



L'essentiel de l'information
scientifique et médicale

www.jle.com

Le sommaire de ce numéro

<http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/medecine/ipe/sommaire.md?type=text.html>



Montrouge, le 10/06/2008

E. Lallart

Vous trouverez ci-après le tiré à part de votre article en format électronique (pdf) :

La réalité virtuelle dans la schizophrénie :

paru dans

Information psychiatrique, 2008, Volume 84, Numéro 4

John Libbey Eurotext

Ce tiré à part numérique vous est délivré pour votre propre usage et ne peut être transmis à des tiers qu'à des fins de recherches personnelles ou scientifiques. En aucun cas, il ne doit faire l'objet d'une distribution ou d'une utilisation promotionnelle, commerciale ou publicitaire.

Tous droits de reproduction, d'adaptation, de traduction et de diffusion réservés pour tous pays.

© John Libbey Eurotext, 2008

LE RÉEL, LA PENSÉE ET LE VIRTUEL

La réalité virtuelle dans la schizophrénie : un danger ou un outil thérapeutique ?

Élise Lallart¹, Roland Jouvent²

RÉSUMÉ

En psychiatrie, la technique dite de « réalité virtuelle » est utilisée pour les traitements des troubles anxieux. Cependant, celle-ci reste sous-exploitée dans le traitement d'autres pathologies psychiatriques, notamment la schizophrénie. On craint que le patient, dans ce dernier cas, ne soit exposé à un risque de perte de réalité. Dans cette étude, nous passerons en revue les différents aspects de cette thérapeutique, tout en soulignant à la fois ses avantages et ses inconvénients. Il s'agit ici de montrer que les sujets schizophrènes, dans la mesure où leur état n'est pas aggravé par elle, peuvent utiliser la réalité virtuelle comme outil thérapeutique, en sollicitant par exemple leur « agentivité ».

Mots clés : schizophrénie, réalité virtuelle, présence

ABSTRACT

Virtual reality in schizophrenia: a risk or a therapeutic tool? Virtual reality has been used in psychiatry to treat anxiety disorders. However this new technique is still too rarely used in other psychiatric pathologies such as schizophrenia because of the potential risks of losing grip on reality. In this study, we evaluate the pros and cons of virtual reality in order to gain a greater insight into its risks and therapeutic aspects. We wish to show that, schizophrenic symptoms are not worsened by virtual reality, and that virtual reality could be used as a therapeutic tool to remediate agency.

Key words: schizophrenia, virtual reality, presence

RESUMEN

La realidad virtual en la esquizofrenia : ¿un peligro o un instrumento terapéutico ? En psiquiatría se utiliza la realidad virtual para el tratamiento de los trastornos ansiosos. Sin embargo, estas técnicas nuevas aún no se han experimentado suficientemente en otras patologías psiquiátricas, como la esquizofrenia, debido al riesgo potencial de pérdida de la realidad. En este estudio pasamos en revista los distintos puntos para esclarecer la parte correspondiente entre riesgo y aspectos terapéuticos. Pretendemos demostrar que los esquizofrénicos, si su estado no se agrava con la realidad virtual, pueden utilizarla como instrumento terapéutico, utilizando principalmente su agentividad.

Palabras clave : esquizofrenia, realidad virtual, presencia

¹ Doctorante en neuropsychologie, Centre Émotions, CNRS UMR 7593, Pavillon Clérambault, Groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, 47-83, bd de l'Hôpital, 75013 Paris
<eliselallart@yahoo.com>

² Professeur en psychiatrie, Centre Émotions, CNRS UMR 7593, Pavillon Clérambault, Groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, 47-83, bd de l'Hôpital, 75013 Paris

Tirés à part : É. Lallart

Bien souvent, dans l'esprit du grand public, la notion de « réalité virtuelle » provoque un questionnement entre fantasme et technologie, entre rêve et réalité. Ici, on s'alarme d'une perte de prise du sujet sur le réel ; là, on insiste au contraire sur l'aspect technologique, à la fois révolutionnaire et ludique. Cette contradiction ne prouve qu'une chose : la compréhension incomplète, voire l'incompréhension de ce que signifie scientifiquement la dénomination de « réalité virtuelle ». Cette ignorance générale serait-elle à l'origine de la frilosité, pour ne pas dire de la méfiance, de la psychiatrie à l'encontre de la réalité virtuelle comme mode de traitement de symptômes lourds ? Toujours est-il que l'intérêt majeur de la réalité virtuelle pourrait bien être (tel n'est pas le moindre de ses paradoxes), malgré les malentendus qu'elle génère tant auprès du grand public que de la sphère médicale, d'aider à apprivoiser le monde, et ce, sans risque. Aussi le patient schizophrène est-il sans cesse confronté à ce même questionnement, mais de façon plus aiguë. Trois interprétations semblent alors graviter autour de la question du virtuel :

- la réalité virtuelle représente-t-elle une transformation, une fragmentation, du réel ?
- le recours à la réalité virtuelle engendre-t-il un risque d'enfermement et d'autisme ?
- enfin, la réalité virtuelle ne se substituerait-elle pas dangereusement au monde réel ?

En psychiatrie, la réalité virtuelle est couramment utilisée pour les traitements des troubles anxieux. De la même manière, en neuropsychologie, les techniques de réalité virtuelle sont fréquemment choisies pour explorer les différents domaines cognitifs tels que, entre autres, l'attention, la mémoire, la planification ou encore le contrôle du mouvement. Cependant, le recours à ces techniques nouvelles reste encore marginal dans le traitement d'autres pathologies psychiatriques, comme la schizophrénie notamment, à cause de risques diversement évalués d'une perte de réalité chez le sujet. Cependant, si ces techniques s'avèrent pour l'instant peu exploitées dans le traitement (et la compréhension) de la schizophrénie, elles représentent, plus qu'une simple piste, plus qu'une simple hypothèse de recherche, un moyen potentiel thérapeutique indiscutable. À partir de tests expérimentaux, nous voulons montrer que le sujet schizophrène, dès lors que son état n'est pas aggravé par le recours à la réalité virtuelle, peut utiliser cette réalité virtuelle comme outil thérapeutique.

Les mondes virtuels

Si l'utilisation de l'oxymore « réalité virtuelle » conduit souvent à des confusions, des contresens, c'est parce que, derrière cette appellation, deux univers semblent se mêler : celui de la réalité et celui du rêve, et / ou du fantasme. Cependant, sa signification exacte ne présente pas d'opposition avec la définition du réel. Au contraire, le virtuel exprime ce qui est de l'ordre du possible. La réalité vir-

tuelle se définit ainsi comme une représentation *réaliste*, au moyen de techniques informatiques, d'un monde imaginaire, bien sûr, mais tout aussi bien *réel*. La réalité virtuelle, *in fine*, n'est qu'un produit de la simulation qui reproduit, en temps réel et le plus fidèlement possible, une partie du monde physique.

Ainsi, selon Fuchs : « *les techniques de la réalité virtuelle sont fondées sur l'interaction en temps réel avec un monde virtuel, à l'aide d'interfaces comportementales permettant l'immersion pseudo-naturelle des utilisateurs dans cet environnement* » [4]. Il s'agit donc pour l'ordinateur de restituer, en temps réel et de la plus fidèle des manières, le monde réel, et non de plonger l'utilisateur dans un monde irréel, fictif, fantastique, éthéré, libéré de toute contrainte. La réalité virtuelle consiste ainsi à entrer dans un univers synthétique créé par un ordinateur avec, en outre, la possibilité d'effectuer en temps réel des tâches définies par des programmes informatiques.

Elle offre également la possibilité de mettre en relief le rôle du corps, ainsi que le rôle que ce corps peut jouer dans l'espace. Le corps peut en effet être totalement ou partiellement représenté par un avatar ou bien suggéré. Selon différentes perspectives, il peut être utilisé comme repère égocentré ou allocentré.

Nous avons, ainsi, mis au point une étude dans laquelle on attribue une place prépondérante au corps de l'utilisateur grâce à une webcam. Le sujet perçoit alors son corps, ce qui renforce chez lui le sentiment d'*embodiment*. Cette technique, dite de « réalité augmentée » (RA), permet l'interpénétration du monde physique et du monde informatique. Elle se caractérise par la mise en place d'un système capable d'améliorer la perception de la réalité. Cette amélioration s'effectue par le biais d'images de synthèse qui viennent s'ajouter à des images réelles ou vidéo. L'utilisateur est par conséquent acteur et se voit en train de l'être.

Compte tenu de ces considérations, nous pensons que les mondes virtuels peuvent présenter un défi aussi bien pour révéler des symptômes que pour remédier aux troubles des schizophrènes.

Le trouble du contrôle de l'action chez le sujet schizophrène

Les études sémiologiques récentes concernant les sujets schizophrènes mettent l'accent sur les troubles que présentent ces patients dans le domaine de l'action, et ce, aussi bien sur le mode déficitaire (stéréotypies, pauvreté de l'initiative, catatonie), que sur le mode d'un éprouvé anormal de l'action (syndrome d'influence, automatisme mental).

De nombreux auteurs ont remarqué un déficit d'attribution dans la schizophrénie. Ainsi, le délire de contrôle et le syndrome d'influence des patients seraient expliqués par une mauvaise attribution des actions générées par eux à une

source extérieure : « Mes doigts prennent le crayon, mais je ne les contrôle pas » [1]. Les symptômes de premier rang (ou symptômes de Schneider) témoignent de la rupture d'un mécanisme permettant de tracer la frontière entre soi et les autres.

Frith interprète ces symptômes en se basant sur la théorie du monitoring de l'action [2, 3]. Cette dernière repose sur un mécanisme précisément décrit en physiologie sous le terme de « décharge corollaire », mécanisme selon lequel, la commande motrice serait envoyée à la fois au système sensorimoteur et à un prédicateur, *via* une copie d'efférence. L'information motrice réafférente permettrait ainsi d'anticiper les effets de l'action en cours et, par un processus de comparaison des effets anticipés et des effets observés, d'ajuster de façon continue l'action en cours d'effectuation. Le monitoring de l'action correspondrait alors au suivi de l'action en cours grâce aux informations en *feed-back*, qui en permettent l'ajustement et qui seraient d'autre part sous-jacentes à l'expérience subjective qui accompagne l'action produite. Ce système de régulation de l'action repose donc sur le couplage de deux modes de contrôle de l'action : un *feed-back* externe, périphérique, qui correspond à l'évaluation perceptive ou proprioceptive des effets de l'action, et un *feed-back* interne, par réafférence de la commande motrice et de l'anticipation des effets de l'action, précédant le *feed-back* externe. L'adéquation entre la prédiction de l'action et ce qui en résulte est ce qui est à la base de l'« agentivité ».

L'hypothèse de Frith sur la schizophrénie est celle d'une perte d'agentivité s'expliquant par un déficit du monitoring interne de l'action, ne laissant au patient que la possibilité de recourir au monitoring externe pour prendre conscience de son action et de ses effets. Il en résulte une difficulté notable du sujet à corriger leurs erreurs motrices à des stades précoces et par conséquent à ajuster leurs actions. On observe, en outre, une altération de l'expérience subjective de l'action, le patient constatant qu'il agit mais ne s'éprouvant pas comme l'auteur de cette action (syndrome d'influence).

Présence et agentivité

Lorsque j'effectue une action, je sais que je suis l'auteur de cette action. Cette évidence est à la base de la constitution du moi.

Dans un environnement virtuel, un composant essentiel de l'agentivité, c'est-à-dire la capacité à attribuer mes propres actions, est le sentiment de présence. Présence et agentivité sont interdépendantes l'une de l'autre car, lorsque, dans un environnement virtuel, l'on se considère comme l'auteur de ses propres mouvements, on a également le sentiment d'être d'autant plus présent dans cet environnement. Plus précisément, on soutient, avec Russell, que la présence vient de l'agentivité par la capacité à distinguer le self d'autrui [9].

La présence est communément définie comme l'état psychologique dont l'effet est de nous faire accroire que nous sommes dans un endroit, ou dans un environnement, quand bien même on se trouverait, « en réalité », physiquement dans un autre [12].

Afin d'approfondir le rapport entre présence et agentivité, la question se pose alors de savoir ce qu'il en est de ce rapport chez les sujets schizophrènes, qui éprouvent à la fois un trouble de l'agentivité et de la perception du moi ? Les sujets schizophrènes perdent-ils ou gagnent-ils à l'attribution de l'action dans un monde virtuel ? Dans le cas d'un taux de présence élevé, on pourrait alors supposer qu'ils sont impliqués dans le monde virtuel et risquent par conséquent de perdre plus facilement la notion de réalité. On pourrait en effet supposer que, l'un de leurs symptômes positifs récurrents étant la déréalisation, ils soient davantage immergés dans le monde virtuel et susceptibles dès lors de perdre toute notion du réel.

A contrario, on pourrait s'attendre à ce que le sujet schizophrène fasse montre d'une présence moins importante dans l'environnement virtuel. En effet, nous supposons, comme Zahoric [14], que la présence repose sur la boucle perception-action, qui est à la base même de l'agentivité. Or, selon nombre d'auteurs, les sujets schizophrènes révèlent un déficit d'agentivité, ce qui impliquerait qu'ils devraient se sentir moins présents dans un monde virtuel [7].

Dans cette perspective, nous évaluons les performances d'un groupe pilote de 10 témoins et 10 schizophrènes lors d'un test de réalité augmentée. À la fin du test, chaque sujet remplit un questionnaire de présence [10].

Dans l'environnement virtuel que nous avons choisi, l'utilisateur se trouve devant un miroir rectangulaire qui contenant aléatoirement un bonus ou un malus dans chaque coin. Le miroir subit une rotation horizontale et/ou verticale. Disposant de trois minutes au total, le sujet doit alors attraper à l'aide de ses bras les bonus. Il se trouve ainsi projeté dans un monde virtuel faisant appel à une capacité cognitive importante et à des niveaux de rotation mentale. Ce test requiert une capacité à inverser mentalement l'image de son corps [6].

Dans chaque test, les conditions sont les suivantes :

- une condition témoin, décrite préalablement ;
- une condition « cache », dans laquelle la partie centrale du corps du participant est cachée. Le sujet ne peut voir que ses bras bouger mais pas le reste de son corps, ce qui produit un effet de démembrement, une altération de la perception visuelle du corps (*figure 1*).

Les résultats

La *figure 2* montre un contraste évident entre les deux groupes quant à la différence des performances entre les deux conditions. On note en effet une diminution des performances chez les sujets témoins dans la condition mas-



Figure 1. L'environnement virtuel de l'étude.

que (différence = 14,5), au contraire des sujets schizophrènes, dont les performances augmentent (différence = - 3).

En ce qui concerne l'échelle globale de présence (tableau 1), les scores sont significativement plus élevés chez les sujets témoins que chez les sujets schizophrènes (témoins, moyenne = 75,75 ; schizophrènes, moyenne =

58,5 ; test $T = 0,01$). De plus, les sous-scores présentent des différences (tableau 1) ; par exemple, pour la possibilité d'agir, l'interaction semble plus naturelle pour les sujets témoins que pour les sujets schizophrènes (test $T = 0,01$), laissant ainsi supposer que ces derniers ont un meilleur contrôle de leurs mouvements.

Le sous-score qualité de l'interface est également différent, c'est-à-dire que le dispositif interfère davantage pour les sujets schizophrènes que pour les sujets témoins, provoquant ainsi un manque d'attention des sujets schizophrènes.

Enfin, la possibilité d'examiner l'environnement est plus importante chez les sujets témoins que chez les sujets schizophrènes (groupe témoin, moyenne = 14,25 ; groupe schizophrène, moyenne = 10,25).

Discussion

Nous avons donc été confrontés à deux situations différentes : celle dans laquelle l'utilisateur se voyait comme dans un miroir, d'une part, et une autre, inversée, d'autre part.

Lors de l'inversion du miroir, une discordance est produite entre l'intention d'attraper la cible et les conséquences sensorimotrices. Cette inadéquation crée chez le sujet un conflit cognitif qui nécessite une conscience du *feedback* sensoriel et un contrôle conscient du mouvement de son corps [13]. Ce monitoring devient un constituant crucial dans le contrôle des mouvements conscients. Il s'agit d'un processus dans lequel le modèle interne d'action auto-générée est comparé aux conséquences et peut être modifié par les actions *on line* du sujet en cas de discordance. Lors du test, l'utilisateur doit corriger ses mouvements lorsqu'il se rend compte que le miroir est inversé. Il ajuste ainsi son modèle interne selon l'*output* du *feedback* sensoriel désiré. Il s'agit d'un recalcul des *inputs* sensoriels qui

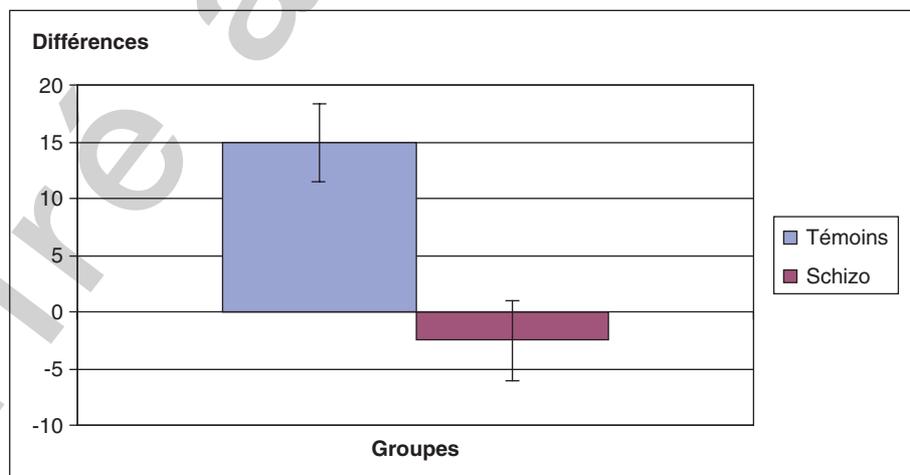


Figure 2. Différence entre la condition témoin et la condition cache.

Tableau 1. Comparaison de l'échelle de présence entre le groupe de témoins et de schizophrènes

Présence	Témoins		Schizophrènes		Test de significativité P test T
	Moyenne	Et	Moyenne	Et	
Réalisme	32,88	4,80	32,0	5,61	0,72
Possibilité agir	23,50	2,91	16,13	3,90	0,01
Qualité interface	6,50	3	9,38	1,99	0,04
Possibilité examiner	14,25	3,50	10,25	2,44	0,02
Auto-évaluation performances	11,63	2,68	9,50	3,12	0,16
Score global	75,75	10,79	58,5	15,34	0,01

résultent d'une révision de la posture appropriée. La tâche est d'autant plus difficile lorsque le miroir est doublement inversé (horizontal et vertical). Cette situation requiert une flexibilité mentale plus importante ainsi qu'une capacité de rotation mentale [11].

La présence du cache vient interférer dans cet ajustement entre la commande motrice et les conséquences sensorielles parce que l'information visuelle est moindre. L'utilisateur ne sait donc pas si le miroir est inversé ou non et le niveau de la boucle perception action devient alors moins important.

Or, le fait que, chez les schizophrènes, les performances soient moindres et qu'il n'existe aucune différence entre les conditions justifie l'existence d'un déficit de la boucle perception-action, déficit à l'origine du trouble d'agentivité. Les sujets schizophrènes n'utilisent pas, ou peu, la totalité de l'information visuelle dans la condition contrôle et se satisfont d'une information partielle pour accomplir le test.

Par ailleurs, les résultats montrent l'existence d'une corrélation entre les performances aux tests et le score de l'échelle de présence. Les sujets schizophrènes ont en effet un sentiment de présence moins important que les témoins. La présence repose donc sur la boucle perception-action. Cette approche insiste sur l'action plutôt que sur les données sensorielles et fait de cette boucle un élément essentiel à la présence. Selon Zahoric, « *being there is actually the ability to do here* » et « *presence is tantamount to successfully supported actions in the environment* » [14]. Cette caractérisation dépasse la distinction entre les mondes réel et virtuel et la remplace par la boucle perception-action, qui associe ces deux mondes.

Dans cette même lignée, Herrera affirme que la présence prend partiellement racine dans l'agentivité, puisque le développement mental est lié à notre interaction avec l'environnement et le sens d'agentivité. Bien que ces deux concepts aient un statut épistémologique différent, l'agentivité participe à la présence dès le plus jeune âge [5]. Herrera affirme également qu'il existe un continuum qui va d'une absence d'agentivité et d'une observation passive, jusqu'au sentiment d'être totalement engagé dans l'environnement. Par conséquent, l'agentivité serait une variable qui contribuerait à la présence.

Plus précisément, on pourrait dire que le test utilisé dans cette étude implique une présence de bas niveau (ou proto-présence [8]), qui correspond à un type de présence *embodied*, liée au niveau de la boucle perception-action. Plus il est possible de coupler correctement ses perceptions et ses mouvements, plus la distinction entre soi et le monde extérieur est établie.

La réalité virtuelle : danger ou thérapie ?

L'hyper-présence est un monde autistique

Le risque d'un excès de la présence dans un environnement virtuel est l'enfermement, avec des métaphores psychiatriques comme l'autisme, d'un corps prétendument autarcique, ou bien, dans le cas qui nous occupe ici de la schizophrénie, d'un corps déterritorialisé qui imagine possible un monde hors d'un cadre spatio-temporel peut se hisser au délire de grandeur d'une intelligence artificielle, ou encore, rejoindre la paranoïa d'une communauté virtuelle en quête d'une personnification.

Cependant, à la question de savoir si la réalité virtuelle présente un risque potentiel pour les schizophrènes, nous avons mené une étude de l'utilisation de la réalité virtuelle de ces dits patients avec un nombre conséquent de schizophrènes [20]. Nous pouvons donc répondre, en nous basant sur cette étude, qu'aucun sujet témoin ou schizophrène n'a subi d'effets défavorables suite au test. En outre, dans la littérature, aucune étude ne prouve en quoi que ce soit le danger d'un recours à la réalité virtuelle dans la schizophrénie, ni même ne souligne un quelconque risque d'aggravation des symptômes positifs des patients. Afin de vérifier l'innocuité du test, nous avons demandé aux patients schizophrènes de remplir un questionnaire juste après le test, le lendemain, puis la semaine suivante. Les questions que nous posions étaient surtout celles qui se rapportaient à la notion de transformation de leur quotidien, à savoir : « Le test a-t-il une influence sur vos mouvements ? Pensez-vous qu'il y ait une différence entre l'environnement virtuel et la réalité ? » Nous avons constaté des réponses négatives des sujets à toutes ces questions.

En revanche, les patients semblaient tous motivés et enthousiastes par le test qui leur était proposé. Nombre

d'entre eux semblent en effet avoir fait preuve d'une amélioration — sur l'apathie, notamment.

La remédiation

Le déficit de présence que nous avons retrouvé chez les patients pose la question de savoir s'il s'agit d'un déficit primaire ou adaptatif. En relation avec le déficit d'agentivité, il laisse à penser que cette situation spécifique lors de la confrontation des mondes virtuels pourrait représenter des situations permettant une remédiation.

Les environnements virtuels n'aggravent pas les symptômes des sujets schizophrènes, mais donnent la possibilité de développer de nouveaux outils thérapeutiques, notamment en sollicitant leur agentivité.

Pour certains apprentissages (remédiations), les robots s'avèrent plus efficaces que les humains, justement parce qu'ils sont moins compliqués et par là même plus décodables ; en miroir, notamment, ils ne sont pas gênés autant que les humains (ils n'ont pas à inhiber leur habitus social) pour interagir avec les patients. Cela est vrai aussi bien pour les autistes, que pour les sujets schizophrènes et les sujets déments de type Alzheimer.

En première analyse, les mondes virtuels et les mondes propres au patient schizophrène semblent comparables mais, en réalité, on constate qu'ils sont en seconde analyse très différents car, même dans un monde virtuel, le schizophrène n'agentivise pas et ne se révèle pas aussi présent que les sujets témoins.

Remerciements. les auteurs souhaitent remercier l'équipe du 10^e secteur de l'hôpital de Ville-Évrard pour avoir participé à la réalisation de cette étude.

Références

1. BLAKEMORE S. La reconnaissance des conséquences sensorielles de l'action. In : *Imiter pour découvrir l'humain*. Éd. Puf, 2002.
2. FRITH C. *The Cognitive Neuropsychology of Schizophrenia*. Hillsdale, USA : Lea Publishers, 1992.
3. FRITH C, BLAKEMORE S, WOLPERT D. Explaining the symptoms of schizophrenia : Abnormalities in the awareness of action. *Brain Res Rev* 2000 ; 31 : 357-63.
4. FUCHS P, MOREAU G, PAPIN JP. *Le Traité de la réalité virtuelle*. Paris : Presses de l'École des mines, 2001.
5. HERRERA G, JORDAN R, VERA L. Agency and presence : a common dependence on subjectivity? *Presence* 2006 ; 15 : 539-52.
6. LALLART É, LALLART X, JOUVENT R. *The role of the body image in the monitoring of action in schizophrenia*. *Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting*. 2007 ; (New York).
7. LALLART É, LALLART X, JOUVENT R. Cybertherapy conference June 2007, Washington.
8. RIVA G. *Being-in-the-world-with : presence meets social and cognitive neuroscience*. *Emerging communication : studies in new technologies and practices in communication*. 2006 ; (Vol. 9).
9. RUSSELL J. *Agency : Its Role in Mental Development*. Hove : Erlbaum (UK), Taylor & Francis, 1996.
10. SCHUBERT T, FRIEDMANN F, REGENBRECHT H. The experience of presence : factor analytic insights. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 2001 ; 10 : 266-81.
11. DE VIGNEMONT F, ZALLA T, POSADA A, et al. Mental rotation in schizophrenia. *Consciousness and cognition* 2006 ; 15 : 295-309.
12. WITMER B, SINGER M. Measuring presence in virtual environments : a presence questionnaire. *Presence* 1998 ; 7 : 225-40.
13. WOLPERT DM, GHARAMANI Z, JORDAN MI. An internal model for sensorimotor integration. *Science* 1995 ; 269 : 1880-2.
14. ZAHORIK P, JENISON R. Presence as being-in-the-world. *Presence* 1998 ; 7 : 78-89.