

## Perception, immersion et interactions sensorimotrices en environnement virtuel

Malika AUVRAY\*, Philippe FUCHS#

**RESUME.** Les définitions que nous donnons de l'immersion en environnement virtuel dépendent de celles que nous donnons à la perception. En effet, envisager la perception uniquement comme un traitement passif des informations issues des entrées sensorielles amène à concevoir la présence dans un environnement simulé comme une illusion des sens. Par contre, si nous considérons la perception comme une construction active de l'observateur, l'immersion cognitive est alors envisagée comme une appropriation active d'un nouveau dispositif technique, dont le sentiment de présence est l'une des étapes. Cette dernière perspective, située dans la lignée des théories sensorimotrices de la perception, implique de replacer le processus d'interaction au cœur du phénomène d'immersion. Après avoir présenté les implications des théories sensorimotrices de la perception sur les acceptations des concepts d'immersion et de présence, cet article décrira l'approche théorique et pragmatique développée à partir du modèle 3I<sup>2</sup>, basé sur l'immersion et l'interaction de l'utilisateur.

**Mots clés :** Immersion, interaction, théorie sensorimotrice, réalité virtuelle, présence.

**ABSTRACT. Perception, Immersion and Sensorimotor Interactions in a Virtual Environment.** The definitions of immersion in a virtual environment depend on the definitions given to perception. Indeed, defining perception as a passive processing of sensory information leads to an understanding of presence as an illusion of the senses. On the other hand, if perception is defined as an active construction of the observer, cognitive immersion will be considered as an active appropriation of a technical device and the feeling of presence as one moment of this appropriation. This latter view, in line with sensorimotor theories of perception, involves replacing the process of interaction at the centre of the phenomenon of immersion. After having presented the implications of sensorimotor theories of perception on the definitions of the notions of presence and immersion, we will describe the theoretical and pragmatic approach developed from the model 3I<sup>2</sup>, based on users' immersion and interaction.

**Key words:** Immersion, interaction, sensorimotor theory, virtual reality, presence.

### INTRODUCTION

Les définitions de l'immersion et de la perception s'entremêlent et s'interrogent. La perception, qu'elle ait lieu dans un environnement naturel ou virtuel, est envisagée de deux façons. Selon une conception classique, la perception est un processus dans lequel le système sensoriel reçoit passivement des stimulations, puis traite ces informations afin d'identifier objets et événements sous la forme d'une représentation interne. Selon une conception active,

---

\* Department of Experimental Psychology, University of Oxford, South Parks Road, Oxford, OX1 3UD, UK. Courriel : malika@malika-auvray.com

# Équipe Réalité Virtuelle et Réalité Augmentée, Centre de Robotique d'ARMINES, École des Mines de Paris, 60 Bd Saint Michel, 75272 Paris Cedex 06. Courriel : philippe.fuchs@ensmp.fr

la perception est construite sur la base de l'extraction de régularités entre les actions effectuées et les stimulations sensorielles résultantes. De ces deux conceptions de la perception découlent deux manières d'envisager l'immersion sensorimotrice et la présence (ou immersion cognitive) dans les applications de réalité virtuelle : soit comme une illusion des sens, soit comme une appropriation active d'un nouveau dispositif technique. Dans un premier temps, nous présenterons l'approche sensorimotrice de la perception et son implication sur les définitions du phénomène d'immersion. Puis nous présenterons le modèle 3I<sup>2</sup> (Fuchs, 1999) qui définit trois niveaux d'immersion et d'interaction avec leurs caractéristiques propres. Cette approche à la fois théorique et pragmatique nous permettra d'apporter des éléments de réponse aux trois problématiques fondamentales dans les applications de réalité virtuelle : 1) Comment techniquement peut-on permettre à un utilisateur d'être immergé efficacement dans un environnement virtuel et lui permettre d'y agir ? 2) Comment l'utilisateur s'approprie cette nouvelle manière d'agir et de percevoir dans cet espace virtuel ? 3) Comment l'utilisateur peut-il y accomplir des tâches, des activités qui sont les objectifs de l'application de réalité virtuelle ?

## 1- PERCEPTION, INTERACTION ET IMMERSION

### 1.1. Les théories sensorimotrices de la perception

Les théories sensorimotrices de la perception se sont développées en opposition à une conception linéaire et séquentielle du processus perceptif. En d'autres termes, elles vont à l'encontre d'une conception de la perception identifiée à un système de traitement linéaire de l'information, pour laquelle les « données des sens » sont considérées comme une entrée ; à cette entrée succèdent la perception et le raisonnement, qui débouchent enfin sur l'action, envisagée comme une sortie. Au contraire, elles envisagent la perception comme un processus, une activité (Havelange et al., 2002).

Avec l'objectif de défendre l'idée d'une perception active, Gibson (1966, 1979) détermine deux manières possibles de concevoir les sens. Soit les sens sont des canaux de sensations, essentiellement passifs, qui sont à l'origine des qualités de l'expérience. Soit ils sont des systèmes perceptifs, essentiellement actifs, qui extraient ces informations et sont sources de connaissances sur le monde. Gibson retient la seconde définition. Pour lui, la perception visuelle n'est pas basée sur la sensation visuelle, mais sur l'information contenue dans les propriétés structurelles invariantes des stimuli : percevoir, c'est extraire grâce aux mouvements cette information en en détectant les invariants. L'hypothèse que les objets de notre perception ne sont pas à proprement parler les invariants de la sensation, mais plutôt les invariants de cercles sensorimoteurs inséparables de l'activité du sujet, est reprise dans de nombreuses théories sensorimotrices (Brooks, 1999 ; Lenay, 2002 ; Noë, 2004 ; O'Regan et Noë, 2001 ; Paillard, 1971 ; Piaget, 1937 ; Stoffregen et Bardy, 2001 ; Varela et al., 1991).

Ainsi, les théories sensorimotrices envisagent la perception comme une relation de couplage avec l'environnement. Elle est construite sur la base de la maîtrise des régularités entre les actions effectuées et les stimulations sensorielles résultantes. Une telle conception de la perception a une implication fondamentale sur les définitions de l'immersion en environnement virtuel : replacer le processus d'interaction au cœur du phénomène d'immersion. Après avoir exposé cette co-dépendance des processus d'interaction et d'immersion,

nous décrivons le modèle 3P<sup>2</sup>, qui définit trois niveaux d'immersion et d'interaction en réalité virtuelle dotés de caractéristiques propres.

### 1.2. Interaction et corps propre

L'utilisation d'un nouveau dispositif technique modifie notre couplage sensorimoteur avec l'environnement ; et par là même il modifie notre perception. Pour comprendre comment s'effectue une perception grâce à un outil (outil matériel ou dispositif de réalité virtuelle), il faut comprendre quelles sont les modifications sensorimotrices qui ont lieu lorsque nous utilisons ce nouvel outil. Il faut ainsi cerner comment un dispositif technique donne naissance à un espace perceptif nouveau, puis comment les utilisateurs constituent et maîtrisent ce nouvel espace perceptif afin de s'y sentir immergé.

De nombreux exemples permettent de constater que des espaces perceptifs se créent ou se modifient lors de l'utilisation d'outils. Lorsque nous utilisons des jumelles, nous avons l'impression d'être dans un espace perceptif distant. Lorsque nous jouons à un jeu vidéo, nous avons l'impression d'être dans un espace perceptif différent. Dans ces deux cas, nous avons le sentiment d'être dans un lieu différent du lieu où se situent nos organes sensoriels – c'est-à-dire ailleurs que l'endroit où nous recevons la stimulation sensorielle. Nous nous sentons sur le lieu de nos expériences perceptives. Ainsi, l'utilisation d'un nouvel outil transforme les modes de couplage entre l'homme et son environnement, tant sur le plan de l'action que de la sensation ; et par là même, il donne naissance à des modes de perception et d'action nouveaux. Les modifications de nos espaces d'action et de perception par l'appropriation d'un nouvel outil peuvent être comprises comme une modification de notre corps propre, c'est-à-dire de notre corps comme possibilité d'agir et de sentir. Nous retrouvons ainsi l'analyse de la perception effectuée par Merleau-Ponty : « Ce qui importe pour l'orientation du spectacle, ce n'est pas mon corps tel qu'il est en fait, comme chose dans l'espace objectif, mais mon corps comme système d'actions possibles, un corps virtuel dont le « lieu » phénoménal est défini par sa tâche et par sa situation. Mon corps est là où il y a quelque chose à faire » (Merleau-Ponty, 1945). Merleau-Ponty dissocie ainsi le corps en tant que chose perçue du corps propre ou corps percevant, défini par l'ensemble de nos possibilités d'agir et de sentir. C'est notre corps propre qui se voit transformé par l'utilisation de nouveaux dispositifs de couplage avec l'environnement.

Ces modifications de notre corps propre vont déterminer des modifications de nos espaces de perception et d'action. Des espaces perceptifs se constituent par l'action, par les possibilités de percevoir et d'agir du corps propre et se modifient lors de l'appropriation du nouveau dispositif technique. En cela, l'outil nous permet la constitution d'un espace de perception nouveau et différent de celui auquel nous avons accès sans cet outil. Par conséquent, nous pouvons définir deux espaces de perception et d'action : un espace perceptif *organique* qui est l'espace de notre perception lorsque nous nous séparons de l'outil, lorsque nous percevons sans l'outil. Et un espace perceptif *ouvert par l'outil* qui est l'espace de perception que nous offre l'outil. Lorsque l'outil est saisi, lorsqu'il sert à percevoir, il n'est plus lui-même perçu. L'outil ne participe pas à l'activité perceptive en tant que forme perçue, mais parce qu'il transforme les conditions de l'action et donc le champ perceptif possible. En revanche, le dépôt de l'outil nous fait revenir à un espace de perception et d'action qui est celui de notre corps organique. C'est là une des caractéristiques

fondamentales des outils qui, à la différence de nos modalités sensorielles, sont des organes d'actions et de perceptions séparables. Ainsi, l'appropriation d'un outil implique la saisie de l'outil et la perception d'objets via l'outil, mais aussi le lâcher de l'outil, la possibilité de percevoir et d'agir sans l'outil. L'appropriation d'un outil nous fait envisager notre corps propre en un sens dynamique, sans cesse renégoié par la saisie ou le dépôt d'outil.

### ***1.3. Interaction et espaces perceptifs***

Lorsque nous nous saisissons d'un outil, ce dernier devient une extension de notre corps propre. Mais surtout, l'outil modifie la manière dont nous interagissons avec l'environnement. En particulier, un grand nombre d'outils modifient nos points d'actions. Par exemple, lorsque nous utilisons un marteau, nous effectuons une action sur le manche du marteau : le lieu à partir duquel nous transformons notre milieu se situe pourtant à l'extrémité du marteau – à son point de contact avec par exemple un clou. Si nous écrivons avec un crayon, le lieu à partir duquel nous modifions notre milieu devient la pointe du crayon. Lorsque nous nous servons d'un ordinateur, nous manipulons la souris, mais le lieu à partir duquel nous modifions le milieu, notre point d'action, est le curseur sur l'écran de l'ordinateur. Dans le cas des espaces distants, le terme de téléprésence, formulé par des roboticiens et la NASA, signifie l'illusion d'être - grâce à un système de télécommunication - dans un emplacement physique autre, mais où l'on peut agir de façon synchrone à l'espace où l'on se trouve (e.g., Biocca et Delaney, 1995 ; Minsky, 1980). C'est un « moyen de donner l'illusion à l'utilisateur d'être présent à un endroit où il n'est pas » (Pimentel et Teixeira, 1994). Les dispositifs de téléprésence modifient les points d'actions des utilisateurs en introduisant une distance physique entre points d'actions organiques et points d'actions distants. Ces dispositifs offrent ainsi à l'utilisateur un espace perceptif nouveau, dans ce cas réel et à distance.

D'autres outils impliquent une modification des stimulations sensorielles. Ces modifications vont d'une traduction selon un code extrêmement simple (comme traduire une sensation de douleur dans un jeu vidéo par un son correspondant) à une traduction plus complexe, comme dans le cas des dispositifs de substitution sensorielle qui transforment une information visuelle par exemple en un retour tactile ou sonore. Dans ce cas, une information source (perception distante) est convertie puis transmise à l'utilisateur (stimulation organique).

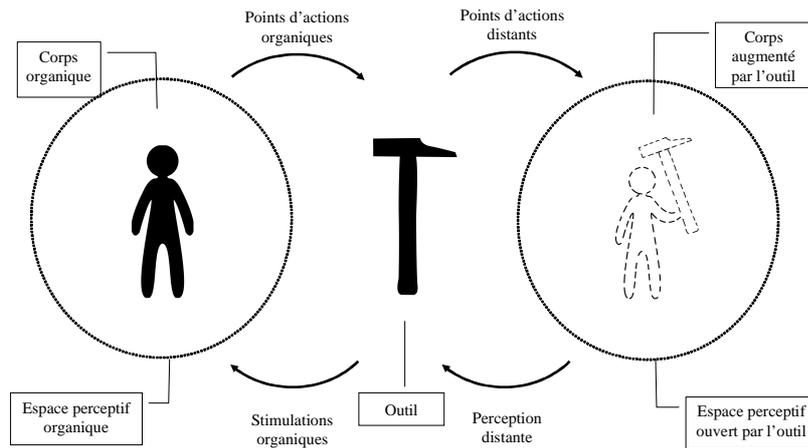


Figure 1 : Dispositifs techniques et espaces perceptifs

Ces distinctions permettent de mieux comprendre le processus d'immersion comme résultant de l'appropriation réussie d'un nouvel outil. A un niveau fondamental, l'utilisateur doit maîtriser les régularités entre les actions effectuées avec l'outil et les stimulations sensorielles résultantes. Plus particulièrement, l'utilisateur doit comprendre trois types de relations : celle entre points d'actions organiques et stimulations organiques, entre points d'actions organiques et distants, et entre perception distante et stimulation organique (voir figure 1). Les types de relations à maîtriser varient en fonction des outils utilisés. Par exemple, les applications de réalité virtuelle colocalisées n'entraînent pas de modifications de nos points d'actions. D'autres outils n'impliquent pas de transformation des stimulations sensorielles reçues.

La maîtrise de ces nouvelles régularités (immersion sensorimotrice) permet à l'utilisateur d'oublier le dispositif technique (i.e., transparence de l'interface). Lorsque l'utilisateur n'a plus à réfléchir au fonctionnement de l'interface, il peut se sentir dans l'espace perceptif ouvert par l'outil (immersion cognitive) et effectuer des actions ayant un sens dans ce nouvel espace perceptif (immersion fonctionnelle). Ce processus d'appropriation à trois niveaux (sensorimoteur, cognitif et fonctionnel) s'applique similairement aux dispositifs de réalité virtuelle. Le paragraphe suivant va détailler les spécificités de ces processus d'immersion en réalité virtuelle.

## 2. LE MODELE 3I<sup>2</sup> POUR L'IMMERSION ET L'INTERACTION

La réalité virtuelle permet une interaction dans un environnement synthétique, généré par un ordinateur. De plus, la réalité virtuelle fait émerger des *images actées*, images qui ne sont plus faites pour être vues, mais pour être enchaînées avec des actes. En effet, « après l'ère des images faites à la main et celle des images construites par des rayons lumineux, nous sommes dans l'époque des images produites par le calcul. Les deux précédentes époques avaient ceci de commun que l'image était toujours perçue à distance, sans altération. Dessinée, peinte ou enregistrée, l'image est toujours hors de portée dans l'espace (pas question de s'en saisir) et hors de portée dans le temps (impossible de revenir aux conditions de sa production). Avec le numérique, on retrouve des liens organiques entre vision et activité corporelle » (Weissenberg, 2003). Afin de mieux comprendre les problématiques liées au statut de l'image

interactive, le modèle 3P<sup>2</sup> a été développé, initialement par Fuchs (1999), pour concevoir les dispositifs de réalité virtuelle, pour les évaluer techniquement et ergonomiquement et pour analyser le comportement de l'utilisateur. Ce modèle sert de canevas pour *une méthodologie de conception et d'évaluation*, exploitée concrètement depuis dix ans environ pour la création d'applications professionnelles exploitant la réalité virtuelle.

### 2.1. L'approche instrumentale pour l'interfaçage

Afin d'analyser le processus d'immersion et d'interaction, nous avons fait le choix fondamental de découper ce processus en trois niveaux : le niveau sensorimoteur, le niveau cognitif et le niveau fonctionnel. Le premier niveau schématise l'interfaçage entre l'homme et le monde virtuel au niveau physique. C'est à ce niveau que l'ingénieur conçoit et réalise matériellement l'interfaçage technique. Nous parlons dans ce cas *d'immersion et d'interaction sensorimotrices* puisque physiquement, l'homme est relié à l'ordinateur par ses sens et ses réponses motrices. Ce niveau d'immersion et d'interaction est quantifiable par rapport aux caractéristiques des sens et des réponses motrices exploités, mais soulève bien des questions pour les concepteurs d'applications : quels sont les canaux sensoriels exploités ? Comment vont-ils se coupler ? Quelles interfaces motrices choisir pour les actions de l'utilisateur ? Quelles sont les incidences des incohérences sensorimotrices qu'il est techniquement impossible d'éviter en réalité virtuelle ? Comme illustré sur le schéma technocentrique (figure 2), à ce niveau physique d'immersion et d'interaction sensorimotrices, la boucle «perception, cognition, action» de l'utilisateur est modifiée par l'introduction d'artefacts (les interfaces, leurs drivers et un ou plusieurs ordinateurs), qui induisent entre autres des temps de latence et des incohérences sensorimotrices.

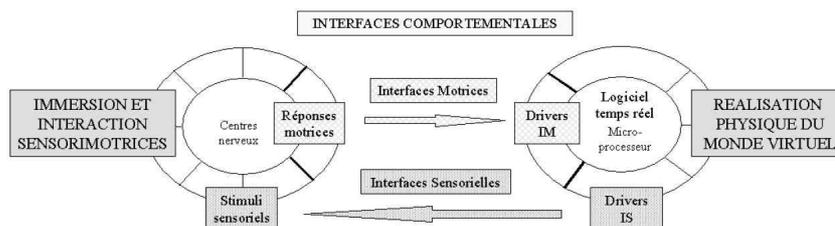


Figure 2 : Le schéma technocentrique

La figure 2 présente une relation duale entre le monde réel et le monde virtuel. Mais si, comme Rabardel (1995) dans son approche instrumentale de l'interfaçage nous décrivons l'instrument (l'interface) comme un médiateur d'activité, il est souhaitable de présenter l'interfaçage dans un schéma triadique dont nous proposons l'équivalent en réalité virtuelle. La figure 3 étend le schéma présenté pour l'appropriation d'outil en général (figure 1) afin de l'appliquer plus spécifiquement aux dispositifs de réalité virtuelle.

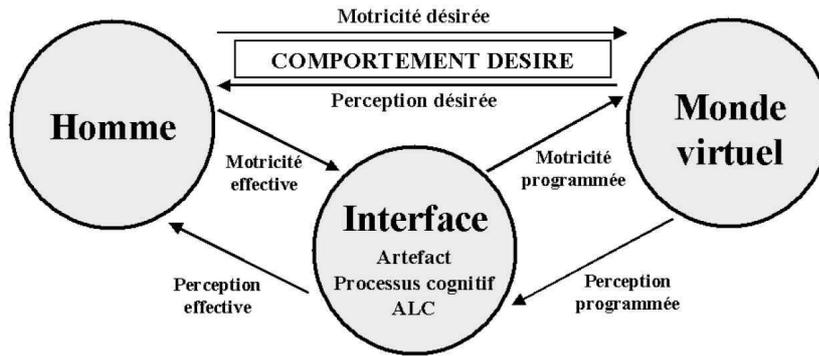


Figure 3 : schéma triadique d'interfaçage en réalité virtuelle

Deux types de liaisons physiques sont représentées : de la personne à l'interface et de cette dernière à l'ordinateur. Mais l'utilisateur doit aussi avoir une activité (un comportement) dans le monde virtuel, l'interface devant lui être transparente. La liaison directe du schéma représente cette activité désirée (motricité et perception), mais celle-ci n'est pas maîtrisable technologiquement. Concrètement, cette activité est réalisée physiquement par une motricité et une perception effectives entre l'homme et les interfaces. Celles-ci reposent matériellement sur des artefacts (ou instruments) et sont exploitées par l'utilisateur à l'aide de processus cognitifs qui lui sont propres. Mais à quel type de processus cognitif l'utilisateur immergé va-t-il faire appel dans sa situation ? L'utilisateur pourra-t-il maîtriser et exploiter ce processus cognitif avec efficacité ? C'est une des grandes difficultés de l'interfaçage en réalité virtuelle. Afin de répondre à cette problématique, nous présentons dans le paragraphe suivant l'intérêt de faire appel aux notions de schème et de métaphore.

## 2.2. Interfaces, schèmes et métaphores

L'un des objectifs principaux d'une application de réalité virtuelle est de proposer à l'utilisateur une interaction et une immersion lui imposant le minimum d'efforts sensorimoteurs et cognitifs. Qu'est ce que cela implique ? Dans le monde réel, de nombreuses activités sensorimotrices reposent sur des automatismes que nous avons acquis. Nous faisons l'hypothèse que les automatismes acquis dans le monde réel se transféreront dans le monde virtuel si les caractéristiques du comportement et de l'interaction sont suffisamment proches. Prenons un exemple : dans un magasin virtuel, le consommateur souhaite se déplacer entre les allées. Nous lui proposons comme interface comportementale un chariot réel qu'il va pousser et orienter face à un écran. Dans ce cas, le consommateur va inconsciemment et naturellement exploiter un des automatismes qu'il a acquis lors de ses achats en magasin réel pour les exploiter en virtuel avec, néanmoins, quelques différences sensorimotrices. L'utilisateur peut donc faire appel dans son activité sensorimotrice à un schème qu'il a assimilé dans le monde réel (comme déplacer un chariot, voir figure 4a). Nous basons notre démarche sur ce concept pour obtenir des interfaces, dites comportementales, proposant une immersion et une interactivité pseudo-naturelles. L'interface comportementale est donc une entité mixte comprenant

à la fois un artefact (le dispositif matériel) et un schème, que nous appelons « *Schème Comportemental Importé* » (SCI). Ce schème est importé de l'environnement réel. Un Schème Comportemental Importé, exploité en environnement virtuel, est souvent biaisé par rapport au schème en environnement réel. Par exemple, pour la préhension et la manipulation des objets dans un magasin virtuel, les fonctions sensorimotrices sollicitées sont différentes de celles du monde réel : grâce à un traqueur à six degrés de liberté, l'utilisateur peut prendre l'objet virtuellement et le manipuler. Mais son regard est orienté vers l'écran et non vers ses mains, de plus, la prise de l'objet se fait en général sans la fermeture réelle des mains. Cependant, bien que ces biais existent, l'utilisateur pourra recréer un nouveau schème en extrayant les nouvelles régularités entre les actions effectuées et les stimulations sensorielles résultantes.

Dans le cas de difficultés techniques, économiques ou théoriques ne permettant pas d'exploiter un SCI, nous pouvons employer une « *métaphore* ». Au lieu d'exploiter un comportement sensorimoteur acquis dans le monde réel, nous proposons à l'utilisateur, visuellement en général, une image symbolique de l'action ou de la perception souhaitée. Par exemple, pour se déplacer dans le magasin virtuel, on peut proposer à l'utilisateur un simple plan 2D du magasin : en cliquant avec une souris, il indique où il veut aller et obtient instantanément sur son écran le point de vue du lieu demandé (voir figure 4b). Dans ce cas, l'action de se déplacer devient symbolique et n'est plus représentative de l'action sensorimotrice dans un magasin réel. Pour le concepteur d'application, il y a donc toujours la possibilité de choisir entre schème et métaphore, choix non binaire car, vu les technologies des interfaces RV, il y a un continuum des possibilités techniques d'interactions entre schème et métaphore.

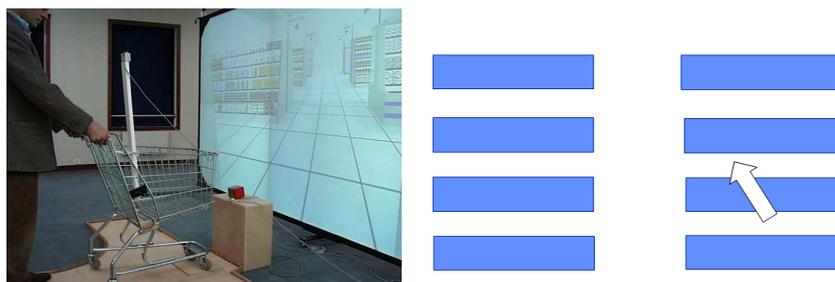


Figure 4a : Déplacement virtuel en exploitant « le schème du chariot »

Figure 4b : Déplacement virtuel en exploitant « la métaphore du plan du magasin »

### 2.3. Le modèle de référence 3I<sup>2</sup>

Les considérations précédentes sur les processus cognitifs liés à l'interfaçage comportemental ne suffisent pas à établir une méthode d'analyse et surtout de conception d'un dispositif de réalité virtuelle. Pour cela, nous proposons un modèle général pour la réalité virtuelle qui définit trois niveaux d'immersion et d'interaction. Comme nous l'avons exposé, au niveau physique, nous parlons d'immersion et d'interaction (I<sup>2</sup>) sensorimotrices, puisque physiquement l'ordinateur est connecté à l'homme par ses sens et ses réponses motrices. Mais l'objectif est que l'utilisateur s'immerge mentalement dans le monde virtuel, le niveau « inférieur » d'immersion et d'interaction sensorimotrices devant lui être mentalement invisible (transparente). Nous parlons dans ce

cas d' $I^2$  cognitives. C'est à ce niveau que se situe le choix du processus cognitif efficace pour l'interfaçage (schèmes versus métaphores).

Au troisième niveau, l'objectif est de s'attacher à réaliser une immersion pour une tâche donnée (une fonctionnalité) et non une simple immersion mentale dans ce monde virtuel. Nous parlons dans ce cas d' $I^2$  fonctionnelles. A ce niveau, il faut se poser la question suivante : quelles sont les activités que l'utilisateur veut effectuer en environnement virtuel ? Dans toutes les applications de RV, les activités de l'utilisateur sont toujours avantageusement décomposables en quelques comportements de base que nous appelons les « Primitives Comportementales Virtuelles » (PCV). Ceci est intéressant pour les ingénieurs-concepteurs car ils peuvent ainsi disposer d'un « catalogue » de solutions pour chaque catégorie et sous-catégorie de PCV, solutions établies par expérimentation et non par une approche théorique qui fait encore défaut.

Quelles que soient les applications souhaitées par les entreprises, au niveau des  $I^2$  fonctionnelles, les PCV peuvent être regroupées en quatre grandes catégories : 1) observer<sup>1</sup> le monde virtuel ; 2) se déplacer dans le monde virtuel ; 3) agir « physiquement »<sup>2</sup> sur le monde virtuel ; 4) communiquer avec autrui ou avec l'application. Soulignons que la première catégorie de PCV (observer) ne fait pas appel aux techniques spécifiques de réalité virtuelle. Elle peut aussi être réalisée lorsque l'utilisateur regarde un film de synthèse. En revanche, dans les trois autres catégories de PCV, l'utilisateur est techniquement en interaction avec l'environnement (en exploitant obligatoirement au moins une interface motrice). C'est l'innovation apportée par les techniques de réalité virtuelle.

Le modèle de référence  $3I^2$  (figure 5) est basé sur les réflexions que nous venons d'exposer. Ce modèle sert de canevas lors des premières discussions avec des professionnels désirant exploiter une application basée sur les techniques de réalité virtuelle. Au démarrage d'un projet, la question principale est de savoir quelles sont les PCV indispensables au niveau  $I^2$  fonctionnelles, sans se préoccuper de leurs réalisations aux niveaux  $I^2$  sensorimotrices et cognitives et sans tomber dans la facilité de se contenter de dire : « copions au mieux le monde réel ».

---

<sup>1</sup> L'observation est en général visuelle, mais elle peut être aussi auditive ou tactile, voire olfactive.

<sup>2</sup> Dans ce cas, la base de données informatique, représentant la modélisation physique du monde virtuel, est transformée (au niveau géométrique en général : déplacement relatif d'objets, déformation d'objets, etc.).

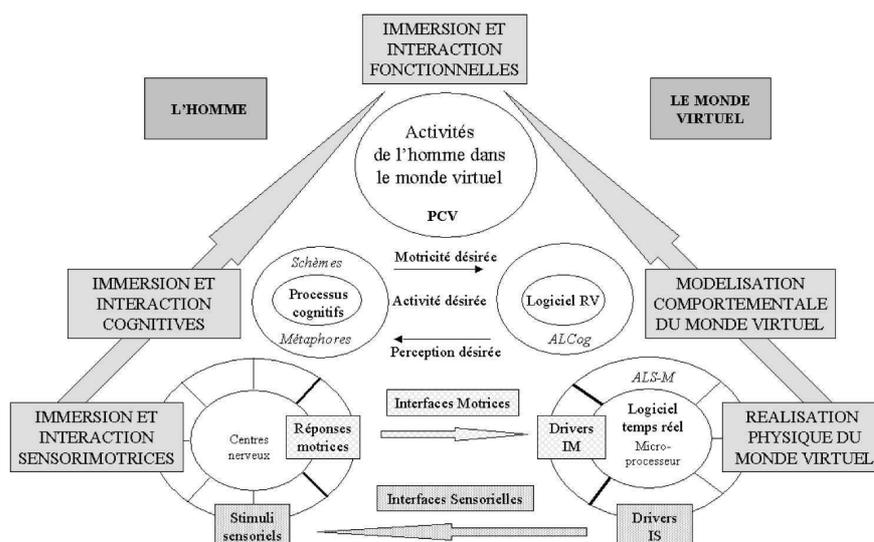


Figure 5 : schéma du modèle de référence 3P

Face aux  $I^2$  cognitives, la partie logicielle spécifique de réalité virtuelle doit gérer la modélisation comportementale du monde virtuel. Cette partie logicielle doit fournir la simulation des comportements des êtres animés ou d'autres entités ayant des comportements spécifiques. Et toujours dans cette partie, il faut aussi se préoccuper de l'interfaçage de l'utilisateur dans le monde virtuel. Il faut concevoir des *Aides Logicielles Comportementales* (ALC) associées aux schémas exploités, pour faciliter les  $I^2$  cognitives de l'utilisateur (voir Fuchs & Moreau, 2006, vol. 2, chap. 2). La conception de ces ALC dépend étroitement de la compréhension des mécanismes perceptifs dans un environnement virtuel.

Ce découpage en trois niveaux nous permet de mieux clarifier les différents problèmes rencontrés lors de l'immersion et de l'interaction d'un utilisateur. Ces différents niveaux sont étroitement liés et ne s'opposent pas. Pour préciser leur lien, donnons l'exemple de la préhension d'un objet. Nous pouvons utiliser le schème de la préhension ( $I^2$  cognitives) avec un traqueur à 6 degrés de liberté et un écran affichant l'objet ( $I^2$  sensorimotrices). Mais si les  $I^2$  sensorimotrices sont de mauvaise qualité (par exemple, un délai trop important entre l'action avec le traqueur et la perception du mouvement sur l'écran), le schème de préhension ne pourra être exploité efficacement.

Ce modèle à trois niveaux permet une analyse et une évaluation de toute application de réalité virtuelle, qui soient à la fois objectives, complètes et structurées. Ce modèle permet en conséquence d'avoir une approche méthodique et efficace pour répondre aux questions présentées au début de l'article. Il faut donc résoudre techniquement l'immersion et l'interaction, en prenant en compte les liens étroits entre les niveaux  $I^2$  sensorimotrices et  $I^2$  cognitives, entre les artefacts choisis et les processus cognitifs correspondants ainsi qu'entre l'interface motrice et les interfaces sensorielles. Ainsi, comme il l'a été mentionné, selon une approche active de la perception, l'usage et l'efficacité d'une application de réalité virtuelle dépend aussi bien des interfaces sensorielles que des interfaces motrices exploitées. Pour illustrer ce point, les expériences de Tyndiuk (2005) ont montré qu'un utilisateur ayant le même

champ de vision, soit devant un écran d'ordinateur soit devant un grand écran de quelques mètres, n'a pas le même comportement pour la manipulation d'un objet virtuel, bien qu'il ait, dans les deux cas, la même interface motrice. Pour que l'utilisateur s'approprie cette nouvelle manière d'agir et de percevoir dans cet espace virtuel, deux types de solutions sont exploitables par le concepteur : s'inspirer d'un schème sensori-moteur ou à l'opposé proposer une action symbolique, une « métaphore virtuelle ». Ce choix dépend de critères technologiques, économiques et d'apprentissage. Pour ce dernier critère, il ne s'agit pas d'apprendre à exploiter une interface motrice et une ou plusieurs interfaces sensorielles, mais d'apprendre à agir dans un nouvel espace perceptif, ayant alors ses propres *cohérences* sensori-motrices.

### CONCLUSION

Nous avons établi à la fois d'un point de vue théorique, suivant une perspective sensorimotrice de la perception, et d'un point de vue concret – le modèle de référence 3I<sup>2</sup> – un découpage en trois niveaux des processus d'immersion et d'interaction : le niveau sensorimoteur, le niveau cognitif et le niveau fonctionnel. Ce modèle à trois niveaux permet d'analyser et d'évaluer toute application de réalité virtuelle. Ce modèle permet aussi de mieux comprendre l'appropriation d'un dispositif technique (outil matériel ou dispositif de réalité virtuelle).

Le premier niveau de l'appropriation d'un nouvel outil se développe grâce à l'extraction des régularités entre les actions effectuées via l'outil et les stimulations sensorielles résultantes. La maîtrise de ces nouvelles régularités sensorimotrices (I<sup>2</sup> sensorimotrices) favorisera la transparence de l'interface. C'est sur la base de cette extraction que se fonde la compréhension de l'existence d'un espace perceptif ouvert par l'outil et d'objets, source des sensations, situés dans cet espace perceptif (Auvray, 2004 ; Auvray et al., 2005). Une fois les nouvelles régularités sensorimotrices extraites, leur automatisation est un processus indispensable pour que l'utilisateur ait l'impression d'être dans l'espace perceptif ouvert par l'outil (I<sup>2</sup> cognitives) et plus particulièrement pour qu'il agisse dans cet espace perceptif (I<sup>2</sup> fonctionnelles). L'exemple de la manipulation d'une canne (Polanyi, 1966) est largement cité : les utilisateurs situent le contact qu'ils ont avec un objet comme au bout de la canne. Prenons un autre exemple de maniement d'un outil rigide : une personne qui écrit avec un stylo ne perçoit pas la stimulation résultante sur les doigts, mais la localise subjectivement sur la page. L'automatisme de la perception d'un objet de l'espace perceptif ouvert par l'outil peut être mise en évidence à travers le maniement perturbé d'un outil. Si on essaie d'écrire en tenant ce crayon entre les dents, les vibrations sont alors autant ressenties sur les dents qu'au point de contact entre l'extrémité du stylo et la feuille. L'automatisme de la perception et l'immersion se définissent ici en creux. L'utilisateur ne se sent plus immergé lorsque la maîtrise du lien entre ses actions et la sensation résultante lui échappe. L'outil lui-même ne devient visible que sur le mode de défaillance : c'est lorsque le marteau est cassé ou que le système d'exploitation d'un ordinateur défaille qu'il s'impose à moi comme une chose qui « ne marche pas » (Khatchatourov et Auvray, 2003). Par exemple, après un long apprentissage avec un dispositif de substitution sensorielle (the Voice, développé par Meijer, 1992), les utilisateurs se sont sentis dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Ils n'avaient plus à réfléchir aux liens entre leurs actions et la stimulation sensorielle résultante, mais avaient un accès direct aux objets perçus. L'outil était

devenu transparent. Il ne redevenait visible que sur le mode de défaillance. À chaque fois que les utilisateurs rencontraient un problème d'ajustement de leurs mouvements, à chaque fois que le lien entre leurs mouvements et les stimulations sensorielles résultantes ne correspondait plus à leurs schémas sensorimoteurs acquis avec ce dispositif, ils ne se sentaient plus dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. Ils devaient effectuer un nouvel apprentissage sensorimoteur pour que le dispositif redevenne transparent (Auvray et al., 2007).

Ainsi, une fois que les utilisateurs parviennent à avoir un accès direct aux effets de leurs actions, sans avoir à réfléchir sur le maniement de l'outil ou sur le code utilisé, ils peuvent se sentir entièrement là où ils agissent, c'est-à-dire dans l'espace perceptif ouvert par l'outil. En d'autres termes le sentiment de présence dans un espace perceptif ouvert par un outil correspond au lieu où se situe l'action de l'utilisateur. Cette expérience d'être sur le lieu de nos actions s'éprouve pour tout outil et pas uniquement dans le cadre de la téléprésence et de la réalité virtuelle. Notre corps propre est constitué par nos possibilités d'agir et de sentir. Son « lieu » est défini par sa tâche. Ainsi, notre corps propre peut se superposer avec notre corps organique ou être étendu par un outil et ainsi être situé dans l'espace perceptif ouvert par l'outil, dans les deux cas, notre corps propre est là où on agit.

#### REFERENCES

- Auvray, M. (2004). *Immersion et perception spatiale. L'exemple des dispositifs de substitution sensorielle* (297 pages). Thèse de Doctorat de Psychologie : Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris.
- Auvray, M., Hanneton, S., Lenay, C., & O'Regan, J. K. (2005). There is Something out There: Distal Attribution in Sensory Substitution, Twenty Years Later. *Journal of Integrative Neuroscience*, 4, 505-521.
- Auvray, M., Hanneton, S., & O'Regan, J. K. (2007). Learning to Perceive with a Visuo-auditory Substitution System: Localization and Object Recognition with The Voice. *Perception*, 36, 416-430.
- Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive Virtual Reality Technology. In F. Biocca & M. R. Levy (Eds.), *Communication in the Age of Virtual Reality* (pp. 57-124). Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brooks, R. (1999). *Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fuchs, P. (1999). *A Theoretical Approach of the Design and Evaluation of a Virtual Reality Device*, P. Fuchs, F. Nashashibi, D. Lourdeaux, Colloque scientifique international « Réalité Virtuelle et prototypage », Laval, France, 3-4 juin 1999.
- Fuchs, P., & Moreau, G. (2006). *Le traité de la réalité virtuelle*, troisième édition. 74 auteurs, 4 volumes : « L'Homme et l'environnement virtuel », 410 pages, « Interfaçage, immersion et interaction en environnement virtuel », 552 pages, « Les outils et les modèles informatiques des environnements virtuels », 454 pages et « Les applications de la réalité virtuelle », Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 324 pages, ISBN 2-911762-62-2, 63-0, 64-9 et 65-7, <http://caor.ensmp.fr/interlivre>, février 2006.
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Havelange, V., Lenay, C., & Stewart, J. (2002). Les représentations : mémoire externe et objets techniques. *Intellectica*, 35, 115-129.
- Khatchatourov, A., & Auvray, M. (2005). L'outil modifie-t'il la perception ou la rend-il possible ? *Arobases*, 1, 65-70.

- Lenay, C. (2002). *Ignorance et suppléance : la question de l'espace*, HDR. Université de Technologie de Compiègne, France.
- Meijer, P. B. L. (1992). An Experimental System for Auditory Image Representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39, 112-121.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *La phénoménologie de la perception*. Paris : Gallimard.
- Minsky, M. (1980). Telepresence. *Omni*, 2, 45-51.
- Noë, A. (2004). *Action in Perception*. Cambridge, MA: MIT Press
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A Sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 939-973.
- Paillard, J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation spatiale. *Cahiers de Psychologie*, 14, 261-316.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Pimentel, K., & Teixeira, K. (1994). *La réalité virtuelle... de l'autre côté du miroir*. Paris : Addison-Wesley.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. Garden City, New York: Doubleday.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2001). On Specification and the Senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 195-213.
- Tyndiuk, F. (2005). *Référentiels spatiaux des tâches d'interaction et caractéristiques de l'utilisateur influençant la performance en réalité virtuelle*, Thèse de Sciences Cognitives, Université de Bordeaux 2.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA, USA: Mit Press.
- Weissenberg, J.-L. (2003). Entre présence et absence, un virtuel toujours plus corporel. In S. Missonier & H. Lissandre (Eds.), *Le virtuel, la présence de l'absent* (pp. 87-102). Paris : EDK.