

1.1 .Introduction

Plus qu'un nouveau concept, la réalité virtuelle tend à émerger comme un nouveau média doté de caractéristiques propres. Elle constitue une nouvelle composante des multimédias. Ces caractéristiques, combinées ou non à d'autres technologies, offrent de nouvelles opportunités d'usage pour apprendre. Elles permettent en particulier de montrer des aspects non visibles de la réalité et/ou de représenter de façon concrète des savoirs abstraits.

1.2. Historique [1]

La réalité artificielle est le terme qui a été utilisé par Myron W. Krueger pour décrire ses environnements interactifs et immersifs basés sur les techniques de reconnaissance vidéo, et qui mettent un utilisateur en plein contact avec le monde digital (numérique). Il a commencé ce travail à la fin des années 1960 et ce travail est considéré comme la première innovation de la réalité virtuelle.

Voici donc en quelques dates un retour sur des faits marquants de l'histoire de la réalité virtuelle :

- **1956** : Morton Heilig, producteur de films, a développé « Sensorama », un appareil permettant de visionner un film en trois dimensions, alors que plusieurs sens sont stimulés (Ex. stéréophonie, vibrations, odeurs).



Figure 1.1 : un appareil permettant de visionner un film en trois D

- **1961** : Philco a développé probablement le premier casque virtuel, permettant de voir « à distance » via une caméra vidéo (Lawsky, 1993).
- **1963** : La technologie reliée à la création d'environnements virtuels générés par ordinateur débuta lorsque Ivan Sutherland a développé le premier système graphique interactif appelé « Sketchpad », au Massachusetts Institute of Technology (MIT). Ce système pouvait créer des dessins précis d'ingénierie pouvant être manipulés, dupliqués et emmagasinés.
- **1968** : Ivan Sutherland s'est joint à David Evans pour construire un casque virtuel à l'Université du UTAH. Daniel Vickers a équipé un casque d'un appareil de suivi des déplacements. Peu après, Thomas Furness a développé un casque virtuel appelé « visually coupled system » au Wright-Patterson Air Force Base.
- **1969** : Alors que Sutherland et Furness s'intéressaient à améliorer les aspects techniques, Myron Krueger étudiait les aspects artistiques et psychologiques des environnements virtuels à l'Université du Wisconsin. Elle a concocté, en premier lieu, « Glowflow », un spectacle de sons et de lumières artistiques étant contrôlé par un ordinateur, mais n'impliquant aucun graphique informatisé. L'audience pouvait participer activement au spectacle en bougeant des plaques sensibles à la pression enfoncées dans le sol à leur insu. Krueger a développé dans les années suivantes le « Metaplay », un système beaucoup plus élaboré. Le système comprenait 800 commutateurs sensibles à la pression et un écran projectif de 8 X 10 pieds. Les gens pouvaient visionner des images vidéos d'eux-mêmes à partir d'une caméra vidéo superposée sur des graphiques informatisés générés par un mini-ordinateur.
- **1970** : Krueger a créé des travaux artistiques encore plus élaborés et permettant des expériences interactives avec l'audience, dont le « Videoplace ». Le « Videoplace » permettait à un individu de s'immerger dans un monde généré par ordinateur habité par d'autres humains et participants.
- **1973** : Krueger a créé le terme « réalité artificielle ».
- **1977** : Thomas Zimmerman a inventé un des premiers gants virtuels commercialisés qui s'appelaient le « DataGlove » (issus des recherches de VPL) et qui était opéré à partir d'un langage de programmation développé par Jaron Lanier. De plus, Kit Galloway et Sherri Rabinowitz ont créé la même année un espace virtuel avec le « Satellite Arts Project », implantant la vision d'Arthur C. Clark et Marshall McLuhan, en

interconnectant les gens via la communication électronique. À l'intérieur de leur espace virtuel appelé « Hole in Space », ils avaient installé un écran vidéo large et des caméras dans des espaces publics de la ville de New York et de Los Angeles pour créer un système de vidéoconférence. Une décennie plus tard, ils ont créé le «Electronic Café» à Santa Monica (Californie) permettant la vidéoconférence sur une base individuelle.

- **1979** : Les chercheurs du MIT ont développé le « spatial data management systems ». De plus, Scott Fisher, un des chercheurs du MIT, a développé le système stéréoscopique utilisant un casque virtuel.

- **1980** : le Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) a fondé un simulateur d'un jeu de guerre appelé « Simulation Networking » ou SIMNET. L'évolution de ce jeu a permis à des centaines de soldats de s'asseoir dans des simulateurs de tanks, hélicoptères et de bombardiers afin de tester leurs habiletés de combat entre eux, un peu comme dans un jeu vidéo très réaliste.

- **1981** : Fisher et ses collègues[Fich et al 80] ont produit le « Aspen Movie Map » où l'utilisateur pouvait visiter un monde représentant une longueur de 20 miles des rues à Aspen, au Colorado. Ce produit ne comprenait pas un casque virtuel, mais plutôt une voute immersive ou type « CAVE » (Cave Automatic Virtual Environment) permettant la projection de scènes sur les murs d'une salle.

- **1981** : Furness a développé un simulateur de vol virtuel pour les pilotes. Depuis le début des développements de Sutherland et Furness, la création de casques virtuels est en évolution constante par diverses organisations gouvernementales et compagnies privées.

- **1984** : La création du film « The Last Starfighter » par Jonathan R. Betuel a permis l'émergence des scènes d'action au cinéma avec des graphiques informatisés permettant de sauver des millions de dollars en coûts de production de films. William Gibson a aussi écrit le roman de science-fiction « Neuromancer » qui a permis l'introduction du terme maintenant omniprésent « cyberspace » ou « cyberespace ».

- **1985** : Jaron Lanier et Jean-Jacques Grimaud ont fondé VPL Research pour produire des interfaces de haute qualité. Lanier a introduit à ce temps le terme « virtual reality » ou « réalité virtuelle ». VPL Research est devenu populaire pour avoir commercialisé le premier gant virtuel « DataGlove » et le « EyePhone ». Malheureusement, cette compagnie a vécu plusieurs difficultés financières et Lanier ainsi que ses produits ont essentiellement

disparus. De plus, le groupe de chercheurs du Dr Frederick Brooks Jr. a débuté des expérimentations avec la perception 3D de molécules à l'Université de la Caroline du Nord. Dans la décennie à suivre, leur projet s'est développé et a été appelé « Nano manipulator », où la personne portait un casque virtuel connecté électroniquement à un microscope électronique.

- **1986** : Lucasfilm, une firme fondée à partir des revenus de la série cinématographique Star Wars (1976) a débuté la production des films créés par ordinateur. Depuis ce temps, l'industrie du film a évolué constamment dans l'utilisation des graphiques informatisés, ce qui a eu pour effet de réduire les coûts et créer des effets visuels étonnants.

- **1988** : Chris Gentile, de Abrams/Gentile Entertainment, a développé le « Power Glove » pour Nintendo™, une manette de jeu très populaire. Ce gant a été mis au rancard à la fin de l'année 1991, car il n'a pu rapporter des revenus suffisants.



Figure 1.2 : Power Glove pour Nintendo

- **1989** : Le public est devenu de plus en plus informé du concept d'environnements virtuels et de leur potentiel. Il y avait assez de gens travaillant dans ce domaine pour débiter les premières conférences à ce sujet. Puis, le groupe de Fake-space ont développé le BOOM™ (Binocular Omni Orientation Monitor), un casque virtuel monté sur un large appareil de suivi des déplacements. La compagnie Sense8 Corporation et le HIT Lab

(Human Interface Technology Laboratory) ont été formés. Durant la même année, une démonstration d'environnements virtuels a été effectuée lors du SIGGRAPH représentant une pièce meublée visitable avec une combinaison de réalité virtuelle (celle de VPL). La NASA a développé un casque équipé d'écrans à cristaux liquides, ce qui a permis de rendre les casques virtuels plus petits et légers.

- **1992** : Sortie aux États-Unis du film « The Lawnmower Man » (« Le cobaye ») de Brett Leonard; il a pour sujet central la réalité virtuelle et a rendu cette technologie très populaire auprès du grand public.
- **1993** : Silicon Graphics Inc. a annoncé leur « Reality Engine », un moteur graphique capable de supporter des applications d'environnements virtuels, débutant une ère où les applications ont multiplié et où le prix des ordinateurs personnels a énormément chuté.
- **1994** : Apparition des premiers systèmes de télé chirurgie.
- **1996** : La création d'environnement virtuel est devenue plus facile le langage VRML (Virtual Reality Modeling Language). Finalement, dans une application très publicisée sur les environnements virtuels, des astronautes pouvaient désormais s'entraîner pour faire des réparations sur le télescope spatial Hubble, utilisant un simulateur d'environnements virtuels construit par le Goddard Space Flight Center.
- **1998** : La plupart des interfaces de la réalité virtuelle sont désormais accessibles au grand public.



Figure 1.3 : application publicisée sur les environnements virtuels

1.3. Définitions de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une technologie informatique qui permet à l'utilisateur de percevoir et d'agir au sein d'un environnement artificiel grâce à l'utilisation d'interfaces inspirées de travaux issus de la robotique [2][3]. En tant que champ disciplinaire, elle est d'origine récente. Ce n'est qu'au cours des années 80 qu'elle commence à se constituer en tant que telle. Elle est héritière de différentes disciplines issues de l'informatique (informatique graphique, calcul en temps réel, génie logiciel, etc.) et de la robotique. C'est cette dernière qui lui confère une grande partie de son originalité. En effet, grâce aux interfaces utilisées, l'ordinateur peut capter et interpréter les actions de l'utilisateur sur la scène virtuelle et lui restituer en retour les stimulations sensorielles résultant de son interaction avec la scène virtuelle. L'utilisateur perçoit alors cette scène virtuelle modifiée par ses actions. Aujourd'hui, des scientifiques travaillant sur la réalité virtuelle s'accordent à la définir ainsi : *"La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et les 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 un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs."* [4]. La réalité virtuelle cherche à s'affranchir du maniement du clavier et de la souris et à faire « oublier » l'ordinateur. Elle tente de reconstituer des conditions d'interactions proches de celles que connaît une personne avec son environnement habituel. Les dimensions corporelles y sont centrales et une attention particulière est accordée à la perception et à l'action motrice. L'utilisateur doit pouvoir développer des comportements finalisés au sein de l'environnement virtuel.

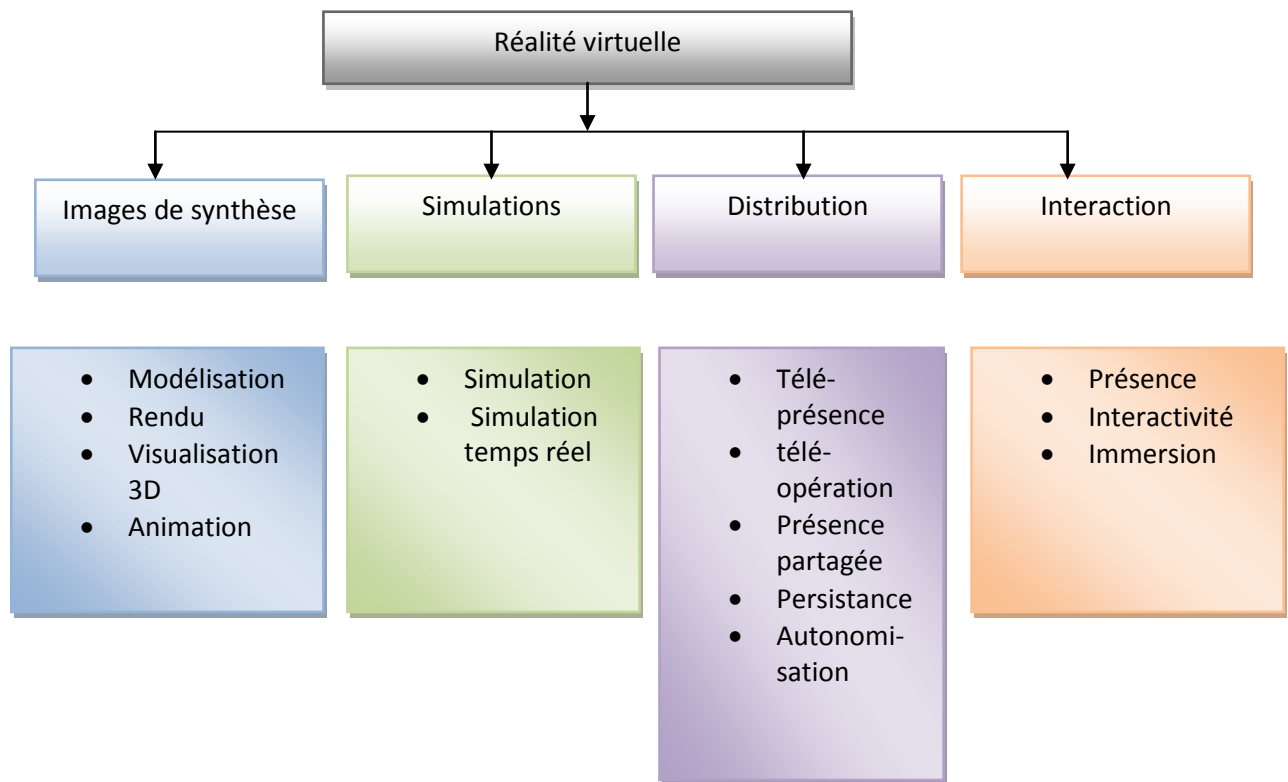


Figure 1.4 : schéma qui représente les caractéristique de la réalité virtuel

Les concepts clés de la réalité virtuelle, prise en tant que discipline, sont classiquement les concepts d'*immersion*, d'*interaction*, de *réalisme*, de *présence* et de *temps réel*. Si les concepts d'*interaction* et de *temps réel* permettent de caractériser avec une relative précision le fonctionnement des environnements virtuels, les concepts d'*immersion*, de *réalisme* et de *présence* sont moins opératoires et leurs définitions font l'objet de débats au sein de la communauté de la réalité virtuelle [5]. Il n'en demeure pas moins que ces concepts tentent de rendre compte de la façon par laquelle un utilisateur peut faire l'expérience du monde artificiel qui lui est proposé dans l'application. Or, c'est précisément cette expérience que ces concepts tentent de caractériser :

- du point de vue du système, le concept d'*immersion* cherche à rendre compte de la couverture sensorielle et motrice de l'utilisateur par le système

- du point de vue de l'utilisateur, le concept de *présence* cherche à rendre compte du vécu subjectif de l'existence du monde artificiel ;

- du point de vue des modèles, le concept de *réalisme* cherche à rendre compte de la façon par laquelle un modèle est "*fidèle*" [5] aux caractéristiques de l'objet ou du phénomène réel auquel il fait référence.

Si, d'un point de vue conceptuel, ces distinctions peuvent apparaître relativement caractéristiques des dimensions impliquées, leur abord pratique en est rendu difficile par la complexité des composantes mêmes de l'environnement virtuel (technologie, modèles, utilisateur humain, facteurs de contexte, etc.), par la dimension personnelle de l'expérience engagée entre l'utilisateur et l'environnement virtuel, et par le côté parfois aléatoire des hypothèses faites sur ce que l'utilisateur est supposé déjà connaître dans le monde réel (références implicites, métaphores, etc.). En fait, ces concepts, caractéristiques de la réalité virtuelle prise en tant que moyen, n'ont pas à se substituer aux concepts relatifs à l'apprentissage qui viendront caractériser les buts poursuivis et l'organisation générale de l'application.

Une large gamme d'interfaces plus ou moins complexes existent. Elles visent chacune des modalités sensorielles particulières (vision, audition, sensation tactile, retour d'effort, etc.) et offrent des spectres de couverture variables de ces modalités. C'est la qualité et le degré de couverture sensorielle plus ou moins grand que caractérise la notion d'*immersion*. Dans des applications informatiques plus classiques, des *interfaces* dites *tangibles* peuvent être utilisées afin de donner une dimension plus sensible et plus réelle aux objets évoqués dans l'environnement informatique. Il s'agit d'objets ou de formes matérielles que manipulent les utilisateurs et qui servent de commande à l'ordinateur. Les interfaces tangibles rendent l'interaction entre l'utilisateur et l'ordinateur plus concrète et plus sensible [6] sans pour autant faire appel à des interfaces à forte valeur ajoutée technologique. En effet, par différence avec les interfaces de réalité virtuelle qui vont rechercher leurs sources dans les technologies robotiques, il s'agit ici d'intégrer des éléments matériels représentatifs du monde réel dans l'application informatique. Toutefois, ces distinctions ne sont pas toujours aussi tranchées. Certaines applications de réalité virtuelle, en effet, tendent à mixer les procédés en faisant, elles aussi, appel à des composants empruntés au monde réel souvent qualifiés de *propops* (support) et servant de support à des composants plus techniques.

L'application de la réalité virtuelle dans des contextes où l'on cherche non seulement à maintenir le lien avec le monde réel mais aussi à l'enrichir avec des informations sensorielles et/ou conceptuelles complémentaires relève de la *réalité augmentée* [4]. On parlera de *réalité mixte* lorsqu'il s'agira de mêler des éléments issus de l'environnement réel à des éléments artificiels [7]. C'est donc toute une gamme d'applications qui se développe à partir de la réalité virtuelle.

1.4. Caractéristiques

La réalité virtuelle présente trois caractéristiques principales :

1.4.1. L'immersion :

La création d'un tel type d'environnement nécessite l'immersion de nos sens dans un monde généré par l'ordinateur pour faire naître le sentiment de présence, pour que l'on ressente une sorte d'impression d'être là. " La question est moins de savoir si le monde virtuel est aussi réel que le monde physique, mais plutôt s'il est assez réel pour que l'utilisateur accepte de faire comme si il l'était." . C'est exactement le même phénomène qui entre en jeu lorsque qu'on est absorbé dans un livre, ou qu'on joue à un jeu vidéo: la question n'est pas vraiment pas de savoir si la représentation qui est faite est réaliste, mais bel et bien si cette représentation est suffisante pour que l'on oublie ses faiblesses et qu'on se laisse entraîner dans l'histoire.

Brenda Laurel (1991) compare l'immersion dans la réalité virtuelle au théâtre, lui-même descendant des cérémonies initiatiques religieuses. Au théâtre, l'attention est fixée sur le jeu des acteurs et sur l'histoire qu'ils racontent. Le décor qui remplit la scène, les projecteurs qui l'illuminent, le jeu, la musique invitent à se laisser entraîner dans l'histoire. Et lorsque l'alchimie fonctionne, le théâtre possède cette étrange faculté de vous retirer du monde réel en focalisant votre attention. Cette expérience d'immersion peut, toujours selon Brenda Laurel, convaincre, instruire, ou même fonctionner comme une catharsis...

Il ne faut pas confondre l'immersion avec la "présence". Par ce terme, on entend l'aptitude à s'intégrer dans un environnement visuel.

1.4.2. La présence :

Il ne faut pas confondre l'immersion avec la "présence". Par ce terme, on entend l'aptitude à s'intégrer dans un environnement visuel.

Selon Sheridan (1992, p120-126) la présence est définie comme la sensation d'être physiquement présent avec des feed-back visuels, auditifs et/ou de force, dans un environnement généré par un ordinateur. En fait il s'agirait d'un état de conscience déterminé par la sensation psychologique de se trouver à l'intérieur de l'environnement virtuel avec les modes de comportement que cela implique.

La présence est la réponse comportementale du sujet et elle ne doit pas être confondue avec le terme “immersion” qui désigne l’ensemble de la technologie mise en jeu pour provoquer la présence chez le sujet.

1.4.3. L’interactivité

Un autre aspect fondamental à prendre en compte dans la conception d’environnements virtuels est l’interactivité. Elle peut se décomposer en deux parties principales. D’une part, la navigation dans le monde virtuel, et d’autre part la dynamique de l’environnement.

“La navigation correspond pour l’utilisateur à la possibilité de se promener plus ou moins librement et de manière plus ou moins indépendante à l’intérieur de l’environnement virtuel. Certaines contraintes peuvent être posées par le développeur afin de limiter l’accès à certaines zones, en jouant sur le degré de liberté accordée à voler, à traverser les obstacles, à marcher, à nager, à déplacer des objets, à créer de nouveaux espaces...” (Teixeira K, 1994).

Dans son livre (1991/1993), Brenda Laurel écrit au sujet de l’interactivité:

« [Autrefois] J’ai dit que l’interactivité se situait dans un continuum qui pouvait se caractériser par trois variables : la fréquence (le nombre de fois où vous pouviez interagir) ; l’ampleur (combien de choix étaient disponibles) ; la signification (comment les choix affectaient vraiment les choses).

1.5. Systèmes de réalité virtuelle

Il est un peu difficile de classer tous les systèmes de réalité virtuelle, mais la plupart des configurations entrent dans trois catégories principales. Chaque catégorie peut être classée selon le sentiment d’immersion qu’elle offre, ou le degré de présence qu’elle peut fournir. Plus le système est immersif, plus le degré de concentration de l’utilisateur sur la tâche qu’il réalise est important. L’immersion ou la présence sont généralement le produit de plusieurs paramètres comme l’interactivité, la complexité de l’image, la vue stéréoscopique, ou encore le champ visuel.

1.5.1. Systèmes non-immersifs

Comme son nom l’indique, un système de réalité virtuelle non-immersif est un système qui n’offre rien de particulier pour renforcer visuellement le sentiment de présence dans l’environnement virtuel qu’il génère. Un tel système peut utiliser par exemple le bureau électronique (Desktop) classique d’un ordinateur et l’environnement virtuel est vu à travers

une fenêtre en utilisant la résolution d'un écran standard. Ces systèmes sont appelés aussi WOW _Window On a World_ [8]. L'interaction avec un tel environnement peut se faire par des moyens conventionnels tels que des claviers, des souris ou même en utilisant des dispositifs 3D un peu plus élaborés comme les Space-Balls ou les gants Data Glove.

L'avantage d'un système non-immersif est qu'il n'exige pas de matériels spécifiques, par conséquent un tel système peut être implanté sur un ordinateur normal.

1.5.2. Systèmes semi-immersifs

Un système semi-immersif comporte normalement une unité de calcul graphique performante en terme à la fois de résolution d'image et de fréquence de production, qui sera couplée avec un grand écran et un système de projection. Ces systèmes augmentent la sensation d'immersion d'un utilisateur en offrant un champ visuel large. Il est très important de calibrer la géométrie de l'image projetée par rapport à la forme de l'écran pour éviter les déformations de l'image. Les systèmes semi-immersifs sont très utiles pour les applications éducatives car ils permettent une expérience multi-utilisateurs simultanée qui n'est pas envisageable dans le cas d'un système HMD. Le Reality Center développé par Silicon-graphics Inc. est un exemple des systèmes semi-immersifs

1.5.3. Systèmes entièrement immersifs

L'expérience de la réalité virtuelle la plus directe est fournie par les systèmes entièrement immersifs. Ce genre de système exige souvent l'utilisation des HMDS (head-mounted display) pour améliorer la sensation d'immersion. Les systèmes entièrement immersifs donnent une sensation de présence dans l'environnement virtuel qui ne peut pas être égalé par d'autres approches.

Le Cave est une variation des systèmes entièrement immersifs obtenue en utilisant des projections multiples d'images 3D dans un cube composé d'écrans de visualisation qui entourent complètement l'utilisateur

1.6. Applications orientées vers l'apprentissage

De façon générale, *"la finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou plusieurs) une activité sensorimotrice dans un monde artificiel, qui soit imaginaire, soit symbolique, soit la simulation de certains aspects du monde réel"* [4]. Cette approche générique ne préjuge ni des usages, ni de ses champs d'application. Nous nous intéresserons ici à son application, de plus en plus fréquente, à l'apprentissage. Elle est, en effet, de plus en plus utilisée pour permettre à des personnes d'apprendre en faisant [9], [10] ; [11],

[12];[13];[4],[14]. L'utilisation de la réalité virtuelle permet de réaliser des applications prenant des formes variées. Judicieusement utilisée, les apprentissages y sont mieux guidés et peuvent devenir plus faciles qu'en situation réelle [15]. Le spectre de ces applications est large. Il va des apprentissages conceptuels abstraits (des concepts scientifiques dans Science Space [11], [12]) à l'apprentissage de gestes professionnels (le geste du soudage dans CS WAVE [16]), au modèle fonctionnel d'un processus (le processus d'usinage dans VTT [14]). Pour cela, on s'appuie sur les larges possibilités de présentations multi sensorielles et dynamiques des données offertes par ces technologies [10]; [5] ;[14] ; [16].

Les solutions technologiques retenues sont elles aussi variées. Si des solutions "très immersives" utilisant un casque de vision ou une pièce immersive sont utilisées dans le domaine de la recherche [18];[17];[19], les applications devant être démultipliées font appel à des solutions moins coûteuses (du grand écran au simple écran d'ordinateur de bureau [20]).

Les interfaces haptiques (pouvant générer des sensations tactiles, de retour d'effort ou de mouvement) sont encore peu utilisées, probablement du fait de leur coût élevé. Il faut donc reconnaître que si l'image de la réalité virtuelle a pu être associée par le grand public à l'usage des casques des visions ou à l'utilisation des pièces immersives, les applications industrielles orientées vers l'apprentissage reposent souvent sur des solutions technologiques moins spectaculaires et plus modestes. L'utilisation d'ordinateurs de bureau est de plus en plus courante dans ce domaine.

1.6.1. Les apports de la réalité virtuelle à l'apprentissage

Les apports de la réalité virtuelle ne sont pas tous originaux. Il devient classique de distinguer les apports partagés avec d'autres médias informatiques, des apports spécifiques à cette technologie [5]. Nous aborderons successivement ces deux aspects.

- Les apports partagés

Les environnements virtuels pour l'apprentissage sont des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. A ce titre, ils partagent à plus d'un titre les apports des EIAH et, plus particulièrement ceux des applications de simulation. Ces apports ont notamment été présentés dans [21]. Nous en rappelons ici quelques-uns :

- la disponibilité et la personnalisation

Tout comme de nombreux environnements informatiques pour l'apprentissage humain, les environnements virtuels pour l'apprentissage permettent de proposer des supports d'apprentissage toujours disponibles et personnalisables. Ils s'ajustent, notamment, aux

rythmes des apprentissages des apprenants. L'intégration de composants issus de l'intelligence artificielle facilite la personnalisation des démarches.

- le suivi et la gestion des parcours

Des dispositifs logiciels de suivi et de gestion des apprenants et de leurs parcours d'apprentissage peuvent être intégrés dans un environnement virtuel pour l'apprentissage comme dans tout environnement informatique pour l'apprentissage humain. Ils permettent à la fois de décharger le formateur de tâches de gestion des parcours, de faciliter l'individualisation des apprentissages et l'accès aux ressources formatives en auto-apprentissage.

- la disponibilité des ressources et la réversibilité des actions

La disponibilité des ressources constitue un atout important dans des situations d'apprentissage surtout lorsqu'elles se substituent à des activités nécessitant l'application de règles de sécurité strictes, de tâches de préparation et/ou la présence d'un formateur. La réversibilité des actions permet tant de reprendre une action que de chercher à comprendre ce qui est déterminant dans le processus de l'action.

- l'accès permanent à des explications ou à des ressources

L'intégration, en particulier, de liens hypertextes ou hypermédias, permet de multiplier les possibilités d'accès à des ressources à différents moments d'une activité d'apprentissage en environnement informatique.

- la trace, le rejet et l'analyse des tâches réalisées

Tant la trace, que le rejet et les analyses directement produites par l'environnement informatique facilitent le retour sur l'action de l'apprenant afin d'en favoriser la correction et de permettre à l'apprenant d'améliorer ses performances au travers de différents procédés liant compréhension, formalisation et action.

- la simulation

La simulation informatique a une histoire plus ancienne que la réalité virtuelle et tend à se confondre avec des modes d'apprentissage par la mise en situation dans un environnement artificiel. Les simulateurs "pleine-échelle", en particulier, reposent sur une logique de reproduction d'éléments issus du monde réel. Tant le réalisme que la fidélité au processus de référence y sont historiquement importants. Toutefois, des évolutions récentes tendent à donner davantage de place aux facteurs propres à l'apprentissage. Ainsi, la didactique professionnelle [22] permet de développer des situations orientées vers la résolution de problème. Par ailleurs, des fonctionnalités pédagogiques explicites sont

intégrées aux simulateurs au cours même de leur conception quand ce n'est pas la simulation elle-même qui se trouve être intégrée à un objet pédagogique. De telles simulations sont conçues pour des activités définies, au regard d'objectifs pédagogiques et de modalités d'apprentissage précis.

- Les apports spécifiques

Les environnements virtuels pour l'apprentissage sont variés tant dans leurs formes, leurs modes d'utilisations, qu'au regard des sujets et thématiques abordés. Ils visent tous à créer une situation propice à l'apprentissage. Ils sont particulièrement utiles lorsque le monde réel ne permet pas de créer une situation d'apprentissage adéquate du fait, par exemple, des risques existants, du coût de la solution et/ou de la complexité des apprentissages. Ils permettent aussi de créer des situations où l'apprentissage se trouve être plus facile qu'en situation réelle (par exemple, par simplification) ou pouvant s'opérer selon des modalités nouvelles. Pour un état de l'art plus complet, il est possible de se référer notamment à [5][17],[9]. Si la réalité virtuelle « hérite » des apports et des avantages des sources dont elle s'inspire, elle présente aussi des avantages spécifiques. Nous présenterons plus particulièrement deux catégories d'apports spécifiques. La première est liée à la réintégration du corps dans les processus d'apprentissage grâce aux modes d'interactions rendus possibles par la réalité virtuelle. La seconde est constituée par la « plasticité » originale qu'offrent les technologies de réalité virtuelle pour la présentation des données.

-La prise en compte du corps

Tout comme une de ses parentes, la simulation, la réalité virtuelle permet d'apprendre en faisant. L'activité de l'utilisateur y est conçue par analogie aux activités développées dans le monde réel. Elle s'inscrit dans des ensembles plus complexes de comportements finalisés. Privilégiant ainsi l'activité corporelle, la réalité virtuelle n'est dépendante du texte ni pour la présentation des données, ni pour la mise en situation, ni pour la navigation dans l'application. C'est là une de ses grandes forces, surtout lorsque l'on s'adresse à des publics rencontrant des difficultés avec la lecture, l'écriture et l'abstraction. En effet, ce n'est pas parce que l'on ne passe pas par le verbe, qu'il n'y a ni apprentissage ni conceptualisation. PIAGET [23] et WALLON [24] nous ont montré qu'il n'y avait pas à opposer perception, action et conceptualisation. Plus récemment, VERGNAUD [25] et PASTRE [26] ont contribué à expliquer les relations existant entre l'action et la conceptualisation, alors que BERTHOZ [2] explique celles qui existent entre la perception et l'action et que MATURANA [27] et

VARELA [28] proposent un modèle de description des fondements biologiques de la cognition.

La réalité virtuelle élargit la gamme possible des interfaces informatiques bien au-delà du clavier et la souris. Dans ce type de technologies, ce ne sont pas les utilisateurs qui s'adaptent à l'ordinateur, mais l'ordinateur qui s'adapte aux utilisateurs et à la nature de leurs activités. [3] définit ainsi les interfaces comportementales utilisées en réalité virtuelle : systèmes visant à exploiter un comportement humain, naturel et sans acquis préalable. Ce sont donc les modes d'expression et les modes d'actions naturelles aux utilisateurs qui doivent, autant que faire se peut, servir à structurer les interactions qui s'établissent entre l'utilisateur et l'artefact. Les *interfaces* de réalité virtuelle dites *sensori-motrices* [5] ou *comportementales* [3] sont orientées, a minima, vers la couverture sensorielle et motrice utile à l'application, voire vers la génération de données perceptives et comportementales plus globales. Dans cette perspective, la réalité virtuelle ne se limite pas forcément à la reproduction de situations dont les références sont prises dans le monde réel et ne recherche pas forcément le réalisme perceptif des situations évoquées [5]. Bien au contraire, elle peut, dans certains cas, s'en éloigner délibérément. Elle peut permettre de se dégager des contingences perceptives de l'être humain. Tant les modes d'action, les modes de perception, que les modes de relations entre l'apprenant et l'objet, peuvent être pensés de façon spécifique et être "reconstruits" en privilégiant ce qui est essentiel pour l'apprentissage. Les choix réalisés au plan de la reconstruction des données, concourent à la poursuite d'objectifs particuliers tels qu'aider à comprendre, aider à réaliser ou aider à prendre des décisions [14]. La réalité virtuelle permet, d'un côté, de donner à percevoir certaines données de façon originale, et d'un autre côté, de développer des situations engageant l'activité corporelle, même pour l'apprentissage de données immatérielles généralement présentées de façon abstraite. C'est ici que des choix s'imposent en terme de mode de présentation des données à l'utilisateur. Ces choix s'imposent d'autant plus que les technologies d'interfaçage ne permettent pas tout type d'activité (il est, par exemple, difficile de soustraire un utilisateur aux forces gravitationnelles) et certaines autres telles que les pièces immersives de type CAVE. ou certains dispositifs à retour d'effort demeurent encore onéreuses. Mais il est aussi possible d'exploiter à son avantage, différentes caractéristiques de la perception humaine. Ainsi, des travaux relativement récents étayés dans le domaine des sciences cognitives, montrent qu'il est possible de générer des illusions perceptives. C'est en particulier le cas dans le domaine des interfaces à retour d'effort. La coordination de plusieurs modalités perceptives (vision et mouvement par exemple) permettent de générer des perceptions "pseudo haptiques" [29].

L'utilisateur perçoit alors des retours d'effort ou des résistances qui n'existent pas au plan physique. Ces travaux ouvrent des perspectives intéressantes tant au plan des apprentissages qu'à celui de la réduction des coûts des dispositifs de réalité virtuelle.

1.7. Conclusion

La réalité virtuelle paraît donc avoir une place à prendre dans la réalité économique, scientifique et sociale. Il apparaît que cette technologie, rodée par un usage industriel scientifique et militaire important, commence à accéder depuis quelques années aux marchés de masse.

C'est aussi une technologie qui permet de ressentir des émotions, peut-être le premier pas de l'ordinateur vers l'humanité. On peut d'ailleurs penser que des problèmes d'éthique et de morale, comparables à ceux engendrés par la télévision et les jeux vidéo, se poseront.

Il est même probable que ces technologies, à long terme, changeront encore plus l'idée de distance, abolissant ses contraintes. Elle a donné naissance au bureau virtuel, entouré de nombreux collègues, tous répartis à la surface du globe, et cela depuis chez soi, ou bibliothèque, laboratoire virtuel, universités virtuelles ...etc.