

## Avant-propos

« Réalité virtuelle », un oxymore de nouveau réactualisé dans les médias, comme il le fut au début des années 1990, il y a déjà un quart de siècle ! Une période que les jeunes innovateurs n'ont pas forcément connue. Oui, n'en déplaisent à certains, cette science et ses techniques associées ne sont pas une innovation du XXI<sup>e</sup> siècle mais bien du siècle précédent.

Cette renaissance vers une démocratisation de la réalité virtuelle va se dérouler maintenant, apportant son lot d'applications pertinentes et efficaces, mais aussi ses difficultés technologiques que nul développeur ne doit ignorer. Certains, enthousiastes, veulent créer de nouvelles applications, pensant qu'il suffit de compétences en innovation pour les réaliser. Mais cette démarche est vouée à l'échec s'il n'est pas fait en premier un sérieux état de l'art des techniques de la réalité virtuelle et sans connaître les fondements et les usages déjà existants. Nombre de jeunes entrepreneurs m'ont contacté pensant faire une application inédite en réalité virtuelle sans connaître le strict minimum de cette science et de ses techniques. Pour certains, je dus leur dire « mais c'est déjà industrialisé, commercialisé par des sociétés vieilles d'une vingtaine d'années ». Ce n'est pas parce qu'une dernière innovation, récemment apparue, fait grand bruit dans les médias, le visiocasque *low-cost* (ou casque immersif), que la réalité virtuelle n'existait pas avant. Non, l'année 2016 n'est pas l'année 1 de la réalité virtuelle ! Mais la baisse importante du prix des visiocasques permet d'entrevoir de nouveaux usages à grande échelle. Les médias et les sites sur la réalité virtuelle, gérés la plupart par des non spécialistes, abondent d'applications sans discernement : certaines existent depuis des années, d'autres seront utiles tandis que d'autres seront inappropriées, voire loufoques. La réalité virtuelle n'est pas une baguette magique ! Rappelons qu'il ne suffit pas d'exploiter une innovation technologique pour elle-même. Il s'agit

de créer une innovation fonctionnelle au service de l'utilisateur à partir d'un nouveau dispositif technique, que ce soit un visiocasque ou un autre matériel.

Des recherches et des développements en réalité virtuelle ont déjà été entrepris depuis un quart de siècle par la communauté RV, en France et dans le monde. Il serait inopportun d'ignorer ces travaux. Mais si vous lisez ces lignes, c'est que vous avez fait le bon choix : le fruit de toutes les recherches et les développements professionnels des dix dernières années est présenté dans cet imposant ouvrage. Qui donc pouvait mieux que Bruno Arnaldi, Pascal Guittou et Guillaume Moreau mener cette tâche ardue : faire le point sur les R&D en réalité virtuelle depuis dix ans ?

Les trois directeurs de l'ouvrage sont des acteurs majeurs dans le domaine de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Ils ont tous trois participé au développement de la recherche en France, via le groupe de travail GT-RV du CNRS (1994) et ensuite via l'Association française de réalité virtuelle (2005) dont ils furent co-fondateurs et membres très actifs : présidents, vice-présidents ou membres du CA. Cette association a permis de structurer de façon efficace toute la communauté (enseignants, chercheurs, industriels et fournisseurs de solutions). En parallèle, grâce à leur soutien enthousiaste et indispensable, j'ai pu organiser la rédaction de l'ouvrage collectif avec cent un auteurs et en cinq volumes *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, dont ils furent les trois coordonnateurs. Mais la troisième édition date de dix ans. Il fallait donc combler ce vide d'un ouvrage de référence récent.

Il faut bien connaître les bases de la réalité virtuelle pour se lancer dans ce domaine, que l'on soit étudiant ou entrepreneur. Le contenu de l'ouvrage, rédigé avec l'aide de 30 auteurs fait le point sur toutes les problématiques actuelles et les solutions commercialisées : l'immersion de l'utilisateur, son interfaçage avec l'espace artificiel et la création de ce dernier. Toutes les technologies actuelles sont présentées, ainsi que les logiciels. Les facteurs humains sont pris en compte et des méthodes d'évaluation sont exposées. Les risques liés à l'utilisation des visiocasques sont aussi mentionnés.

Une récente communauté, regroupée en France dans le think tank UNI-VR, réunit les professionnels du cinéma et de l'audiovisuel. Grâce aux nouvelles caméras 360° permettant de créer des mondes artificiels, issus d'images 360° et non d'images de synthèse, elle veut créer un nouvel art, avec deux approches complémentaires : soit réaliser des « vidéos 360° » où l'utilisateur garde le statut de spectateur, mais avec une immersion corporelle, proprioceptive à 360°, soit concevoir des « VR videos » où l'utilisateur devient « spect-acteur », car il peut interagir sur le déroulement du scénario, avec des personnages ou sur l'environnement artificiel, l'authentique domaine de la réalité virtuelle. Leur finalité artistique est proche de celle des « arts numériques interactifs », bien que ces deux communautés se méconnaissent. Des artistes français et internationaux des arts numériques se sont appropriés les techniques de réalité virtuelle pour faire des œuvres interactives dès la fin des années 1980 (*Les pissenlits* de E. Couchot, M. Bret et M-H. Tramus, 1988 ; *L'autre* de Catherine Ikam, 1991). À cette

époque, un journaliste de la revue *Les cahiers du cinéma* m'avait interviewé, affirmant que « la réalité virtuelle serait l'avenir du cinéma ! ». Étrange remarque lorsque l'on sait l'antagonisme entre le cinéma où le spectateur est passif et la réalité virtuelle où l'utilisateur est actif, interagissant avec l'environnement artificiel ! Encore un journaliste qui s'enflammait devant une innovation, sans trop se préoccuper des fondements de cette innovation et de l'impact sur la personne. Mais, comme tous les spécialistes, je n'imaginai pas que vingt ans plus tard, les caméras 360° permettraient aussi de créer un monde artificiel pour immerger un usager au cœur de la scène filmée. En permettant à l'utilisateur d'y interagir, on rentre dans le domaine de la réalité virtuelle ou de la réalité augmentée si on mixe le monde réel avec l'espace artificiel. À l'opposé du cinéma, il ne s'agit plus de « raconter une histoire » mais de « vivre une histoire ». Avec cet ouvrage, ils ont une source d'informations approfondies qui leur permettra de développer efficacement leurs *VR videos*.

Toutefois, la modélisation numérique d'un monde artificiel et de sa représentation visuelle par des images de synthèse restera la principale voie de développement des usages de la réalité virtuelle. Ils sont déjà bien exploités depuis au moins quinze ans pour les applications professionnelles (conceptions industrielles et architecturales, formation et apprentissage, santé, etc.). Les différentes communautés devront collaborer plus étroitement sur la problématique de la théorisation de cette discipline et de ses techniques, ces dernières étant exhaustivement présentées dans l'ouvrage de Bruno Arnaldi, Pascal Guitton et Guillaume Moreau. On ne discute pas de l'intérêt de ce livre, on l'achète !



# Introduction

Il n'aura échappé à personne que 2016 et 2017 font souvent figure dans les médias d'« années » de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Il est non moins évident que sur le plan technologique de très nombreuses annonces sont régulièrement effectuées, toutes aussi impressionnantes les unes que les autres. En regard de ce tintamarre médiatique, il est utile de faire preuve de pragmatisme et de rappeler quelques éléments et faits historiques :

– le premier d'entre eux est de se persuader que la réalité virtuelle et la réalité augmentée datent de plusieurs décennies et qu'il existe une très grande communauté internationale travaillant sur ces sujets, tant au niveau scientifique avec des équipes de recherche, des découvertes, des conférences, des ouvrages qu'au niveau industriel avec des entreprises, des produits et des réalisations de grande ampleur. Il convient de se rappeler également que de nombreuses entreprises, technologiques ou non, utilisent avec succès depuis plusieurs années les technologies de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée ;

– il est beaucoup question dans les annonces technologiques de la conception de « nouveaux » casques de réalité virtuelle (HTC Vive, Oculus Rift, etc.) et de réalité augmentée (HoloLens, etc.). En fait, l'invention des premiers visiocasques<sup>1</sup> remonte maintenant à 50 ans, grâce au travail précurseur de Ivan Sutherland [SUT 68] ;

– notons par ailleurs que ces visiocasques ne représentent qu'une petite partie des équipements utilisés en réalité virtuelle que ce soit pour l'affichage (avec des systèmes de projection par exemple), la capture de mouvements ou l'interaction ;

---

Introduction rédigée par Bruno ARNALDI, Pascal GUITTON et Guillaume MOREAU.

1. C'est le nom que nous leur donnerons dans cet ouvrage, ceci sera expliqué un peu plus tard.

– les concepts et les applications de la réalité virtuelle ont été décrits dans la série *Le traité de la réalité virtuelle*, ouvrage encyclopédique réalisé de façon collective avec des auteurs français tant académiques qu’industriels et sans équivalent encore aujourd’hui. Rappelons-en les différentes versions :

- première édition en 2001 (Presses de l’École des Mines), écrite par Philippe Fuchs, Guillaume Moreau et Jean-Paul Papin, 530 pages ;

- deuxième édition en 2003 (Presses de l’École des Mines), dirigée par Philippe Fuchs et Guillaume Moreau avec l’aide de 18 contributeurs, 930 pages en 2 volumes ;

- troisième édition en 2005 (Presses de l’École des Mines), dirigée par Philippe Fuchs et Guillaume Moreau, avec l’aide de plus de cent contributeurs, 2200 pages en 5 volumes ;

- une version anglaise *Virtual reality : Concepts and technologies* en 2011 (CRC Press), dirigée par Philippe Fuchs, Guillaume Moreau et Pascal Guitton, 432 pages ;

– enfin, mentionnons la création en 2005 de l’Association française de réalité virtuelle (AFRV) qui a permis de structurer de façon efficace la communauté en regroupant des enseignants et des chercheurs provenant des universités et des organismes de recherche ainsi que des ingénieurs travaillant dans des entreprises. L’AFRV organise annuellement depuis cette date des journées basées sur des présentations des activités et des échanges entre les participants.

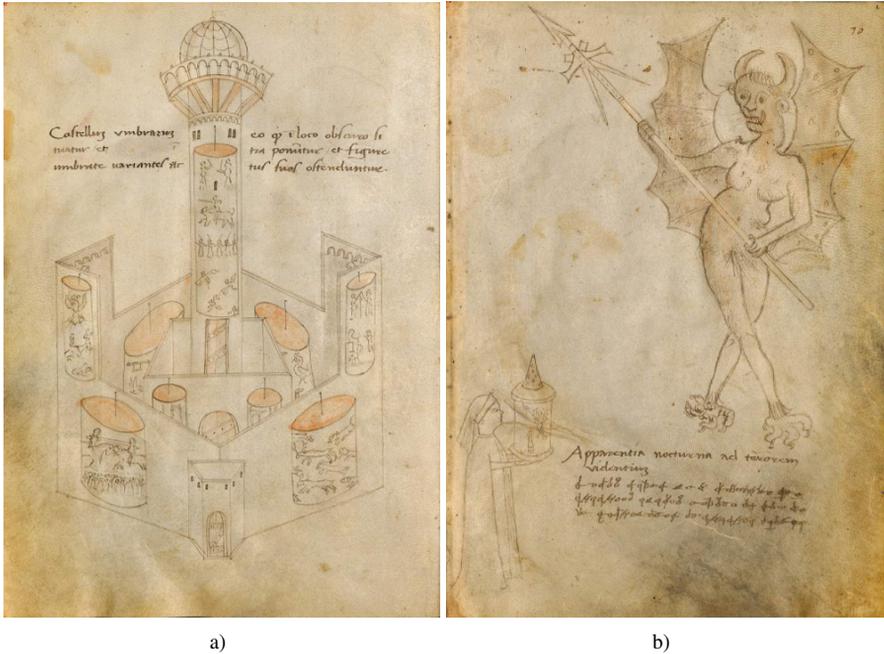
Il ressort de ces rappels qu’il existe déjà des communautés au niveau international, ainsi qu’une abondante littérature sur le sujet et que toute personne désirant se bâtir une culture scientifique et/ou technologique pourra avantageusement se référer à des ouvrages comme, par exemple [FUC 16] en français ou [SCH 16, LAV 17] pour n’en citer que quelques-uns très récents.

## **I.1. Les origines de la réalité virtuelle**

Lorsque l’on parle de références historiques concernant la réalité virtuelle, on peut commencer par évoquer l’allégorie de la caverne de Platon [PLA 07] qui dans le *Livre VII de la République* expose de manière détaillée l’expérience de plusieurs hommes enchaînés dans une caverne qui ne peuvent percevoir que les ombres, projetées sur le fond de la caverne, de ce qui se passe à l’extérieur. La notion de réalité et de perception, à travers ce qui est et ce qui en est perçu, fait l’objet d’une analyse, en particulier concernant le passage d’un monde à l’autre.

Quelques siècles plus tard, en 1420, l’ingénieur italien Giovanni Fontana dans son livre *Bellicorum instrumentorum liber* [FON 20], décrit une lanterne magique capable de projeter des images sur les murs d’une pièce (voir figure I.1a), dont l’usage envisagé

est d'afficher des personnages fantastiques. Cette machinerie n'est pas sans rappeler le système immersif de grande taille (visiocube) développé quelques siècles après par Carolina Cruz-Neira *et al.* [CRU 92] à l'université d'Illinois.



**Figure 1.1.** a) Plan de la lanterne magique de Giovanni Fontana, b) Usage de la lanterne magique

Dans les ouvrages relatant l'histoire de la RV, on rencontre fréquemment des controverses – légitimes – relatives à la première apparition de la terminologie « réalité virtuelle », certains l'attribuant à Jaron Lanier lors d'une conférence de presse en 1985, d'autres l'attribuant à Antonin Artaud en 1938 dans son essai *Le théâtre et son double* [ART 09].

Incontestablement, le primo-inventeur est le second, dans son essai sur le théâtre et plus particulièrement dans un chapitre intitulé *Le théâtre alchimique*. Il faut noter que, dans cet ouvrage, Antonin Artaud disserte à de nombreuses reprises sur la réalité, sur la virtualité (les mots sont employés fréquemment dans le texte). La citation précise, page 75 de l'édition de 1985, collection Folio/essais de Gallimard, est la suivante :

« Tous les vrais alchimistes savent que le symbole alchimique est un mirage comme le théâtre est un mirage. Et cette perpétuelle allusion aux choses et au principe du théâtre que l'on trouve dans à peu près tous les

livres alchimiques, doit être entendue comme le sentiment de l'identité qui existe entre le plan sur lequel évoluent les personnages, les objets, les images, et d'une manière générale tout ce qui constitue la *réalité virtuelle* du théâtre, et sur le plan purement supposé et illusoire sur lequel évoluent les symboles de l'alchimie. »

De plus, quelques pages avant cette apparition de l'expression RV, Antonin Artaud évoque l'allégorie de la caverne de Platon.

Néanmoins, il est clair que le premier à l'avoir employé dans le sens qui nous intéresse dans cet ouvrage, est bien Jaron Lanier dans sa forme anglaise *Virtual Reality*. Il n'est d'ailleurs pas inutile de rappeler la subtile différence qui existe entre le *virtual* anglais et le *virtuel* français (voir chapitre 1 du volume 1 du traité de la réalité virtuelle édition 3). Le premier signifie *qui fait office de* alors que le second désigne ce qui est *potentiel*, ce qui est en *puissance*, ce qui ne *se réalise pas*. Linguistiquement parlant, il aurait été plus judicieux de parler de réalité vicariante.

Les auteurs de science fiction et tout particulièrement d'anticipation (l'anticipation est un genre dédié qui, comme son nom l'indique, consiste à imaginer comment pourrait être notre monde dans l'avenir), ont également proposé des œuvres intégrant et/ou imaginant les technologies de RA-RV qui nous intéressent dans cet ouvrage. La liste est longue et nous n'en retiendrons que quatre pour l'impact de leurs travaux, par ordre chronologique :

– Vernor Vinge, dans sa nouvelle *True Names* (non traduite en français) publiée en 1981, introduit, sans le nommer explicitement, un cyberspace où un groupe de pirates informatiques utilisent les technologies d'immersion en RV pour combattre le gouvernement. Il est aussi le créateur du concept de « singularité » : le moment où les machines seront plus intelligentes que les humains ;

– William Gibson, dans son roman *Neuromancien* (*Neuromancer* en anglais) publié en 1984, décrit un monde en réseau où existent des consoles de RV permettant à l'utilisateur de vivre des expériences dans des mondes virtuels. Il « invente » le terme cyberspace qu'il décrit comme « une hallucination consensuelle vécue quotidiennement en toute légalité par des dizaines de millions d'opérateurs ». Cette notion de cyberspace jette un pont entre le monde numérique, cybernétique et l'espace dans lequel nous évoluons ;

– Neal Stephenson, dans son roman *Le Samouraï virtuel* (*Snow Crash* en anglais) publié en 1992, introduit le concept de *metaverse* (monde virtuel, donc fictif, dans lequel évolue une communauté représentée par des avatars), un univers à la *Second Life* ;

– Ernest Cline, dans son roman *Player One* (*Ready Player One* en anglais) publié en 2011, présente un monde où l'humanité vit dans un énorme réseau social virtuel,

pour échapper aux bidonvilles de la vie réelle. Ce réseau contient aussi la clé de la fortune engendrant ainsi une sorte de quête du Graal virtuelle.

La littérature n'est pas le seul domaine dans lequel des références à la réalité virtuelle sont apparues très tôt, établissant des ponts entre le réel et le virtuel. Par exemple, dans le domaine du cinéma, il faut mentionner un grand précurseur : Morton Leonard Heilig, qui en 1962, suite à des travaux entrepris dès la fin des années 1950, dépose un brevet sur le système *Sensorama* offrant une navigation urbaine virtuelle en moto grâce à une immersion basée sur une visualisation stéréoscopique, une sonorisation du bruit du moteur et une restitution des vibrations de l'engin et du vent sur le visage.

Le cinéma a exploité de manière assez naturelle l'arrivée de ces nouvelles technologies. En 1992, Brett Leonard réalise *Le Cobaye* (titre anglais : *The Lawnmower Man*) avec Pierce Brosnan dans le rôle principal où un homme fait l'objet d'expériences scientifiques basées sur la RV (voir figure I.2). Sans surprise, l'histoire tournera autour de quelques effets secondaires indésirables, etc. Un point intéressant à noter concernant ce film est l'utilisation par les acteurs lors du tournage des équipements réels de la société VPL Research, créée par Jaron Lanier (et qui avait déjà déposé le bilan à cette époque). Il ne faut pas oublier *Matrix* (titre anglais : *The Matrix*), premier film d'une trilogie, réalisé en 1999 par Lana et Lily Wachowski avec Keanu Reeves et Laurence Fishburnes où l'intrigue repose sur de très fréquents allers et retours entre le réel et le virtuel, le héros devant libérer les humains de l'emprise des « machines » en prenant le contrôle de la matrice. Dans ce film, la technologie est bien plus évoluée car l'immersion est totale et tellement crédible que l'utilisateur ne dispose que de peu d'indicateurs lui permettant de détecter s'il est dans le monde réel ou virtuel. Un autre film culte, quoi que plus orienté vers l'interaction homme-machine (IHM) que RV proprement dite, est *Minority Report*, réalisé en 2002 par Steven Spielberg avec Tom Cruise (voir figure I.3). Ce film propose une technologie d'interaction naturelle et innovante avec les données qui sera source d'inspiration pour de nombreux travaux de recherche par la suite. Ces trois exemples de film ne sont bien entendu pas les seuls à pouvoir prétendre évoquer la RV, de nombreux autres œuvres pourraient être citées, néanmoins ils sont emblématiques de cette discipline.

Après avoir évoqué les mentions des concepts de RV-RA dans des œuvres, il est également intéressant d'analyser comment y sont exploitées ces technologies. Le cinéma par exemple, à travers le cinéma 360° (et sous réserve que le spectateur devienne enfin spect-acteur) va devenir un utilisateur intensif de la RV. Sur le plan artistique, il reste à travailler sur les codes et les règles d'écriture cinématographique que ces nouveaux modes d'exploitation vont engendrer. En particulier, dans le cinéma traditionnel, la narration est construite en partant du principe fort que le réalisateur, à travers ses cadrages, amène quasiment « par la main » le spectateur à l'endroit voulu pour voir un élément scénique particulier. Dans un contexte où le spectateur peut librement créer son propre point de vue, la construction artistique n'est plus la même.

Si on ajoute à cela le fait que l'utilisateur dispose de la capacité d'interagir avec l'environnement et donc de modifier des éléments dans la scène, la complexité narrative s'accroît et commence à se rapprocher des mécanismes narratifs utilisés dans les jeux vidéo. Le fait de combiner des images réelles et des images numériques (réalité mixte) est un autre axe de développement et d'étude qui ne manqueront pas d'apparaître sous peu.



**Figure I.2.** Extrait du film *Le Cobaye* (© 1992, Allied Vision)

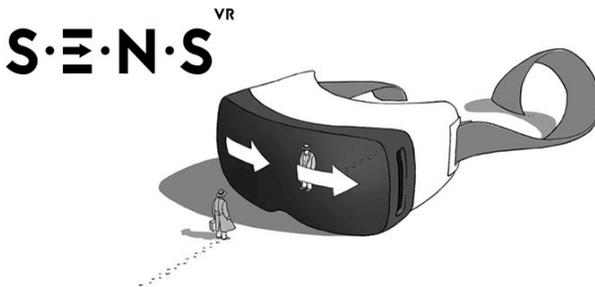
La bande dessinée est aussi impactée soit par des projets d'immersion (Magnétique du studio Oniride en 2016)<sup>2</sup>, soit par l'exploitation en RV d'un univers de BD comme c'est le cas dans le projet S.E.N.S co-produit par Arte France et le studio Red Corner en 2016, inspiré de l'œuvre de Marc-Antoine Mathieu (voir figure I.4). En effet, l'univers utilisé dans les expériences de RV n'est pas nécessairement la reproduction d'une réalité, il peut tout aussi bien être le fruit d'une pure imagination et un univers de BD se prête bien volontiers à de telles expérimentations.

---

2. [www.oniride.com/](http://www.oniride.com/)



**Figure I.3.** Extrait du film *Minority Report* (© 2002, Twentieth Century Fox)



**Figure I.4.** Projet S.E.N.S.

## I.2. Présentation des principaux concepts

Cette section a pour objectif de décrire de façon synthétique les deux domaines de la RV et de la RA. Pour chacun d'entre eux, nous décrivons les principaux concepts et nous vous proposons quelques définitions<sup>3</sup> afin de bien circonscrire le contexte de cet ouvrage. Si vous souhaitez plus d'informations, nous vous invitons à consulter le *Traité de la réalité virtuelle* [FUC 05].

---

3. Il existe des définitions différentes que vous pourrez trouver dans d'autres ouvrages ; celles que nous avons retenues sont d'une part assez brèves et d'autre part correspondent à une forme de consensus général.

### 1.2.1. *Réalité virtuelle*

Avant tout, il convient de rappeler que la RV a pour objectif de permettre à l'utilisateur de réaliser virtuellement une tâche tout en ayant l'impression de l'effectuer dans le monde réel. Pour générer cette sensation, la technologie doit « tromper le cerveau » en lui fournissant des informations reproduisant celles qu'il percevrait dans un environnement réel.

Prenons un exemple qui va nous servir de fil rouge : vous avez toujours rêvé de piloter un avion de tourisme sans jamais pouvoir assouvir cette envie. Et bien, un système de RV peut vous aider à réaliser – virtuellement – ce rêve en simulant le pilotage. Pour commencer, il est indispensable de vous proposer des images de synthèse reproduisant la vue depuis le cockpit, d'abord de la piste de décollage, puis du territoire que vous allez survoler. Afin de vous donner l'impression « d'être » dans l'avion, ces images doivent être suffisamment grandes et de bonne qualité pour que la perception de votre environnement réel soit mise au second plan, voire supprimée, pour être remplacée par celle de l'environnement virtuel (EV). Ce phénomène de modification de perception, qualifié d'**immersion**, est le premier fondement de la RV. Les casques de RV – que nous appellerons **visiocasques** dans cet ouvrage – fournissent une bonne immersion puisque les seules informations visuelles perçues sont délivrées par son intermédiaire.

Si le système génère également le bruit du moteur de l'avion, votre immersion sera encore meilleure puisque votre cerveau percevra cette information plutôt que les bruits réels vous environnant, ce qui renforcera encore l'impression d'être dans l'avion. De façon similaire au visiocasque, un casque audio sera utile puisqu'il vous isolera des bruits ambiants.

Un vrai pilote agit sur son environnement par l'intermédiaire d'un manche à balai, de boutons, de molettes pour diriger l'avion ; il est absolument indispensable de reproduire ces actions en RV si l'on veut simuler la réalité. Le système doit donc vous proposer d'utiliser plusieurs boutons pour agir sur le comportement de l'avion virtuel et un joystick (analogue à un manche à balai) afin de le diriger. Ce mécanisme d'**interaction** entre l'utilisateur et le système constitue le deuxième fondement de la RV. Il permet d'ailleurs de différencier la RV des applications pouvant offrir une bonne immersion, mais pas de réelle interaction. Ainsi, des salles de cinéma peuvent offrir des sensations visuelles, des sonores de très grande qualité mais sans aucune interaction possible du spectateur sur le déroulé du film. Même remarque sur les « VR-vidéos », popularisées depuis peu, où la seule interaction offerte est un changement d'orientation de vue (à 360°). Sans remettre en cause l'intérêt de cette famille d'applications, on ne peut les qualifier de RV puisque l'utilisateur n'est que spectateur et pas acteur de l'expérience.

Revenons à notre fil rouge : afin de se rapprocher encore de la réalité, on peut utiliser pour piloter l'avion un joystick à retour d'effort qui va générer des forces afin de simuler la résistance du manche à balai à certaines actions dues à la résistance de l'air par exemple. Cette information de nature haptique renforce significativement l'immersion de l'utilisateur dans l'EV. Avançons encore plus loin dans la reproduction fidèle du réel : imaginons que nous puissions disposer d'un vrai cockpit d'un avion avec ses sièges, ses appareils de contrôle et que nous adaptions parfaitement des écrans à l'extérieur de façon à faire apparaître les images de synthèse à l'emplacement des fenêtres de la cabine. L'impression est encore bien meilleure car nous fournissons à notre cerveau des informations supplémentaires visuelles (les composants du cockpit), sonores (le bruit d'enclenchement des boutons) et haptiques (le ressenti de l'assise du siège). Un tel dispositif serait sans nul doute de nature à « convaincre » n'importe quel cerveau qu'il est réellement à l'intérieur d'un cockpit en train de piloter un avion ! Et bien, ces dispositifs existent réellement, il s'agit bien des simulateurs d'avion utilisés depuis longtemps par les pilotes d'abord militaires, civils par la suite.

En s'appuyant sur cet exemple, on peut définir la RV comme la capacité donnée à un (ou plusieurs) utilisateur à réaliser un ensemble de tâches réelles dans un environnement virtuel ; cette simulation repose sur l'immersion de l'utilisateur grâce à un rendu interactif et une interaction avec le système.

Plusieurs commentaires sur cette définition :

- « tâches réelles » : en effet, même si la tâche est réalisée dans un EV, elle est réelle. Par exemple : vous pouvez commencer à apprendre à piloter un avion par l'intermédiaire d'un simulateur (c'est d'ailleurs ce que font les vrais pilotes), car vous développez des compétences qui seront ensuite utiles dans un véritable avion ;

- « rendu » : il s'agit des informations sensorielles (visuelles, sonores, haptiques, etc.) que synthétise l'ordinateur à partir de modèles numériques, c'est-à-dire de descriptions de la forme et de l'apparence d'un objet, de l'intensité d'un son ou d'une force ;

- « rendu interactif » : ces opérations de synthèse résultent de traitements logiciels relativement complexes et qui donc prennent un certain temps. Si cette durée est trop longue alors notre cerveau perçoit l'affichage d'une image fixe, puis d'une autre, détruisant toute sensation de continuité visuelle et donc de mouvement. Il est donc impératif que ce rendu soit interactif – imperceptible – pour obtenir une bonne immersion ;

- « interaction » : ce terme désigne les fonctionnalités offertes à l'utilisateur pour agir sur le comportement du système en se déplaçant, en manipulant et/ou en déplaçant des objets de l'EV. Et, de façon symétrique, les informations délivrées par l'EV à l'utilisateur qu'elles soient visuelles, sonores ou haptiques. Rappelons que sans interaction, on ne peut pas parler de RV.

De façon générale, pourquoi utilise-t-on la RV ? Plusieurs objectifs ont entraîné le développement de cette technologie.

– La **conception** : afin de mieux construire un bâtiment, un véhicule, les ingénieurs utilisent la RV depuis longtemps pour s’y déplacer ou les utiliser virtuellement afin de détecter d’éventuelles erreurs de conception. Ces tests, autrefois réalisés grâce à des maquettes physiques de complexité croissante allant jusqu’à l’échelle 1, sont progressivement remplacés par des expérimentations en RV qui sont moins coûteuses et plus rapides à réaliser. À noter que ces opérations de conception virtuelle ont été élargies au-delà des objets tangibles, par exemple à des gestes (chirurgicaux, industriels, sportifs) ou à des protocoles complexes.

– L’**apprentissage** : comme nous l’avons vu grâce à notre fil rouge, il est aujourd’hui possible d’apprendre à piloter toutes sortes de véhicules : avion, voiture (y compris de F1) navire, fusée/navette spatiale, etc. La RV procure plusieurs avantages : tout d’abord la sécurité, mais aussi la facilité de reproductibilité ou encore la possibilité d’intervention dans le scénario pédagogique (simuler une panne moteur ou un événement climatique). Signalons que ces opérations d’apprentissage se sont étendues des véhicules au pilotage de processus complexes comme la gestion d’une usine ou d’une centrale nucléaire depuis une salle de contrôle, ou encore à l’apprentissage de la maîtrise de ses phobies (des animaux, du vide, de la foule, etc.) par l’intermédiaire de thérapies comportementales basées sur la RV.

– La **compréhension** : afin de mieux appréhender certains phénomènes complexes, la RV peut fournir un support grâce à ses rendus, notamment visuels, interactifs. La complexité peut résulter d’accès difficile voire impossible à des informations disparues (temples antiques détruits que les archéologues vont tout de même pouvoir étudier grâce à des reconstitutions numériques), très difficilement accessibles (sous-sol terrestre ou fonds sous-marins pour la prospection pétrolière, surface d’une planète pour son étude), trop volumineuses pour être assimilables par notre cerveau (Big Data), imperceptibles par nos sens humains (température, radio-activité). Dans beaucoup de contextes, cette meilleure compréhension est recherchée pour ensuite assurer une meilleure prise de décision : où placer le puits de forage ? Quelles actions financières réaliser ? Etc.

Pour conclure, il est important de rappeler que des définitions très précises et très formelle de la RV existent. Par exemple, dans le chapitre 1 du volume 1 (qui présente tous les fondamentaux du domaine) du *Traité de la Réalité Virtuelle* [FUC 05] vous pouvez trouver cette définition :

« [...] 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 interac-

tion en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs. »

### 1.2.2. *Réalité augmentée*

La RA a pour but d'enrichir la perception et la connaissance d'un environnement réel par l'ajout d'informations numériques le concernant. Ces informations sont le plus souvent visuelles, parfois sonores, rarement haptiques. Dans la plupart des applications de RA, l'utilisateur visualise des images de synthèse par l'intermédiaire de lunettes, de casques ou de vidéo-projecteurs, voire de tablettes/smartphones. La distinction entre ces dispositifs repose sur la superposition à la vision naturelle qu'offrent les trois premiers types alors que le troisième ne propose qu'une vue déportée, ce qui conduit certains auteurs à l'exclure du champ de la RA.

Prenons pour illustration un utilisateur qui désire faire construire une maison. Dans un premier temps, il ne dispose que des plans d'un architecte. Grâce à la RA, il est possible de se déplacer sur son terrain et de visualiser le futur bâtiment en superposant des images de synthèse à la vision naturelle de l'environnement réel, pour percevoir les volumes généraux et l'implantation dans le paysage. Puis pendant la construction, il pourra par exemple, comparer plusieurs scénarios de décor et/ou d'ameublement en visualisant des murs peints ou des meubles disposés dans ce qui n'est encore qu'un chantier. Au-delà des décors et de ces meubles, il est également possible pour un électricien de visualiser l'emplacement des gaines et pour un plombier celles des canalisations même si elles sont enfouies dans une chape en béton ou cachées dans un mur. En plus de l'emplacement, le premier peut prendre connaissance du diamètre et donc, de l'intensité électrique transportée et le second de la couleur et donc, de la température de l'eau acheminée.

Pourquoi développer des applications de RA ? Plusieurs raisons principales apparaissent.

– L'**assistance au pilotage** : originellement développée pour aider des pilotes d'avion de chasse en affichant sur leur cockpit des informations cruciales sans qu'ils aient à quitter le ciel des yeux pour observer des cadrans ou des afficheurs, ce qui peut/pouvait être crucial dans des phases de combat, la RA s'est progressivement ouverte à l'assistance au pilotage d'autres véhicules (avion civil, voiture, moto) incluant des informations de guidage de type GPS.

– Les **visites** : en étendant les capacités des audio-guides disponibles pour visiter des monuments ou des musées<sup>4</sup>, certains sites proposent des applications combinant images et sons.

---

4. Ils peuvent être considérés comme appartenant à la RA puisqu'ils offrent au visiteur une information sonore permettant d'enrichir leur connaissance de l'environnement réel.

– **L’assistance au geste** : afin de guider certains utilisateurs professionnels dans leurs activités, la RA peut superposer à la vision de leur environnement réel des informations leur offrant une connaissance supplémentaire d’informations imperceptibles, le plus souvent parce qu’elles sont « enfouies ». Ainsi, un chirurgien qui peut opérer avec plus de sûreté en visualisant des vaisseaux sanguins ou des structures anatomiques qu’il ne doit pas atteindre ou encore un ouvrier qui participe à la construction d’un avion et qui peut superposer visuellement un plan de forage directement sur une carlingue sans avoir à prendre de mesure lui même, ce qui procure un gain de rapidité, de précision et de fiabilité.

– **Les jeux** : popularisée par Pokemon Go en 2016, la RA a exploré ce domaine depuis longtemps avec des versions augmentées du jeu de Morpion, PacMan ou Quake, par exemple. Il est clair que ce secteur va connaître beaucoup de développements basés sur cette technologie qui permet de combiner environnement réel et aventures de fiction.

Même si elle partage des algorithmes et des technologies avec la RV, la RA s’en différencie de façon claire, principalement parce qu’en RV les tâches réalisées demeurent virtuelles alors qu’en RA elles sont réelles. Par exemple, l’avion virtuel que vous avez piloté n’a jamais décollé en réalité et donc n’a jamais produit de CO<sub>2</sub>, alors que l’électricien peut percer une cloison en placo-plâtre pour retrouver sa gaine et installer un interrupteur réel qui permettra d’allumer une lampe.

Concernant la RA, des définitions compactes ont aussi été proposées par de nombreux scientifiques. À titre d’exemple, Ronald T. Azuma proposait en 1997 de définir la RA comme l’ensemble des applications vérifiant les trois propriétés suivantes [AZU 97] :

- 1) la combinaison du réel et du virtuel ;
- 2) l’interaction en temps réel ;
- 3) l’intégration du réel et du virtuel (recalage, occlusion, lumière, etc.).

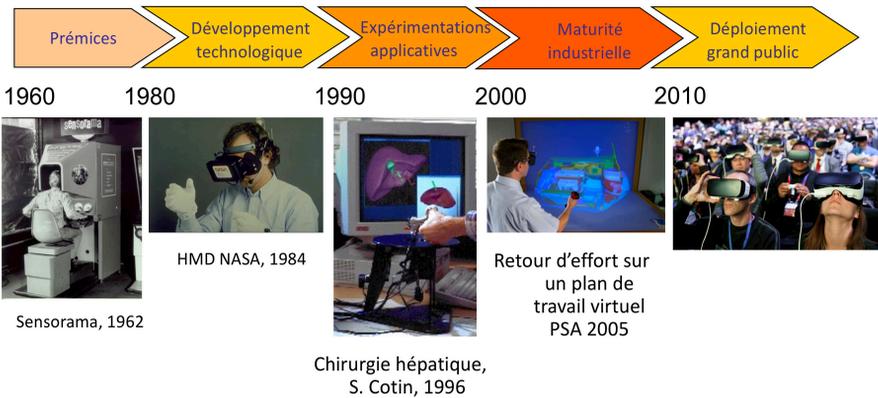
### **1.3. L’émergence de la réalité virtuelle**

#### **1.3.1. Un bref historique**

Une autre analyse de l’existant permet de placer les différentes étapes de l’évolution du domaine sur une échelle temporelle (voir figure I.5). Les grandes lignes de l’évolution sont les suivantes :

– **avant 1960 – les fondations** : de très nombreuses approches et méthodes utilisées encore aujourd’hui par la réalité virtuelle furent mises au point bien avant sa naissance : ainsi les premières représentations de la réalité à l’aide d’images (Préhistoire),

la perspective (Renaissance), l’affichage panoramique (XVIII<sup>e</sup>), la vision stéréoscopique et le cinéma (XIX<sup>e</sup>) et les simulateurs d’entraînement des pilotes britanniques pendant la seconde guerre mondiale, etc. Finalement, la notion même d’immersion – cœur de la réalité virtuelle – fut utilisée par Morton Heilig dès 1956 avec Sensorama et son rendu multimodal, puis en 1969 avec son *Experience theater* précurseur de toutes les salles de cinéma dynamique sur très grand écran ;



**Figure I.5.** *Évolution du domaine de la réalité virtuelle*

– **1960-1980 – les prémices** : c’est l’arrivée de l’informatique qui va autoriser le développement de tous les composants élémentaires qui permettront ensuite l’avènement de la réalité virtuelle. Composants pour la synthèse des images qui représentent encore aujourd’hui les environnements virtuels : modélisation et gestion d’objets 3D, algorithmes de rendu et tout particulièrement l’algorithme du Z-buffer [CAT 74], traitement de la lumière et modèles d’éclairage [GOU 71] et [PHO 75]. Composants pour l’interaction entre l’utilisateur et le système avec SketchPad [SUT 63], le premier visiocasque (ou *Head-Mounted Display* en anglais, en abrégé : HMD) [SUT 68] ou les premiers travaux sur le retour d’effort (système GROPE initié en 1971, à l’université de Caroline du Nord par Frédéric Brooks) qui sont à la base des rendus haptiques. Côté applicatif, ce sont les développements autour des simulateurs de vols qui progressent très vite, par exemple au sein des projets VITAL et VCASS menés par l’aviation militaire des États-unis ;

– **1980-1990 – le développement technologique** : cette étape se caractérise par le réel développement de technologies spécifiques à l’interaction 3D en particulier ; ainsi en 1985, Michael McGreevy and Scott Fisher (NASA Ames Research) redécouvrent et donnent ses lettres de noblesses au visiocasque (HMD : *Head Mounted Display*) [FIS 87]. Le même Scott Fisher proposera en 1986 une restitution sonore spatialisée.

Jaron Lanier et Jean-Jacques Grimaud (un Français !) créent la société VPL Research qui commercialise les premières applications de réalité virtuelle exploitant leur gant de données (*Data Glove*) couplé à un visiocasque de leur conception. Incidemment, en 1987, Jaron Lanier « invente » le terme *Virtual Reality*. Le système GROPE de Frédéric Brooks devient opérationnel avec des manipulations sur des molécules de près de 1500 atomes grâce aux progrès du matériel informatique [BRO 90] ;

– 1990-2000 – **les expérimentations applicatives** : cette décennie est celle de l'intégration des solutions matérielles et logicielles qui permirent la mise en œuvre d'applications expérimentales à la fois crédibles et opérationnelles. Pour commencer, citons l'industrie du jeu qui fut une des premières à entrevoir les bénéfices potentiels de la réalité virtuelle et à proposer des solutions innovantes avec des matériels spécifiquement développés pour cet usage : *Virtuality* (1991), *Sega VR* (1993), *Virtual Boy* (1995), *VFXA Headgear*, autant de produits qui influenceront 20 ans plus tard les solutions actuelles. Les industries liées au transport (automobile, aéronautique, aérospatial, maritime) utilisèrent la réalité virtuelle d'abord pour la conception des véhicules et l'apprentissage de leur conduite. Le secteur de la médecine connut également quelques expérimentations notables pendant cette période ; par exemple, Hunter Hoffman et ses collègues utilisèrent la réalité virtuelle pour atténuer la perception de la douleur chez des grands brûlés à l'hôpital de Washington, alors que Stéphane Cotin *et al.* proposèrent un système complet de simulation de chirurgie hépatique avec retour d'effort [COT 96]. Le domaine de l'énergie et plus particulièrement, celui de l'industrie pétrolière, comprit très tôt l'intérêt et le retour sur investissement apportés par ces nouvelles technologies ;

– 2000-2010 – **la maturité industrielle** : après s'être concentrées sur la conception de produits et l'apprentissage de la conduite de véhicule, les utilisations de la RV évoluent vers la maintenance et la formation avec la simulation de conduite de processus industriel (contrôle d'une usine à partir d'une salle de commande par exemple).

On peut également remarquer l'augmentation du nombre d'applications qui utilisent la RV pour mieux comprendre un environnement/un phénomène, en général pour mieux décider ensuite. Citons par exemple, l'industrie pétrolière qui étudie les sous-sols afin d'optimiser le placement de puits de forage ou bien le monde de la finance qui étudie visuellement des espaces composés de revenus d'actions et de de courbes de croissance, afin de mieux décider quelles actions (achat, vente) mener. Cet objectif d'une meilleure compréhension pour la prise de décision se retrouve encore dans la conception des produits lors de revues de projet qui diminuent, voire suppriment, le recours à la maquette physique.

En ce qui concerne les matériels, le début de cette décennie a vu progresser significativement l'installation de salles immersives (CAVE™ et surtout les Reality centers de SGI) tant dans le monde académique que dans les (grandes) entreprises.

Les utilisateurs peuvent également trouver assez facilement des équipements de capture, de localisation et d'orientation ainsi que des bras à retour d'efforts (rendu haptique).

Enfin, mais ce n'est pas le moins important, cette période connaît une évolution très sensible du développement d'applications RV : à côté d'une approche techno-centrée adoptée par les pionniers se développe une approche anthropo-centrée. Cette évolution est due à deux facteurs simultanés :

- d'une part, la diffusion de plus en plus large de la RV conduit les chercheurs en sciences humaines, principalement en sciences cognitives, à étudier ce nouveau paradigme qui leur ouvre des champs de réflexion jusque là inconnus ;

- d'autre part, les développeurs d'application, constatant le rejet de certains usages ainsi que l'inconfort ressenti par certains utilisateurs, sont amenés à chercher des solutions autres que purement technologiques.

De la rencontre entre les connaissances et les résultats obtenus par les chercheurs avec les besoins des développeurs se développera une nouvelle façon de concevoir des applications prenant en compte les facteurs humains qui sont toujours d'actualité ;

- depuis 2010 le déploiement vers le grand public : cette dernière période a été marquée par l'arrivée de nouveaux matériels à des coûts très inférieurs aux gammes précédentes tout en proposant un très bon niveau de performances. Ce rebond est largement dû au développement des smartphones, d'une part et des jeux vidéo d'autre part. Même si les visiocasques ont été les plus médiatisés (Oculus, HTC Vive, etc.), de nouveaux systèmes de capture de mouvement ont également vu le jour. Cette irruption a entraîné de nombreux articles dans les médias généralistes, ce qui a fait découvrir ces technologies au plus grand nombre. En premier lieu, à des professionnels d'entreprises plus petites que les grands groupes qui ont imaginé de nouveaux usages de la RV-RA. Ensuite, directement au grand public qui a été séduit par les annonces (même celles qui étaient totalement irréalistes) et s'est intéressé aux possibilités offertes dans de nombreux secteurs.

Parallèlement à ces nouveaux équipements qui constituaient la partie émergée de l'iceberg, de nouveaux environnements logiciels se sont imposés, souvent issus du monde du jeu vidéo (comme Unity 3D), qui ont permis aux « nouveaux » développeurs, issus des PME citées précédemment, de développer de façon autonome leurs solutions.

Il est clair que nous ne sommes qu'au démarrage de la RV-RA pour le grand public ; après une phase d'emballement médiatique, les vrais bénéfices vont émerger et nul doute que les usages grand public vont exploser dans les années à venir.

Au regard de ces quelques éléments qui ne constituent pas un historique exhaustif du domaine, ce livre a notamment pour objectif de répondre à la question : *que s'est-il passé dans les dix dernières années ?* (période qui correspond à la parution de la dernière édition du *Traité de la réalité virtuelle*). Avant de décrire par le menu ce qui a vraiment compté dans l'évolution du domaine dans la dernière décennie et surtout pour comprendre ce qui a vraiment changé, il est intéressant d'étudier l'évolution du contexte socio-économique.

En effet, il y a 10 ans, le paysage était composé :

- de laboratoires de recherche développant les méthodes et les technologies fondamentales ;

- de grands industriels, souvent de l'industrie manufacturière ou exploitants de grandes infrastructures utilisant les technologies (par exemple en France : PSA, Renault, Airbus, SNCF, etc.) ;

- de quelques startups technologiques proposant des outils logiciels et matériels souvent expérimentaux (par exemple : Haption, Virtools, Laster, etc.).

La réalisation de produits était souvent réalisée grâce à l'association de ces trois catégories d'acteurs dans des projets ambitieux. Les solutions d'intégration logicielle professionnelles étaient très onéreuses, tant pour le développeur d'application que pour l'utilisateur final.

### **1.3.2. Une révolution dans les acteurs**

Dans la dernière décennie, plusieurs mutations profondes se sont produites dans le paysage.

- Tout d'abord, quelques start-up remportent de vrais succès commerciaux en proposant de réelles innovations :

- Oculus Rift (2013<sup>5</sup>) dont le rachat par Facebook a permis ensuite la diffusion massive des produits ;

- Leap motion et ses capteurs de position très légers (2013) ;

- etc.

- Puis, de très grandes sociétés disposant de capitaux et de forces de développement considérables prennent le relais en s'intéressant à ces technologies, soit en les concevant, soit en rachetant des acteurs existants. Citons, par exemple, ces sociétés qui proposent des produits :

---

5. Les dates mentionnées correspondant à la diffusion réelle en France ; elles peuvent donc varier de celles de début des projets ou des annonces.

- capteur Microsoft Kinect (2010) ;
- lunettes Google Glass (2013) (même si ce ne fut pas un succès commercial, la diffusion était significative) ;
- casque Samsung Gear VR (2015) ;
- casque Microsoft HoloLens (2016) ;
- casque Sony PS-VR (2016) ;
- casque HTC Valve Vive (2016) ;
- kit de développement pour la gamme de smartphones d'Apple qui a racheté Metaio, un acteur historique de la réalité augmentée (2017) ;
- etc.

### ***1.3.3. Des révolutions technologiques***

Tant sur le plan matériel que logiciel, la décennie a été très riche en bouleversements :

– sur le plan du logiciel, il faut noter la disponibilité de solutions logicielles intégrées professionnelles, mises à disposition gratuitement, ce qui permet à tout un chacun d'avoir la capacité, s'il en a le savoir-faire, de développer ses propres solutions :

- sortie en octobre 2009 de la première version gratuite de Unity3D ;
- sortie de l'ARKit d'Apple en 2017 ;

– un autre point a été déterminant dans la démocratisation des technologies et des usages : l'évolution des terminaux. En effet, en juin 2007, Apple commercialise le premier iPhone dont on connaît les conséquences sur le marché de la téléphonie d'une part, et plus généralement sur les usages en mobilité d'autre part. Cette évolution a conduit rapidement les utilisateurs à disposer d'un terminal équipé d'un écran de qualité, couplé à une caméra et à plusieurs capteurs (accéléromètres, écran tactile, etc.). Il n'en fallait pas plus pour donner à l'utilisateur lambda l'accès à des applications de RV ou de RA en mobilité. Néanmoins, il faut bien constater que sur le nombre d'applications sur mobile revendiquant la RA ou la RV, bien peu les mettent en œuvre réellement et finalement sont plutôt contre-productives pour le développement de ces technologies. L'avènement des tablettes a aussi participé au développement de la RV et de la RA en débloquent une limitation importante des smartphones : la taille de l'écran ;

– enfin, le jeu vidéo a motivé des progrès majeurs et récents sur les visiocasques (casques de réalité virtuelle et casques de réalité augmentée) qui ont permis une forte

démocratisation de cette technologie, principalement grâce à des coûts d'acquisition en forte baisse par rapport aux anciens équipements et avec une qualité tout à fait suffisante ;

– une autre révolution technologique a eu une importance significative, l'introduction massive d'architectures spécialisées telles que les GPU (*Graphics Processing Unit*) comme co-processeurs de calcul haute performance. En effet, chaque ordinateur possède maintenant une carte graphique lui octroyant une puissance de calcul significativement supérieure à celle d'il y a 10 ans ; d'autre part, la puissance des processeurs (CPU) a elle aussi augmenté. Il faut replacer cet accroissement de performances dans le contexte où pour la RA comme pour la RV, la demande de calcul par les applications est également grandissante. Bien sûr, à cause de la qualité croissante des images de synthèse nécessaires mais aussi à cause de l'interaction avec un utilisateur qui nécessite des temps de cycle courts (haute fréquence de calcul, latence faible). Il faut par exemple noter que dans le *Traité de la Réalité Virtuelle*, sur les 4 premiers volumes, le nombre de fois où le terme GPU est utilisé se compte sur les doigts d'une main, et encore s'agit-il de traitement vidéo ou de traitement de signaux sonores.

### **I.3.4. Une révolution d'usage/d'usagers**

L'autre modification profonde du paysage est relative au fait que les applications initialement cantonnées à quelques domaines professionnels souvent spécialisés (bureaux d'étude, experts professionnels, etc.) se sont déployées dans l'ensemble de la société et jusque dans les habitations (jeux, services, domotique, etc.). L'utilisateur est passé en 10 ans, d'un expert travaillant au sein de son entreprise à monsieur/madame tout-le-monde à son domicile ou en mobilité pour la RA. Il en est de même des équipements de RA-RV qui, il y a 10 ans, n'étaient commercialisés que par quelques distributeurs connus des seuls initiés. Aujourd'hui, les sites grand public de vente de systèmes électroniques disposent dans leurs rayons et catalogue, d'une offre complète de dispositifs (visiocasques, capteurs, etc.) que l'on voit également apparaître dans les magasins de la grande distribution. Il n'est pas rare non plus de trouver dans des magasins « classiques » des propositions d'essais d'applications et/ou de matériels. Cette évolution dans l'usage de la RA-RV va nécessairement se poursuivre dans les années à venir.

## **I.4. Contenu du livre**

Les choix éditoriaux ayant conduit à proposer ce livre résultent d'un principe simple : décrire les faits marquants de la dernière décennie et imaginer ceux des dix prochaines années. Nous avons donc, avec les auteurs des différents chapitres, privilégié la saillance plutôt que l'exhaustivité. En effet, vouloir être exhaustif sur l'évolution sur 10 ans d'un domaine aussi actif aurait nécessité quelques milliers de pages. Enfin,

le lecteur constatera, dans les différentes listes de références bibliographiques regroupées par chapitre, que certaines références datent de plus de 10 ans et dans certains cas très significativement plus. En effet, nous avons essayé d'une part, de préciser les sources originelles afin de rappeler l'histoire associée à une technologie ou à une contribution scientifique et d'autre part, de montrer les grands résultats récents.

Le livre est donc structuré de la façon suivante :

1) introduction : elle précise, les concepts fondamentaux et le positionnement de l'ouvrage ;

2) chapitre 1 : ici, le niveau de discussion est centré sur l'impact sociétal de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Quel en est l'apport et pour quel usage dans de grands champs applicatifs ?

3) chapitre 2 : ce chapitre analyse en détail la révolution technologique tant sur le point de vue matériel que sur le volet logiciel. Les impacts de cette évolution sont discutés ;

4) chapitre 3 : ce chapitre se propose de revenir sur les fondamentaux scientifiques tant dans les sciences en rapport avec des technologies (informatique, électronique) que dans les sciences humaines (sciences cognitives, ergonomie) et d'en décrire les principaux défis ;

5) chapitre 4 : état de l'art. En se basant sur les questions restant à résoudre, quelles sont les pistes permettant de proposer des solutions plus satisfaisantes permettant entre autres des expériences utilisateurs plus riches ;

6) chapitre 5 : nous abordons dans ce chapitre les principales évolutions que nous envisageons, tout en étant conscients des difficultés de l'exercice tant les ruptures peuvent être fortes dans ce domaine. Pour s'en convaincre, il suffit de revenir sur notre analyse de l'évolution des 10 dernières années ;

7) chapitre 6 : nous analysons le potentiel de développement lié au déploiement massif de la RV et de la RA tout en évoquant les risques potentiels, y compris sur le plan de la sécurité de l'utilisateur, d'un usage débridé et incontrôlé de ces technologies ;

8) conclusion : elle revient bien sûr sur les différents éléments abordés dans l'ouvrage et ouvre le débat sur la notion de réalité virtuelle, telle qu'elle a été, disons, fantasmée, au cinéma ou dans la littérature. Nous avons aussi essayé de dresser quelques grandes lignes de l'avenir notamment grâce à un débat mené au sein de l'assemblée générale de l'AFRV<sup>6</sup>.

---

6. <http://www.af-rv.fr>.

Cet ouvrage abordant un domaine complexe et relativement peu connu, il intéresse des « cibles » de lectorat très différentes : des étudiants, des développeurs de solution logicielles, des décideurs, des curieux de technologies, etc. Il nous a donc semblé important de mettre en œuvre des parcours de lecture adaptés à ces différents publics, et pas uniquement d’offrir une consultation linéaire débutant à la première page et se terminant à la dernière (un peu dans l’esprit d’une navigation web où chaque utilisateur navigue à sa guise en cliquant sur les liens qui l’intéressent). Donc, même si l’ordre que nous avons choisi repose sur une logique claire, les chapitres peuvent être lus de façon quasi-indépendante en fonction des compétences et des besoins de chacun. Ce souhait justifie que certaines notions ou concepts puissent être répétées dans plusieurs parties de l’ouvrage ; il ne s’agit pas de redites mais bien de la volonté de rendre « auto-suffisants » ces chapitres.

Pour vous assister, nous vous suggérons, selon votre profil, une navigation non linéaire pour vous faciliter un chemin plus direct vers l’information que vous jugez prioritaire :

– étudiant en RV ou RA : que dire, sinon qu’il est plus que recommandé aux étudiants de tout lire ?

– développeur de solution logicielle : nous suggérons aux développeurs qui n’auraient pas le temps de tout lire, de revenir d’abord sur les concepts et les évolutions récentes (chap 1), de se remémorer les défis scientifiques de la RV-RA avant d’aborder les solutions actuelles et futures (chapitres 3, 4 et 5). Là encore, nous ne pouvons que recommander la lecture de l’ensemble de l’ouvrage également !

– décideur en entreprise : au-delà de ce court chapitre d’introduction, il nous paraît important de se faire une idée des applications actuelles et en émergence (chapitre 1), puis de se familiariser avec les évolutions matérielles et logicielles actuelles (chapitre 2). Ceci fait, un décideur sera forcément intéressé par les nouveaux développements évoqués au chapitre 5 ;

– curieux friand de technologies : ici également, nous ne pouvons que rappeler les bases qui font l’objet de cette introduction, avant de parcourir les chapitres 1 et 2 qui dressent un panorama complet des usages actuels et des technologies utilisées. Le chapitre 3 aidera à comprendre pourquoi ces mises en œuvre ne sont pas si simples et pourquoi ce que l’on voit dans les films n’existe pas encore. La conclusion reviendra d’ailleurs sur ce point ;

– expérimentateur en SHS : si la lecture de l’introduction et du chapitre 2 est bien sûr recommandée pour se mettre à la page des avancées du domaine, les aspects facteurs humains sont abordés essentiellement aux chapitres 3 (les difficultés) et 4 (les solutions actuelles). Un petit tour par les applications (chapitre 1) n’est pas à exclure, à l’aune des chapitres précédents. Enfin, les chapitres 6 et la conclusion proposent quelques perspectives qui soulèveront autant de questions chez les chercheurs en sciences humaines ;

– professionnel d’un domaine applicatif : évidemment le chapitre 1 est incontournable, la lecture du chapitre 2 pourra éclairer le lecteur sur les technologies nécessaires à la réalisation de ces applications. Ensuite, il sera probablement nécessaire de se pencher sur les solutions apportées aujourd’hui aux différents problèmes des développeurs.

#### **I.4.1. Les auteurs/contributeurs**

Pour nous assister dans la rédaction de cet ouvrage, nous avons fait appel à des experts provenant soit des laboratoires français, très actifs dans le domaine de la RA et de la RV, soit dans le monde industriel, tant au niveau de la proposition de solutions matérielles et/ou logicielles que de celui de l’usage et de l’intégration de ces technologies. Nous avons sollicité ces experts afin de couvrir un ensemble de compétences très large, inhérent au domaine de la RV-RA (informatique, traitement du signal, automatique, sciences humaines, etc.). Nous entretenons des relations professionnelles depuis très longtemps (notamment au sein de l’AFRV) avec la plupart d’entre eux. Pour chaque chapitre, la liste des contributeurs est précisée dans la première page, une liste complète et plus détaillée est accessible à la fin de l’ouvrage.

### **I.5. Bibliographie**

- [ART 09] ARTAUD A., *Le théâtre et son double ; suivi de Le théâtre de Seraphin*, Gallimard, France, 2009.
- [AZU 97] AZUMA R.T., “A survey of augmented reality”, *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, August 1997.
- [BRO 90] BROOKS JR. F.P., OUH-YOUNG M., BATTER J.J. *et al.*, “Project GROPE – Haptic displays for scientific visualization”, *SIGGRAPH Computer Graphic*, vol. 24, no. 4, pp. 177-185, September 1990.
- [CAT 74] CATMULL E.E., A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces, PhD thesis, The University of Utah, 1974.
- [COT 96] COTIN S., DELINGETTE H., CLEMENT J.-M. *et al.*, “Geometric and Physical Representations for a Simulator of Hepatic Surgery”, *Medicine Meets Virtual Reality IV*, IOS Press, 1996.
- [CRU 92] CRUZ-NEIRA C., SANDIN D.J., DEFANTI T.A. *et al.*, “The CAVE : Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment”, *Communication ACM*, vol. 35, no. 6, pp. 64-72, June 1992.

- [FIS 87] FISHER S.S., MCGREEVY M., HUMPHRIES J. *et al.*, “Virtual Environment Display System”, *Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics, I3D '86*, New York, USA, pp. 77-87, 1987.
- [FON 20] FONTANA G., *Bellicorum instrumentorum liber*, 1420.
- [FRE 14] FREY J., GERVAIS R., FLECK S. *et al.*, “Teegi : Tangible EEG Interface”, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST'14, New York, USA, pp. 301-308, 2014.
- [FUC 05] FUCHS P., MOREAU G. (eds), *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, 3rd edition, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2005.
- [FUC 09] FUCHS P., MOREAU G., DONIKIAN S., *Le traité de la réalité virtuelle Volume 5 - Les humains virtuels*, Mathématique et informatique, 3rd edition, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2009.
- [FUC 16] FUCHS P., *Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo*, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2016.
- [GOU 71] GOURAUD H., “Continuous shading of curved surfaces”, *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-20, no. 6, pp. 623-629, June 1971.
- [JON 13] JONES B.R., BENKO H., OFEK E. *et al.*, “IllumiRoom : peripheral projected illusions for interactive experiences”, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI'13, New York, USA, pp. 869-878, 2013.
- [JON 14] JONES B., SODHI R., MURDOCK M. *et al.*, “RoomAlive : magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units”, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST'14, New York, USA, pp. 637-644, 2014.
- [LAV 17] LAVIOLA J.J., KRUIJFF E., MCMAHAN R. *et al.*, *3D User Interfaces : Theory and Practice*, 2nd Edition, Addison Wesley, 2017.
- [PHO 75] PHONG B.T., “Illumination for computer generated pictures”, *Communication ACM*, vol. 18, no. 6, pp. 311-317, June 1975.
- [PLA 07] PLATO, *The Republic*, Penguin Classics, London, 2007.
- [SCH 16] SCHMALSTIEG D., HÖLLERER T., *Augmented Reality : Principles and Practice (Usability)*, Addison-Wesley Professional, Boston, 2016.
- [SUT 63] SUTHERLAND I.E., “Sketchpad : a man-machine graphical communication system”, *Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference*, AFIPS'63 (Spring), New York, USA, pp. 329-346, 1963.
- [SUT 68] SUTHERLAND I.E., “A head-mounted three dimensional display”, *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, AFIPS '68 (Fall, part I), New York, USA, pp. 757-764, 1968.