

« in virtuo »

Jacques TISSEAU
Centre Européen de Réalité Virtuelle
CERV - ENIB/LI2, BP 30815 - 29608 Brest cedex

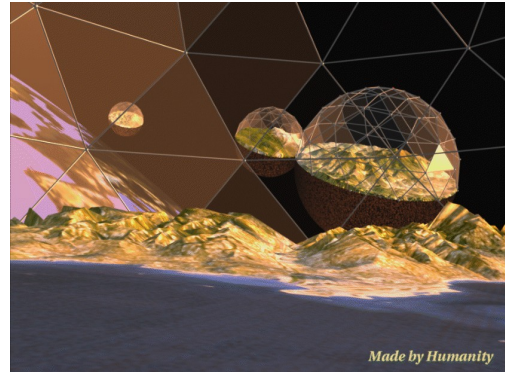
Réalité virtuelle

Issue des travaux interdisciplinaires sur l'image numérique de synthèse, la réalité virtuelle transcende ses origines et s'affirme aujourd'hui comme une nouvelle discipline au sein des sciences de l'ingénieur. Elle concerne la spécification, la conception et la réalisation d'univers virtuels réalistes et participatifs.

Un univers virtuel est un ensemble de modèles numériques autonomes en interaction, auquel l'homme participe en tant qu'« avatar ». La création de ces univers repose sur un principe d'autonomie selon lequel les modèles numériques sont dotés de capteurs virtuels qui leur permettent de percevoir les autres modèles, possèdent des actionneurs pour agir sur les autres modèles, disposent de moyens de communication pour communiquer avec les autres modèles, et maîtrisent leurs coordinations perceptions-actions à travers un module de décision.

Un « avatar » est alors un modèle numérique dont les capacités de décision sont déléguées à l'opérateur humain qu'il représente. Les modèles numériques, situés dans l'espace et dans le temps, évoluent ainsi de manière autonome au sein de l'univers virtuel, dont l'évolution d'ensemble est le résultat de leur évolution conjointe.

L'homme, modèle parmi les modèles, est à la fois spectateur, acteur et créateur de l'univers virtuel auquel il appartient. Il est en relation avec son « avatar » par l'intermédiaire d'un langage et de périphériques sensorimoteurs variés qui rendent possible la triple médiation des sens, de l'action et du langage. Le rendu multisensoriel de son environnement est celui, réaliste, des images numériques de synthèse : 3D, sonores, tactiles, kinesthésiques, proprioceptives, animées en temps réel, et partagées sur les réseaux informatiques.



Médiations du réel

La perception, l'expérimentation et la modification constituent les trois modes principaux d'exploitation des modèles. Ils correspondent chacun à une médiation du réel différente.

La médiation des sens passe par la perception du modèle : l'utilisateur observe l'activité du modèle à travers l'ensemble de ses canaux sensoriels. Ainsi en va-t-il du spectateur d'un cinéma dynamique qui, face à un écran hémisphérique dans une salle dotée d'un système de son spatialisé, et assis sur un siège monté sur vérins, a une véritable sensation d'immersion participative dans le film d'animation qu'il perçoit, et ce bien qu'il ne puisse en modifier le cours. La qualité des rendus sensoriels et de leur synchronisation est ici primordiale : c'est le domaine privilégié de l'animation temps réel. Dans son acception la plus courante, animer c'est mettre en mouvement. Dans le cadre plus restreint du film d'animation, animer c'est donner l'impression du mouvement en faisant défiler une collection ordonnée d'images (dessins, photographies, images de synthèse, ...). La production de ces images est obtenue par application d'un modèle d'évolution des objets de la scène représentée.

La médiation de l'action met en jeu l'expérimentation du modèle : l'utilisateur teste la réactivité du modèle à l'aide de manipulateurs adaptés. Ainsi en va-t-il du pilote de chasse aux commandes d'un simulateur de vol : sa formation est essentiellement axée sur l'apprentissage du comportement réactif de son appareil. Fondée sur le principe de l'action et de la réaction, l'accent est mis ici sur la qualité du rendu temporel : c'est le domaine d'excellence de la simulation interactive. Au sens usuel, simuler c'est faire paraître comme réel ce qui ne l'est pas. Dans les disciplines scientifiques, la simulation est une expérimentation sur un modèle; elle permet de tester la qualité et la cohérence interne du modèle en confrontant ses résultats à ceux de l'expérimentation sur le système modélisé. Elle est aujourd'hui de plus en plus souvent mise en œuvre pour étudier des systèmes complexes où intervient l'homme, aussi bien pour former des opérateurs que pour étudier les réactions d'utilisateurs. Dans ces simulations où « l'homme est dans la boucle », l'opérateur apporte ainsi son propre modèle comportemental qui interagit alors avec les autres modèles.

La médiation de l'esprit intervient lorsque l'utilisateur modifie lui-même le modèle en disposant d'une expressivité équivalente à celle du modélisateur. Ainsi en va-t-il d'un opérateur qui effectue une reconfiguration partielle d'un système pendant que le reste du système demeure opérationnel. C'est le domaine en pleine expansion du prototypage interactif et de la modélisation en ligne pour lesquels la facilité d'intervention et le pouvoir d'expression sont essentiels. Pour obtenir ce niveau d'expressivité, l'utilisateur dispose en général des mêmes interfaces et surtout du même langage que le modélisateur. La médiation de l'esprit se concrétise ainsi par la médiation du langage.

Ainsi, les disciplines connexes de l'animation temps réel, de la simulation interactive et de la modélisation en ligne représentent trois facettes de l'exploitation des modèles. A elles trois, elles permettent la triple médiation du réel nécessaire en réalité virtuelle, et définissent trois niveaux d'interactivité.

1. L'**animation temps réel** correspond à un niveau zéro d'interactivité entre l'utilisateur et le modèle en cours d'exécution. L'utilisateur subit le modèle car il ne peut agir sur aucun des paramètres du modèle : il est un simple spectateur du modèle.
2. La **simulation interactive** correspond à un premier niveau d'interactivité car certains paramètres du modèle sont accessibles à l'utilisateur. Celui-ci joue ainsi le rôle d'acteur dans la simulation.
3. Dans la **modélisation en ligne**, les modèles sont eux-mêmes des paramètres du système : l'interactivité y atteint un niveau d'ordre supérieur. L'utilisateur, en modifiant lui-même le modèle en cours d'exécution, participe à la création du modèle et devient ainsi un « cré-acteur » (créateur-acteur).

Le statut de l'utilisateur en réalité virtuelle est donc différent de celui qu'il peut avoir en simulation scientifique des calculs numériques ou en simulation interactive des simulateurs d'entraînement. En simulation scientifique, l'utilisateur intervient avant pour fixer les paramètres du

modèle, et après pour interpréter les résultats du calcul. Dans le cas d'un système de visualisation scientifique, il peut observer l'évolution des calculs, éventuellement avec les périphériques sensoriels de la réalité virtuelle, mais il reste cependant « esclave » du modèle. Les systèmes de simulation scientifique sont des systèmes centrés-modèle car les modèles des sciences veulent donner de la réalité des représentations universelles détachées des impressions individuelles. A l'inverse, les systèmes de simulation interactive sont essentiellement centrés-utilisateur pour donner à l'utilisateur tous les moyens nécessaires au contrôle et au pilotage du modèle : le modèle doit demeurer « esclave » de l'utilisateur. En introduisant la notion d'« avatar », la réalité virtuelle place l'utilisateur au même niveau conceptuel que le modèle. La relation « maître-esclave » est ainsi supprimée au profit d'une plus grande autonomie des modèles, et par voie de conséquence, d'une plus grande autonomie de l'utilisateur.

Autonomisation des modèles

L'autonomisation d'un modèle consiste à le doter de moyens de perception et d'action au sein de son environnement, ainsi que d'un module de décision lui permettant d'adapter ses réactions aux stimuli tant externes qu'internes. Trois éléments de réflexion nous guident dans l'autonomisation des modèles : l'autonomie par essence, par nécessité et par ignorance.

L'autonomie par essence, c'est celle qui caractérise les organismes vivants, de la cellule à l'homme. Les « avatars » ne sont pas les seuls modèles à percevoir et à agir dans leurs environnements numériques : tout modèle censé représenter un être vivant doit impérativement être doté d'une telle interface sensorimotrice. La notion d'« animat », par exemple, concerne les animaux artificiels dont les lois de fonctionnement s'inspirent de celles des animaux. Comme un « avatar », un « animat » est situé dans un environnement; il possède des capteurs pour acquérir des informations sur son environnement et des effecteurs pour agir au sein de cet environnement. A la différence d'un « avatar » dont le contrôle est assuré par un utilisateur humain, l'animat doit assurer lui-même ce contrôle pour coordonner ses perceptions et ses actions. Le contrôle peut être inné (préprogrammé), mais dans l'approche « animat », il sera le plus souvent acquis afin de simuler la genèse de comportements adaptés pour survivre dans des environnements changeants. Ainsi, l'étude de l'apprentissage (épigenèse), du développement (ontogenèse) et de l'évolution (phylogenèse) de l'architecture de contrôle constitue l'essentiel des recherches dans ce domaine très actif. L'animation de créatures virtuelles obtenues par ces différentes approches constitue un exemple très démonstratif de ces comportements adaptatifs, et la modélisation d'acteurs virtuels relèvent de la même démarche. Ainsi, l'autonomisation du modèle associé à un organisme permet de rendre compte plus fidèlement de l'autonomie constatée chez cet organisme.



L'autonomie par nécessité concerne la prise en compte instantanée des changements dans l'environnement, par les organismes comme par les mécanismes. La modélisation physique des mécanismes passe le plus souvent par la résolution de systèmes d'équations différentielles. Cette résolution nécessite la connaissance des conditions aux limites qui contraignent le mouvement or, dans la réalité, ces conditions peuvent changer sans arrêt, que les causes en soient connues ou non (interactions, perturbations, modifications de l'environnement). Le modèle doit donc être capable de percevoir ces changements pour adapter son comportement en cours d'exécution. Ceci est d'autant plus vrai quand l'homme est présent dans le système car, par l'intermédiaire de son « avatar », il peut provoquer des modifications tout à fait imprévisibles initialement. L'exemple de l'écoulement du sable dans un sablier est à ce titre très instructif. La simulation physique des milieux granulaires repose le plus souvent sur des interactions micromécaniques entre sphères plus ou moins dures. De telles simulations prennent plusieurs heures de calcul pour visualiser des écoulements de l'ordre de la seconde et sont donc inadaptées aux contraintes de la réalité virtuelle. Une modélisation à plus gros grains (niveau mésoscopique) à base de masses ponctuelles liées entre elles par des interactions appropriées conduit à des visualisations satisfaisantes mais non interactives. Notre approche considère des gros grains de sable autonomes qui, individuellement, détectent les collisions (chocs élastiques) et sont sensibles à la gravité (chute libre). Elle nous permet de simuler l'écoulement du sable dans le sablier, mais également de s'adapter en temps réel au retournement du sablier ou à la création d'un trou dans le sablier. Ainsi, l'autonomisation d'un modèle quelconque lui permet de réagir à des situations imprévues qui apparaissent en cours d'exécution, et qui sont le fait de modifications dans l'environnement dues à l'activité des autres modèles.

L'autonomie par ignorance révèle notre incapacité actuelle à rendre compte du comportement de systèmes complexes par les méthodes réductionnistes de la démarche analytique. Un système complexe est un système ouvert composé d'un ensemble hétérogène d'entités atomiques ou composites, dont le comportement d'ensemble est le résultat du comportement individuel de ces entités et de leurs interactions variées dans



un environnement, lui-même actif. Selon les écoles, le comportement d'ensemble est considéré soit comme organisé en fonction d'un but, et on parle de comportement téléologique, soit comme le produit d'une auto-organisation du système, et on parle alors d'émergence. L'inexistence de modèles de comportement global pour les systèmes complexes conduit à répartir le contrôle au niveau des composants des systèmes et ainsi à autonomiser les modèles de ces composants. L'évolution simultanée de ces composants permet alors de mieux appréhender le comportement d'ensemble du système global. Ainsi, un ensemble de modèles autonomes en interaction au sein d'un même espace contribue à l'étude des systèmes complexes ainsi qu'à leur expérimentation.

L'autonomisation des modèles, qu'elle soit par essence, par nécessité ou par ignorance, contribue à peupler les environnements virtuels d'une vie artificielle qui renforce l'impression de réalité.

Métaphore de Pinocchio

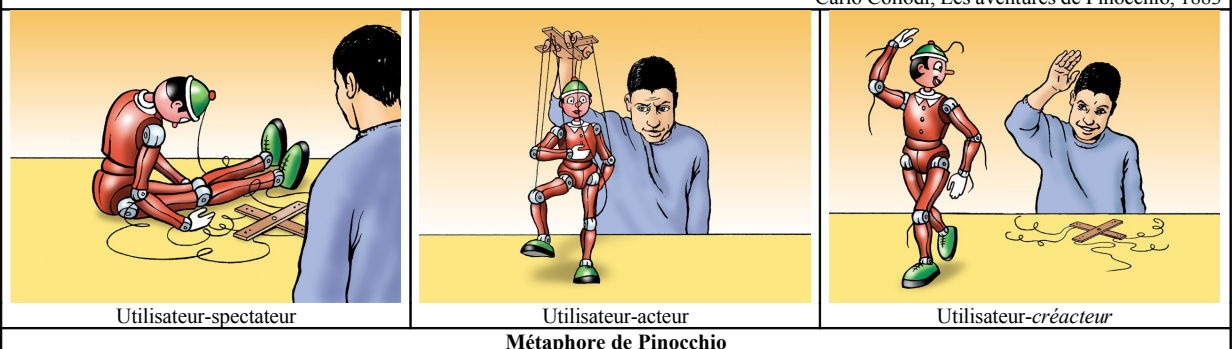
L'utilisateur d'un système de réalité virtuelle est à la fois spectateur, acteur et créateur de l'univers de modèles numériques avec lequel il interagit. Mieux, il y participe pleinement au sens où il est lui-même représenté au sein de l'univers par un « avatar », modèle numérique qui dispose de capteurs et d'actionneurs virtuels pour percevoir et agir dans cet univers. La véritable autonomie de l'utilisateur tient alors dans sa capacité à coordonner ses perceptions et ses actions, soit au hasard, pour simplement déambuler dans cet environnement virtuel, soit en suivant ses propres buts. L'utilisateur est ainsi placé au même niveau conceptuel que les modèles numériques qui composent ce monde virtuel.

Différents types de modèles - particules, mécanismes, organismes - coexistent au sein des univers virtuels. Pour les modèles d'organismes, il est essentiel de leur donner les moyens de percevoir, d'agir et de décider, afin de reproduire au mieux leur capacité à décider par eux-mêmes. Cette démarche est également nécessaire pour les mécanismes, qui doivent être capables de réagir à des modifications imprévues de leur environnement. Par ailleurs, notre ignorance dans la compréhension des systèmes, lorsqu'ils deviennent trop complexes, nous conduit à décentraliser le contrôle du système au niveau de ses constituants. Les modèles, quels qu'ils soient, doivent donc disposer de moyens d'investigation équivalents à ceux de l'utilisateur et de moyens de décision adaptés à leurs fonctions. Une déficience sensorielle (myopie, surdité, anesthésie) provoque en général une perte d'autonomie du sujet. Il en est de même pour un handicap moteur (entorse, déchirure, élongation) et pour une déficience mentale (amnésie, distraction, phobie). Ainsi, doter les modèles de moyens de perception, d'action et de décision, c'est leur donner une autonomie qui les place au même niveau opérationnel que l'utilisateur.

Nous érigeons en principe l'autonomisation des modèles numériques qui composent un univers virtuel. Une réalité virtuelle est un univers de modèles autonomes en interaction, au sein duquel « tout se passe comme si » les modèles étaient réels parce qu'ils proposent simultanément, aux utilisateurs et aux autres modèles, la triple médiation des sens, de l'action et du langage. Accepter cette autonomie par conviction, c'est accepter le partage du contrôle de l'évolution des univers virtuels entre les utilisateurs humains et les modèles numériques qui peuplent ces univers. Cette conception de la réalité virtuelle rejoint ainsi le vieux rêve de Carlo Collodi qui faisait de sa célèbre marionnette une entité autonome qui remplissait la vie de son créateur. La démarche de Geppetto pour atteindre son but fut la même que celle que nous avons constatée en réalité virtuelle. Il commença par l'identifier (*Je vais l'appeler Pinocchio*), puis il s'intéressa à son apparence ([il] *commença par lui faire les cheveux, puis le front*), et lui fabriqua des capteurs et des actionneurs (*puis les yeux [...]*). Il définit ensuite ses comportements (*Geppetto le tenait par la main pour lui apprendre à faire ses premiers pas*) afin de le rendre autonome (*Pinocchio se mit à marcher tout seul*) et enfin, il ne put que constater que l'autonomisation d'un modèle conduit à une perte de contrôle du créateur sur son modèle (*il bondit dans la rue et se sauva*). Ainsi, comme la célèbre marionnette italienne, les modèles devenus autonomes participeront à l'invention de leurs mondes virtuels.

Geppetto prit ses outils et commença à fabriquer son pantin. Comment vais-je l'appeler ? se demanda-t-il. Je vais l'appeler Pinocchio. [...] Quand il eut trouvé le nom de son pantin, il se mit au travail pour de bon et commença par lui faire les cheveux, puis le front, puis les yeux. Les yeux finis, jugez de sa stupeur lorsque Geppetto s'aperçut qu'ils bougeaient et le regardaient fixement. [...] Il prit le pantin sous les bras et le posa par terre, sur le sol de la pièce, pour le faire marcher. Pinocchio avait les jambes raides et ne savait comment se mouvoir, mais Geppetto le tenait par la main pour lui apprendre à faire ses premiers pas. Quand ses jambes se furent dégourdis, Pinocchio se mit à marcher tout seul et à courir dans la pièce, jusqu'au moment où, s'échappant par la porte, il bondit dans la rue et se sauva.

Carlo Collodi, Les aventures de Pinocchio, 1883



L'avènement de l'ordinateur et de l'informatique, et plus particulièrement de la réalité virtuelle, introduit aujourd'hui de nouvelles possibilités d'expérimentations avec les simulations numériques et permet d'envisager un nouveau type d'investigation : l'expérimentation *in virtuo*. L'expression *in virtuo* (dans le virtuel) est un néologisme construit ici par analogie avec les locutions adverbiales d'étymologie latine *in vivo* (dans le vivant) et *in vitro* (dans le verre). On rencontre souvent l'expression *in silico* (dans le silicium) pour qualifier les calculs sur ordinateur; cependant, *in silico* n'évoque pas la participation de l'homme à l'univers de modèles numériques en cours d'exécution; c'est pourquoi nous lui préférons *in virtuo* qui, par sa racine commune, rappelle les conditions expérimentales de la réalité virtuelle. Une expérimentation *in virtuo* est ainsi une expérimentation conduite dans un univers virtuel de modèles numériques autonomes auquel l'homme participe.

Dépassant la simple observation de l'activité du modèle numérique en cours d'exécution sur un ordinateur, l'utilisateur peut tester la réactivité et l'adaptabilité du modèle en fonctionnement, tirant ainsi profit du caractère comportemental des modèles numériques. L'expérimentation *in virtuo* implique alors un vécu que ne suggère pas la simple analyse de résultats numériques. Entre les preuves formelles *a priori* et les validations expérimentales *a posteriori*, il y a aujourd'hui la place pour une réalité virtuelle vécue par l'utilisateur qui peut ainsi franchir le cap des idées reçues pour accéder à celui des idées vécues.