], Rozell et Gardner [18] montrent des corrélations entre les styles cognitifs (style d'apprentissage, dépendance et indépendance à l'égard du champ) et l'utilisation d'une interface. Quelques résultats expérimentaux allant dans ce sens existent

en RV [10].

### 3.3 Synthèse et critique

Nous venons d'effectuer une revue non exhaustive des facteurs corrélés avec les performances en RV et en IHM. Ces études montrent que des différences inter-individuelles existent en RV et qu'elles peuvent être gommées grâce à des aides cognitives [7]. Ces résultats permettent aux auteurs de tirer des conclusions sur l'intervention des différents facteurs en RV, mais pas de quantifier et de classifier leurs influences réciproques sur la performance.

En IHM, l'étude des tâches primitives (sélection de cible, édition de texte) a montré sa pertinence [5]. En RV, les études se focalisent sur les tâches primitives d'interaction (locomotion, manipulation). ces études ont pour vocation de valider des interacteurs, mais elles ne corrèlent pas les performances avec les facteurs humains. En effet, les études recherchant des corrélations entre performance en RV et facteurs humains utilisent souvent des tâches complexes : mémorisation de carte d'environnement virtuel [23], recherche d'informations [6]. Il apparaît un manque d'études des tâches primitives d'interaction en RV.

Notons que les facteurs idiosyncrasiques ont fait l'objet de nombreuses études approfondies. Cependant, la subjectivité des tests rend difficile l'interprétation des résultats.

Dans cette section, en nous basant sur des données empiriques nous avons identifié un certain nombre de facteurs pouvant influencer la performance en RV et en IHM. Il convient maintenant de faire le lien entre ces facteurs et les modèles décrits au début de cet article.

## 4 Proposition méthodologique

Dans cette dernière section, nous présentons une méthodologie d'analyse des tâches primitives de manipulation et de locomotion en environnement virtuel. Cette méthodologie résulte de la combinaison du modèle de Card et al. [5] et des résultats expérimentaux.

Dans un premier temps, pour chaque fonction identifiée dans le modèle de Card et al, nous effectuons une sélection de tests psychométriques : test d'empan visuo-spatial pour mesurer la capacité de la mémoire de travail, test

de Fitts pour mesurer les capacités motrices. Nous contrôlons les principaux facteurs secondaires : sexe, âge, latéralité, cursus et niveau d'étude. Nous définissons des tâches de manipulation (redresser et positionner un objet dans une boîte) et de locomotion (atteindre des objets dans un environnement virtuel). Nous mesurons le nombre d'objets déplacés ou atteints dans un temps limite. Grâce à l'ensemble de ces résultats, nous espérons proposer un modèle explicatif rendant compte de l'influence de chaque facteur humain mesurés sur la performance dans des tâches de locomotion et de manipulation. Les résultats obtenus seront fortement dépendant du système de RV utilisé. Pour généraliser nos résultats, et proposer un modèle explicatif plus robuste, ce type d'expérimentation doit être renouvelé pour différentes techniques d'interaction (casque, écran géant, gants de données, souris 3d etc.).

Ce protocole est complexe (temps de passation d'environ trois heures par sujet, mise en place du matériel de RV) ; cependant, des études génériques de ce type sont indispensables pour qualifier les tâches d'interaction en environnement virtuel. Deux applications directes en découlent, l'une pratique : la mise en place d'aide cognitive en adaptant les interacteurs en fonction des facteurs humains impliqués, l'autre théorique : proposer un modèle explicatif des tâches de manipulation et de locomotion en RV basé sur l'étude des facteurs humains.

## 5 Conclusion

Nous avons dans cet article dressé un état de l'art des modèles existants en IHM et en RV, puis listé les différentes études expérimentales qui corrèlent facteurs humains et performance. En combinant ces deux approches, nous avons proposé une méthodologie d'analyse anthropocentrée de l'interaction. Notre méthodologie permettra de quantifier l'influence des différents facteurs humains pour une interface et une tâche donnée. Nous faisons l'hypothèse que l'influence de chaque facteur humain sur la performance en RV sera différente en fonction de la tâche et en fonction de l'interface. Nous sommes conscients que la méthodologie présentée ici est ambitieuse. Nous devons maintenant montrer par la mise en oeuvre expérimentale la pertinence de notre approche.

## Remerciements

Nous remercions Philippe Fuchs et Guillaume Moreau de l'École des Mines de Paris pour nous avoir permis d'utiliser leur illustration. Une partie de ce travail est financée par le Conseil Régional d'Aquitaine.

## Références

- [1] J. Accot and S. Zhai. Beyond fitts' law : Models for trajectory-based hci tasks. In *Proceedings of ACM Human Factors in Computing Systems, CHI'97*, pages 295–302, 1997.
- [2] B. Allen. Individual differences and the conundrums of user-centered design : two experiments. *Journal of the american society for information science*, 51(6) :508–520, 2000.
- [3] P. Barnard. *Interfacing Thought, Cognitive aspects of Human Computer Interaction*, chapter Cognitive Resources and the Learning of Computer Dialogs, pages pp. 112–158. MIT Press Publ, 1987.
- [4] D.A. Bowman, E. Kruijff, J.J. LaViola, M.M. Mine, and I. Poupyrev. 3d user interface design : Fundamental techniques theory and practice. In *Courses Notes CD-Rom. SIGGRAPH 2000*. SIGGRAPH, 2000.
- [5] S. Card, T. Moran, and A. Newell. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum, New Jersey, 1983.
- [6] C. Chen. Individual differences in a spatial semantic virtual environment. *Journal of the American society for information science*, 51(6) :529–542, 2000.
- [7] T. Cutmore, T. Hine, K. Maberly, N. Langford, and G. Hawgood. Cognitive and gender factors influencing navigation in a virtual environment. *International Journal of Human computer studies*, 53 :223–249, 2000.
- [8] D.E Egan. *Handbook of Human Computer Interaction*, chapter Individual differences in Human Computer Interaction. Elsevier Science Publishers, North-Holland, 1988.
- [9] P.M Fitts and C.M Seeger. Stimulus-reponse compatibility : spatial characteristics of stimulus and responses codes. *Journal of experimental psychology*, 46 :199–210, 1953.
- [10] N. Ford. Cognitive styles and virtual environments. *Journal of the american society for information sciences*, 51(6) :543–557, 2000.
- [11] P. Fuchs, G. Moreau, and J.P Papin. *Traité de la réalité virtuelle*. Presse de l'École des Mines - Paris, 2001.
- [12] W. Jones. Computer use and cognitive style. *Journal of research on computing in education*, 26 :514–, 1994.
- [13] S. Jul and G.W Furnas. Navigation in electronic worlds : A chi97 workshop. In *SIGCHI Bulletin*, volume 29, 1997.
- [14] D.R Lampton, B.W Knerr, and S.C Goldberg. The virtual environment performance assessment battery, vepab : Development and education. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2) :145–157, 1994.
- [15] I.S MacKenzie, T.Kauppinen, and M. Silfverberg. Accuracy measures for evaluating computer pointing devices. In ACM, editor, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 9–16, New York, 2001. CHI'99.
- [16] D.A Norman and S. Draper. *User Centered System Design : New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- [17] P. Rabardel. *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin, 1995.
- [18] E.J Rozell and W.L Gardner. Cognitive, motivation, and affective processes associated with computer-related performance : a path analysis. *Computers in Human Behavior*, 16(2) :199–222, 2000.
- [19] M.C. Salzman, C. Dede, and R. Bowen Loftin. Vr's frames of référence : A visualization technique for mastering abstract multidimensional information. In *Proceedings of CHI 99*, pages 489–495, may 1999.
- [20] C. Sas and G. O'Hare. The presence equation : an investigation into cognitive factors underlying presence. In *4th annual international workshop Presence*, 2001.
- [21] F. Tyndiuk. Les interfaces de navigation en réalité virtuelle non-immersive. Rapport de DEA Sciences de la Cognition, Bordeaux 2, 2001.
- [22] D. Verna. *Télé-Opération et Réalité Virtuelle : assistance à l'opérateur par modélisation cognitive de ses intentions*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris, 2000.
- [23] D. Waller. Individual differences in spatial learning from computer-simulated environments. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 8 :307–321, 2000.
- [24] C.D Wickens, S.E. Gordon, and Y . Liu. *An Introduction to Human Factors Engineering*. Addison-Wesley Educational Publishers, 1998.