



LA REALITE VIRTUELLE ET L'APPRENTISSAGE MEDICAL

MOHAMED DJELTI

Institut de Telecommunication d'Oran (ITO)

Abdelkader BELAIDI

Département de Génie Electrique

ENSET d'Oran

Résumé :

Nous présentons dans ce papier quelques aspects d'utilisation de nouveaux outils tel que le multimédia, l'hypermédia ou la réalité virtuelle pour aider l'enseignant et l'étudiant dans leur tâche. L'introduction de la réalité virtuelle dans l'enseignement pourrait modifier considérablement les techniques pédagogiques et les enseignements actuels.

L'objectif de ce papier est d'essayer de comprendre quels sont les apports réels et les limites de la réalité virtuelle afin de proposer des pistes sur la mise en place d'enseignements virtuels. Nous nous sommes intéressés aux systèmes de réalité virtuelle pour l'enseignement déjà existant car, même s'ils souffrent du manque de maturité du domaine, ils offrent une idée de ce que pourraient être cette technologie dans l'avenir. A partir de ces expériences et celles menées dans le domaine du multimédia, nous avons essayé de faire un bilan des bénéfices et limites de l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'enseignement.

Mots clés: *Réalité virtuelle, Apprentissage médical, simulation, Hypermédias, Didactique, Interface Homme-Machine.*

Introduction :

L'essor des techniques informatiques a permis l'utilisation de nouveaux outils tel que le multimédia, l'hypermédia ou la réalité virtuelle pour aider l'enseignant et l'étudiant dans leur tâche. L'introduction de la réalité virtuelle dans l'enseignement pourrait modifier considérablement les techniques pédagogiques et l'organisation des enseignements actuels. Les attentes et les espoirs soulevés par cette nouvelle technologie sont nombreux, mais peut-être parfois injustifiés.

Notre but est d'essayer de comprendre quels sont les apports réels et les limites de la réalité virtuelle afin de proposer des pistes sur la mise en place d'enseignements virtuels. Pour mener cette étude, nous nous sommes tout d'abord intéressés aux systèmes de réalité virtuelle pour l'enseignement déjà existants car, même s'ils souffrent du manque de maturité du domaine, ils offrent une idée de ce que pourraient être cette technologie dans l'avenir. A partir de ces expériences et de celles menées dans le domaine du multimédia, nous avons essayé de faire un bilan des bénéfices et des limites de l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'enseignement.

A travers ce papier, nous allons en premier lieu définir ce que c'est la réalité virtuelle, donner un aperçu historique et présenter un état de l'art de cette technologie. En deuxième lieu, nous présenterons les différentes expériences permettant d'illustrer l'utilisation de la réalité virtuelle aujourd'hui dans les domaines de l'enseignement et

de l'apprentissage. Et pour terminer, nous focaliserons notre travail sur l'apprentissage médical.

1.1 Etat de l'art de la réalité virtuelle

1.1.1 Un peu d'histoire

Bien que ce mot ne soit à la mode que depuis quelques années, la réalité virtuelle est née de recherches qui ont débuté dans les années cinquante dans des milieux aussi divers que les laboratoires de la NASA ou les studios d'Hollywood. [MORE et al 03] [COIF 93][QUEA93]. Les pionniers¹ de ce monde artificiel furent des visionnaires qui empruntèrent des techniques aussi variées que le cinéma, l'informatique, l'automatique et l'électronique, les briques de ce qui fut appelé la Réalité Virtuelle (RV). En réalité, c'est au milieu des années soixante que l'on situe la naissance de ce domaine scientifique et technique désigné aujourd'hui par l'alliance de mots apparemment contradictoires « Réalité Virtuelle ». A cette époque la seule façon de communiquer avec un ordinateur était de type contextuel à l'aide d'un clavier. L'invention d'une interface permettant d'exploiter pour la première fois une action gestuelle directe de l'Homme allait révolutionner la manière d'interagir avec un ordinateur, la souris était née. Bien sûr, ramener un système de RV à une simple association souris-ordinateur semble pour le moins réducteur, c'est néanmoins du fait des évolutions des dispositifs d'interfaces que la RV atteindra le niveau de maturité qu'elle a aujourd'hui.

Dans les évolutions marquantes, on retiendra la naissance du premier casque immersif dans les années soixante-dix puis du gant de données dans les années quatre-vingts. A l'aide de ces interfaces dites comportementales, un sujet pouvait alors manipuler de ses mains des objets virtuels, pouvait être « immergé » dans un monde virtuel grâce à un casque capable d'asservir son point de vue en fonction des déplacements de sa tête. Les années quatre-vingts verront le développement de logiciels dédiés permettant de modéliser sur les plans physique et graphique un environnement.

¹ Note : Depuis plus de 50 ans, les simulateurs de vol (durant la 2ème guerre mondiale) ont permis d'interagir avec un environnement partiellement virtuel. **Début des années 60:** Ivan Sutherland a développé la première interface graphique interactive (publié dans sa thèse de doctorat en 1963). **1962:** Morton Heilig est le précurseur des systèmes d'immersion virtuelle (le **Sensorama**): simulation d'expériences sensorielles sur un motocycle en combinant films en 3D, son stéréo, vent et odeurs. **1962:** Premier logiciel graphique qui permet la simulation visuelle Essor de la CAO. **1965:** La **souris**, première « interface comportementale » entre l'Homme et la machine (exploitation du mouvement de la main), réalisée à partir des travaux de Englbart et Licklider (1962). **1968:** Premières propositions de périphériques à **retour d'effort**. **1968:** « **Traqueur** » de mouvement de tête (par Ivan Sutherland) la scène change avec le mouvement de la tête. **1968:** Premier casque: Ivan Sutherland monte deux tubes cathodiques connectés à un générateur d'images. **1970:** Premier « **visiocasque** » (Daniel Vickers) ou HMD (Head Mounted Display) développé à partir des travaux de Ivan Sutherland: Immersion visuelle totale dans un monde virtuel.

1.1.2 Définitions

L'expression de «réalité virtuelle», qui associe deux termes en apparence contradictoires, peut prêter à confusion. Certains préfèrent parler d'«environnements virtuels», d'autres «mondes virtuels», et d'autres «simulations temps réel», ou de virtuel tout court. Quel que soit le choix terminologique, ce champ d'investigation peut être défini par trois critères:

- **Immersion:** pour traduire la sensation d'être dans l'espace tridimensionnel de l'image ;
- **Interactivité:** pour qualifier la possibilité de se déplacer dans cet espace et d'en manipuler les objets ;
- **Temps réel:** grâce auquel le «visiteur» de cet espace perçoit immédiatement, comme dans le réel, les modifications résultant de ses actions [LEHANH 03].

Il existe autant de définitions qu'il y a de champs d'application à cette technologie, en plus, cette technologie est plutôt vue comme quelque chose de magique et artistique, aux possibilités quasi illimitées, la réalité étant tout autre chose. Les contraintes, auxquelles doit faire face cette technologie, sont nombreuses. Ce qui a donné naissance à de multiples définitions de la réalité virtuelle. Nous allons nous contenter de citer deux définitions qui sont à nos yeux simples et explicites. La première est donnée par Burdea [BURD 93] « *Un système de réalité virtuelle est une interface qui implique la simulation en temps réel et des interactions via de multiples canaux sensoriels. Ces canaux sensoriels sont ceux de l'homme, vision, audition, toucher odorat et le goût* ». La deuxième définition est plus générale, elle introduit la notion d'Environnement Virtuel (EV), donnée par Coiffet et reprise notamment par Samir OTMANE [OTMA 00] « *L'environnement virtuel est constitué d'un ensemble de techniques permettant de reproduire le plus fidèlement, par calcul, le comportement d'entités 3D. Ces techniques se décomposent en deux classes : L'interface homme/machine et Le comportement* »

Souvent considérée comme un prolongement de la simulation, la réalité virtuelle se distingue par le fait qu'elle confère un haut degré d'immersion de l'utilisateur, c'est là une caractéristique des systèmes de réalité virtuelle. Au-delà de la vue, sens particulièrement sollicité en simulation traditionnelle, la réalité virtuelle peut faire appel à l'ouïe et au toucher en sollicitant des actions exploitant l'activité musculaire du sujet.

1.3 Quelques domaines d'application de la RV

Bien que la plupart des réalisations restent expérimentales, les domaines de recherche se multiplient. Dans leur ouvrage sur *la Réalité virtuelle* (1994), G. Burdea et P. Coiffet faisaient déjà état de quelque huit cents projets. Parmi les secteurs les plus

prometteurs: la médecine (la réhabilitation des handicapés, la phobie...), le domaine militaire et l'aérospatiale.

1.3.1 Domaine de l'enseignement

De nombreuses expériences plus ponctuelles ont été réalisées dans des domaines très variés comme l'enseignement de langues, la chimie, la physique, la géologie. Un exemple significatif pour illustrer la réalité virtuelle est l'utilisation pour l'enseignement des langues. C'est sans doute un des exemples qui illustre le mieux l'apport de l'immersion par rapport un enseignement classique. Dans la réalité virtuelle est utilisée pour l'enseignement du japonais [LUDO 99]. Les étudiants sont immergés dans un monde virtuel avec lequel ils peuvent interagir. L'apprentissage du japonais se fait par immersion totale. L'étudiant dialogue avec le système qui lui demande d'effectuer des tâches élémentaires que l'étudiant réalise. Le système évalue la pertinence de l'action réalisée et réagit en fonction de celle-ci.

1.3.2 Domaine de l'Aérospatiale et l'aéronautique

Dans ces deux secteurs, la réalité virtuelle est utilisée pour concevoir les véhicules, étudier leur résistance aux contraintes extérieures, réaliser leurs aménagements intérieurs en fonction des utilisations requises, tester leur ergonomie, et enfin former les personnels qui vont travailler sur ces engins (pilotes, techniciens) et, pourquoi pas, les passagers. La simulation de vol est une application avant la naissance de la réalité virtuelle. Mais la NASA fut, en 1986, la première à réaliser un système d'entraînement spatial, le VIEW, qui permettait d'explorer virtuellement l'espace d'une navette et de tester les fonctions de son système de contrôle. Aujourd'hui la NASA et l'Agence spatiale européenne (ESA) travaillent sur plusieurs projets de simulateurs pour la formation des astronautes qui embarqueront sur les stations orbitales Freedom ou Columbus. La réparation du télescope spatial Hubble, réalisée par une équipe de la NASA avec le succès que l'on sait, a été minutieusement préparée à l'aide d'un tel simulateur².

1.3.3 Domaine de divertissements

La société américaine Iwerks a mis sur le marché le premier jeu virtuel interactif, le *Virtual Adventures*: six joueurs peuvent participer à une véritable chasse au trésor sous-marine dans un univers tridimensionnel.

Une autre catégorie de jeux est celle des *jeux d'arcades*. Les joueurs prennent place (seuls ou à deux) dans des cabines de simulation, connectées au même ordinateur central. Ces jeux (souvent des combats aériens ou des courses automobiles) sont

²Voir site : Voir site <http://fr.encyclopedia.yahoo.com/rsc/encfonts.css>

collectifs et interactifs. Mais le marché de demain sera sans aucun doute celui des jeux individuels. Chacun pourra, de chez lui, s'immerger dans le virtuel et se connecter par le réseau à d'autres joueurs³.

1.3.4 Domaine médical

Des simulateurs anatomiques et chirurgicaux sont mis au point pour l'apprentissage et l'entraînement des futurs praticiens. Leur principe est le suivant: un modèle tridimensionnel du corps, ou d'une partie du corps, donne à l'utilisateur la possibilité de «visiter» ce patient virtuel, et ainsi d'en étudier l'anatomie. Un tel modèle permet également d'apprendre les procédures opératoires ou de préparer une intervention: avec les interfaces nécessaires, il est en effet possible de contrôler en temps réel le mouvement d'instruments chirurgicaux. [GRACE *et al.*93] [HUNT *et al.*94]. Les premiers prototypes de simulateurs ont été réalisés aux États-Unis en 1992-1993. La simulation s'avère par exemple très utile en chirurgie endoscopique ou laparoscopique.

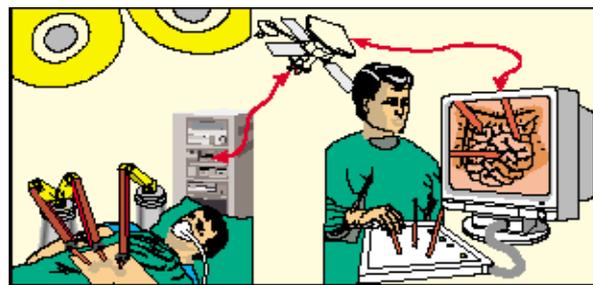


Figure 1 Illustration de la téléchirurgie

1.3.4.1 La chirurgie à distance ou la téléchirurgie

La téléchirurgie constitue un autre champ d'application du virtuel en médecine. A partir de son hôpital, le chirurgien opère sur une copie virtuelle du vrai patient. Il est relié à celui-ci à travers un réseau de télécommunication à haut débit, qui lui fournit les informations nécessaires (électrocardiogramme, encéphalogramme, tension, etc.). Ses gestes sont transmis par l'intermédiaire de ce même réseau à un «robot-chirurgien» qui, lui, se trouve à côté du patient et procède à l'opération. Une caméra filme le champ opératoire et renvoie cette image dans le visiocasque du chirurgien, qui peut ainsi contrôler le bon déroulement de l'opération. Le premier système de téléchirurgie, financé par l'armée américaine, est développé au Stanford Research Institute (SRI) [HUNT & al 94]. Il comporte un système maître-esclave de retour de

³voir site : Voir site <http://fr.encyclopedia.yahoo.com/rsc/encfonts.css>

force, qui a été testé, lors d'une opération entre un hôpital militaire et le désert, sur les entrailles d'un animal.

1.3.4.2 La réhabilitation des handicapés

Concernant cette catégorie de la société. Il va de l'aide au diagnostic à l'apprentissage de gestes quotidiens, en passant par la rééducation et l'aide à la communication. Des capteurs et des gants de données permettent de déterminer et de mesurer les déficiences de mouvement – par exemple de la main – ou d'équilibre, et d'établir des programmes personnalisés de rééducation. Pour l'apprentissage du quotidien, l'Institut de recherche de l'Oregon a mis au point un simulateur de chaise roulante. Celui-ci devrait permettre aux enfants handicapés de se familiariser sans risques au pilotage d'une chaise en milieu urbain ou à l'intérieur d'un bâtiment [OTMA 00].

1.3.4.3 La maladie de Parkinson et la réalité virtuelle

Le projet PARREHA (Parkinson's rehabilitation) a été mis sur pied grâce à la subvention de 1,68 million d'euros⁴ octroyée par le programme Technologies pour la société de l'information. Ce projet vise à exploiter un phénomène peu connu dénommé « kinesia paradoxa », par lequel les patients atteints de la maladie de Parkinson sont capables de marcher normalement lorsque des obstacles visuels – parfois simplement des feuilles de papier sur le sol sont placées sur leur chemin. Forts de cette connaissance, les partenaires du projet PARREHA ont fait appel à la technologie de réalité virtuelle afin de mettre au point un casque permettant à l'utilisateur de voir des obstacles visuels similaires partout où ils regardent, ainsi que leur environnement réel. Comme l'explique le coordinateur du projet Reynold Greenlaw, d'Oxford Computer Consultants: « *Ce type de casque portatif léger est doté d'un écran miniature et ressemble à une paire de lunettes ordinaire. Il permet à un certain nombre de malades de Parkinson de se déplacer plus librement et plus sûrement dans leur environnement normal* ».

Cette expérience a donné ses fruits, l'équipe a travaillé avec des patients pour démontrer l'efficacité de ce dispositif. Après avoir tenté de marcher sans aide dans un couloir vide, les utilisateurs ont ensuite porté les lunettes de réalité virtuelle. Avec ces lunettes, ils ont pu voir à la fois le couloir et toute une série de rayures de couleur brillante se déplaçant dans leur direction, comme s'ils descendaient dans un tunnel. Le prototype est soumis actuellement à un essai clinique d'une durée de deux ans à l'Institute of neurology, en Grande-Bretagne, et les partenaires espèrent que l'équipement sera certifié prochainement. Ce produit est estimé à 2000 euros.

1.3.4.4 Les phobies et la réalité virtuelle

⁴ Source : CORDIS Nouvelles, le 08/03/2005 http://www.futura-sciences.com/news-realite-virtuelle-aide-malades-atteints-maladie-parkinson-marcher_5659.php

Il y a des personnes qui ont peur de monter dans un ascenseur, de prendre l'avion. Cet état est la cause d'une vive anxiété pour les personnes amenées à voyager, dans le cadre du travail ou des vacances. La thérapie traditionnelle vise donc à amener le patient à surmonter ses angoisses en recréant mentalement l'objet de sa phobie. Désormais "ces patients peuvent surmonter leur anxiété en participant à des séances de thérapie alliées à des moyens novateurs de la réalité virtuelle", déclare l'équipe du Pr. Samantha Smith⁵

La thérapie des personnes ayant la phobie de l'avion consiste à équiper ces patients d'un casque et de deux écouteurs et les fait asseoir sur un siège dynamique. Ces gens deviennent ainsi acteurs d'un monde virtuel en trois dimensions, qui change naturellement en fonction des mouvements de la tête et du corps.



Figure 5 La phobie des avions

Cette méthode a donné de bons résultats, d'après une étude faite par une équipe de chercheurs sur des patients âgés entre 24 et 69 ans. Après huit séances, étalées sur six semaines, un trajet aérien a été offert aux patients afin de déterminer leur aptitude à surmonter leur peur et leur stress durant le voyage, grâce à des questionnaires. « Six mois après le traitement, 14 des 15 patients ayant utilisé les outils de réalité virtuelle avaient pris l'avion » commentent les auteurs de cette étude⁶.

1.4 L'apport de la réalité virtuelle et l'apprentissage médical dans les pays en voie de développement

1.4.1 Du point de vue savoir et apprentissage

En Algérie, la formation initiale de médecine est réglementée nationalement et s'effectue sur une durée de sept années. A l'issue de la formation, les étudiants peuvent se présenter au concours de résidanat en médecine. Selon le code de l'enseignement supérieur au cours du troisième cycle des études médicales, les résidents reçoivent une formation théorique et pratique à temps plein sous le contrôle des universités. Tout étudiant réussissant le concours devient résident dans

⁵ http://www.doctissimo.fr/html/psychologie/stress_angoisse/ps_2162_hobbies.htm

⁶ http://www.doctissimo.fr/html/psychologie/stress_angoisse/ps_2162_hobbies.htm

un Centre Hospitalier Universitaire (CHU) et dans la spécialité de son choix (choisie en fonction de sa réussite au concours). Le résidanat se déroule alors sur une durée de quatre à cinq ans selon la spécialité.

Le résidanat constitue la principale expérience de pratique de la médecine, au cours de la FMI⁷. A l'issue du troisième cycle, l'étudiant obtient un diplôme de spécialiste Il peut alors s'inscrire à l'ordre des médecins et exercer.

Lorsque l'on analyse le contenu de ce cursus, on remarque que plus l'étudiant avance dans son cursus, plus grande est la part des stages dans la composition de ses enseignements. Les responsabilités qui lui sont confiées en sont d'autant plus importantes [JOIR 03].

La formation initiale de médecine est donc très tôt orientée vers la capitalisation d'expériences de terrain autant que de connaissances théoriques. Plusieurs modes d'apprentissage sont alors employés en FMI pour faciliter ce double apprentissage de la théorie et de la pratique médicale.

Les enseignements théoriques sont pour beaucoup dispensés au travers de cours magistraux. Ces cours restent assez souvent sanctionnés par une évaluation où les questionnaires à choix multiple sont largement utilisés. Cet enseignement transmissif, favorise certes le développement chez l'étudiant d'une capacité de mémorisation importante. Néanmoins, cet enseignement n'est pas favorable au développement de capacités d'analyse, de croisement d'information et de déduction, nécessaires à la pratique de la médecine.

Favoriser l'acquisition de connaissances théoriques de façon contextuelle et permettre l'apprentissage d'une pratique médicale de terrain, sont autant de charges laissées au soin des praticiens responsables des étudiants durant les stages. Cet apprentissage en milieu professionnel permet aux étudiants de mettre en œuvre, en situation, les différentes connaissances qui leur ont été transmises. De plus, au cours de leur externat, puis de leur résidanat, les étudiants sont confrontés, aux côtés de médecins expérimentés, à la résolution de cas cliniques concernant des patients réels. La pédagogie médicale s'attache tout particulièrement à développer et instaurer en faculté de médecine, des modes d'apprentissage de plus en plus proches de la pratique du futur médecin. Elle est active et met l'étudiant en situation d'apprendre et d'agir par lui-même.

La réalité virtuelle apporte un avantage décisif aux méthodes classiques d'enseignement médical. Les méthodes d'apprentissage pratique (exercices...) ne mettent que rarement leur sujet en conditions réelles de travail. Les systèmes d'apprentissage par réalité virtuelle mettent l'étudiant dans une situation qui s'approche beaucoup plus d'une situation réelle. Elles permettent ainsi d'acquérir, en

⁷ La formation initiale de médecine

plus du savoir, le savoir-faire, ce qui représente une avancée décisive. L'étudiant évolue rapidement dans son apprentissage grâce à l'immersion et l'interaction qui lui offre la réalité virtuelle. Dans un cours d'anatomie, l'étudiant a la possibilité d'effectuer un voyage virtuel à travers le corps humain. Il devient plus actif et autonome du fait de son immersion, il comprendra mieux le cours par rapport à l'utilisation des schémas ou des mannequins.



Figure6 : Immersion, navigation et interaction, les trois bases de la réalité virtuelle

Nous pouvons dire que la réalité virtuelle est un nouvel outil mis au service de l'étudiant. Son contenu doit toujours être contrôlé par l'enseignant. Cet instrument pourra être utilisé soit de façon synchrone, en présence d'un enseignant et d'un groupe d'étudiants interagissant entre eux, soit en libre service. La réalité virtuelle devrait être un support pour franchir certains obstacles didactiques et un moyen pour dépasser une partie des contraintes spatiales et temporelles de l'enseignement actuel pour combler les lacunes de formation.

1.4.2 Du point de vue éthiques et religion :

Dans un pays musulman comme l'Algérie, il y a des problèmes d'ordres éthiques et religieux qui heurtent à la pratique sur des cadavres ou des animaux. Donc les étudiants futurs médecins sont privés dans les cours de TP de la manipulation. L'inquiétant c'est que cette formation ne sera pas complète et que les compétences des futurs médecins seront mal développées. La réalité virtuelle semble être une solution, elle apporte de nombreux avantages aux étudiants qui pourront effectuer leur TP d'une manière adéquate.

1.4.3 Du point de vue économique

La chute des coûts des calculateurs et la volonté d'approcher de nouveaux marchés ont permis et imposé une amélioration significative du graphisme, sans pour autant enlever quoi que ce soit aux deux objectifs du simulateur : faible coût d'utilisation et qualité pédagogique. L'argument financier est en effet important. La formation sur simulateur évite l'utilisation de matériels extrêmement coûteux, immobilisés ou

affectés à la seule formation alors qu'ils peuvent être exploités commercialement (cadavre virtuel).

D'ors et déjà, le marché de la réalité virtuelle attire de nombreux acteurs. Celle-ci s'est jusque là développée sur la base d'applications coûteuses, surtout utilisée dans le domaine professionnel. Mais le progrès technique entraîne inexorablement la démocratisation de la réalité virtuelle, avec un investissement productif à long terme.

1.5 Apports et limites de la réalité virtuelle

1.5.1 Les avantages

Les environnements virtuels pour l'apprentissage sont des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Les avantages de l'utilisation de la RV sont aujourd'hui bien connus. Il s'agit en particulier des éléments suivants :

1. Ils permettent de proposer des supports d'apprentissage toujours disponibles et personnalisables. Ils s'ajustent aux rythmes des apprentissages des apprenants.
2. L'informatique permet de suivre pas à pas le comportement de l'apprenant, de l'analyser et de lui fournir des informations pertinentes au moment où elles lui sont utiles.
3. Des dispositifs logiciels permettent de suivre et de gérer les parcours des apprenants.
4. Ils réduisent les risques, les activités de préparation et/ou la présence du formateur.
5. Ils offrent une maîtrise intéressante des contenus. Par ailleurs, l'intégration de liens hypertextes ou hypermédias, permet de multiplier les possibilités d'accès à des ressources à différents moments d'une activité d'apprentissage informatique.
6. Ils permettent, par ailleurs, un meilleur contrôle des coûts de formation.

1.5.2 Les limites de la réalité virtuelle

Certaines limites reconnues pour le multimédia concernent aussi la réalité virtuelle et nous pouvons supposer que d'autres problèmes seront identifiés avec le temps.

1.5.2.1 Les limites techniques

La réalité virtuelle pose tout d'abord des problèmes techniques. En effet, l'environnement technique ne doit pas être un frein à l'apprentissage. Il doit être rapide, convivial et fiable. Il faut pouvoir déterminer le niveau de détail à une vitesse pratique. Comme pour les environnements multimédia [ARIF & al 93], il se pose alors le problème de la capacité d'interaction de l'environnement qui doit prendre en compte la diversité, l'organisation des connaissances dans leur champ contextuel et la

diversité des contrats didactiques dans l'interaction. En particulier, il est difficile d'effectuer automatiquement des diagnostics d'erreurs ou de proposer des corrections dépendantes du type d'erreur commise [LUDO 99]. L'utilisation de la réalité virtuelle ne peut se faire sans l'aide de périphériques qui permettent à l'utilisateur d'être en totale ou même partielle immersion. Outre les périphériques intégrant les sens tels que la vue et l'ouïe, il existe aussi des périphériques gérant le sens tactile (bornes d'arcade secouant l'utilisateur, simulant une pression au bout des doigts, ...) [LUDO 99]. Le prix et la rareté de tels périphériques limitent ainsi le nombre d'applications les prenant en compte et par la même occasion, limitent le nombre d'utilisateurs. En ce qui concerne l'odorat, il n'existe pas encore de logiciels « odorants », même si ce sens commence à être sollicité dans des domaines où il était totalement absent il y a peu de temps. Cependant, il semble difficile d'appliquer tout ceci à l'informatique. Il faudrait donc créer de nouveaux périphériques (pour certains sens qui ne sont pas encore présents) qui auraient besoin dans un premier temps de nouvelles technologies (pour transformer des impulsions électriques en odeurs par exemple).

1.5.2.2 Les limites financières

Le coût des périphériques existant est un obstacle à l'équipement massif des salles de cours virtuels ainsi qu'à l'équipement des particuliers pour leur salle virtuelle de cours virtuels. Cet équipement lourd rend donc la réalité virtuelle incompatible avec l'enseignement à distance [LUDO 99]. Un autre point important concerne les moyens humains à mettre en œuvre pour le développement de logiciels utilisant la réalité virtuelle. Pour créer un outil efficace, il est nécessaire de disposer d'une réelle pluridisciplinarité et donc d'un nombre important d'intervenants (informaticiens, mathématicien, sociologues, spécialistes des matières à enseigner, ...). Il faut aussi structurer judicieusement le projet, afin de permettre un travail de collaboration réelle entre les divers intervenants. Avec la durée importante que cela engendre pour la conception et la réalisation d'un tel projet, nous pouvons penser aisément que la mise en œuvre de tels moyens humains ne se fait et ne se fera pas gratuitement, ce qui semble bien évidemment normal. Bien que nous ayons argumenté précédemment que la réalité virtuelle réduisait les coûts de l'enseignement, cette affirmation est donc à nuancer. En effet, le développement d'un cours virtuel est très coûteux et son utilisation l'est aussi, avec tous les périphériques que cela nécessite. A titre d'exemple, le coût d'un logiciel pour l'entraînement médical et du matériel qui l'accompagne est de 381 122,54 € (ceci ne permet qu'à une seule personne de s'entraîner) [LUDO 99]. Mais il constitue un investissement pour les établissements hospitalo-universitaire. Pour être rentable, l'investissement doit permettre de supprimer des coûts importants tels que des frais de déplacement ou d'utilisation de

matériels spécifiques et chers. Sinon il reste plus intéressant financièrement de proposer un enseignement non virtuel.

Une autre limite qui apparaît est celle de la mise place très lente qui se fait au niveau de l'informatique, quand elle existe. D'une part, la réalité virtuelle a besoin de machines puissantes qui sont souvent désuètes au bout de 2-3 ans; mais il y a aussi et surtout le temps nécessaire pour former les enseignants à leur nouveau métier (très majoritairement accès sur la pédagogie) alors que ceux-ci commencent juste à être formés sur les nouvelles technologies de l'information et de l'éducation.

On peut aussi se poser la question de l'impact sur la santé de l'utilisation de la réalité virtuelle. Comme l'utilisation des ordinateurs, ne générerait-elle pas auprès des étudiants de la fatigue visuelle ou de la tension nerveuse ?

Conclusion :

La réalité virtuelle constitue un domaine de recherche relativement récent, mais tout à fait dynamique, intéressant aussi bien les industriels que des chercheurs et des enseignants relevant de l'Education nationale, de la formation professionnelle et l'enseignement supérieure. Les recherches dans ce domaine répondront aux besoins de l'enseignement, de formation, qui est un domaine toujours croissants. Nous avons essayé à travers ce papier, de montrer l'importance et l'apport de la réalité virtuelle dans l'apprentissage médical, son rôle qui débouche sur la définition de nouvelles pratiques pédagogiques, susceptibles d'améliorer la qualité de l'enseignement dans de nombreuses disciplines.

Bibliographie :

[COIF & al 91] Coiffet, P. et Gravez, P. *Human-Robot Cooperation: Toward an Advanced Teleoperation Mode*. Tzafestas editor, Marcel Dekker Inc. (1991).

[COIF & al 93] P. Coiffet et G. Burdea. *La réalité virtuelle*. Hermès (1993)

[FUCH & al 03] Fuchs P. et Moreau G. *Le traité de la réalité virtuelle*. Les presses de l'École des Mines, pages 19-22, Paris (2003)

[HUNT & al 94] Hunter, Jones, et Sagar A teleoperated microsurgical robot and associated virtual environment for eye surgery. In *PRESENCE*, volume 2 No. 4, pages 265-280. (1994).

[OTMA 00] Samir OTMANE *Télétravail Robotisé et Réalité Augmentée : Application à la Téléopération via Internet* Doctorat de mention sciences de l'ingénieur Université D'EVRY-VAL D'ESSONNE CEMIF : Centre d'Etude de Mécanique d'Ile de France. 13 décembre 2000



[QUEA 93] P. Quéau. Le virtuel – Vertus et Vestiges. Champ Vallon, INA (1993)
Rapport sur RÉALITÉ VIRTUELLE, LE Anh Tuan Tuteur, Prof BOUCHER Alain,
Hanoï Juillet 2003

[LEHANH 03] Rapport sur la Réalité virtuelle, LE Anh Tuan Tuteur, Prof
BOUCHER Alain, Hanoï Juillet 2003

[LUDO 99] Ludovic Blin « La Réalité Virtuelle » mémoire de DESS 226 (octobre 1999)
Université Paris Dauphine voir site <http://www.granddictionnaire.com/>

[VULK & al 93] Grace, Vulkovich, et Chun Asix degree of freedom
micromanipulator for ophthalmic surgery. In *IEEE Int. Conference on Robotics and
Automaion*, pages 630–635, Atlanta, USA. (1993).