

Enaction et réalité virtuelle

(notes de présentation à J.Enaction 2018)

Jacques Tisseau

tisseau@enib.fr

1 Introduction

DIAPOSITIVE 1

Bonjour et merci de m'avoir invité à cette journée sur l'énaction et sur son rôle épistémologique dans les domaines de l'animation, de la simulation et de la réalité virtuelle¹.

Au CERV, le Centre européen de réalité virtuelle [1], ça fait effectivement une vingtaine d'années que nous avons initié ce rapprochement entre énaction et réalité virtuelle, entre autres avec Marc Parenthoën [2, 3] et Pierre De Loor [4, 5].

DIAPOSITIVE 2

Mais quels rapports existent-ils entre ces deux notions apparemment si éloignées l'une de l'autre.

D'un côté, le concept d'énaction, introduit dans le cadre des sciences cognitives par Francisco Varela [6, 7, 8], neurobiologiste chilien, décrit le processus d'élaboration des connaissances (la cognition) comme l'histoire du couplage d'un système autopoïétique² avec son environnement, et c'est cette dynamique du couplage qui fait émerger un monde de significations, faisant de la cognition une cognition incarnée [9] et tissant des liens avec le courant philosophique de la phénoménologie [10].

De l'autre côté, la réalité virtuelle est définie dans le Traité de la réalité virtuelle comme exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, en interaction en temps réel entre elles et avec des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs [11, 12, 13, 14, 15].

DIAPOSITIVE 3

Pour explorer ce lien entre énaction et réalité virtuelle, nous allons appréhender la réalité virtuelle non pas selon le point de vue classique scientifique, encore moins technologique, mais selon un point de vue épistémologique.

Dans un premier temps (section 2), nous reviendrons sur la définition même de la réalité virtuelle pour comprendre la finalité de la réalité virtuelle qui selon nous est de faire « vivre une expérience de pensée » à un utilisateur d'un système de réalité virtuelle.

Puis dans un deuxième temps (section 3), nous comprendrons comment l'« expérimentation in virtuo », propre à la réalité virtuelle, et qui est une sorte de mix entre la simulation classique numérique d'un côté et le jeu de rôle de l'autre, vient compléter l'arsenal méthodologique de la démarche scientifique.

Enfin (section 4), nous montrerons comment cette expérimentation in virtuo, à l'aide de tous les couplages qui interviennent entre l'utilisateur d'un système de réalité virtuelle et le système lui-même, permet de co-construire de nouvelles connaissances en accord avec l'approche énaction-

1. J.Enaction 2018, Poitiers, 16 novembre 2018.

2. L'autopoïèse (du grec auto soi-même, et poiësis production, création) est la propriété d'un système de se produire lui-même, en permanence et en interaction avec son environnement, et ainsi de maintenir son organisation malgré le changement de composants (structure).

DIAPOSITIVES

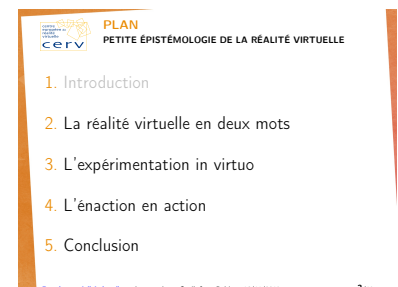
1 : INTRODUCTION



2 : QUELS RAPPORTS ?



3 : PLAN



niste des sciences cognitives mettant en quelque sorte l'« éaction en action » en réalité virtuelle.

2 La réalité virtuelle en deux mots

DIAPOSITIVE 4

Depuis une trentaine d'années que je travaille dans le domaine de la réalité virtuelle, on m'a souvent demandé : « mais en deux mots simplement, c'est quoi la réalité virtuelle ? » En deux mots, il est difficile de faire plus concis que « réalité » « virtuelle ». Mais si on pose la question, c'est que cette expression pose problème. Alors d'où vient cette expression ?

Il semblerait qu'on la trouve pour la première fois en 1932 dans un texte³ d'Antonin Artaud [16], homme de théâtre français du début du 20ème siècle. Antonin Artaud voit dans le théâtre un entre deux, un monde entre réel et imaginaire, qui dans l'interaction de toutes ses modalités (le texte, la mise en scène, le jeu des acteurs, le décor, les lumières...) provoque une sorte d'alchimie qui non seulement révèle le monde tel qu'il est mais participe à sa transformation en lui donnant un nouveau sens.

Mais c'est avec Jaron Lanier, informaticien et artiste américain contemporain, que l'expression entre dans la sphère scientifique et technique. Technique d'abord, car c'est à l'occasion d'un salon professionnel, que la société VPL Research cofondée par Jaron Lanier, dévoile ses premières interfaces de réalité virtuelle avec en vedette un gant de données qui permettait d'immerger sa propre main dans un modèle numérique. Lors d'une interview à la revue « The Whole Earth Review » [17], il développe l'idée d'une réalité virtuelle comme une « réalité alternative », une « extension de la réalité » ou encore une « réalité artificielle ».

Mais l'expression réalité virtuelle n'en demeure pas moins une figure de style plus littéraire que scientifique.

DIAPOSITIVE 5

En effet, du point de vue du grand public, le virtuel s'oppose au réel. Le réel, c'est la chose qui existe, qui résiste et qui subsiste. Ce qui ne serait pas le cas du virtuel.

Il s'agit donc d'une figure de style appelée « oxymore », expression composée de termes qui s'opposent l'un l'autre. Comme le « clair obscur » des peintres, l'« aigre doux » des cuisiniers, le « mort vivant » de la science-fiction ou encore le « silence éloquent » des locuteurs. Autant d'expressions qui se situent entre deux extrêmes pour créer une réalité « poétique » surprenante. La réalité virtuelle serait donc un oxymore de plus!

Mais, si l'on se fie aux épistémologies plus récentes, comme le constructivisme, la réalité ne serait pas le réel mais plutôt une représentation du réel : une construction de l'esprit et relèverait donc plus du virtuel que du réel. On aurait donc affaire à un autre type de figure de style : le pléonasm.



3. Phrase du « Théâtre alchimique » d'Antonin Artaud dans laquelle apparaît l'expression « réalité virtuelle » ([16], page 75) : *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 aux principes du théâtre que l'on trouve dans à peu près tous les livres alchimiques, doit être entendue comme le sentiment (dont les alchimistes avaient la plus extrême conscience) 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 le plan purement supposé et illusoire sur lequel évoluent les symboles de l'alchimie.*

4 : EN DEUX MOTS

LES MOTS POUR LE DIRE
EN DEUX MOTS...

Antonin ARTAUD (1932)
« la réalité virtuelle du théâtre »
Le théâtre alchimique (1932), dans Le théâtre et son double, Paris, 1938

Jaron LANIER (1989)
« virtual reality », « alternate reality », « expansion of reality », « artificial reality »
An interview with Jaron Lanier, Whole Earth Review, Fall 1989

Direction et réalité virtuelle | Jacques Cressau@univ.fr | Poitiers, 16/11/2018 | 4/18

5 : ENTRE DEUX

ENTRE DEUX
OXYMORE OU PLÉONASME

Oxymore
« clair obscur », « aigre doux », « mort vivant », « silence éloquent », « réalité virtuelle »

Pléonasm
« monter en haut », « au jour d'aujourd'hui », « premier de France », « colléger ensemble », « réalité virtuelle »

usage courant :
le virtuel s'oppose au réel

constructivisme :
la réalité comme représentation du réel, construction de l'esprit

latent	manifeste
possible	réel
virtuel	actuel

Direction et réalité virtuelle | Jacques Cressau@univ.fr | Poitiers, 16/11/2018 | 5/18

Comme « monter en haut », « au jour d'aujourd'hui », « prévoir à l'avance » ou « collaborer ensemble », autant d'expressions qui tendent à renforcer l'idée principale. La réalité virtuelle serait donc un pléonasme de plus!

Nous n'allons pas nous perdre ici dans cet entre deux, entre oxymore et pléonasme, et pour y voir plus clair sur la relation du réel au virtuel, je vous conseille la lecture du petit livre de Pierre Lévy [18] qui, entre le latent et le manifeste, précise la place du possible et du virtuel par rapport au réel et à l'actuel.

DIAPOSITIVE 6

Selon Bachelard, une discipline scientifique doit faire face à un certain nombre d'obstacles épistémologiques⁴ pour s'affirmer en tant que telle [19]. L'obstacle du nom choisi pour la discipline en fait partie et de ce point de vue, la réalité virtuelle, entre oxymore et pléonasme, ne s'est pas facilité la tâche. C'est donc justement à la communauté scientifique de préciser les termes qu'elle emploie. Et c'est ce qu'a fait la communauté française au début des années 2000, lors de l'élaboration collective d'un traité de la réalité virtuelle, en proposant une définition technique et consensuelle de la réalité virtuelle :

La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technologique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs.

Ce traité de plus de 2000 pages structurées en 5 tomes [11, 12, 13, 14, 15], propose donc une définition qui ne tient évidemment pas en deux mots. Et pour y voir plus clair, retenons plus simplement que « la réalité virtuelle est une simulation du comportement d'entités en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs. »

DIAPOSITIVE 7

Pour illustrer cette définition, je vous propose une métaphore, la métaphore de Pinocchio, qui fait reposer la réalité virtuelle sur trois grandes idées : l'immersion des utilisateurs dans les univers virtuels, l'interaction des utilisateurs avec les univers virtuels et l'autonomie des entités virtuelles qui peuplent ces univers.

Selon la métaphore de Pinocchio, Pinocchio est un modèle. La réalité virtuelle manipule des modèles numériques. Ici, il s'agit d'un modèle physique ; il est donc très facile de s'immerger dans ce modèle puisqu'il est dans notre monde. C'est un peu plus difficile avec les modèles numériques, mais aujourd'hui on y arrive. Ici, on voit clairement sur cette image, l'utilisateur en bleu (Gepetto) observer l'activité du modèle (Pinocchio). On perçoit également la croix du marionnettiste qui va servir à l'utilisateur pour tester la

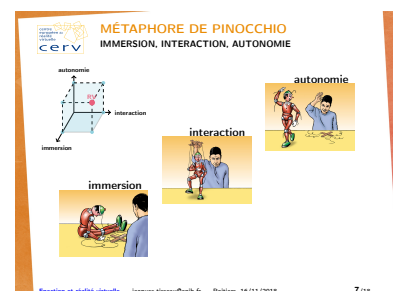
4. Introduction à la « Formation de l'esprit scientifique » de Gaston Bachelard, philosophe français spécialiste d'épistémologie (1884–1962) [19] : *Quand on cherche les conditions psychologiques des progrès de la science, on arrive bientôt à cette conviction que c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique. Et il ne s'agit pas de considérer des obstacles externes, comme la complexité et la fugacité des phénomènes, ni d'incriminer la faiblesse des sens et de l'esprit humain : c'est dans l'acte même de connaître, intimement, qu'apparaissent, par une sorte de nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles.*

Liste des obstacles épistémologiques selon Bachelard : l'expérience première, la connaissance générale, l'obstacle verbal, la connaissance pragmatique, l'obstacle substantialiste, le réalisme, l'obstacle animiste, le mythe de la digestion, la libido et la connaissance quantitative.

6 : DÉFINITION DE LA RV



7 : MÉTAPHORE DE PINOCCHIO



réactivité du modèle. 🗣️

Le modélisateur a prévu quelques degrés de liberté dans le modèle et l'utilisateur va pouvoir ainsi tester la réactivité du modèle en interagissant avec le modèle : en manipulant la croix du marionnettiste. Mais si vous vous souvenez de l'histoire de Pinocchio [20], Pinocchio est un pantin toscan qui, pour l'essentiel de son histoire, est un pantin autonome. 🗣️

Il n'y a plus de fils qui le relie à l'utilisateur : il est autonome. Cette troisième dimension de la réalité virtuelle vient renforcer les deux premières. Les deux premières images, immersion et interaction, traduisent le principe de présence de l'utilisateur dans les univers virtuels alors que la troisième image traduit le principe d'autonomie des entités virtuelles dans les univers virtuels.

Pourquoi cette autonomie ? Et bien, si l'on veut reproduire une forme de réalité, il faut également reproduire l'autonomie des entités les unes par rapport aux autres telle que nous la vivons tous les jours dans la réalité.

DIAPOSITIVE 8

La réalité virtuelle permet ainsi de vivre une expérience cognitive et sensorimotrice dans un univers peuplé d'entités plus ou moins autonomes, et donc de vivre une expérience de pensée. Et c'est ce « vivre une expérience de pensée » qui est essentiel à retenir pour la réalité virtuelle.

Une expérience de pensée est un outil absolument essentiel dans tout le développement de la philosophie et de la science depuis des millénaires. Pensez à la caverne de Platon⁵. Platon imaginait, donc une expérience de pensée, placer au fond d'une caverne des gens qu'il enchaînait et qui ne pouvaient voir que le fond de la caverne. 🗣️

Aujourd'hui, on est capable de le faire (sans enchaîner les gens) dans un système que l'on appelle un Cave (*Cave Automatic Virtual Environment*) où les gens sont entourés d'écrans sur lesquels ils peuvent observer un univers virtuel. Dans le cas de Platon, c'était les images des ombres portées qui venaient de l'extérieur de la caverne. Et donc, 2500 ans en gros après Platon, on a revisité la caverne de Platon. On a pu ainsi vivre cette expérience de pensée au fond d'une caverne moderne avec tous les outils de la caverne que tout le monde connaît aujourd'hui (stéréovision, son 3D, retour d'efforts...).

DIAPOSITIVE 9

La réalité virtuelle nous permet donc de « vivre des expériences de pensée », c'est-à-dire de vivre des expériences cognitives et sensorimotrices dans des univers numériques peuplés d'entités autonomes. Mais vivre une expérience de pensée n'est pas anodin. Les expériences de pensée sont en effet constitutives de la philosophie et de la science depuis toujours. 🗣️

En philosophie par exemple, nous avons déjà évoqué la caverne de Platon, qui interroge la notion de réalité [21], le problème de Molyneux⁶ lui

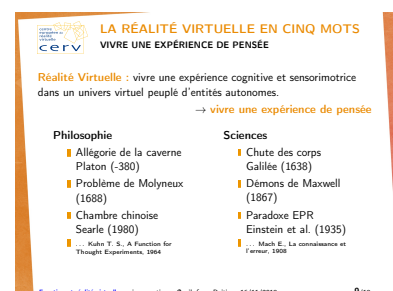
5. Introduction de l'allégorie de la caverne : *Maintenant, repris-je, représente-toi de la façon que voici l'état de notre nature relativement à l'instruction et à l'ignorance. Figure-toi des hommes dans une demeure souterraine, en forme de caverne, ayant sur toute sa largeur une entrée ouverte à la lumière; ces hommes sont là depuis leur enfance, les jambes et le cou enchaînés, de sorte qu'ils ne peuvent bouger ni voir ailleurs que devant eux, la chaîne les empêchant de tourner la tête; la lumière leur vient d'un feu allumé sur une hauteur, au loin derrière eux; entre le feu et les prisonniers passe une route élevée: imagine que le long de cette route est construit un petit mur, pareil aux cloisons que les montreurs de marionnettes dressent devant eux, et au-dessus desquelles ils font voir leurs merveilles.* (d'après [21])

6. Extrait de la lettre de Molyneux à Locke (7 juillet 1688) : *A Man, being born blind, and having a Globe and a Cube, nigh of the same bignes, Committed into his Hands, and being taught or Told, which is Called the Globe, and which the Cube, so as easily to distinguish them by his Touch or Feeling; Then both being taken from Him, and Laid on a Table, Let us Suppose his Sight Restored to Him; Whether he Could, by his Sight,*

8 : CAVERNE DE PLATON



9 : EN CINQ MOTS



s'intéresse à la perception et à la complémentarité entre la vue et le toucher [22, 23], quant à la chambre chinoise de Searle ⁷, elle questionne l'intelligence artificielle et sa capacité à doter les machines d'une forme de conscience [24]. Ces trois exemples et beaucoup d'autres ont conduit ces dernières années à de nombreuses réflexions sur la définition même des expériences de pensée, leurs fonctions et leurs rapports aux expériences réelles. On pourra approfondir le sujet en commençant par la lecture de l'article de Kuhn [25].

Mais depuis le 17^{ème} siècle, la science aussi utilise les expériences de pensée pour interroger les théories. Citons par exemple, l'expérience de pensée de la chute des corps de Galilée pour remettre en cause la théorie aristotélicienne [26], les démons de Maxwell pour questionner la nature statistique du second principe de la thermodynamique [27], ou encore le paradoxe EPR, du nom de ses trois auteurs : Einstein, Podolski et Rozen, qui interroge la physique quantique, sa complétude et son principe de non-séparabilité [28]. Le physicien Ernst Mach est sans doute l'un des premiers à avoir discuté de ces « expérimentations mentales » comme ils les appelaient [29]. La principale différence entre les sciences et la philosophie, c'est que les expériences de pensée scientifiques finissent souvent, même longtemps après, par être réalisées plus ou moins fidèlement à l'original ⁸.

Mais que ce soit en philosophie ou en science, tous les auteurs s'accordent sur le rôle épistémique essentiel des expériences de pensée dans la construction des idées. Et donc, la réalité virtuelle qui permet de vivre des expériences de pensée devient un outil incontournable dans l'élaboration de la connaissance.

3 L'expérimentation in virtuo

DIAPOSITIVE 10

Et comment ces expériences de pensée vont-elles intervenir dans les enjeux plus actuels ? L'enjeu, pour les scientifiques d'aujourd'hui, est sans doute de décrire, d'expliquer et de prédire les comportements des systèmes complexes, qu'ils soient naturels et artificiels. C'est dans ce contexte que nous allons situer notre analyse.

Mais précisons ce que nous entendons par « système complexe ». C'est un système ouvert (des choses entrent et sortent sans arrêt), dynamique au point qu'on peut se poser la question si l'équilibre d'un tel système existe, hétérogène (composants de différents types), multi-échelles spatiales et temporelles, multi-phénomènes, et depuis plus récemment c'est un système qui

and before he touch them, know which is the Globe and which the Cube ? Or Whether he Could know by his Sight, before he stretch'd out his Hand, whether he Could not Reach them, tho they were Removed 20 or 1000 feet from Him ? (d'après [23])

7. Introduction de la chambre chinoise : *Supposez que je sois enfermé dans une pièce et qu'on me donne une grosse liasse d'écriture chinoise. Supposez en outre [...] que je ne connaisse rien au chinois [...]. Supposez maintenant qu'après cette première liasse, on me donne un second paquet d'inscriptions chinoises, en même temps qu'un ensemble de règles pour corrélérer l'une à l'autre. Les règles sont en anglais [...]. Supposez encore que je reçoive une troisième liasse de symboles chinois avec quelques instructions — en anglais — qui me permettent de corrélérer des éléments de cette troisième avec les deux premières. Ces règles m'instruisent de la manière de fournir certains symboles chinois d'une certaine forme en réaction ("réponse") à certaines forment de la troisième liasse. [On appelle] la première liasse un "script", la deuxième une "histoire" et la troisième des "questions". L'ensemble des règles en anglais que j'ai reçu [est appelé] le "programme".*

8. Dans le cas du paradoxe EPR [28], l'expérience a été réalisée près de 47 ans après à l'Institut d'Optique de l'Université de Paris-Sud : Aspect A., Grangier P., Roger G., *Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment : A New Violation of Bell's Inequalities*. Physical Review Letter 49(2):91-94, 12 July 1982.

10 : L'ENJEU

L'ENJEU LA COMPLEXITÉ

Décrire, expliquer et prédire les comportements des systèmes complexes, naturels ou artificiels, constituent pour les scientifiques le défi majeur du 21^{ème} siècle.

Système complexe « ce qui est tissé ensemble »

- ouvert
- dynamique
- hétérogène
- multi-échelles
- multi-phénomènes
- incluant l'homme
- leur compréhension et/ou leur conception passe par leur **modélisation**
- l'étude des modèles passe par leur **simulation**
- la simulation passe par une **instrumentation** adaptée

Éducation et réalité virtuelle | jacques.tisseau@univ.fr | Poitiers, 16/11/2018 | 10/18

inclut l'homme. 🗣️

Pour comprendre ou concevoir de tels systèmes, nous passons aujourd'hui par leur modélisation. Une fois la modélisation réalisée, on dispose d'un modèle du système. 🗣️

Pour analyser la dynamique de ces systèmes, nous menons des expérimentations sur leurs modèles ; c'est le rôle de la simulation qui, par définition, est justement l'expérimentation des modèles. 🗣️

Pour inclure l'homme dans de tels systèmes, il faut une instrumentation adaptée pour permettre à l'homme d'être dans la boucle de la simulation. Et c'est là où la réalité virtuelle va prendre toute son importance dans la modélisation et la simulation des systèmes complexes.

DIAPOSITIVE 11

Pour mieux comprendre la place et le rôle de la réalité virtuelle, considérons deux types d'expérimentation : la simulation numérique classique (celle des physiciens par exemple) et le jeu de rôle (celui des acteurs sur une scène de théâtre). 🗣️

- La simulation classique a pour rôle de reproduire une réalité là où le jeu de rôle interprète une réalité.

Ces deux types d'expérimentation sont des représentations selon deux acceptions bien différentes [30] : la métaphore diplomatique (la vicariance) pour la simulation et la métaphore théâtrale (la mise en présence) pour le jeu de rôle.

- La simulation est une représentation de la réalité selon la métaphore diplomatique : elle tient lieu de réalité comme un lieutenant-colonel (lieu-tenant : tenant-lieu) tient lieu de colonel quand celui-ci est absent.
- Le jeu de rôle est une représentation qui selon la métaphore théâtrale rend présent une réalité. Elle n'est pas le substitut d'une réalité mais une activité qui crée une réalité.

- La simulation sert à étudier des modèles, le jeu de rôle étudie des comportements. 🗣️
- En simulation, on s'intéresse à des situations normalisées afin d'assurer la reproductibilité des simulations, essentielle à la démarche scientifique. Les jeux de rôle préfèrent les situations imprévues, singulières. 🗣️
- En simulation, l'expérimentation nécessite un savoir-faire technique, là où le jeu de rôle s'appuie sur un savoir-être comportemental. 🗣️
- En simulation, nous parlerons d'expérimentation in silico alors que nous menons une expérimentation in vivo avec le jeu de rôle. 🗣️

La démarche de la réalité virtuelle est de mixer les deux pour faire jouer un rôle à l'utilisateur d'une expérimentation in silico. C'est ce qu'on appelle « mettre l'homme dans la boucle de simulation » et ce que nous appelons l'« expérimentation in virtuo » [31]. 🗣️

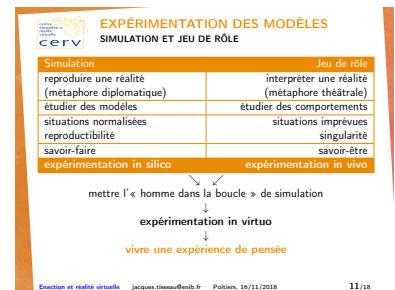
Et c'est cette expérimentation in virtuo qui va nous permettre de vivre une expérience de pensée. Cette nouvelle capacité, de vivre une expérience de pensée, complète l'arsenal méthodologique des scientifiques en les dotant d'un outil supplémentaire pour décrire, expliquer et prédire le comportement de systèmes.

DIAPOSITIVE 12

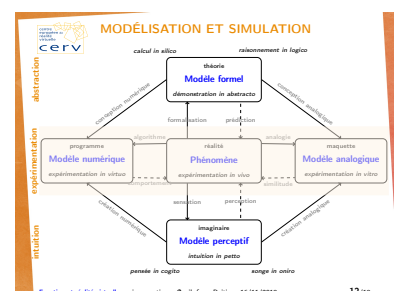
Considérons un phénomène réel sur lequel on pourra agir plus tard, « in vivo » puisqu'il s'agit du phénomène lui-même. 🗣️

Quelle que soit la personne qui est confrontée à ce phénomène, la pre-

11 : EXPÉRIMENTATION DES MODÈLES



12 : MODÉLISATION ET SIMULATION



mière réaction qu'elle va avoir est une réaction liée à ses sensations et dans son imaginaire, dans son modèle perceptif qui relève à la fois de son expérience passée (la pensée) et de ses rêves, elle va intuitiver « in petto » (dans son corps lui-même) des premières perceptions qui vont lui donner une idée de ce phénomène. Et ça, pour tout le monde, qu'on soit scientifique, acteur ou autre. 🗣️

Si on est scientifique, on va chercher à formaliser ce phénomène dans un cadre théorique. On va ainsi mener des démonstrations « in abstracto » pour prédire le comportement du phénomène étudié. On conduira des raisonnements logiques et on s'aidera éventuellement de calculs « in silico ». Et ces prédictions nous permettront alors de mener des expérimentations « in vivo » sur le phénomène lui-même afin de confronter nos prédictions avec les résultats de l'expérimentation. 🗣️

Dans certains cas, il n'est pas toujours possible de mener à son terme cette démarche purement formelle. Prenons l'exemple d'un avion, on a pu faire voler les avions non pas en résolvant le système d'équations de Navier-Stokes⁹ qui devrait nous permettre de prédire le vol d'un avion, mais en créant une maquette d'avion que l'on étudie dans une soufflerie.

Ainsi, par analogie avec le réel (l'avion), on crée un modèle analogique (la maquette d'avion) que l'on étudie par expérimentation « in vitro » (dans la soufflerie) et par similitude, on assimile le comportement du phénomène réel à celui de la maquette. 🗣️

Aujourd'hui, à l'aide d'algorithmes, on construit des programmes qui permettent d'étudier les modèles numériques par cette fameuse expérimentation « in virtuo » qui est différente du calcul « in silico » car l'homme est maintenant dans la boucle de simulation (pensez aux simulateurs de vol qui font partie intégrante de la formation des pilotes de ligne tout au long de leur vie professionnelle) comme il peut l'être dans la simulation analogique. 🗣️

Pour les artistes, ils peuvent créer, à partir de leurs intuitions, soit des modèles analogiques (tableaux, sculptures... physiques), soit des modèles numériques (tableaux, sculptures... numériques). 🗣️

Si on est ingénieur, on va plutôt partir d'un modèle formel et on va faire de la conception analogique ou numérique. On aboutit à une maquette (un prototype) physique ou numérique qu'on étudie par expérimentation pour avoir une idée du futur objet qu'on est en train de concevoir. 🗣️

Pour résumer, en bas de la figure, on a tout ce qui concerne l'intuition que nous partageons tous. En haut, on a ce qui concerne l'abstraction et c'est là que les scientifiques opèrent le plus souvent. Et au milieu, on a le domaine de l'expérimentation que vient renforcer l'expérimentation « in virtuo » de la réalité virtuelle, là où se pratiquaient déjà les expérimentations « in vivo » et « in vitro ».

DIAPOSITIVE 13

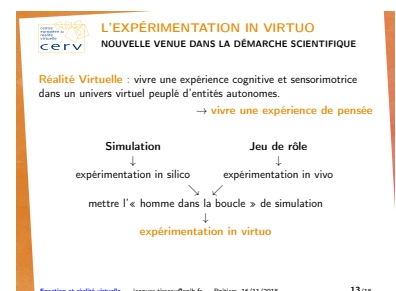
Le réalité virtuelle nous permet donc de « vivre des expériences de pensée ». 🗣️

Et pour vivre de telles expériences de pensée, constitutives de la connaissance elle-même, elle mixe l'expérimentation in silico des simulations numériques classiques à l'expérimentation in vivo des jeux de rôle théâtraux. 🗣️

Et ce, afin d'immerger l'homme dans la boucle de simulation pour donner ce que nous appelons l'expérimentation in virtuo. Et c'est cette expé-

9. En mécanique des fluides, on obtient les équations de Navier-Stokes en écrivant les bilans de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie du système étudié. Aujourd'hui encore, l'existence mathématique de solutions des équations de Navier-Stokes n'est pas démontrée.

13 : IN VIRTUO



rimentionation in virtuo qui rend possible le vécu d'une expérience de pensée et permet une co-construction, entre l'utilisateur et un système de réalité virtuelle, de nouvelles connaissances.

Alors justement posons-nous la question de la connaissance.

4 L'énaction en action

DIAPOSITIVE 14

Les sciences cognitives, l'intelligence artificielle et la réalité virtuelle nous proposent aujourd'hui trois points de vue sur la connaissance pour éclairer notre connaissance de la connaissance.

- Pour simplifier, les sciences cognitives dont l'objet d'étude est la connaissance elle-même, nous aide à décrire et à comprendre la connaissance.
- De son côté, l'intelligence artificielle se pose la question de l'acquisition de la connaissance, de sa représentation informatique afin d'inférer automatiquement de nouvelles connaissances.
- Quant à la réalité virtuelle, avec l'expérimentation in virtuo, elle nous permet de donner du sens à la connaissance et de se construire une connaissance.

Plusieurs courants ont marqué l'histoire des sciences cognitives et de la cognition, le processus d'acquisition de la connaissance [8] :

- le behaviorisme tout d'abord où ce processus est vu comme une boîte noire qui agirait à la manière d'une fonction de transfert entre ses entrées et ses sorties, entre des stimuli et des réactions, à la manière du chien de Pavlov ;
- le computationnalisme où on ouvre la boîte noire pour y voir un système de traitement de l'information et comparer la cognition à un calcul à la manière d'un ordinateur qui exécute des algorithmes ;
- le connexionnisme qui voit la cognition comme un processus émergent de réseaux d'unités simples interconnectées, à la manière des réseaux de neurones formels comme ils sont aujourd'hui très utilisés en intelligence artificielle dans les algorithmes de *deep learning* (apprentissage profond) par exemple ;
- l'énactionnisme qui étend l'approche connexionnisme des réseaux de neurones intracrâniens en les immergeant dans leur environnement, le processus d'acquisition de la connaissance étant alors constitutif du couplage entre l'homme et son environnement.

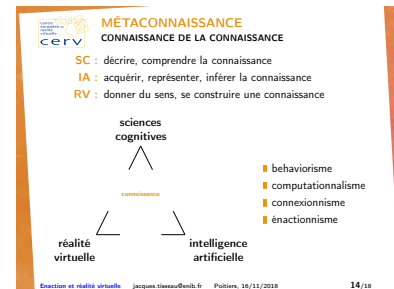
C'est évidemment cette dernière approche que nous retenons pour la réalité virtuelle.

DIAPOSITIVE 15

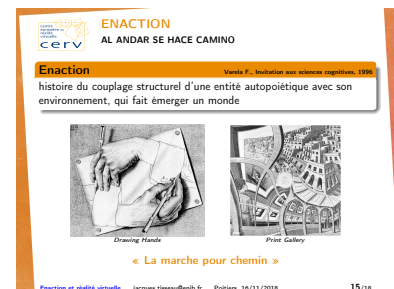
L'énaction est donc ce concept introduit dans les années 1980 par le neurobiologiste chilien Francisco Varela, qui voyait dans la cognition un processus historique, celui du couplage structurel qui existe nécessairement entre une entité autonome et son environnement. Et de cette dynamique du couplage émerge les connaissances.

Illustrons cette notion à l'aide de ces 2 lithographies d'Escher, un artiste hollandais du 20ème siècle [32]. La première, « Drawing Hands », représente 2 mains qui se dessinent mutuellement ; l'une n'existe pas sans l'autre : d'une certaine manière elles se co-dessinent. La deuxième, « Print Gallery », représente une galerie d'art dans laquelle un usager plonge par la pensée dans l'un des tableaux dont le bâtiment de droite est la galerie d'art elle-même

14 : MÉTACONNAISSANCE



15 : ENACTION



où il se trouve¹⁰ ; toujours ce couplage entre l'entité et son environnement.

Enfin, s'il fallait illustrer l'énaction par une expression, nous utiliserons volontiers avec Varela « la marche pour chemin » que lui a inspiré un poème¹¹ d'Antonio Machado (poète espagnol, 1875–1939) [33] : c'est en marchant que l'on crée son chemin. De tout temps, on a adapté notre environnement à nos besoins mais on s'est aussi adapté à notre environnement.

Mais revenons à la réalité virtuelle : en quoi ce concept d'énaction intéresse-t-il la réalité virtuelle ?

DIAPOSITIVE 16

En fait, la réalité virtuelle est remplie d'histoire de couplages.

- Dans ce que j'appelle le 1er principe de la réalité virtuelle : le principe de présence qui permet une activité sensori-motrice dans un monde artificiel en mettant l'homme dans la boucle, on instaure un premier couplage entre l'homme, entité autonome, et l'environnement virtuel.
- Ce que j'appelle le second principe de la réalité virtuelle : le principe d'autonomie qui en permettant une activité sensori-motrice aux entités numériques, en les autonomisant autorise un couplage entre ces entités elles-mêmes.
- Enfin, le 3ème principe : le principe de substitution qui par empathie numérique permet de se mettre à la place d'une entité numérique et de coupler 2 points de vue : le point de vue à la 3ème personne (celui de l'observateur) et le point de vue à la 1ère personne (celui de l'acteur).

L'ensemble de ces principes et de leur mise en œuvre en réalité virtuelle instrumentalise en fait le concept d'énaction selon lequel la construction des connaissances et liée à la dynamique des couplages entre une entité autonome et son environnement.

5 Conclusion

DIAPOSITIVE 17

Replaçons-nous dans une perspective historique et rappelons que l'homme de tout temps a créé des artefacts qui fondamentalement l'ont aidé à améliorer sa compréhension du monde et à construire son humanité [34].

- Le premier artefact est un artefact d'ordre cognitif : c'est le langage qui a remplacé le cri animal et facilité la communication interpersonnelle.
- Le deuxième artefact, d'ordre cognitif également, est l'écrit qui sans remplacer l'oral, a permis d'exporter notre mémoire. C'est une sorte de prothèse de la mémoire qui est ainsi sortie du corps humain. Alors que jusque là il n'était possible de transmettre des connaissances que par la voie orale en nécessitant la présence synchrone des interlocuteurs, il est maintenant possible, grâce aux écrits, de

10. « Drawing Hands » est une lithographie de 1948 et « Print Gallery » une lithographie de 1956. Voir par exemple le site officiel de la [fondation Escher](http://www.mcescher.com) : www.mcescher.com

11. Extrait du poème *Caminante, no hay camino...* du poète espagnol Antonio Machado, Chant XXIX Proverbios y cantarès, Campos de Castilla, 1917 [33].

*Caminante, son tus huellas
el camino y nada más ;
caminante, no hay camino,
se hace camino al andar.
Al andar se hace camino.*

Marcheur, ce sont tes traces
le chemin et rien de plus ;
marcheur, il n'y a pas de chemin,
le chemin se fait en marchant.
En marchant se fait le chemin.

16 : L'ÉNACTION EN ACTION

L'ÉNACTION EN ACTION
HISTOIRES DE COUPLAGES STRUCTURELS

Principe de présence : permettre une activité sensori-motrice dans un monde artificiel
→ « mettre l'homme dans la boucle »
couplage homme ↔ environnement virtuel

Principe d'autonomie : permettre une activité « sensori-motrice » aux entités numériques
→ « autonomiser les entités virtuelles »
couplage entité virtuelle ↔ entité virtuelle

Principe de substitution : se mettre à la place d'une entité virtuelle
→ « passer de la 3^{ème} à la 1^{ère} personne »
« empathie numérique »

Énaction et réalité virtuelle Jacques-Lineau@cehiv.fr Poitiers, 16/11/2018 16/18

17 : CONCLUSION

CONCLUSION
ÉNACTION ET RÉALITÉ VIRTUELLE

cri	→ langage	réel	→ virtuel
oral	→ écrit		
main	→ outil		

vivre une expérience de pensée
pour co-construire de nouvelles connaissances
et passer des idées reçues, ou conçues,
aux idées vécues

Virtuoscope

Énaction et réalité virtuelle Jacques-Lineau@cehiv.fr Poitiers, 16/11/2018 17/18

désynchroniser cette transmission et ce, sur des périodes de temps qui peuvent être séculaires.

- Pour les aspects sensorimoteurs, l'outil a progressivement remplacé la main.

On a d'abord pris des silex pour taper, pour ouvrir un coquillage ou une noix par exemple, puis on a muni le silex d'un manche pour faire un marteau et décupler ainsi la force de frappe. Puis on a créé des tas d'autres outils qui sont devenus des prothèses améliorant nos propres capacités sensorimotrices. 🧠

Il faut désormais voir le virtuel par analogie avec toutes ces constructions artefactuelles ; le virtuel est au réel ce que le langage est au cri, ce que l'écrit est à l'oral ou encore ce que l'outil est à la main : une sorte de prothèse cognitivo-sensorimotrice qui vient renforcer notre capacité à inventer le monde. 🧠

Et grâce à la réalité virtuelle, on peut désormais « vivre des expériences de pensée » et être capable de passer des idées reçues, ou des idées conçues, à des idées vécues. En proposant ses dispositifs de couplage, elle fait advenir des significations nouvelles pour des utilisateurs humains. En ce sens, on rejoint l'idée développée dans le cadre de la phénoménologie selon laquelle les objets techniques sont des prothèses qui donnent lieu à des mondes entièrement nouveaux [35]. 🧠

En 1975, Joël de Rosnay se faisait la remarque suivante : nous disposons de télescopes pour étudier l'infiniment loin, de microscopes pour étudier l'infiniment petit, mais nous n'avons pas d'outils pour étudier l'infiniment complexe. Il proposa alors le terme de « macroscope » : « ce n'est plus le biologiste qui regarde au microscope une cellule vivante ; c'est la cellule qui regarde au macroscope l'organisme qui l'abrite. » [36]

Nous savons aujourd'hui que l'étude des systèmes complexes passe par leur modélisation et la simulation des modèles associés. Et c'est pourquoi, j'aime bien appeler cet outil le « virtuoscope » qui nécessite de passer par des environnements virtuels pour expérimenter in virtuo ces systèmes que l'on cherche à comprendre ou à concevoir. Et c'est ce virtuoscope qui est, depuis le début, au cœur de nos réflexions au Centre européen de réalité virtuelle.

Pour conclure cette petite épistémologie de la réalité virtuelle, rappelons que la réalité virtuelle permet de « vivre une expérience de pensée » pour co-construire de nouvelles connaissances et d'une certaine manière donc, vient instrumenter l'énaction des sciences cognitives.

18 : MERCI



Références

- [1] Tisseau J., **Réalité virtuelle et complexité**. Manifeste scientifique du CERV, ENIB (2004).
- [2] Parenthoën M., **Animation phénoménologique de la mer : une approche énaactive**. PhD thesis, Université de Brest, 6 décembre 2004.
- [3] Tisseau J., Parenthoën M., **Modélisation énaactive et autonomisation**. vol. Intelligence de la complexité : épistémologie et pragmatique. Colloque de Cerisy, Editions de l'Aube, ch. I.6:149-174 (2007).
- [4] De Loor P., Manac'h K., Tisseau J., **Enaction-Based Artificial Intelligence: Toward Co-evolution with Humans in the Loop**. Minds and Machines 19:319-343 (2009).
- [5] De Loor P., Tisseau J., **Réalité virtuelle et énaaction**. Journal de l'Association Française de Réalité Virtuelle (2011).
- [6] Varela F.J., Autonomie et connaissance : essai sur le vivant, Seuil (1989).
- [7] Maturana H.R., Varela F.J., L'arbre de la connaissance, Addison Wesley (1994).

- [8] Varela F.J., *Invitation aux sciences cognitives*, Seuil (1996).
- [9] Varela F.J., Thompson E., Rosh E., *L'inscription corporelle de l'esprit. Sciences cognitives et expérience humaine*. Seuil (1993).
- [10] Depraz N., Varela F.J., Vermersch P., *A l'épreuve de l'expérience : pour une pratique phénoménologique*. Zeta Books (2011).
- [11] Berthoz A., Vercher J.L., *L'homme et l'environnement virtuel. Le traité de la réalité virtuelle* (direction : Fuchs P., coordination : Moreau G.), Volume 1, Presses des Mines de Paris (2006).
- [12] Burkhardt J.M., Coquillard S., *L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel. Le traité de la réalité virtuelle* (direction : Fuchs P., coordination : Moreau G.), Volume 2, Presses des Mines de Paris (2006).
- [13] Moreau G., Tisseau J., *Outils et modèles informatiques des environnements virtuels. Le traité de la réalité virtuelle* (direction : Fuchs P., coordination : Moreau G.), Volume 3, Presses des Mines de Paris (2006).
- [14] Arnaldi B., Guitton P., *Les applications de la réalité virtuelle. Le traité de la réalité virtuelle* (direction : Fuchs P., coordination : Moreau G.), Volume 4, Presses des Mines de Paris (2006).
- [15] Donokian S., *Les humains virtuels. Le traité de la réalité virtuelle* (direction : Fuchs P., coordination : Moreau G.), Volume 5, Presses des Mines de Paris (2009).
- [16] Artaud A., *Le Théâtre et son double*, Folio (1985).
- [17] Lanier J., [Virtual reality : an interview with Jaron Lanier](#). Whole Earth Review, Fall 1989.
- [18] Lévy P., [Qu'est-ce que le virtuel ?](#), La Découverte (1998).
- [19] Bachelard G., *La formation de l'esprit scientifique*. J. Vrin (1972).
- [20] Collodi C., *Les aventures de Pinocchio. Histoire d'un pantin. Mille et une nuits* (1997).
- [21] Platon, [La république](#), Livre VII, 514 a - 519 e, Flammarion (2016).
- [22] Molyneux W., 1688, Letter to John Locke, 7 July, in *The Correspondence of John Locke* (9 vols.), E.S. de Beer (ed.), Oxford : Clarendon Press, vol. 3, no. 1064 (1978).
- [23] Degenaar M., Lokhorst G.-J., [Molyneux's Problem](#). The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2017 Edition), Edward N. Zalta ed. (2017).
- [24] Searle J.R., [Esprits, cerveaux et programmes](#). in D. Hofstadter, D. Dennett, *Vues de l'Esprit*, Paris, Interéditions, pp. 354-373 (1987).
- [25] Kuhn T.S., A function for thought experiments. In *The Essential Tension : Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press. pp. 240-265 (1964).
- [26] Koyré A., [Le De Motu Gravium de Galilée. De l'expérience imaginaire et de son abus](#). *Revue d'histoire des sciences* 13-3:197-245 (1960).
- [27] Bennett C.H., [Demons, Engines and the Second Law](#). *Scientific American* 257(5):108-116 (November, 1987).
- [28] Einstein A., Podolsky B., Rosen N., [Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete ?](#) *Physical Review*, vol. 47 :777-780 (1935)
- [29] Mach E., [La connaissance et l'erreur](#). Flammarion (1908).
- [30] Ladrière J., *Représentation et connaissance*, Encyclopædia Universalis, 14:88-89 (1980).
- [31] Tisseau J., [Réalité virtuelle : autonomie in virtuo](#). HDR, document de synthèse, Université de Rennes 1 (2001).
- [32] Escher M.C., *Escher on Escher : exploring the infinite*. Harry N. Abrams Ed. (1989).
- [33] Machado A., *Poésies*. Gallimard (1973).
- [34] Leroi-Gourhan A., *Le geste et la parole. Tome 1 : Technique et langage*. Albin Michel (1964).
- [35] Havelange V., Lenay C., Stewart J., [Les représentations : mémoire externe et objets techniques](#). *Intellectica* 35:115-129 (2002).
- [36] De Rosnay J., *Le macroscope : vers une vision globale*. Le Seuil (1975).