

Le métavers : autopsie d'un fantasme

Réflexion sur les limites techniques
d'une réalité synthétisée,
virtualisée et socialisée



AUTEUR

Denis Poussart



obvia

15 février 2024

Auteur

Denis Poussart

Professeur émérite, Université Laval
Fellow de l'Académie canadienne du génie

[Ce texte n'a pas été écrit par un robot]

Remerciements

Un merci spécial à **Jean-Gabriel Ganascia**,
professeur d'informatique à Sorbonne Université,
pour sa relecture minutieuse du document.

Produit avec le soutien financier des Fonds de recherche du Québec

Québec 

Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

ISBN : 978-2-925138-31-0
DOI : 10.61737/SGKP7833

Table des matières

| | |
|--------|---|
| Résumé | 4 |
|--------|---|

| | |
|----------|---|
| Prologue | 5 |
|----------|---|

| | |
|---|---|
| Le métavers : le concept existait avant qu'on ne le nomme ; il était inéluctable | 6 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| En un siècle, l'imaginaire engendre une gigantesque industrie | 7 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| Neal Stephenson invente le terme « métavers » | 8 |
|--|---|

| | |
|-------------------------------|---|
| Virtualiser la réalité | 9 |
|-------------------------------|---|

| | |
|---|----|
| La nature complexe de la réalité | 10 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Surmonter la complexité : Simplification, spécialisation | 11 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| En tenant compte des limites de nos propres modalités sensorielles | 11 |
|--|----|

| | |
|-----------------------------------|----|
| Ou en invoquant le réductionnisme | 12 |
|-----------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| Virtualiser la réalité de sorte qu'elle soit ressentie comme véritable | 13 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Et que la réalité virtualisée soit partageable et partagée | 16 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| L'altruisme et la commercialisation | 17 |
|--|----|

| | |
|-----------------|----|
| Épilogue | 18 |
|-----------------|----|

Résumé

Lorsque Neal Stephenson a introduit le terme « métavers » dans son roman de science-fiction *Snow Crash*, en 1992, il était loin de se douter que le mot allait susciter autant de discussions.

La notion d'une réalité d'un type nouveau, qui serait synthétisée, puis virtualisée et librement socialisée, est fascinante par ce qu'elle exigerait aux plans scientifique et technique. Fascinante surtout par ses retombées éventuelles aux niveaux culturel et social, y compris de nature éthique (qui ne sont pas abordées ici).

Ce texte rappelle brièvement l'origine du concept avant de se consacrer à ses requis et défis techniques, abordés en l'examinant comme un système avancé d'information et communication. Le métavers revêt une complexité inédite alors que les capacités cognitives de l'humain et de la machine sont appelées à se fusionner avec synergie.

L'analyse – qui demeure succincte compte tenu du format d'un article court – permettra de comprendre comment et pourquoi le métavers, dans la mouture originale proposée par Stephenson, demeure une utopie. Mais aussi comment l'élimination de certains requis peut permettre d'en retenir une saveur intéressante, laquelle apparait déjà dans une multitude d'applications¹.

¹ Ce secteur est particulièrement volatile. En mars '23, Forbes y signalait une dizaine d'entreprises jugées sérieuses. *The Top 9 Metaverse and Web3 Consulting Firms*, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/03/16/the-top-9-metaverse-and-web3-consulting-firms/?sh=fa5f577c5a41>. D'autres sources, comme <https://venturebeat.com/games/newzoo-more-than-500-companies-are-building-the-metaverse/>, (juin 2022), en nomme un bien plus grand nombre.

Prologue

La notion d'une réalité qui serait synthétisée et virtualisée, c'est-à-dire reconstruite à partir d'une représentation du réel – observé ou imaginé – puis rendue accessible comme un artéfact, n'est pas nouvelle. Elle remonte à la capacité expressive du langage, du signe et de l'abstraction qui définit l'essence de l'humain et de son intelligence. Signes, assemblés en messages selon des codes acceptés, universellement partagés dans le quotidien, dans nos actions anodines ou importantes, voire périlleuses, poursuivies à des fins d'une infinie diversité.

La sémiotique nous enseignerait que le métavers, dont nous examinons ici les aspects techniques clés sous la loupe de la théorie des systèmes, n'est au fond qu'une nouvelle façon d'instancier cette notion de communication humaine qui remonte à la nuit des temps. On pourrait d'ailleurs arguer que la lecture d'un roman captivant fournit une autre instance du même processus, comme le fait aussi la multitude des formes artistiques. Seuls les voies et moyens diffèrent, mais parfois au point cependant de transformer profondément nos modes de fonctionnement et de pensée.

Avec l'explosion des connaissances, nous nous retrouvons immergés dans une civilisation technologique où la communication, de confinée et lente qu'elle était depuis les origines de l'humanité, est soudainement devenue planétaire et instantanée. Où les immenses possibilités de l'immatérialité que procure le signe numérique ont transformé certains fondements culturels. En amplifiant nos interactions, celui-ci a engendré de multiples complexités nouvelles : « More is different ² ».

2 P. W. Anderson, *More Is Different*, Science, 4 August 1972, Volume 177, Number 4047.



Le métavers : le concept existait avant qu'on ne le nomme ; il était inéluctable

Le scientifique Stuart Kauffman a développé le principe clé de « l'adjacent possible », lequel permet de comprendre et d'anticiper l'évolution des systèmes, aussi bien biologiques (son domaine particulier) que technologiques³. Ce principe stipule que *toute* entité – qu'elle soit tangible ou intangible – de par la nature de ses caractéristiques intimes, est susceptible d'activer des interactions *a priori* imprévues – potentielles, mais jusque-là dormantes – avec des entités voisines, *lorsque le contexte est favorable*. Il suffit d'un déclic approprié pour qu'une modification survienne. La trajectoire de l'évolution est ainsi balisée par une suite d'événements ponctuels.

Kauffman a démontré de manière convaincante que ce mécanisme, en engendrant la complexification croissante de notre environnement, constitue le principal moteur de l'innovation et la créativité – chez l'individu comme dans la société. Aujourd'hui, ce principe opère en particulier dans la *noosphère*⁴, l'univers des idées, concepts et connaissances. Cet enchaînement étant récursif, cet univers croît exponentiellement.

C'est ainsi qu'allait naître le métavers, aboutissement d'une longue suite d'avancées techniques⁵.

L'« adjacent possible » représente un ensemble de possibilités latentes pour un système donné, à un moment donné. C'est un espace de potentiel, où l'innovation et la créativité se trouvent à portée de main, mais pas encore explorées.

3 Écouter *Theory of the Adjacent Possible*, Stuart Kauffman | Human Patterning Podcast, <https://www.youtube.com/watch?v=GjwoHyDVLk>

4 Le concept de la noosphère, l'univers de la pensée humaine, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Noosph%C3%A8re>, a été développé par Pierre Teilhard de Chardin, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_Teilhard_de_Chardin, comme complément à ceux de la géosphère et de la biosphère.

5 *History of VR - Timeline of Events and Tech Development*, <https://virtuallspeech.com/blog/history-of-vr>

En un siècle, l'imaginaire engendre une gigantesque industrie.

On attribue généralement à Stanley G. Weinbaum, et à son roman de science-fiction *Pygmalion's Spectacles*, publié en 1925, la première description du concept qui s'appellera plus tard « réalité virtuelle ». Son protagoniste, le professeur Ludwig, y décrit l'expérience que procurent ses lunettes magiques : « un film qui donne une vue et un son. Supposons maintenant que j'ajoute du goût, de l'odorat, voire même du toucher, si l'histoire vous intéresse. Supposons que je fasse en sorte que vous soyez dans l'histoire, que vous parliez aux ombres et que les ombres répondent, et qu'au lieu d'être sur un écran, l'histoire tourne autour de vous et vous y êtes. Serait-ce concrétiser un rêve ⁶ ? »

Dans ce domaine comme dans d'autres, la liberté imaginative de la science-fiction précède la concrétisation des voies et moyens, comme elle s'exprimera dans le simulateur d'environnement du roman *Simulacron 3*, publié en 1964 par l'auteur américain Daniel Galouye.

Au début des années '90, la réalité va pouvoir rattraper la fiction, avec les nouvelles technologies de l'information et des communications (NTIC) qui sont en ébullition : internet, interface visuelle, systèmes d'exploitation multi-tâches... Depuis 25 ans, avec l'invention de leur fabrication par nanolithographie, la Loi de Moore projette que le nombre de transistors doublera aux 2 ans : la puissance du calcul informatique est engagée dans une croissance exponentielle ⁷.

Avec l'augmentation de puissance du calcul numérique et l'arrivée d'architectures de calcul parallèle, émerge la capacité de construire des modèles de processus jusqu'alors inaccessibles. Et de simuler leur dynamique. Avec l'exploration de la « réalité alternative », il devient possible d'anticiper ce qu'il adviendrait si certains de leurs paramètres étaient modifiés pour fin d'optimisation ou suite à des circonstances inhabituelles.

Ces années marquent aussi la naissance de l'immense domaine de l'interface personne-machine, domaine dominé encore aujourd'hui par la modalité visuelle.

La virtualisation visuelle apparaît désormais à portée de main. En 1968 les travaux d'Ivan Sutherland et de ses associés à l'université d'Utah produisent les premiers prototypes de casques fournissant une expérience immersive ⁸. En 1985, le prolifique Jaron Lanier ouvre la voie à la commercialisation de dispositifs (casques, gants et capteurs de toucher, voies sonores spatialisées) qui vont définir le futur de la réalité virtuelle. ⁹

Le domaine entreprend alors la phase explosive – la boule de neige – qu'alimente le phénomène de l'*adjacent possible* évoqué plus haut. Il se retrouve rapidement exploité dans l'entraînement industriel ou militaire. L'interaction temps-réel multi-usagers avec des entités fictives rejoint le grand public par la production commerciale de jeux de grande qualité, distribués mondialement (Xbox de Microsoft, PlayStation de Sony...).

A cette époque, notre Laboratoire de Vision et Systèmes Numériques de l'université Laval est activement engagé dans une forme de virtualisation qui combine l'intelligence artificielle pour la reconnaissance de scènes 3D avec la téléopération robotisée qui vise à supporter des situations réelles, dont le danger ou la précision requise interdit la seule présence humaine ¹⁰.

D'immenses entreprises capturent des secteurs entiers de ces domaines qu'elles voient comme de futures sources intarissables de revenu (ne ressentant pas, du moins au début, les questions éthiques qui en découlent). Le plus souvent, à la faveur du capital de risque, elles transforment en produits accessibles des idées issues de la recherche universitaire. Ainsi augmenté par l'interactivité personne-machine, et plus récemment par les avancées de l'intelligence artificielle, le secteur des NTIC devient le principal moteur de la révolution industrielle du 21^e siècle.

6 Traduction par Google translate d'un fragment extrait de *Pygmalion's Spectacles*, <https://www.gutenberg.org/files/22893/22893-h/22893-h.htm>

7 Aujourd'hui les avis divergent quant à la poursuite de cette croissance : *Intel says Moore's Law is still alive and well. Nvidia says it's ended*, <https://www.cnn.com/2022/09/27/intel-says-moores-law-is-still-alive-nvidia-says-its-ended.html>. Mais l'ordinateur est presque à nos portes: *Quantum Computing Now And In The Future: Explanation, Applications, And Problems*, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/08/26/quantum-computing-now-and-in-the-future-explanation-applications-and-problems/>

8 Voir [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_\(virtual_reality\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_(virtual_reality))

9 Voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Jaron_Lanier

10 *Designing Virtual Environments for Critical Transactions and Collaborative Interventions: the VERTEX / APIA Framework for Networked, Physics-compliant Objects*, D. Poussart et al., LVSN & Institute for Robotics and Intelligent Systems, International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science and Education on the Internet, SSGRR, l'Aquila, juin 2000. Voir aussi *Interaction-Centric Modelling for Interactive Virtual Worlds: The APIA Approach*, D. Laurendeau, F. Bernier, M. Simoneau, D. Poussart, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. 3. 1007-1010. 10.1109/ICPR.2002.1048208.

Neal Stephenson invente le terme « métavers »

L'arrivée de systèmes d'exploitation multitâches et de processus autonomes, que nous appelons toujours *daemons*¹¹, suggère une nouvelle sorte de vie – artificielle et hautement technique – dans laquelle l'humain évoluerait avec la sensation d'une extension de ses propres moyens. L'artificiel s'apprête à envahir notre espace naturel et à se fusionner avec lui...

La convergence et la synergie des possibles qui émergent à cette époque suggèrent la plausibilité d'une nouvelle métaphore de communication. La plume de Neal Stephenson lui donne corps dans son roman de science-fiction *Snow Crash*, paru en 1992 sous le terme « métavers¹² ».

Dans l'esprit de Stephenson, le métavers comprend(ra)it :

- un nombre quelconque de participants qui se retrouvent dans
- un espace cognitif sans frontière,
- peuplé d'une réalité virtualisée par synthèse numérique avec la richesse, le détail et la diversité des attributs de la réalité naturelle,
- perceptible avec le ressenti d'un authentique sentiment de présence,
- en mode sensoriel complet, notamment visuel 3D, mais aussi auditif, et tactile,
- accessible partout, en permanence et à un nombre quelconque de participants qui y effectuent une quelconque activité de leur choix, socialisent, travaillent, effectuent des transactions, etc.,
- en y étant représentés par des substituts – des avatars.

Il s'agit donc d'une virtualisation immersive, persistante et fonctionnelle de TOUT, pour TOUS¹³. En somme, à terme, un développement qui aboutirait à une transformation radicale de l'internet.



11 Ces processus s'exécutent constamment en arrière-plan et sont typiquement invisibles à l'utilisateur. Impliqués dans l'ordonnement de tâches critiques à son environnement de travail, ils implantent une ressource essentielle dans tous les systèmes d'exploitation contemporains.

12 Pour une histoire illustrée du Metavers, voir par exemple <https://www.techtarget.com/searchcio/tip/History-of-the-metaverse-explained>

13 Dans la suite j'ignore les aspects de la cryptographie parfois impliqués à la périphérie du concept ; ils ne sont pas essentiels dans la discussion présente.

Virtualiser la réalité

Il est utile ici de considérer le métavers comme un système, c'est-à-dire un ensemble de composantes diverses, intégrées dans une succession d'étapes fonctionnelles où une certaine « réalité » est d'abord synthétisée, puis virtualisée et présentée en interaction avec l'humain pour engendrer un ressenti, puis enfin partagée sans frontière.

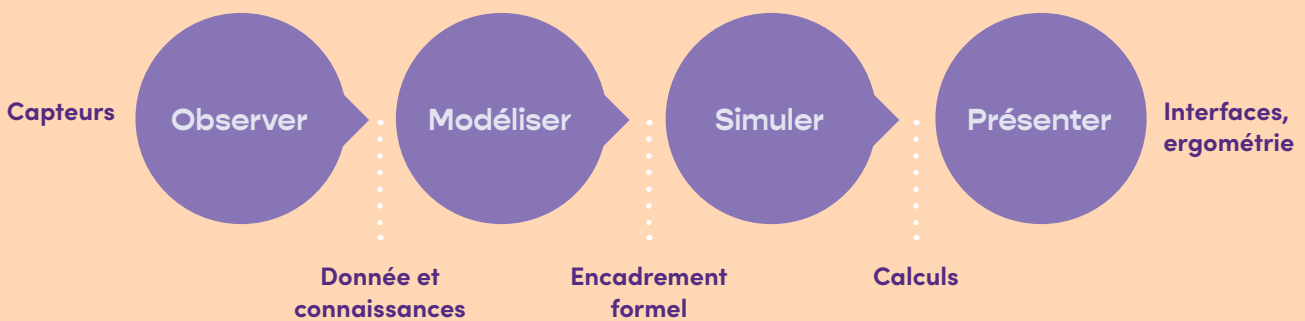
Cette segmentation se justifie par des requis et des défis radicalement différents.

Dans le présent contexte, qui dit *virtualiser* dit pouvoir au préalable *modéliser*, pouvoir donc traduire dans un cadre formel un ensemble d'observations et de connaissances avec une fidélité suffisante pour en produire éventuellement un ressenti conforme.

Cette activité ambitieuse suscite immédiatement de nombreuses questions – sémantiques, épistémiques, psychologiques, scientifiques et techniques.

Nous observerons qu'elle est impossible à moins d'introduire des restrictions considérables.

Virtualiser la réalité



La nature complexe de la réalité

De quelle réalité s'agit-il ?

Dans l'esprit du métavers de Stephenson, cette réalité est *générale*, a priori quelconque, ses caractéristiques et sa dynamique propre d'évolution temporelle. Stephenson souligne que l'expérience immersive de la « réalité synthétique » doit permettre à l'humain de ressentir sa présence *en exerçant toute activité, sans restriction*.

Signalons sans détour que la complexité de la *réalité* dépasse notre capacité sémantique de pouvoir la capturer dans une simple définition : il existe une multitude de « réalités ».

Développons succinctement.

En particulier, on peut l'appréhender comme une entité à l'origine tangible ou abstraite.

Cette distinction est elle-même confuse : en observant une feuille de papier, est-ce la nature physico-chimique du papier lui-même qui importe – sa densité, ses dimensions, sa couleur, etc., ou est-ce le message encodé par les mots qui y sont inscrits, et le sens qu'on lui donne ?

S'agit-il d'un concept abstrait, une pensée qui surgit de notre imaginaire – que nous chercherons à partager par le discours, ou à expliciter dans un brevet ? Ce concept fait certainement partie la réalité : il s'inscrit dans la notion de *noosphère*, comme il a été mentionné plus haut.

Cette réalité est-elle destinée à l'utilisateur en tant que *personne* (à l'avatar qui le représente), ou concerne-t-elle une entité étrangère elle-même virtuelle (un agent de type ChatGPT par exemple) avec laquelle il dialogue ?

Cette réalité est-elle véritable et naturelle (comme celle d'un paysage) ou est-elle artificielle et associée à un artefact (comme un robot imaginaire ou le bruit d'un moteur) ou le produit d'une virtualisation accessoire (comme la projection d'un film) ?

Et quel niveau de détail est-il nécessaire, ou pertinent, pour la virtualiser avec la fidélité requise ? Imaginons par exemple le défi de modéliser une situation où un usager va se mouvoir librement à travers un espace qui s'étendrait sur de multiples échelles dimensionnelles, du nanoscopique à l'intersidéral ...

On comprendra donc qu'il existe une multitude inépuisable de « réalités », ultimement jusqu'à ce que nous propose la physique quantique sur la nature profonde de la réalité physique qui n'existerait que par son rapport avec un observateur¹⁴...

Notons de surcroît qu'un métavers conforme à la vision de Stephenson serait persistant, son évolution se poursuivant même si l'utilisateur se retire momentanément, et qu'il se retrouve correctement mis à jour lors d'une connexion subséquente.

En proposant le métavers général, Stephenson fait fi de cette complexité, à savoir que la réalité complète est si complexe qu'il est utopique d'espérer la modéliser dans sa généralité. *À fortiori de la modéliser formellement, c'est-à-dire sous une forme calculable*¹⁵.

De plus, dans cette réalité, il importerait aussi d'inclure nos connaissances *tacites*, celles qu'il nous est difficile de décrire explicitement, comme l'a brillamment exprimé Michael Polanyi : « *We know more than we can tell* »¹⁶

Seule la richesse du langage naturel, en particulier son flou intrinsèque, permet de décrire la diversité de la pleine réalité, souvent par le processus d'évocation. Notre intelligence invite alors notre propre capacité imaginative à compléter l'exposé.

14 Voir, par exemple, le collectif *Quantum Theory and Reality*, edited by M.Bunge, <https://books.google.ca/books?hl=en&lr=&id=2LF9CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=quantum+theory+and+reality>

15 Nous ne mentionnons la calculabilité qu'en passant, car l'espace manque pour développer le concept. Brièvement utiliser l'ordinateur numérique exige l'existence d'une métrique objective définie pour les divers objets ; ceci n'existe pas pour de nombreuses facettes de la réalité, notamment lorsqu'en rapport avec l'humain ; on est alors réduit à utiliser des *indicateurs*, lesquels sont *contextuellement subjectifs*. Le même problème survient dans l'intelligence artificielle courante qui opère par inférence statistique ; il se retrouve à la base de son manque bien documenté de robustesse.

16 *Personal Knowledge*, Michael Polanyi, (1958). L'intelligence artificielle, de type génératif, exploite l'apprentissage machine à partir d'un corpus colossal de sources écrites. Une critique fondamentale à son égard vient de ce qu'elle ignore ainsi les *informations et connaissances tacites*.



Surmonter la complexité : Simplification, spécialisation

En tenant compte des limites de nos propres modalités sensorielles

Le métavers demande de surmonter la complexité en tenant compte des limites de nos propres modalités sensorielles, à ce que nous sommes en mesure de concrètement appréhender¹⁷ en vision, audition, toucher, goût, et odorat. C'est en effet via ces mêmes modalités que le métavers se propose d'engendrer une sensation d'immersion.

Fondamentalement, cette restriction n'est cependant pas totalement « raisonnable », car elle ignore qu'entre les signaux sensoriels transmis par les influx nerveux et le traitement cognitif qui les transforme en *qualia*, il existe des opérations cérébrales extraordinairement raffinées – dont certaines sont encore mal comprises.

Ainsi, pour ne signaler qu'un seul exemple, notre vision possède la capacité de reconnaissance tridimensionnelle même lorsqu'elle opère en *mode monoculaire* et ne dispose donc pas de mesure directe de parallaxe. C'est que nous possédons ce que, chercheurs en intelligence artificielle, nous qualifions comme un « modèle du monde » qui renferme un ensemble structuré de préconnaissances : les *priors*¹⁸. Ainsi, de la vision rétinienne, qui procure une image initiale à 2 dimensions, nous inférons la 3^e à partir d'un traitement autonome de perspective.

¹⁷ Comme appartenant à l'ensemble des « qualia ». Voir par exemple *The Internet Encyclopedia of Philosophy*, <https://iep.utm.edu/>

¹⁸ Voir à cet égard le débat historique du 26 décembre 2019 entre les positions divergentes de Yoshua Bengio et de Gary Marcus sur le rôle des préconnaissances implicites, <https://www.youtube.com/watch?v=EeqwFjqFvJA>. Le rôle de ce « modèle du monde » que nous possédons a depuis été souligné à nouveau par Yan LeCun.

Ou en invoquant le réductionnisme

Une seconde consistera à ignorer la réalité *générale*, que l'on réduira alors à un sous-ensemble d'instances précises qui ne sont abordées qu'une à la fois, ou en nombre volontairement limité, et qui évoluent en interactions simples.

Cette simplification contourne l'obstacle de la complexité *dure*.

Mais Stephenson rejette catégoriquement cette voie : dans une interview du 14 janvier 2023, *What is the Metavers?*, il déclare :

« Among the several rules ... there is only THE Metavers. There is not a bunch of metaverses. If I see someone talking about our metaverses, I immediately begin to question whether they got it »¹⁹.

Au grand dam de Stephenson, c'est néanmoins ainsi que se développe aujourd'hui une vaste multitude d'applications de type « métavers simplifié ».

C'est ainsi que le concept d'un métavers « atrophié » survit dans la mesure où d'autres conditions décrites plus loin sont satisfaites ²⁰.

Il existe une autre conséquence de la complexité de la réalité, même ainsi réduite à un secteur spécialisé : les mesures intégrées dans un modèle doivent satisfaire le *principe de la variété requise* d'Ashby²¹, c'est-à-dire s'inscrire parmi toutes les dimensions susceptibles d'entrer en jeu ou de nature à impacter les propriétés de l'entité. Ainsi, par exemple, lors de collisions entre des objets virtualisés, il ne suffit pas de connaître la forme et la position tridimensionnelle de chaque objet impliqué dans l'espace de jeu (supposé sans limite !), mais aussi la formulation précise de son intimité mécanique, comme la variation spatiale du module d'élasticité, voire le résultat d'un impact susceptible de les fracturer²² et des changements de géométrie qui s'en suivraient. On imagine facilement à quel point les calculs pourront s'alourdir.

Et il y a bien plus encore !

Cette exigence, qui ne surprend pas a priori, cache une autre grave difficulté. Celle-ci provient de ce que la réalité n'est pas statique. La dynamique d'observation d'un phénomène doit impliquer toutes les dimensions susceptibles d'entrer en jeu ou de nature à impacter les propriétés d'une entité²³.

Un modèle de la réalité, en plus de tenir compte de la dynamique instantanée « en temps réel » d'une situation, devrait être à même d'adapter son évolution future aux modifications de son contexte. Le traitement de ce sujet – le comportement chaotique, les plages d'incertitudes, la mise à jour continue de l'anticipation – exigerait des développements qui dépassent largement le cadre de la réflexion présente. D'autant plus, comme l'a remarquablement développé Stuart Kauffman, que la réalité possède cette propriété canonique de s'autocomplexifier, ce qui torpille la prévisibilité ²⁴.

Cette caractéristique se retrouve dans toute forme de réalité non triviale, dès lors que le contexte introduit la moindre possibilité d'interaction ; en particulier celle de la réalité naturelle, laquelle évolue sans cesse *dans un mode d'autocomplexification* ²⁵. La dynamique qui opère ici et la même que celle introduite plus tôt pour expliquer le développement accéléré des NTIC.

La réflexion qui précède montre bien la cascade d'embûches qui s'opposent à la modélisation de la réalité – à moins de la réduire jusqu'à éliminer sa complexité.

Cette impossibilité n'a rien à voir avec le nombre ou la précision des observations ; encore moins avec la puissance de calcul utilisé.

Elle est fondamentale.

19 Écouter son énoncé autour de 1 minute dans <https://www.youtube.com/watch?v=EeqwFjqFvJA>

20 Dans une présentation lors de la Semaine numériQC'23, j'ai qualifié cette métamorphose par l'expression « Métavers : Le roi est mort en mars dernier ... et les princes du royaume survivront »

21 [https://en.wikipedia.org/wiki/Variety_\(cybernetics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Variety_(cybernetics))

22 Cet aspect revêt certainement un aspect critique dans nombre de jeux où l'action de combat occupe une place singulière. Le scénario se déroulant dans un espace virtuel prescrit, cette dynamique est probablement assez facilement satisfaite par diverses illusions d'optique et par le renforcement de ressentis soigneusement synchronisés entre l'image et le son.

23 Voir la note 3 pour une discussion sur l'inclusion de propriétés physiques que nous avons abordée dans des travaux de réalité augmentée en robotique industrielle.

24 *Is There a 4th Law for Non-Ergodic Systems That Do Work To Construct Their Expanding Phase Space?*, Stuart Kauffman, <https://arxiv.org/abs/2205.09762>, 2022

25 Pour une introduction accessible à cet immense domaine, voir par exemple *What is the Adjacent Possible?*, <https://medium.com/@SeloSlav/what-is-the-adjacent-possible-17680e4d1198> ou écoutez la superbe présentation de Stuart Kauffman : *Beyond Pythagoras: No Laws Entail Evolution*, <https://www.youtube.com/watch?v=EWo7-azGHic>

Virtualiser la réalité de sorte qu'elle soit ressentie comme véritable

Cette seconde étape implique la disponibilité d'une large collection de dispositifs capables de produire la panoplie de stimuli accessibles à nos sens.

Il faut donc :

- Disposer de capteurs dont les performances sont comparables à nos propres sens
- Utiliser une représentation qui soit – à nouveau ! – calculable, c'est-à-dire qui comporte des données encodées sous une forme précise
- Disposer d'actuateurs qui, recevant ces données, émettent des stimulations correspondantes avec la fidélité et la *qualité ergonomique* requises.

Nous nous retrouvons ici dans l'immense domaine fréquemment appelé psychophysique²⁶. Nous ne l'effleurons qu'en formulant quelques observations succinctes sur l'état de l'art des capteurs actuels.

La figure qui suit recourt à des icônes colorées pour en communiquer le niveau estimé de maturité au moment d'écrire ces lignes.

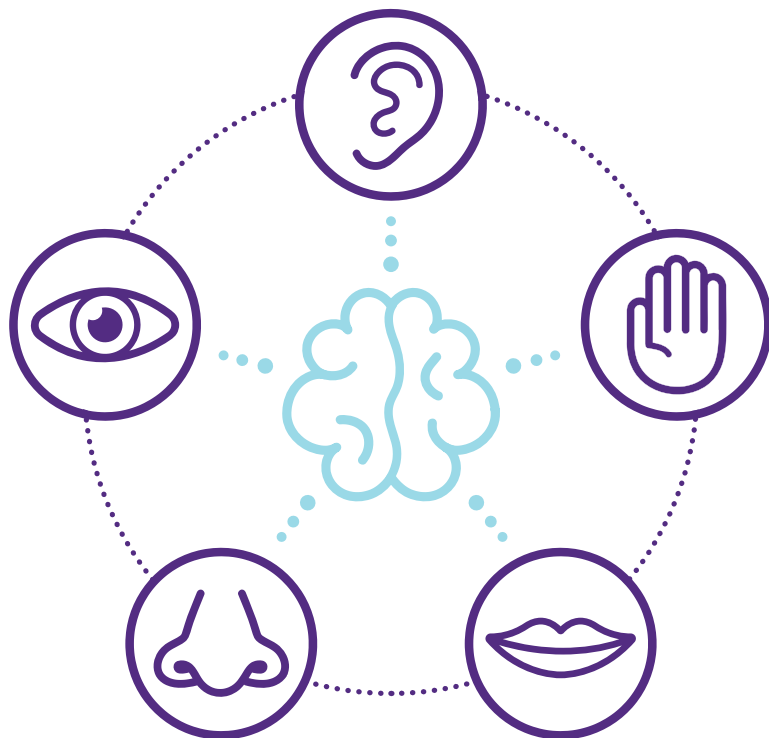


Figure : Niveau de maturité des capteurs actuels



Vision



Audition



Toucher



Goût



Odeur



²⁶ Pour une introduction générale au domaine, voir par exemple le *Chapitre 5, Sensing and Perceiving* dans <https://opentextbc.ca/introductiontopsychology/>



L'œil n'est pas une simple matrice de pixels, comme s'il s'agissait d'une caméra. Il est plus correct d'appréhender la rétine comme une surface de calcul massivement parallèle qui, en plus de la couleur et de l'intensité de la lumière incidente, extrait des mesures de contraste ou de vitesse avant de les transmettre par le nerf optique comme données hybrides.²⁷ La résolution spatiale de l'œil n'est pas uniforme ; elle se concentre dans la région centrale – la fovéa – alors que sa périphérie montre une sensibilité à la détection de mouvement, précurseur d'un danger potentiel. On estime généralement qu'une vision en excellent état possède une résolution spatiale de l'ordre de 750 microradians, soit 700 pixels vus à une distance de 25 cm. Des investissements majeurs en technologie optique et en miniaturisation permettent d'atteindre aujourd'hui une performance comparable par projection directe sur la rétine. Notons ici que la fusion temporelle exige un taux de répétition de l'ordre de 30-60 Hz. La consommation énergétique de l'œil est certainement dérisoire. Les casques actuellement disponibles offrent une résolution spatiale du même ordre, mais un problème sérieux concerne la largeur de bande nécessaire pour acheminer leur signal vidéo, avec son impact sur la consommation énergétique requise, et de là sur le poids des batteries embarquées et/ou l'inconfort de leur cordon ombilical²⁸. Dans l'ensemble, la technologie des lunettes « intelligentes » et des casques 3D n'est pas encore pleinement satisfaisante dans la fourchette <coût – performance – ergonomie> pour la plupart des besoins du grand public, d'où la couleur orange de l'icône dans la figure.

Il est important de signaler aussi que l'expérience visuelle en mode pleinement immersif 3D (VR) se montre susceptible d'induire l'inconfort et la désorientation lorsqu'elle n'est pas cohérente avec l'information de position qui provient en temps réel de notre oreille interne. Il peut en résulter une nausée qui s'apparente au mal de mer chez un nombre suffisant de sujets pour que l'on ait été obligé de suspendre des activités où elle était utilisée en support d'entraînement militaire^{29, 30}. Le mode de *réalité augmentée* AR – n'a pas ce problème, l'utilisateur demeurant dans son environnement normal par la plus grande partie de son champ visuel.

Constatant ces lacunes technologiques et les coûts qui limiteraient la diffusion du concept, Stephenson a d'ailleurs dû finalement admettre : « We don't need AR and VR to build the Metavers »³¹.

27 *What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain* (1959), https://hearingbrain.org/docs/letvin_ieee_1959.pdf a été parmi les premiers à révéler ce traitement et constitue un élément fondateur – clé de l'intelligence artificielle par réseaux de neurones.

28 Certains casques récents comportent des microcaméras internes qui détectent l'orientation de l'iris, alors utilisé comme souris virtuelle de sélection et pour adapter la fréquence de répétition de l'image en conséquence, afin de minimiser ainsi la consommation énergétique. Le casque Vision Pro d'Apple, introduit à l'été 2023, représente le summum technique actuel, avec une résolution combinée de 23 millions de pixels ; il a dû se résoudre à conserver un cordon ombilical et une alimentation externe

29 *Guidelines for Mitigating Cybersickness in Virtual Reality Systems*, MATO Technical Report HFM-MSG-323, 2021

30 *The Effects of Sensory Cues on Immersive Experiences for Fostering Technology-Assisted Sustainable Behavior: A Systematic Review*, Behavioral Sciences. 2022, 12(10), 361; <https://doi.org/10.3390/bs12100361>

31 https://www.youtube.com/watch?v=HLxRXzp_Crk



Audition

De nos 5 sens, c'est la captation et la reproduction du son qui offre le plus haut niveau de perfection, d'où la couleur verte sur son icône dans la figure. Deux avancées récentes concernent l'atténuation du bruit ambiant que l'on retrouve dans de nombreux appareils auriculaires et dans la spatialisation du son. Notre audition reconnaît bien la direction d'origine du son et il est maintenant possible de simuler la spatialisation sonore dans des environnements virtuels de géométrie arbitraire³².

Notons aussi une innovation hybride toute récente où des capteurs de vision infrarouge montés sur des lunettes utilisent l'IA pour traiter l'image en temps réel et en extraire la position des lèvres et des muscles faciaux et la transformer en commandes vocales silencieuses.³³



Toucher

Avec le toucher, nous entrons dans la zone sensorielle où l'imperfection technologique traditionnelle est passée en phase de correction rapide. Sans encore rejoindre l'agilité de la préhension humaine, les applications éventuelles en manipulation professionnelle ou industrielle – chirurgie assistée par exemple – suscitent des investissements considérables. Les préhenseurs haptiques constituent un exemple remarquable d'intégration avancée de plusieurs modalités, comme l'illustrent les produits qui seront prochainement mis en marché par la firme Haptex, lesquels utilisent des centaines de microactuateurs fluidiques.³⁴

Ceci dit, l'état de l'art est encore loin du seuil de détection de l'extrémité du doigt, capable de détecter une aspérité de l'ordre du micron³⁵. Ou de l'ergonomie du toucher que nous ressentons sur l'ensemble de notre corps, mais sur laquelle des travaux sont en cours³⁶.



Goût, odorat

Ces deux modalités jouent un rôle de grande importance dans le quotidien humain et sont absolument critiques pour la survie de certaines espèces animales. La sensibilité de nos capteurs est très variable d'un individu à un autre et certaines personnes s'en retrouvent privées après avoir contacté la Covid³⁷.

Ces modalités se distinguent par la sensibilité exceptionnelle de personnes qui opèrent dans le domaine de la parfumerie ou de la critique vinicole. Il n'en existe encore aucun langage formel – seulement des expressions ou périphrases où l'imagination doit décoder le message (qui prend parfois une forme hyperbolique) et combler l'absence de données probantes.

Leur support fonctionnel demeure peu connu. Ce n'est que tout récemment que leur structure moléculaire tridimensionnelle a été révélée³⁸. Notons cependant que l'encodage numérique du goût et de l'odorat a été étudié,³⁹ mais cette question est encore largement ignorée.

32 *Using sound to model the world*, MIT News, November 1, 2022, <https://news.mit.edu/2022/sound-model-ai-1101>

33 *EchoSpeech: AI-equipped eyeglasses can read silent speech*, <https://www.youtube.com/watch?v=ZjucAwFqVqQ>

34 <https://haptx.com/>

35 *Feeling small: Fingers can detect nano-scale wrinkles even on a seemingly smooth surface*, <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/09/130916110853.htm>. Quiconque a fait de la menuiserie le sait ...

36 <https://venturebeat.com/games/haptx-raises-23m-for-full-body-vr-touch-platform/>

37 COVID-19: des effets persistants sur le goût et l'odorat chez le tiers des personnes infectées, <https://nouvelles.ulaval.ca/2022/05/19/covid-19-des-effets-persistants-sur-le-goût-et-l-39-odorat-chez-le-tiers-des-personnes-infectees-a:56dae567-f1b8-4ca0-b09c-eb8aa7036c14>

38 Structural basis of odorant recognition by a human odorant receptor, *Nature* 615, 742–749 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05798-y>

39 *Digital taste and smell communication*, <https://eudl.eu/pdf/10.4108/icst.bodynets.2011.247067>

Et que la réalité virtualisée soit partageable et partagée

Rendre partageable et partager cette réalité (difficilement) virtualisée introduit des contraintes supplémentaires. Elles sont considérables.

Pour les comprendre, il est utile ici d'effectuer un autre retour en arrière.

Dès 1965 a le concept de l'*hypertext*⁴⁰, qui soutient la liaison de fragments de textes au moyen de liens explicites permettant de les enchaîner en un ensemble logique et de leur donner ainsi un sens commun. *Aspect capital*, cet enchaînement s'effectue selon une dynamique pilotée par l'utilisateur, par exemple dans une interface graphique et des commandes transmises par des clics de souris.

En 1989, Tim Berners-Lee, alors chercheur au CERN, propose d'exploiter la synergie entre l'hypertexte et l'internet pour engendrer un système de partage d'information. La qualité du concept engendre un succès planétaire. Avec le HTML, le *Hyper Text Mark-up Language*, il définit une structure formelle à ces fragments de texte en les encadrant par des expressions de balisage syntaxique.

Le HTML possédait cette *qualité insigne qu'il est proche du langage naturel*, accessible à toutes les langues de la planète : il est immédiatement accessible aux capacités cognitives humaines sans exiger grand apprentissage. Même sa création est relativement accessible. Sa limpidité et sa simplicité contribuent à en faire un moyen d'expression qui sera rapidement adopté par des milliards d'utilisateurs.

Dans les années qui suivent, le HTML se montrera aussi adaptable à l'intégration de l'image et du vidéo. Le domaine de l'interface personne-machine – déployé sur grande échelle – avec la recherche de qualités ergonomiques et sa notion de présence et de proximité – prend son envol. Rapidement, la diffusion HTML couvre la planète, sans avoir à confronter la lourdeur proverbiale des organisations internationales.

En le complétant par le *HyperText Transfer Protocol*, Tim Berners-Lee et la communauté qui l'accompagne créent l'architecture qui assure la robustesse du dialogue informatique client-serveur qui fonctionne en arrière-plan, dialogue transparent, essentiellement invisible à l'utilisateur.

Au début des années '90, le premier World Wide Web apparaît⁴¹, rapidement suivi de l'environnement visuel qui permet à un usager d'y accéder par la métaphore du clic et de la souris. De nombreux détails s'y ajouteront, mais pour l'essentiel la révolution informationnelle planétaire est en marche. Le changement est véritablement transformatif, autant que le fut l'invention de l'imprimerie par Gutenberg au 15^e siècle.

Si je trace à grands traits l'extraordinaire créativité technologique de cette période de la seconde moitié du 20^e siècle, c'est pour affirmer que malgré toutes les grandes avancées scientifiques qui ont surgi depuis, j'estime qu'une telle moisson a peu de chance de se reproduire. Pourquoi ce bémol ?

40 A Brief history of the hypertext, <https://medium.com/nonlinear-nonfiction/a-brief-history-of-hypertext-74400dd8984>

41 Le tout premier site www, qui remonte à 1989, est accessible ici : <http://info.cern.ch>



L'altruisme et la commercialisation

C'est que cette époque est caractérisée par une créativité qui s'épanouit avec un haut niveau d'altruisme et de vision à long terme ; les travaux sont effectués dans un cadre académique – avec la liberté intellectuelle qui l'accompagne – ou de recherche militaire de nature stratégique. Les velléités commerciales sont encore largement absentes.

Aujourd'hui ce terreau nécessaire à la créativité, le même qui a permis aussi l'éclosion de l'intelligence artificielle, s'est progressivement rétréci. Il a donné lieu à un mode où prédomine le développement applicatif, c'est-à-dire l'amélioration incrémentale des voies et moyens⁴² qui sont dirigés vers la commercialisation des idées premières. Même dans le domaine universitaire⁴³.

Le financement public des travaux fondamentaux régresse : L'évolution technique humaine est entrée dans une phase accompagnée par l'exagération des prétentions (le « hype »), où l'apparence de l'image fabriquée s'est largement substituée à la substance.

Mais cette ancienne période de créativité exceptionnelle n'était-elle pas, au fond, « anormale » ?

Je me permets de le penser, me référant à l'observation lumineuse de Daniel Kahneman sur la prépondérance de l'attraction de l'humain envers le doublet <gain tangible – à court terme>⁴⁴.

Avec la mondialisation, la compétition économique et politique, l'émergence de la noosphère et des grands assemblages corporatifs qui s'en sont suivi, cette évolution était probablement inéluctable.

Il est évident que les motivations de Meta, Google ou de Microsoft n'ont rien de commun avec celles qui se sont déroulées au CERN dans les années '90...

42 Park, M., Leahey, E. & Funk, R.J. Papers and patents are becoming less disruptive over time. Nature 613, 138–144 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05543-x>

43 Ceci est particulièrement visible dans la vague actuelle de l'intelligence artificielle « générative » où les moyens de calcul nécessaires pour l'entraînement de la machine à partir des « grands modèles de langage » sont si colossaux que seules quelques mégaentreprises peuvent se les donner. La recherche universitaire demeure, mais seulement en partenariat avec ces entreprises, d'où la crainte d'inféodation. Cette question, associée aux considérations éthiques, fait l'objet des discussions intenses.

44 *Thinking Fast and Slow*, Daniel Kahneman, Daniel, 2111

Épilogue

Zuckerberg, ayant épousé le métavers de Stephenson en 2021, y ayant investi des ressources colossales et engagé des chercheurs de haut calibre, s'est fracassé devant la complexité de la réalité, après avoir produit des simulations virtualisées que tous les observateurs ont jugé insignifiantes et ridicules.

La chose était largement prévisible.

L'histoire technologique de cette époque 2021-2023 retiendra cet échec monumental. Elle retiendra que ses efforts, déjà mis en cause par ses échecs répétés, se sont instantanément évanouis lorsque le succès de l'intelligence artificielle générative a galvanisé l'intérêt public et commercial dès le premier jour de sa publication sous la forme de l'agent ChatGPT, le 30 novembre 2022. Zuckerberg a rapidement empanné et tout de go affirmé que l'IA est au centre de son entreprise Meta ...

En passant, elle devra aussi comprendre que si le ChatGPT a obtenu un succès aussi soudain et retentissant, ce n'est pas seulement par sa technologie GPT sous-jacente, qui était connue depuis plusieurs années. C'est aussi par la remarquable ergonomie de son interface conversationnelle que l'on a comparée au dialogue socratique.

L'intelligence artificielle qui a prévalu ces dernières années, basée sur l'inférence statistique, qui confond corrélation et causalité, nous a habitués à la vérité fabriquée.

Ces déficiences se sont encore amplifiées récemment avec l'éruption de l'intelligence artificielle de type générative basée sur l'exploitation d'immenses corpus textuels et, plus récemment, d'images. L'arrivée du robot ChatGPT a capturé l'intérêt de la planète et a enclenché une course effrénée vers l'hégémonie des grands producteurs – devenus si puissants que les gouvernements se retrouvent en position de faiblesse, guère capables de défendre les grandes questions éthiques et sociales, paralysés qu'ils sont devenus par la complexification contemporaine des processus bureaucratiques de gouvernance⁴⁵.

Cette situation a suscité la mise en garde de la communauté de recherche et de la communauté civile⁴⁶. On entend aussi l'écho de la Communauté européenne. Les gouvernements canadien et américain commencent tout juste en s'en préoccuper.

De ce qui précède, le futur des dérivés simplifiés du métavers dépendra des niches retenues et de l'ergonomie de leur interface.

Au final, il est plausible que le métavers intégral laissé à lui-même aurait pu aboutir à la fabrication d'une réalité virtuelle *insidieuse*, car sa production n'aurait été accessible qu'à de grands ensembles commerciaux, seuls capables de gérer les énormes difficultés techniques que nous avons rapidement survolées. *Insidieuse* aussi parce que, diffusant une réalité *fabriquée*, il aurait pu contribuer à l'émergence d'une nouvelle pseudo-culture où le jugement critique s'estompe devant la fausse apparence. Celle où les avatars minables de *l'Horizon World* évoluent dans la peinture numérique de palmiers virtualisés en carton-pâte...

Kahneman aurait probablement anticipé cette dérive alors que les intentions initiales, comme celles de Stephenson – visaient une utilisation démocratique hautement décentralisée, conformément à la philosophie du Web3.

Proposé en 1992, épousé avec fanfare en 2021, puis écarté avec la révélation de ChatGPT en novembre 2022, le métavers *intégral* de Stephenson demeure une utopie intellectuellement stimulante. Son échec dans sa forme intégrale était prévisible. Mais sa vie commerciale se poursuit dans une multitude d'applications commerciales bien *circonscrites* alors qu'un grand nombre ont adopté l'étiquette en prenant soin de l'apparier à celle d'intelligence artificielle⁴⁷.

45 "A the moment we have enough trouble trying to manage the tech we have without obsessing about a speculative and distant future", *As AI weaponry enters the arms race, America is feeling very, very afraid*, <https://www.theguardian.com/commentisfree/2023/apr/08/ai-weaponry-enters-the-arms-race-america-is-feeling-very-very-afraid>

46 *Pause Giant AI Experiments: An Open Letter*, <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/>

47 Dans ce vaste domaine où l'hyperbole est reine, les avis divergent quant au rythme de la croissance à venir. Voir par exemple, le contraste entre l'anticipation très positive exprimée dans <https://metaverseinsider.tech/category/news/press-releases/> et le regard plus critique de *Metaverses are flopping – hard – says Gartner*, dans https://www.theregister.com/2023/06/28/metaverse_adoption_slow_gartner/



obvia

www.obvia.ca