



Philippe Fuchs

Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo



Presses des Mines

Philippe Fuchs, *Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo*, Paris : Presses des MINES, collection Mathématiques et informatique, 2016.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2016
60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France
presses@mines-paristech.fr
www.pressesdesmines.com

© Illustration de couverture : Corentin Echivard

ISBN : 978-2-35671-396-4

Dépôt légal : 2016
Achevé d'imprimer en 2016 (Paris)

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

Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo

Collection Mathématiques et informatique

Dans la même collection :

Georges Matheron,
Estimating and choosing

M. Schmitt, J. Mattioli
Morphologie mathématique

J.-M. Martins da Cruz
Spam

X. Deshen, P. Montesinos
*Proceedings of the third International Workshop
on Image Analysis*

S. Desprès, M. Crampes
IC 2010
*21^{es} Journées Francophones d'Ingénierie
des Connaissances*

C. Laugeau
Le siècle de la voiture intelligente

Dir. P. Fuchs, Coord. générale G. Moreau,
Coord. du vol., S. Donikian,
Le traité de la réalité virtuelle vol.5
Les humains virtuels

Dir. P. Fuchs,
Coord. générale G. Moreau, coord. du
vol. B. Arnaldi et P. Guitton
Le traité de la réalité virtuelle vol.4
Les applications de la réalité virtuelle

Dir. P. Fuchs,
Coord. générale G. Moreau, coord. du vol.
G. Moreau et J. Tisseau
Le traité de la réalité virtuelle vol.3
Outils et modèles informatiques

Dir. P. Fuchs,
Coord. générale G. Moreau, coord. du
vol. J.-M. Burkhardt et S. Coquillart
Le traité de la réalité virtuelle vol.2
*L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en
environnement virtuel*

Dir. P. Fuchs,
Coord. générale G. Moreau, coord. du vol.
A. Berthoz et J.L. Vercher
Le traité de la réalité virtuelle vol.1
L'homme et l'environnement virtuel

John Cagnol & Jean-Paul Zolesio (eds)
Information Processing
*Recent Mathematical Advances in Optimization
and Control*

F. Goulette
Modélisation 3D automatique
Outils de géométrie différentielle

Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo

Philippe Fuchs

Préface

Depuis le début de l'année 2014 se succèdent un grand nombre de communiqués émanant de constructeurs de matériel informatique annonçant de nouveaux produits dans le domaine de la réalité virtuelle. Oculus Rift, Hololens, Kinect, Leap Motion, Magic Leap... autant de noms nouveaux qui offrent de nouvelles opportunités. Quel que soit leur nature (casques, capteurs, lunettes, etc.), ces nouveaux matériels possèdent un dénominateur commun : leur coût bien inférieur aux équipements utilisés jusque-là, permettant d'envisager des applications destinées au grand public.

Ces annonces ont été relayées par une grande quantité d'articles dans les media mais, malheureusement, au-delà des effets d'annonces, la plupart d'entre eux proposent des analyses incomplètes, voire fausses, à cause d'une méconnaissance de la «réalité virtuelle». Notamment parce que beaucoup de ces chroniqueurs découvrent un domaine loin d'être émergent, qui existe depuis plus d'un quart de siècle avec ses usages, ses entreprises et ses laboratoires de recherche. De façon non exhaustive, citons les applications utilisées depuis longtemps dans les secteurs de la construction automobile, de l'aménagement de bâtiments, de la conception et de l'apprentissage de gestes chirurgicaux, de reconstitutions archéologiques, de la formation, etc.

Au premier rang des erreurs les plus courantes, figure la confusion entre «réalité virtuelle» et «immersion», proposant à l'utilisateur de «plonger» dans un environnement virtuel en fournissant à son cerveau des stimuli sensoriels artificiels. Si l'immersion est nécessaire à la réalité virtuelle, elle n'est pas suffisante. Le second pilier indispensable pour pouvoir parler de réalité virtuelle est l'interaction de l'utilisateur pour qu'il puisse réaliser une tâche dans un environnement virtuel. Ainsi, on ne peut pas parler de réalité virtuelle pour une exploration d'un site via une visualisation à 360° à l'aide d'un visiocasque ou pour une séance de cinéma, même si l'image est projetée en relief sur un très grand écran, accompagnée d'un son spatialisé, parce que le spectateur n'y est que passif.

Beaucoup plus grave que cette confusion terminologique, les professionnels, tant dans le monde de l'entreprise que dans celui de la recherche, savent depuis de nombreuses années qu'une immersion en réalité virtuelle pose des problèmes qu'il ne faut pas négliger. Allant d'un sentiment d'inconfort à des malaises, la manifestation la plus connue a été baptisée mal de l'espace virtuel (*cybersickness* pour les anglophones). Elle est étudiée depuis longtemps pour tenter d'en comprendre les causes et d'en atténuer les effets. Or, curieusement, nulle trace sur cette question dans ces articles et encore moins d'étude proposée par les fabricants de visiocasques qui se bornent à faire accepter une licence les excluant de toute responsabilité en cas de problème. Illustration : dans la notice fournie avec un visiocasque désormais célèbre, le constructeur déconseille de prendre le volant d'un véhicule juste après une utilisation de son produit ! La volonté de se prémunir de tout risque juridique ne suffit pas à

justifier une telle recommandation. En pratique, les professionnels limitent la durée de l'usage des visiocasques pour les raisons évoquées précédemment. Que se passera-t-il si nos enfants jouent plusieurs heures quotidiennement pour progresser dans un jeu immersif? A l'âge où leur système visuel est encore en développement, quelles conséquences sont à craindre? Il est vraiment très surprenant qu'à une époque où le principe de précaution s'impose dans beaucoup de domaines, cette interrogation ne soulève pas plus d'intérêt, ni, à notre connaissance, d'études de longue durée impliquant des experts de différentes spécialités.

Il est donc indispensable de faire preuve de pédagogie pour présenter au plus grand nombre la réalité virtuelle, expliquer les principes de fonctionnement de ces nouveaux casques et en étudier les usages pour comprendre tant les opportunités que les risques. Malheureusement, il y avait vraiment un chaînon manquant entre ces articles destinés au grand public et les communications réservées aux experts et publiées dans des revues spécialisées, qu'elles soient industrielles ou académiques.

C'est pour combler ce manque que Philippe Fuchs a décidé de rédiger cet ouvrage. Il y décrit de façon complète les concepts, les modes de fonctionnement, les usages et les solutions pour éviter inconfort et malaises éventuels. Je fais le pari que ce livre rencontrera le succès et ce pour plusieurs raisons : tout d'abord, Philippe Fuchs est un pionnier de la réalité virtuelle dans notre pays et il a su s'entourer d'experts pour l'aider à rédiger ce livre. Ensuite, parce qu'il a déjà démontré les qualités nécessaires à une telle réussite en étant à l'initiative et aux commandes du «Traité de la réalité virtuelle», encyclopédie à succès qui s'est traduit par trois versions françaises et une anglophone. Rappelons qu'il n'existe aucun équivalent dans le monde de cet ouvrage dont la dernière édition forte de plus de 2 000 pages a réuni 101 auteurs !

Mais finalement rien de surprenant pour un homme qui aime relever les défis les plus fous, et pas uniquement académiques, comme courir pendant cinq mois soixante-dix kilomètres par jour, six jours par semaine, pour relier Paris à Pékin pour l'ouverture des J.O. en 2008 ! La question que je me pose maintenant est de savoir quel sera son prochain défi ?

Pascal Guitton

Professeur d'Informatique à l'Université de Bordeaux

Membre fondateur et Président de l'Association Française de Réalité Virtuelle de 2009 à 2011

Directeur de la Recherche d'Inria de 2010 à 2014

Avant-propos

Après les journées de l'AFRV (Association Française de la Réalité Virtuelle)¹ en novembre 2015 à Bordeaux, où nous avons débattu de la future introduction des visiocasques auprès du grand public, j'ai pris la décision d'écrire ce livre, mon dernier. Un des objectifs de l'ouvrage est de faire connaître aux personnes voulant exploiter cette nouvelle interface visuelle, que des recherches et des développements en réalité virtuelle ont déjà été entrepris depuis une vingtaine d'années par la communauté RV, en France et dans le Monde. Il serait inopportun d'ignorer ces travaux. C'est le fruit de toute cette R&D amont qui m'a permis de proposer dans cet ouvrage ma démarche théorique et pragmatique pour l'exploitation des casques de réalité virtuelle.

Désirant la parution du livre pour mars 2016, lors de «Laval Virtual», l'événement incontournable en RV, j'ai dû rédiger en peu de temps cet ouvrage. J'espère que ce ne sera pas au détriment de la qualité du livre que j'aurais voulu améliorer sur certains chapitres. Cette rédaction n'aurait pas pu se réaliser sans l'importante aide de mon collègue, Olivier Hugues, chercheur à Mines ParisTech. Il a accepté de consacrer du temps à la longue rédaction du chapitre sur les produits commercialisés et, surtout, à une relecture attentive et pointilleuse de tous mes chapitres. Je tiens à le remercier vivement ainsi que tous les autres co-auteurs qui m'ont proposé, en si peu de temps, un chapitre sur différents domaines applicatifs des visiocasques, donnant ainsi une plus grande dimension à ce livre : Andras Kemeny, Daniel Mestre, Judith Guez, Jean-François Jego et Stéphan Faudeux.

Je remercie Silvia Dekorsy, directrice des Presses des Mines, et sa collaboratrice, Sandra Rodrigues, qui m'ont aidé à la publication de ce livre et qui, avec beaucoup de patience, ont pris le temps nécessaire à corriger et améliorer cet ouvrage. Ma gratitude va également à Corentin Echivard pour la réalisation de la couverture.

Mes remerciements s'adressent à Pascal Guitton, ancien directeur de la recherche de l'INRIA et président de l'AFRV, qui a accepté de préfacer mon livre. Il m'avait déjà amicalement aidé pour la publication du «Traité de la réalité virtuelle», en prenant en charge la coordination d'un volume, et pour l'édition anglaise du traité «Virtual Reality : Concepts and Technologies».

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les chercheurs et industriels avec qui j'ai beaucoup échangé et appris sur le développement de la réalité virtuelle.

Philippe Fuchs

¹ www.af-rv.fr

Introduction et enjeux

Après un quart de siècle de recherche et développement pour des applications principalement professionnelles, la réalité virtuelle semble envisageable aujourd'hui pour le grand public. Les récentes évolutions ont cependant eu une influence sur le nom même du domaine, dont le terme est aujourd'hui très souvent détourné et son usage fortement restreint. En effet, la «réalité virtuelle» est simplement réduite à l'utilisation d'un matériel : les casques immersifs ou casques de réalité virtuelle. Cette dernière appellation, trop vite interprétée, insinuerait que l'utilisation d'un tel matériel est nécessaire et suffisante pour mettre en œuvre une application de réalité virtuelle. Il n'en est rien et, pour éviter toute confusion, nous lui préférons le terme neutre de visiocasques¹, car il s'agit avant tout d'un nouveau dispositif d'affichage pour **voir** des images. L'usage détourné de l'expression «réalité virtuelle» est porté par certains pour s'accaparer l'image de marque de cette innovation. Celle-ci est bien présente : l'utilisateur ne verra plus son monde virtuel sur un simple écran mais à travers un visiocasque, offrant une nouvelle possibilité d'immersion visuelle, avec ses avantages et ses contraintes, qui sont justement les objets principaux de cet ouvrage.

Il est illusoire de vouloir modifier cet usage restrictif du terme «réalité virtuelle», les médias n'écoulant guère les spécialistes du domaine pour définir correctement les innovations. Nous l'avons déjà constaté pour les applications exploitant les images stéréoscopiques² : depuis plus d'un siècle, nous connaissions les films stéréoscopiques ou les films en relief. Subitement, l'industrie cinématographique a imposé, il y a quinze ans environ, le terme «film 3D» et «télévision 3D», créant la confusion auprès du public qui avait connu les jeux vidéo «3D» dans les années 1990, mais ces derniers n'avaient pas d'images stéréoscopiques ! Nous expliciterons au chapitre 2 les notions de vision binoculaire et d'images stéréoscopiques pour augmenter la perception du relief. Ces sociétés, ayant un poids économique immense, relèguent le domaine des applications professionnelles de la réalité virtuelle au second plan. Elles imposeront peut-être l'usage du terme «réalité virtuelle» pour toute application utilisant un visiocasque. Ce constat ne doit pas conduire obligatoirement les entreprises voulant utiliser les techniques RV à choisir un visiocasque quand d'autres interfaces visuelles seraient plus adaptées. Nous ferons le point sur cette question.

Cette confusion de termes me rappelle ma propre expérience, il y a vingt ans environ, quand je discutais de l'introduction des techniques RV chez PSA Peugeot-Citroën avec les spécialistes de simulation de transport. À l'époque déjà, les techniques de la «réalité virtuelle» impliquaient obligatoirement, pour eux, l'usage d'un visiocasque plutôt

1 Le terme «visiocasque» a été la première traduction française du terme anglais *Head Mounted Display* (HMD) début 1990, que nous avons repris dans les livres du domaine dont le «Traité de la Réalité Virtuelle».

2 Images stéréoscopiques : couple de deux images différentes, chacune étant vue par un des deux yeux de l'observateur.

que celui des grands écrans semi-cylindriques issus de leur simulateur de conduite. J'ai dû les convaincre qu'un domaine scientifique et technique ne se définit pas avec le matériel exploité et que leurs futures applications exigeraient différents types d'interfaces visuelles suivant leurs besoins. L'histoire m'a donné raison car, après les avoir accompagnés dans l'évaluation d'un visiocasque de l'époque, le DataVisor80, ils ont décidé d'utiliser principalement des CAVEs³. Ce visiocasque, malgré son coût conséquent, avait des caractéristiques trop limitées dues aux technologies de l'époque, dont un champ de vision trop restreint, ce qui ne pouvait répondre aux attentes de simulation de l'intérieur d'un véhicule.

Bien que le terme «réalité virtuelle» n'ait été utilisé jusqu'à ce jour que pour les applications professionnelles basées sur des environnements interactifs, les chercheurs et les industriels en RV savent que leur domaine fait appel aux mêmes concepts et aux mêmes technologies de base, matérielles et logicielles, que celles des jeux vidéo. Les exemples sont nombreux, comme les logiciels de RV : Virtools et Unity qui ont été principalement développés pour les jeux vidéo et ont été (pour Virtools) ou sont encore (pour Unity) utilisés pour les applications RV professionnelles. En ce qui concerne le matériel, la Kinect conçue par Microsoft est une interface destinée à la console Xbox 360, permettant de contrôler des jeux vidéo. Mais elle a très vite été détournée de son usage premier par les chercheurs, pour être aussi très utilisée dans les applications RV non ludiques. Bien sûr, l'évolution de ces technologies n'est due qu'à l'importance économique des entreprises des jeux vidéo qui peuvent se permettre d'investir des sommes gigantesques dans le développement de technologies innovantes. Il est aisé de comprendre que les enjeux sont de grande taille en termes économiques, sans besoin de rappeler l'engouement suscité par l'achat d'Oculus par Facebook.

Il y a déjà vingt ans, des concepteurs de jeux vidéo voulaient introduire des visiocasques auprès du public, mais les technologies n'étaient pas assez performantes. Il y a eu bien des échecs, comme la console de jeux Virtual Boy de Nintendo, accompagnée d'un «visiocasque stéréo» très peu vendu et abandonnée en 1996. À cette époque, avant les fêtes de fin d'année, plusieurs annonces de visiocasques pour les jeux vidéo ont été faites, qui prêtaient à sourire, compte tenu des faibles caractéristiques de ces dispositifs dédiés au «grand public». Un peu gênés par une très faible définition des écrans, les constructeurs communiquaient un nombre de pixels multiplié par trois (pour les 3 couleurs RVB) !

Après avoir redéfini le domaine de la réalité virtuelle dans cet ouvrage, il est nécessaire d'aborder certaines notions du fonctionnement sensorimoteur de l'être humain, en particulier celui de la vision, dans le monde réel comme dans un environnement virtuel. Car c'est à l'utilisateur que s'adresse cette innovation, *invasive au niveau visuel*, et cela a des impacts sur ses autres sens et sur ses actions motrices. La méconnaissance du fonctionnement sensorimoteur de l'être humain pour la plupart d'entre nous, impose de faire dans cet ouvrage un rappel des connaissances de base sur les sens... qui sont plus nombreux que cinq ! Cette réalité aura une incidence importante pour

3 Un CAVE est un ensemble d'écrans formant quelques faces (de 4 à 6) d'un cube de quelques mètres de côté entourant l'utilisateur.

la compréhension des problèmes et des solutions d'exploitation des visiocasques. Et la vision humaine doit être suffisamment comprise pour exploiter correctement un visiocasque.

L'homme est au centre de ce nouvel espace créé virtuellement, dans lequel il est immergé et peut (inter)agir. Face à cette problématique générale en réalité virtuelle, qui fait appel aux sciences de l'ingénieur et aux sciences cognitives, j'ai pris l'initiative avec d'autres chercheurs en RV, il y a une vingtaine d'années, de réunir ces deux communautés pour travailler sur les différentes problématiques interdisciplinaires de la réalité virtuelle. Dans toute application de réalité virtuelle, la personne est en immersion et en interaction dans un environnement virtuel. Elle perçoit, décide et agit dans cet environnement, processus schématisé par la classique boucle «perception, décision, action», qui doit être réalisée malgré les contraintes technologiques, physiologiques et cognitives (Figure 1).

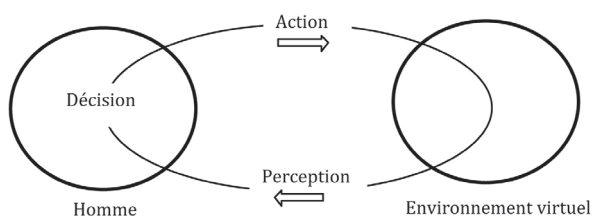


Figure 1 : la boucle classique «perception, décision, action».

De ce schéma découlent trois problématiques fondamentales de la réalité virtuelle (Figure 2) :

- la problématique de l'analyse et de la modélisation de l'activité humaine en environnement virtuel ;
- la problématique de l'analyse et de la réalisation de l'interfaçage du sujet pour son immersion et son interaction dans un environnement virtuel ;
- la problématique de la modélisation et de la réalisation de l'environnement virtuel.

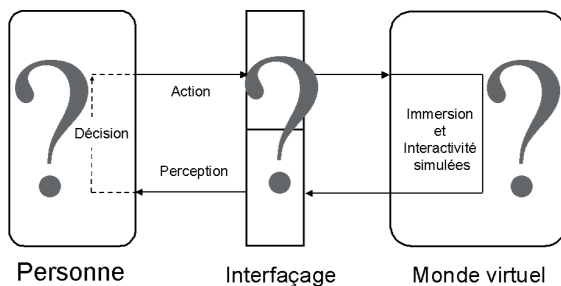


Figure 2 : les trois problématiques fondamentales de la réalité virtuelle.

Ces trois problématiques, différentes mais fortement imbriquées, sont développées en détail dans les trois premiers volumes du «*Traité de la Réalité Virtuelle*»⁴, que tout lecteur voulant compléter ses connaissances peut consulter pour l'aider à aborder les questions suivantes :

- Quel est le comportement de l'homme, équipé d'un visiocasque, confronté à des latences et des incohérences sensorimotrices dans un monde virtuel ?
- Quelles sont les interfaces et les techniques d'interaction qui génèrent ces latences et ces incohérences ?
- Quels sont les outils et les algorithmes informatiques qui limitent la nuisance de ces artefacts ?

Une démarche basée sur le modèle 3I², développé à Mines ParisTech, présentera cette problématique générale d'immersion et d'interaction pour toute application RV, indépendamment des dispositifs utilisés, pour se focaliser ensuite sur l'immersion visuelle via un visiocasque.

Avant d'aborder la conception des visiocasques, une présentation de tous les types d'interfaces visuelles sera brièvement proposée pour comparaison. Les interfaces associées aux visiocasques seront brièvement présentées dans cet ouvrage, plus sous les aspects fonctionnels que techniques. Le chapitre suivant présentera les différents visiocasques commercialisés avec leurs principales caractéristiques. L'usage des visiocasques peut poser des problèmes de confort et de santé dans certains types d'applications, dus principalement aux incohérences sensorimotrices induites et aux temps de latence trop élevés. Un chapitre y sera consacré et le suivant donnera une méthode et des solutions pour pallier ce risque important de rejet de la part des futurs utilisateurs.

Tous les développeurs ont-ils bien conscience des difficultés et des règles à respecter pour que leurs applications soient efficaces ? Les utilisateurs auront-ils la capacité d'adaptation suffisante à cette immersion visuelle ? L'objectif principal de cet ouvrage est de faire le point sur cette question ouverte. Ayons bien à l'esprit que ces technologies «perturbent» le fonctionnement physiologique et sensorimoteur de l'utilisateur. On peut faire le rapprochement avec le cas de la vision stéréoscopique qui crée une incohérence sensorimotrice entre l'accommodation et la vergence des yeux. Mais les spécialistes de ce dernier domaine, les stéréographes, connaissent depuis fort longtemps les règles à respecter pour exploiter les images stéréoscopiques (3Ds). La première règle, vieille de plus d'un siècle et demi, a été déterminée par David Brewster en 1856, et beaucoup d'études expérimentales ont ensuite analysé précisément ce que le public pouvait tolérer. Avec le visiocasque, cette nouvelle interface visuelle intrusive, l'expérience de son usage est très limitée. Il est souhaitable que les spécialistes étudient cette question qui a été très peu abordée à ce jour. D'ailleurs, certains concepteurs de

4 Fuchs P., Moreau G., *et al.*, *Le Traité de la réalité virtuelle*, troisième édition, 5 volumes : «L'Homme et l'environnement virtuel», «Interfaçage, immersion et interaction en environnement virtuel», «Les outils et les modèles informatiques des environnements virtuels», «Les applications de la réalité virtuelle», «Les humains virtuels», Presses des Mines, 2009, www.pressesdesmines.com

visiocasques, en partie pour se protéger d'une absence d'études approfondies, alertent sur les risques éventuels liés à l'utilisation de leur produit et en interdisent l'usage en-dessous d'un certain âge. Cette problématique semble plus complexe que celle concernant la vision stéréoscopique... Mais ceci n'est qu'intuitif. Les chercheurs sont en manque de données issues d'études sur un grand nombre de personnes, puisque les visiocasques ne sont pas encore utilisés par le grand public. Quel sera le niveau d'adaptation de l'être humain à cette immersion visuelle dans un monde virtuel ? Certains seront plus sensibles que d'autres mais sans savoir profondément pourquoi. Une autre question peut être posée : est-ce que le risque d'addiction aux jeux vidéo pour certaines personnes peut être plus élevé si le joueur utilise un visiocasque à la place d'un simple écran ? Cette question, adressée aux psychologues et aux psychiatres, ne sera pas débattue dans cet ouvrage.

Ce nouvel artefact pose des problèmes de confort, de santé mais ouvre de nouveaux horizons puisque le virtuel permet d'aller au-delà du réel. Comment peut-on se percevoir, se sentir présent dans un espace où l'on ne voit pas son corps ou seulement partiellement (par exemple, seules les mains virtuelles de son propre avatar sont visibles) ? Et que dire si l'on se situe visuellement dans un autre corps, en dehors de son corps ? Les chercheurs en Sciences cognitives peuvent entreprendre des études instructives sur le comportement humain. Il faudra aussi connaître les capacités d'adaptation de l'être humain à des environnements virtuels qui peuvent être très éloignés de notre environnement réel. J'ai eu la chance de pouvoir longuement méditer sur mon adaptation sensorimotrice lors de mes randonnées en courant à travers l'Europe et l'Asie, ayant découvert, vers la quarantaine, les capacités insoupçonnées de l'endurance du corps humain. On connaît très peu son fonctionnement et ses propres capacités physiques et psychiques, qui permettent, entre autres, d'aller de Paris à Pékin en courant :

« Comment est-ce possible qu'un corps s'adapte à une si longue activité sportive ? C'est une question que l'on me pose sans cesse au sujet de mes courses peu ordinaires. L'incompréhension vient du fait que nous avons oublié que l'homme a vécu sans aide technique durant des millénaires et qu'il a intrinsèquement une grande capacité d'adaptation, en particulier à des efforts prolongés en courant. Cette aptitude d'adaptation est fondamentale pour tout être vivant et nous en profitons dans de multiples occasions, même lors de l'introduction de nouveaux dispositifs techniques : les outils, les moyens de transport, les machines, les ordinateurs... jusqu'aux environnements virtuels, mon domaine de recherche »⁵.

L'ouvrage se terminera par un tour d'horizon des domaines d'application exploitant judicieusement ces nouvelles interfaces visuelles : comment mettre à profit les avantages de cette nouvelle interface visuelle, tout en minimisant ses inconvénients ? L'exploitation raisonnée et efficace des visiocasques est un défi auquel cet ouvrage veut apporter sa contribution. Je crois qu'il est indispensable d'éclairer le professionnel et le public sur cette innovation qui est loin d'être anodine.

⁵ Extrait du livre P. Fuchs, *Adaptation et conditionnement - Réflexions en courant de Paris à Pékin*, 2015, www.edilivre.com

Partie I

Concepts de base en réalité virtuelle

1. DÉFINITIONS DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Définir la réalité virtuelle est une tâche indispensable. On trouve encore dans la littérature et dans les médias des définitions qui mélangent malencontreusement la finalité de la réalité virtuelle, ses fonctions, ses applications et les techniques sur lesquelles elle repose, telles que le visiocasque. Il faut rejeter ces approches, à la fois parce qu'elles sont trop centrées sur une technologie particulière et parce qu'elles sont trop fortement restrictives quant aux enjeux scientifiques et commerciaux. Nous proposons des définitions à plusieurs niveaux pour clarifier le domaine de la réalité virtuelle.

1.1. Finalité de la réalité virtuelle

Avant de se focaliser sur des fonctions ou des techniques, il semble judicieux de déterminer la finalité de la réalité virtuelle que partagent tous les acteurs travaillant dans ce domaine depuis vingt ans. Après avoir étudié l'objectif commun de chacune de ses applications, nous pouvons affirmer que [Fuchs P., 1996] :

La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensorimotrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel.

Une simulation de certains aspects du monde réel : ceux-ci sont à déterminer lors de la conception de l'application. Nous verrons que cette phase initiale de conception est fondamentale et doit être analysée explicitement. L'erreur, souvent rencontrée, est celle du concepteur qui recherche le plus grand « degré de réalisme ». Cette approche erronée est entreprise sans se soucier de savoir précisément quels sont les aspects de la réalité que l'application exige. L'idée naïve de vouloir un monde virtuel dont le comportement serait entièrement identique à celui du monde réel est absurde. Si on veut créer une réalité « virtuelle », c'est bien dans le but de modifier des aspects de la « vraie » réalité ; par exemple, réaliser une formation sans danger réel pour le formé dans un environnement virtuel (Figure 1.1).



Figure 1.1 : Simulation de certains aspects du monde réel.

Un monde symbolique : on peut aussi exploiter des représentations symboliques pour améliorer la compréhension du monde simulé. La réalité virtuelle est alors exploitée soit pour représenter un phénomène, (la structure de molécules, l'écoulement de fluide, etc.), soit pour ajouter au monde réel simulé des concepts symboliques. Ceux-ci permettent à l'utilisateur de se faire une meilleure représentation mentale de son environnement. Par exemple : nous pouvons afficher des informations schématiques pour l'utilisateur, lui permettant de mieux saisir la structure d'un mécanisme ou la planification d'une tâche à accomplir (Figure 1.2).



Figure 1.2 : Simulation d'un monde symbolique.

Un monde imaginaire : la virtualité est employée pour créer un monde irréel, sorti de l'imagination de l'artiste ou de l'auteur de science-fiction. Dans ce cas, le monde créé n'a pas l'obligation d'être une simulation du monde réel (Figure 1.3).



Figure 1.3 : Simulation d'un monde imaginaire.

En conclusion, il y a bien des façons variées d'exploiter les potentialités de la réalité virtuelle, les trois cas pouvant évidemment être associés dans une même application.

Avec une telle finalité de la réalité virtuelle, les jeux vidéo en font partie, même si l'activité sensorimotrice (physique) du joueur est faible jusqu'à présent et va devenir plus importante avec l'introduction des visiocasques et des dispositifs associés. Cette évolution explique pourquoi l'industrie des jeux vidéo vient de s'accaparer l'expression « **réalité virtuelle** » si porteuse auprès du grand public. Ce dernier ignore que depuis un quart de siècle des chercheurs et des entreprises¹ exploitent la réalité virtuelle, comme ce fut notre cas à Mines ParisTech. Parler de réalité virtuelle lorsque l'on propose des vidéos à 360 degrés d'environnements réels filmés, même observées avec un visiocasque, est exagéré. Mais on ne pourra guère empêcher les entreprises de ce nouveau secteur d'employer un terme aussi porteur commercialement.

1.2. Définition fonctionnelle

En 1995, j'ai proposé une taxonomie basée sur les fonctionnalités « théoriques » de la réalité virtuelle. Face à sa propre perception de la réalité, l'homme a conceptualisé les notions de temps et d'espace sur lequel il ne peut interagir que suivant des lois physiques immuables. À l'opposé :

*La réalité virtuelle va lui permettre de s'extraire de la réalité physique pour changer virtuellement de **temps**, de **lieu** et(ou) de type d'**interaction** : interaction avec un environnement simulant la réalité ou interaction avec un monde imaginaire ou symbolique.*

Cette définition fait allusion à l'exigence inverse des auteurs des tragédies littéraires du XVII^e siècle prônant la règle des trois unités de temps, de lieu et d'action. Une réflexion sur cette approche peut être consultée dans l'article [Nannipieri O., Fuchs P., 2009].

1.3. Définition technique

Une définition plus technique de la réalité virtuelle va s'attacher à caractériser le domaine. Deux mots sont la clef de voûte de la réalité virtuelle : l'immersion et l'interaction. La définition technique de la réalité virtuelle est [Arnaldi B., Fuchs P., 2003] :

*La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des **interfaces comportementales** en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en **interaction en temps réel** entre elles et avec une personne en **immersion pseudo-naturelle**.*

Cette définition introduit une terminologie nécessitant quelques explications permettant de la situer par rapport aux arguments développés dans l'introduction.

¹ Les centres de recherches et les entreprises du domaine de la réalité virtuelle sont regroupés dans l'Association Française de la Réalité Virtuelle (AFRV), <http://www.af-rv.fr>

Nous exploitons des interfaces matérielles de la réalité virtuelle, que nous appelons « **interfaces comportementales** » car exploitant des comportements humains. Elles sont composées « d'interfaces sensorielles », « d'interfaces motrices » et « d'interfaces sensorimotrices ». Les interfaces sensorielles (visuelles, tactiles, sonores, etc.) informent l'utilisateur par ses sens de l'évolution du monde virtuel. Une interface visuelle est toujours évidemment exploitée : un visiocasque, un CAVE ou un simple écran, etc. Les interfaces motrices informent l'ordinateur des actions motrices de l'homme sur le monde virtuel (manettes, gants de données, tapis de marche, etc.). Les interfaces sensorimotrices informent dans les deux sens (les interfaces à retour d'effort²). Le nombre et le choix de ces interfaces dépendent de l'objectif poursuivi de l'application. L'**interaction en temps réel** est obtenue si l'utilisateur ne perçoit pas de décalage temporel, appelé « temps de latence », entre son action, via les interfaces motrices, sur l'environnement virtuel et la réponse sensorielle de ce dernier via les interfaces sensorielles. Cette contrainte est difficile à satisfaire et nous en reparlerons.

L'utilisateur doit être en « **immersion pseudo-naturelle** » la plus efficace possible dans le monde virtuel. Cette sensation est une notion en partie subjective qui dépend de l'application et du dispositif utilisé (interfaces, logiciels, etc.). Nous parlerons en détail des concepts d'immersion et d'interaction qui doivent être bien définis et analysés à plusieurs niveaux.

Il résulte de cette analyse globale un principe de la réalité virtuelle. Celui-ci est contenu dans la boucle de la figure 1.4. L'utilisateur agit sur l'environnement virtuel grâce à l'usage d'interfaces motrices qui captent ses actions (gestes, déplacements, voix, etc.). Ces activités sont transmises à l'ordinateur qui l'interprète comme une demande de modification de l'environnement. Conformément à cette sollicitation de modification, l'ordinateur évalue les transformations à apporter à l'environnement virtuel et les restitutions sensorielles (images, sons, efforts, etc.) à transmettre aux interfaces sensorielles. Cette boucle en environnement virtuel interactif n'est que la transposition de la boucle « perception, décision, action » du comportement de l'homme dans un mode réel. Mais deux contraintes majeures, inhérentes aux techniques, vont perturber la boucle « perception, décision, action » et en conséquence le comportement du sujet : les **incohérences sensorimotrices**, dont le cas spécifique des temps de latence. Le temps de latence est un fait technique inhérent aux environnements virtuels interactifs et va influencer la qualité de toute application de réalité virtuelle. Quel que soit le nombre de canaux sensoriels exploités dans une application, quel que soit le nombre d'interactions à la disposition du sujet, il y a presque toujours des incohérences sensorimotrices par rapport au comportement sensorimoteur du sujet dans le monde réel. Ces incohérences et les temps de latence perturberont-ils le comportement de l'utilisateur ? Nous traiterons cette problématique au chapitre 7.

2 Les interfaces d'effort appliquent des forces et des couples sur la main de l'utilisateur qui peut en retour manipuler l'objet virtuel. Elles sont décrites dans le volume deux du *Traité de la Réalité Virtuelle*, Presses des Mines, www.pressesdesmines.com

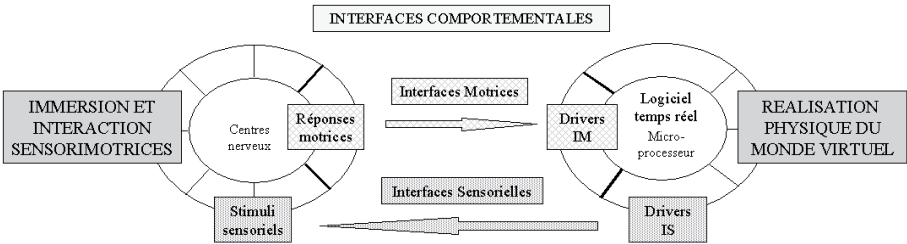


Figure 1.4 : niveau sensorimoteur de l'immersion et de l'interaction.

2. MODÈLE DE RÉFÉRENCE POUR L'IMMERSION ET L'INTERACTION

2.1. Les trois niveaux d'immersion et d'interaction

Dans tout dispositif de réalité virtuelle, l'homme est au centre du système car l'application virtuelle lui est adressée. Partant de ce constat, il est souhaitable d'adopter une approche anthropocentrique (dirigée vers l'homme) et non technocentrique (dirigée vers l'ordinateur), symbolisée par le **schéma anthropocentrique** (Figure 1.5) de l'immersion de l'homme dans le monde virtuel, tel que celui-ci doit le percevoir en tant qu'utilisateur.

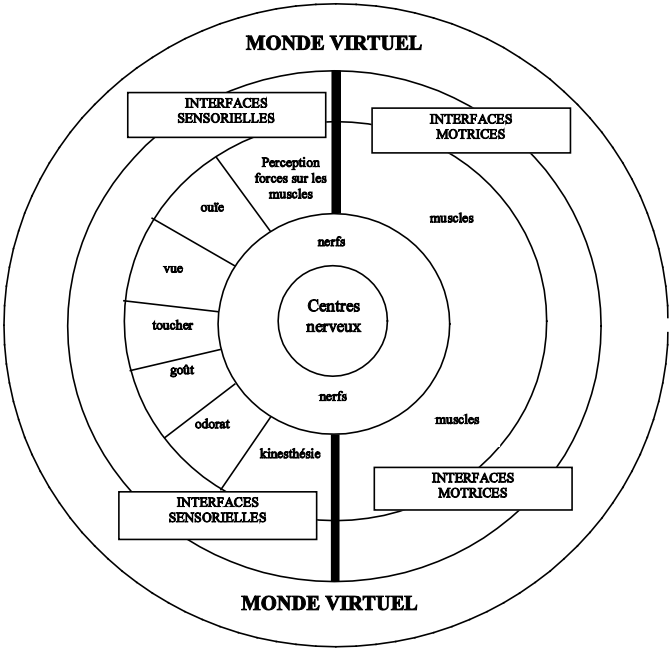


Figure 1.5 : schéma anthropocentrique de l'immersion de l'homme dans le monde virtuel.

Mais si le concepteur doit se référer à ce schéma anthropocentrique, objectif à réaliser pour l'utilisateur, il doit aussi le compléter car il est nécessaire d'analyser finement le processus d'interfaçage et les dispositifs à concevoir. Nous avons fait le choix fondamental d'analyser ce processus à trois niveaux. Au premier niveau, on peut schématiser l'interfaçage entre l'homme et le monde virtuel *au niveau physique*. Nous parlons dans ce cas **d'immersion et d'interaction sensorimotrices**, puisque physiquement l'ordinateur est connecté au corps de l'utilisateur au niveau de ses sens et de ses réponses motrices. Pourquoi employons-nous pour les trois niveaux les termes « immersion ET interaction » ? Fondamentalement, comme nous l'avons indiqué dans notre définition de la réalité virtuelle, celle-ci est basée sur l'immersion d'une personne dans un monde virtuel. Mais nous y associons le terme interaction, car parler seulement d'immersion serait omettre l'innovation de la réalité virtuelle, qui est de permettre au sujet d'agir dans un monde virtuel. D'où, au niveau physique d'immersion et d'interaction sensorimotrices, nous obtenons le schéma technocentrique de la figure 1.4.

Le schéma précédent est restrictif car il ne représente que partiellement les problèmes et les solutions que tout concepteur doit étudier. À un deuxième niveau, nous devons analyser les processus cognitifs que le sujet va mettre en œuvre et qu'il faudra assister dans son interfaçage avec l'environnement virtuel : c'est le niveau de **l'immersion et de l'interaction cognitives**. Notre approche est basée sur l'activité du sujet. Il s'agit de comprendre à partir de quels processus mentaux la personne va penser et agir, comme l'a décrit Rabardel [Rabardel P., 1995] dans son approche instrumentale : l'interface est un médiateur d'activité qui repose matériellement sur des artefacts (ou instruments) et va être utilisée suivant des processus cognitifs de l'utilisateur.

Quelles seront les catégories de processus cognitifs impliquées pour permettre une interaction et une immersion efficaces et, si possible, relativement naturelles, proposant alors une immersion et une interactivité pseudo-naturelles ? Concrètement, tout concepteur peut exploiter deux catégories de processus cognitifs, que nous avons proposé de bien différencier : les **schèmes comportementaux importés** et les **métaphores**, avec ou sans substitution sensorielle.

L'utilisateur peut faire appel dans ses activités sensorimotrice et cognitive à certains automatismes qu'il a assimilés dans le monde réel en les mettant en œuvre dans le contexte de l'activité à réaliser dans l'environnement virtuel. Ces automatismes sont à associer à la notion de schème proposée par le psychologue Piaget [Piaget J. *et al.*, 1979] : un schème est l'organisation mentale des actions telles qu'elles se transfèrent ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances analogiques. D'après Piaget, les schèmes constituent les moyens du sujet à l'aide desquels il peut assimiler les situations et les objets auxquels il est confronté, comme c'est le cas avec les nouvelles expérimentations dans un environnement virtuel. Pour donner un exemple : quand on veut proposer à un utilisateur d'observer un lieu dans toutes les directions, il est préférable d'exploiter un visiocasque ou un CAVE, plutôt qu'un simple écran, car l'utilisateur exploite naturellement le schème de changement de point de vue par rotation de sa tête. Mais si l'application RV exige une grande

qualité d'images à faible coût ou pour d'autres raisons, on peut employer un simple écran. Il faut alors permettre le changement de point de vue, via une métaphore : c'est, par exemple, manuellement avec une manette que l'utilisateur peut changer le point de vue de la scène observée. Il est donc utile de réfléchir, lors de la conception d'une application RV, s'il est possible d'exploiter un schème acquis par toute personne dans le monde réel et de l'importer en environnement virtuel. Nous parlons de Schème Comportemental Importé (SCI). Par exemple, pour la conception du déplacement dans un magasin virtuel, nous nous sommes basés sur le schème du «déplacement en poussant un chariot», schème bien maîtrisé par l'ensemble de la population. La commande de déplacement passe par l'intermédiaire d'un chariot pour se rapprocher des actions effectuées dans un magasin réel. L'utilisateur doit pousser le chariot en avant ou en arrière et l'orienter à gauche ou à droite devant l'écran, comme avec tout *joystick*. Mais pour les personnes n'ayant pas l'habitude d'employer un *joystick*, il était nettement plus aisé et compréhensible de «pousser son chariot», comme nous avons pu le vérifier après expérimentation (Figure 1.6).



Figure 1.6 : déplacement virtuel grâce à un chariot, contrôlé comme un *joystick*.

Notons pour l'instant, comme Piaget l'a énoncé, que l'intelligence sensorimotrice parvient à résoudre un ensemble de problèmes d'action (atteindre des objets, se déplacer, etc.) en construisant un système complexe de schèmes d'assimilation et à organiser le réel selon un ensemble de règles spatiotemporelles et causales. D'où notre postulat fondamental en réalité virtuelle :

Dans un environnement virtuel interactif, la personne exploite la même démarche que dans un monde réel, pour organiser le virtuel selon un ensemble de règles spatiotemporelles et causales.

Cette organisation doit être perçue cohérente par le cerveau de l'utilisateur. Il y a des risques d'éventuelles difficultés si des incohérences sensorimotrices sont créées par l'application. Nous en reparlerons au chapitre 7.

Dans le cas de difficultés techniques, économiques ou théoriques ne permettant pas d'exploiter un Schème Comportemental Importé, nous pouvons contourner ces difficultés en employant une **métaphore**. Au lieu d'exploiter un comportement

sensorimoteur et acquis de la personne, nous lui proposons, visuellement en général, une image symbolique de l'action ou de la perception souhaitées. Par exemple, dans un magasin virtuel, on peut proposer au consommateur de valider l'achat d'un produit en cliquant simplement sur son image et ensuite sur une icône représentant une caisse. Cette action devient symbolique et elle n'est plus représentative de l'action sensorimotrice dans un magasin réel, l'immersion et l'interaction y sont moins pseudo-naturelles. Un autre exemple de métaphore : pour éviter de trop fortes incohérences sensorimotrices lors d'une navigation en Environnement Virtuel (EV)³ avec un visiocasque, il est préférable de se déplacer par téléportation d'un point à un autre. Le choix du lieu d'arrivée est choisi par indication manuelle via un pointeur, action métaphorique, l'utilisateur passant instantanément du lieu de départ au lieu d'arrivée.

La métaphore peut aussi exploiter un sens spécifique, qui soit différent du sens stimulé dans l'action réelle : **métaphore avec substitution sensorielle**, par exemple la détection entre deux objets est rendue par leur changement de couleur. Nous verrons que la plupart des visiocasques occultent la vision périphérique de l'observateur. Il peut donc être judicieux d'activer une source sonore spatialement positionnée dans la zone de vision périphérique pour faire comprendre à l'observateur de tourner la tête dans la direction de la source sonore.

Nous avons présenté deux niveaux d'immersion et d'interaction : le niveau sensorimoteur et le niveau cognitif. Un troisième niveau est nécessaire pour compléter notre démarche. Ce troisième niveau concerne l'application de réalité virtuelle, dont l'objectif est de s'attacher à réaliser une immersion de l'homme pour une activité donnée et non pour une simple immersion cognitive de l'homme dans un monde artificiel. Nous parlons dans ce cas **d'immersion et d'interaction fonctionnelles**⁴. C'est le niveau fondamental que doit étudier en premier tout concepteur d'application : quelles sont les activités (les fonctions) que doit réaliser le sujet ?

Au niveau l'fonctionnelles, par rapport à l'application et ses objectifs, il faut se poser la question suivante : quelles sont les activités que l'utilisateur doit exécuter ? Si l'on prend le temps d'y réfléchir, on s'aperçoit rapidement que dans toutes les applications RV, les activités du sujet sont toujours décomposables en quelques comportements de base que nous appelons les « Primitives Comportementales Virtuelles » (PCV). Il faut donc au niveau des l'fonctionnelles bien définir les PCV et leurs spécificités. Quelle que soit l'application, ces dernières peuvent être regroupées en quatre catégories :

- observer le monde virtuel ;
- se déplacer dans le monde virtuel ;

3 On utilise par la suite la notation EV pour Environnement Virtuel et ER pour Environnement Réel.

4 On utilise par la suite la notation l' pour l'immersion et l'interaction.

- agir sur le monde virtuel, principalement manipuler des objets ;
- communiquer avec autrui ou avec l'application RV⁵.

Les visiocasques sont conçus évidemment pour améliorer la première PCV (Observation) en permettant une immersion pseudo-naturelle, l'utilisateur exploitant un schéma naturel. Mais il faut noter que la plupart des visiocasques ont un champ de vision limité qui contraint en partie l'observation de l'utilisateur. Le déplacement (la navigation) dans le monde réel avec un visiocasque pose des problèmes, dus en particulier aux incohérences sensorimotrices qui peuvent être créées. L'observation visuelle peut être ou non couplée au déplacement de l'utilisateur dans le monde virtuel et l'association de ces deux PCV peut aussi induire des difficultés complémentaires. La troisième PCV, la manipulation d'objets avec un visiocasque, pose le problème de la représentation ou non des membres supérieurs, surtout des mains, de l'utilisateur. Ce sont des difficultés que nous détaillerons au chapitre 7. La quatrième PCV, communication avec autrui, ne sera pas développée dans cet ouvrage. On notera juste que le port du visiocasque pose le problème d'être coupé des personnes situées à côté de l'utilisateur, situation souvent frustrante. Il peut leur parler mais il ne les voit pas. C'est un des avantages d'être dans un CAVE plutôt qu'être immergé dans un visiocasque. C'est une contrainte non négligeable si on souhaite faire de la formation en RV avec un visiocasque. Mais il est toujours possible de communiquer avec d'autres personnes qui sont aussi immergées dans le même EV, en les représentant sous forme d'avatars ou sous forme d'incrustation vidéo.

Nous obtenons le schéma de référence de la réalité virtuelle (Figure 1.7) qui va nous servir de canevas dans notre démarche en réalité virtuelle [Fuchs P., *et al.*, 1999]. Il est structuré en trois niveaux et avec deux côtés symétriques qui existent l'un grâce à l'autre et se font écho : le monde virtuel créé cognitivement par la personne et le monde virtuel créé matériellement par l'ordinateur⁶. Avec ce schéma interdisciplinaire⁷, nous avons clarifié les notions d'immersion et d'interaction⁸.

5 La communication avec l'application RV, dont la configuration du visiocasque, est en général difficile, peu ergonomique car l'utilisateur n'a pas accès à un simple clavier plus un écran. Il doit souvent faire des commandes avec des boutons, sur son casque ou sur ses manettes, sans les voir !

6 Cette relation bijective est expliquée aussi par Marc Boucher dans la revue d'art en ligne « arts médiatiques & cyberculture » (<http://archee.qc.ca/>), selon lequel « l'immersant fait la réalité virtuelle et la réalité virtuelle fait l'immersant ».

7 Ce schéma fait appel à des connaissances en informatique, en physiologie, en psychologie, en ergonomie et en technologie des interfaces (optique, mécanique, etc.)

8 Cette démarche d'immersion et d'interaction 3I² est plus détaillée dans le volume 2 « Interfaçage, Immersion et Interaction en environnement virtuel » du *Traité de la Réalité Virtuelle*.

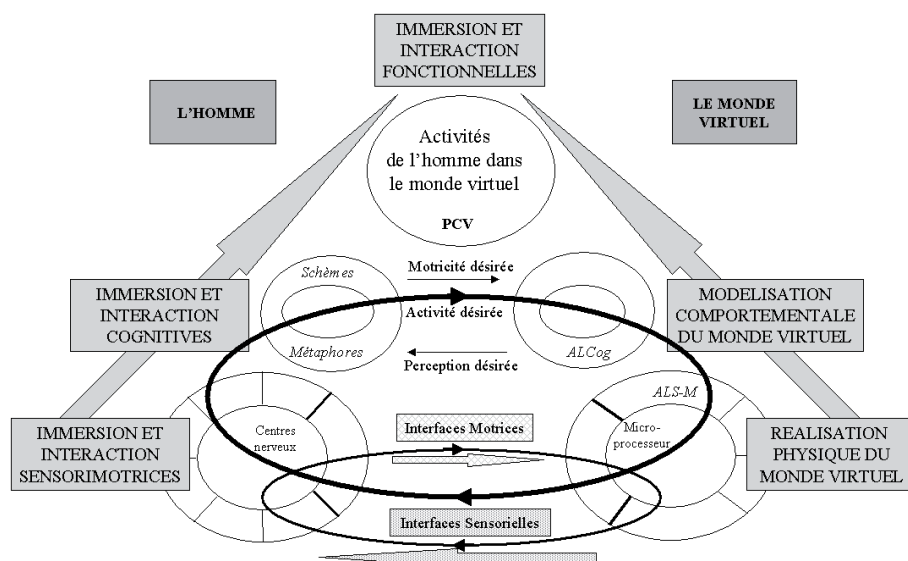


Figure 1.7: schéma général à trois niveaux d'immersion et d'interaction.

2.2. Les aides logicielles comportementales

En associant un découpage transversal entre la personne et le monde virtuel, nous avons deux niveaux de fonctionnement logiciel pour le monde virtuel. Symétriquement aux I² sensorimotrices, l'ordinateur doit gérer la partie logicielle temps réel (noyau temps réel et « drivers » pour les dispositifs matériels des interfaces), permettant une **réalisation physique du monde virtuel**. Cette dernière concerne la simulation basée sur les lois physiques (mécaniques, optiques, biomécaniques, etc.) agissant sur les objets et les êtres animés. Face aux I² cognitives, la partie logicielle spécifique de réalité virtuelle doit gérer la **modélisation comportementale du monde virtuel**. Cette partie logicielle doit donc fournir des **Aides Logicielles Comportementales (ALC)**, associées aux processus cognitifs pour faciliter les I² cognitives de la personne. Il est ainsi possible, via l'ordinateur, d'aider l'utilisateur à employer efficacement les interfaces. Il y a de multiples aides programmables et exploitables. Le concepteur doit y réfléchir pour proposer des aides efficaces, tout en respectant l'objectif des I² fonctionnelles. Nous allons préciser les différentes possibilités d'aider à l'interfaçage comportemental : certaines ALC sont plus orientées sur une aide sensorimotrice (ALSM) et d'autres plus axées sur une aide cognitive (ALC_{Cog}). Cette classification en ALSM et ALC_{Cog} n'est pas rigoureuse car les comportements sensorimoteurs et cognitifs de l'Homme sont interdépendants. Elle a pour but premier de montrer l'étendue des possibilités d'aides concevables et programmables par le concepteur d'application RV, avec ou sans visiocasque.

2.2.1. Les Aides Logicielles SensoriMotrices

Les dispositifs d'interface ne sont pas parfaits dans la transmission des données. De même, le comportement sensorimoteur du sujet imposé en environnement virtuel est imparfait, du moins différent de celui dans le monde réel. Les Aides Logicielles SensoriMotrices servent donc à améliorer l'interfaçage, soit en augmentant la qualité des données transitant entre l'homme et l'ordinateur, soit en proposant une amélioration « psychophysique » des stimuli sensoriels ou des réponses motrices. Dans le premier cas de la qualité d'un signal amélioré, un exemple :

- le filtrage des mesures d'un capteur de localisation est souvent nécessaire pour supprimer les bruits des signaux qui peuvent, par exemple, gêner l'utilisateur dans la manipulation d'un objet virtuel. Si l'utilisateur décide d'arrêter le mouvement de l'objet, il ne faut pas que les bruits des mesures fassent bouger, même légèrement, l'image de l'objet, créant des scintillements de pixels. Mais le filtrage des données implique l'augmentation du temps de latence de la boucle « perception, décision, action ». Un optimum est souvent à rechercher.

Dans le second cas pour les ALSM, l'amélioration psychophysique des stimuli sensoriels ou des réponses motrices consiste par logiciel à permettre au sujet d'avoir un comportement sensorimoteur plus aisé dans l'environnement virtuel, par exemple :

- pour un utilisateur ayant un tremblement des mains élevé, il est efficace de filtrer les données des capteurs de localisation pour stabiliser ses actions dans l'environnement virtuel ;
- si le nombre de pixels dans le visiocasque est insuffisant pour lire un texte inscrit dans le monde virtuel, les lettres peuvent être exagérément agrandies ;
- Si le champ de vision d'observation dans le visiocasque est trop étroit pour bien percevoir ce que l'application RV exige, le champ de vision observé dans l'environnement virtuel peut être compressé. Mais cela implique une difficulté de coordination main et vision pour l'utilisateur, donc une incohérence sensorimotrice.

Les ALSM envisageables avec l'emploi d'un visiocasque seront détaillées au chapitre 8.

2.2.2. Les Aides Logicielles Cognitives

Les Aides Logicielles Cognitives de motricité et de perception, associées aux PCV, apportent des facilités au sujet lors de la réalisation d'une tâche à accomplir. Les ALCog peuvent être plus axées, soit sur une aide face aux incohérences sensorimotrices, soit sur une aide à l'utilisateur pour réaliser une tâche. Dans le premier cas, on peut citer les exemples suivants :

- on peut rajouter des contraintes spécifiques lors de la manipulation d'un objet par un capteur à 6 degrés de liberté (6ddl) et sans retour d'effort, impliquant des incohérences sensorimotrices lors de la collision de l'objet avec un autre. Pour aider l'utilisateur à obtenir la motricité désirée, par exemple poser un

objet sur une table, les mouvements de l'objet virtuel sont contraints. La face d'appui de l'objet se met parallèlement à la surface de la table quand elles seront proches l'une de l'autre. Ces contraintes irréelles sont appelées guides virtuels (de mouvement) ou effets de magnétisme ;

- pour le déplacement dans les couloirs d'un bâtiment, les trajectoires possibles peuvent être prédéterminées pour simplifier les commandes de déplacement de l'utilisateur. Car il n'est pas toujours nécessaire de laisser à ce dernier la possibilité de se mouvoir librement dans les couloirs virtuels d'un bâtiment. Ce principe de trajectoires prédéterminées peut être évidemment exploité dans d'autres types d'environnement virtuel.

Dans le second cas pour les ALCog, il faut détecter l'intention du sujet en train d'accomplir une tâche, par exemple :

- quand on détecte l'intention de l'utilisateur de se rapprocher d'un objet ou d'une zone de l'environnement virtuel, le déplacement virtuel de l'utilisateur peut être contrôlé pour atteindre automatiquement le lieu désiré sans intervention de l'utilisateur. Ceci peut être employé quand le déplacement virtuel est activé par un simple tapis roulant (1D) et par une manette indiquant les changements d'orientation : l'utilisateur ne peut pas réaliser tous les types de trajectoire (pas de pivotement du corps sur place, etc.) et rater l'endroit à atteindre sans une ALCog adaptée.

Pour résumer notre analyse de l'interfaçage, que j'ai nommé « interfaçage comportemental », car basé sur un comportement humain, nous pouvons retenir que : .

L'interfaçage comportemental est l'ensemble de l'**interface matérielle**, du **processus cognitif** mis en jeu et des **ALC** pour aider à son exploitation.

En pratique, les ALCog peuvent être déterminées en fonction des *affordances* des objets ou de l'environnement autour du sujet, comme nous venons de le présenter dans les exemples précédents. D'après la théorie de Gibson [Gibson J.J., 1979], une *affordance* représente les interactions possibles entre l'objet et le sujet. Ces interactions sont perçues par le sujet par rapport à l'idée qu'il se fait de la fonction de l'objet, plus qu'il ne perçoit les caractéristiques physiques et géométriques de l'objet ou de l'environnement. Il est donc plus utile de savoir par avance à quoi un élément de l'environnement va servir que d'avoir des notions précises de sa géométrie ou de ses caractéristiques physiques. Connaissant les *affordances* de tel objet, nous pouvons prévoir des ALCog qui aident le sujet à interagir efficacement avec cet objet. Par exemple, une interaction par reconnaissance gestuelle sur un objet peut être aidée par ses *affordances*. Cet exemple est présenté dans un de nos travaux de recherche [Jego J.F., *et al.*, 2013].

Il est nécessaire de rappeler au lecteur que la principale difficulté de l'immersion et de l'interaction du sujet provient des perturbations de la (des) boucle(s) « perception, décision, action ». Grâce à des choix judicieux des dispositifs d'interfaçage, des processus cognitifs et des ALC, les perturbations peuvent être surmontées pour permettre au sujet d'agir efficacement dans des boucles « perception, décision, action » artificielles, incluant des artefacts (voir la figure 1.7). Nous verrons dans le chapitre 8

Table des matières

PRÉFACE	7
AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION ET ENJEUX.....	11
PARTIE I	17
CHAPITRE 1 - CONCEPTS DE BASE EN RÉALITÉ VIRTUELLE	19
1. Définitions de la réalité virtuelle	19
2. Modèle de référence pour l'immersion et l'interaction.....	23
3. Immersion et présence.....	31
4. Bibliographie.....	32
CHAPITRE 2 - QUELQUES NOTIONS SUR LES SENS HUMAINS	35
1. Introduction	35
2. Le système visuel	38
3. Le système auditif.....	53
4. La sensibilité cutanée.....	54
5. La proprioception	56
6. Bibliographie.....	58
CHAPITRE 3 - LES INTERFACES VISUELLES.....	61
1. Introduction	61
2. Fonctionnalités pour la perception d'un espace tridimensionnel	61
3. Les interfaces à écrans fixes	64
4. Les interfaces portables.....	68
5. La restitution visuelle stéréoscopique	68
CHAPITRE 4 - ÉTUDE FONCTIONNELLE DES VISIOCASQUES.....	71
1. Introduction	71
2. Les différents types de visiocasques	72
3. La conception optique	75
4. Les écrans.....	76
5. Le <i>tracking</i> de la tête.....	79
6. La conception ergonomique.....	84

CHAPITRE 5 - LES INTERFACES ASSOCIÉES AU VISIOCASQUE	89
1. Introduction	89
2. Interfaces de commande et d'interaction	89
3. Interfaces acoustiques.....	92
4. Tapis roulants 1D ou 2D.....	93
5. Interface de simulation de mouvement.....	96
6. Interfaces de suivi des yeux	101
 CHAPITRE 6 - CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES VISIOCASQUES.....	103
<i>Olivier Hugues</i>	
1. Introduction	103
2. Caractéristiques générales.....	103
3. Caractéristiques techniques des visiocasques	106
4. Conclusion	118
5. Récapitulatif des caractéristiques des modèles de visiocasque	119
 CHAPITRE 7 - CONFORT ET SANTÉ	121
1. Introduction	121
2. Incohérences sensorimotrices.....	122
3. Problèmes psychologiques induits par les environnements virtuels	140
4. Conclusion	142
5. Annexe : théories du mal du simulateur et du mal du transport	143
6. Bibliographie.....	143
 CHAPITRE 8 - CONSEILS POUR L'USAGE D'UN VISIOCASQUE.....	145
1. Introduction	145
2. PCV observation.....	147
3. PCV «observation irréaliste»	160
4. PCV navigation.....	162
5. PCV manipulation	174
6. Grille d'analyse des 32 solutions	175
7. Adaptation en environnement virtuel	178
8. Règles de sécurité.....	180
9. Conclusions	182
 PARTIE II	183
 CHAPITRE 9 - EXPÉRIMENTATION EN SCIENCES DU COMPORTEMENT	187
<i>Daniel R. Mestre</i>	
1. Changement du paysage de la réalité virtuelle par les visiocasques	187
2. Traverser des portes virtuelles.....	188
3. Conclusion	191
4. Bibliographie.....	192

CHAPITRE 10 - USAGES INDUSTRIELS DES VISIOCASQUES	195
<i>Andras Kemeny</i>	
1. Introduction	195
2. Simulation de conduite et réalité virtuelle.....	197
3. Applications avec visiocasque ou avec salle immersive.....	198
4. Étude sur le mal de simulation (VRISE).....	200
5. Étude sur la perception de l'échelle 1	202
6. Bibliographie.....	204
 CHAPITRE 11 - L'USAGE DES VISIOCASQUES POUR LES ARTS NUMÉRIQUES	 209
<i>Judith Guez et Jean-François Jégo</i>	
1. L'apport des visiocasques dans la création artistique.....	209
2. Une méthode pour créer avec un visiocasque	215
3. Conclusion et perspectives	221
4. Bibliographie.....	222
 CHAPITRE 12 - PRISE DE VUES 360 POUR VISIOCASQUE	 225
<i>Stéphan Faudeux</i>	
1. Prise de vues 360 en images réelles	225
2. Tournage de vidéo 360	229
3. La postproduction pour finaliser les images	232
4. Les nouveaux métiers	232
5. Les principales applications des vidéos 360 prévisibles.....	233
 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	 235
 AUTEURS.....	 239