

L'expérience de la 3D temps réel

Théophile Farant

Mémoire de M1

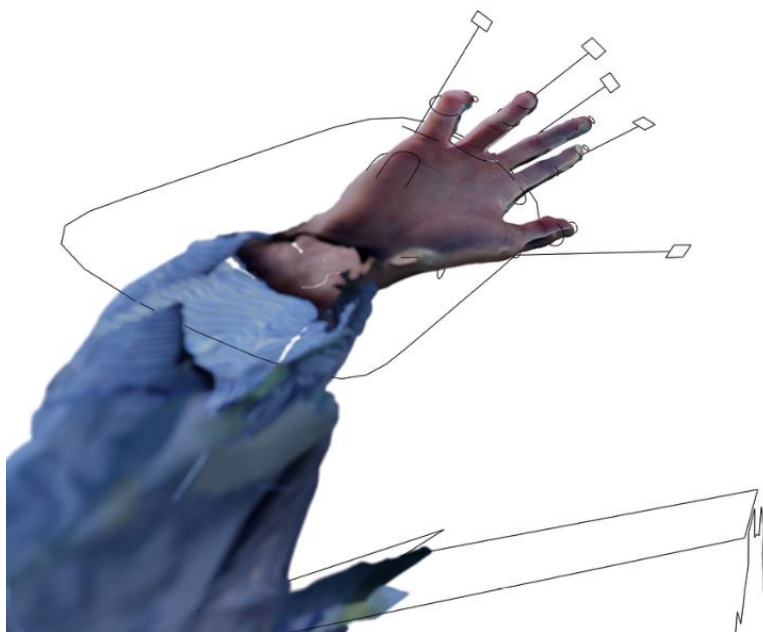


Table des matières

Introduction	3
A. En quoi consiste la 3D temps réel ?	3
B. La virtualité de la 3D temps réel	7
C. Perspectives de la 3D temps réel	10
I. Informatique : d'une reproduction fonctionnaliste à une reproduction phénoménale du réel.....	14
A. Le causalisme à l'origine du computationnel	14
B. L'émergence d'une phénoménalité numérique.....	20
C. Développement de l'imagerie 3D et de la 3D temps réel comme stade le plus avancé de la phénoménalité du numérique	25
II. La reproduction du monde phénoménal avec la 3D temps réel.....	31
A. La 3D temps réel dans une histoire de l'imitation esthétique de la nature	31
B. La reproduction de la vie	36
C. La prolongation de la subjectivité dans l'espace virtuel	41
III. La création de mondes phénoménaux avec la 3D temps réel	49
A. La conception technique des moteurs de rendu 3D en temps réel	49
B. La création artistique avec la 3D temps réel	52
C. Conception par le design.....	59
D. Conception par l'utilisation	63
IV. La 3D temps réel et la « vie bonne ».....	67
A. Aliénation technologique : la menace numérique ?	67
B. La médiation exercée par la 3D temps réel.....	73
C. Vivre et créer avec la 3D temps réel	78
Conclusion.....	85
Bibliographie.....	88

Introduction

A. En quoi consiste la 3D temps réel ?

Qu'est-ce que la 3D temps réel ? Une succession d'images numériques ? Un espace et une durée qui s'assemblent pour faire un monde ? Pour être précis il faudrait parler de « l'informatique graphique tridimensionnelle calculée en temps réel ». Selon nous, la 3D temps réel est d'abord une belle démonstration du causalisme cartésien : la recreation d'une nature algorithmique et discrète.

Avant la modernité, l'animisme régnait en maître : chaque être, chaque objet, chaque phénomène était susceptible d'être « habité », de posséder une âme propre seule responsable de ses mouvements internes. À partir de Descartes, tout change : Dieu est mis hors de la nature. Les phénomènes et les êtres vivants sont réduits à des chaînes de cause à effets : les mouvements ne sont plus que des mouvements de matière. Les âmes disparaissent de la nature et deviennent le seul apanage des humains qui se retrouvent les maîtres d'un monde passif bon à exploiter. Les autres âmes, celles du tonnerre ou d'une rivière, sont renvoyées dans le domaine des rêves et des illusions d'où elles ont l'interdiction de sortir. Certains disent que « Dieu est mort ». Aux âmes succèdent les lois physiques et biologiques : la nature est une grande horloge et les animaux sont comparés à des automates. Peu à peu se détache l'idée que tout est matière à calcul : tel événement en entraîne tel autre, c'est mécanique. Les premières machines à calculer sont construites au XVIIe siècle et se perfectionnent de modèle en modèle. À la fin de cette généalogie des machines à calculer se trouve l'ordinateur numérique. John Von Neumann, mathématicien, définit dans les années 1940 l'architecture de l'ordinateur tel que nous le connaissons aujourd'hui, machine binaire combinant inlassablement, telle un Sisyphe moderne, des suites de 0 et de 1. Le calcul binaire des « super-ordinateurs » grands comme des pièces entières est d'abord employé à faire des comptes : l'ordinateur à son commencement ne trahit pas son origine, c'est une pure machine à calculer. Mais bien vite les calculs s'affinent et s'effacent, ils s'enfoncent peu à peu sous une surface qui les dissimule à la vue du grand public. Le calcul informatique ne se laisse plus percevoir en tant que calcul. Les ordinateurs se dotent d'écrans qui affichent des images pixelisées en deux dimensions ; des images offertes à l'utilisateur qui peut interagir avec elles. Les progrès de l'informatique graphique sont significatifs à partir des années 1960, et n'en finissent plus depuis de perfectionner ce miracle : créer l'illusion de la continuité avec de

l'information discrète¹. Les ordinateurs numériques avec leur fonctionnement binaire à base de 0 et de 1 ont nécessairement un traitement discret de l'information qu'ils manipulent : ils sont capables de ne rendre de la continuité qu'une approximation, aussi précise soit-elle. Si le premier usage des ordinateurs — calculer avec des chiffres — ne posait pas de problème au bon sens, les choses ont semblé se compliquer lorsque les ordinateurs se sont mis à calculer avec de l'information de toutes sortes. Les images en sont un exemple emblématique : a priori continues et irréductibles au calcul, les images sont pourtant partout présentes sur les écrans dont le niveau de définition actuel entretient une parfaite illusion de continuité — c'est seulement lorsque l'on zoome que les pixels et leurs lignes « en escaliers » se découvrent, et la discrétisation de ressurgir.

L'informatique graphique poursuit sa course aux images – de moins en moins pixelisées, de plus en plus continues – jusqu'à l'apparition de la « 3D ». Ces « nouvelles » images, bien qu'affichées sur un écran en 2D, se distinguent des images jusqu'à là en deux dimensions en ce qu'elles sont générées à partir de données géométriques en trois dimensions. En plus des axes x et y des abscisses et des ordonnées, l'axe z de la profondeur est désormais pris en compte. Avec une telle représentation spatiale de nouvelles possibilités s'offrent à l'informatique graphique : il devient possible d'appliquer les lois de la physique au calcul des images, à commencer par celles qui régissent la lumière. À partir des années 1970, les découvertes se succèdent dans le domaine, jusqu'à la mise au point de la « rendering equation » en 1986 par David Immel et James Kajiya qui décrit la manière dont calculer les rebonds de lumière dans une scène 3D. C'est un petit miracle : la lumière, source de vie, jaillit dans les mondes virtuels. Séduisantes par leur réalisme et leur mode de fonctionnement, les images 3D remplacent progressivement la 2D dans de nombreux domaines de l'informatique graphique comme le cinéma et le jeu vidéo. Avec l'informatique graphique tridimensionnelle, il devient possible de reproduire une expérience du monde crédible à un double niveau. Le premier, le niveau de la perception, est partagé par le cinéma et le jeu vidéo qui misent tous deux sur la révolution visuelle de ces nouveaux graphismes. Le second, le niveau de l'action, est propre au jeu vidéo : quand le spectateur de cinéma est passif, le joueur de jeu vidéo peut se déplacer dans l'image et agir sur elle. « Nous tournions autour des images, maintenant nous allons tourner dans les images. » écrit Philippe Quéau, dans son livre *Le virtuel : vertus et*

¹ En mathématiques, une suite est continue si l'écart entre deux de ses termes est toujours rempli d'une infinité de nombres : dans l'ensemble $\mathbb{R}$ des nombres réels, l'écart en 1 et 2 est constitué de l'infinité des nombres compris entre 1,00000...001 et 1,999999... À l'inverse, une suite est discrète si la séparation entre deux termes consécutifs est « nette » : dans l'ensemble $\mathbb{N}$ des entiers naturels, le terme suivant immédiatement 1 est 2.

*vertiges*¹. Cette possibilité interactive nouvelle dans l'histoire des images est possible grâce au « temps réel » – pour la première fois les images s'inscrivent dans la « durée » et prennent vie. A partir des données numériques, les ordinateurs se livrent à une série d'opérations pour transcrire la description mathématique de chaque image en sa manifestation visuelle sous forme d'une trame de pixels. C'est le « calcul » ou « rendu » des images qui nécessite un temps plus ou moins long. On distingue deux grandes familles de temps de calcul : le rendu *real-time* et le rendu *offline*. Un rendu se fait en *real-time* (temps réel) si chaque image est calculée dans l'instant qui précède son affichage, permettant ainsi l'interaction : un utilisateur lance une commande et l'image à l'écran est immédiatement calculée en réaction à cette commande. Plus le temps de rendu est court, plus l'illusion est parfaite. Au contraire, le rendu *offline* (déconnecté) nécessite un long temps de calcul qui peut culminer à plusieurs jours pour une seule image.

Depuis la sortie en 1995 de *Toy Story*, premier long-métrage entièrement réalisé en 3D, l'industrie du cinéma travaille majoritairement avec un mode de rendu *offline* des images de synthèse. Le niveau de réalisme des graphismes, tutoyant le photoréalisme pour les effets spéciaux, est obtenu en contrepartie d'un temps de rendu très long – 24 heures de calcul en moyenne pour une image d'un film Pixar. La lumière est calculée avec une grande précision, les moteurs de rendu simulant le parcours de millions de rayons lumineux à travers chaque scène virtuelle pour recréer les conditions d'illumination du monde physique : lumière directe, indirecte, ombres, réflexion, réfraction... Et la lumière n'est pas la seule donnée physique prise en compte : de nombreux systèmes de simulation sont utilisés pour reproduire des phénomènes physiques comme la gravité ou la mécanique des fluides. À l'opposé du rendu *offline*, l'industrie du jeu vidéo repose sur le rendu *real-time* où chaque image est calculée dans l'instant qui précède son affichage. Ainsi, le temps de rendu de chaque image dépend du nombre d'images par seconde auquel « tourne » le jeu vidéo – 1/60e de seconde pour un défilement de 60 images par seconde. Le rendu en « temps réel » répond à l'exigence interactive du jeu vidéo. Puisqu'un éditeur de jeu ne peut pas prévoir à l'avance les actions de ses joueurs, et que le jeu est censé répondre à ces actions, il faut nécessairement que les images soient calculées en direct, en « temps réel ». Aucun problème en revanche pour le cinéma d'animation qui « pré-calculé » toutes les images d'un film avant de le diffuser. De ce fait, les images 3D pour le cinéma et pour le jeu vidéo constituent, malgré leur origine

¹ Philippe Quéau, *Le virtuel: vertus et vertiges*, Collection Milieux (Seyssel : [Paris]: Champ Vallon ; Institut national de l'audiovisuel, 1993).

commune, deux médiums qui sont livrés sur des supports différents. Les images *offline* du cinéma existent sous forme de séquences d'images ou de fichiers vidéo identiques à eux-mêmes : quel que soit le nombre de visionnages un film présente toujours exactement la même succession d'images. Les images *real-time* d'un jeu vidéo, en revanche, existent sous forme de programme exécutable : à chaque fois qu'on joue à un jeu on lance un programme et les images qui défilent sous nos yeux sont calculées dans le bref instant qui précède. À chaque nouvelle session, l'enchaînement d'images diffère plus ou moins mais n'est jamais identique. Ainsi, le jeu vidéo est plus souvent qualifié d'« immersif » que le cinéma d'animation : l'interaction prolonge l'agentivité des joueurs dans un monde virtuel qui porte en lui une marge d'indétermination.

Si les deux types de rendu des images synthèses, *offline* et *real-time*, paraissaient jusqu'à là tirer chacun leur épingle du jeu dans leur domaine spécifique, on observe un emballement très récent pour le rendu *real-time*. Les moteurs de rendu en temps réel offrent désormais les possibilités de réalisme des moteurs de rendu *offline*. L'industrie du cinéma d'animation a entamé une transition vers le temps réel, et elle n'est pas la seule puisque le cinéma en prise de vue réelle avec les tournages en « virtual production »¹ s'y met à son tour. D'une manière plus générale, l'ensemble des contenus dits « immersifs », de la *VR* (*Virtual Reality*) à l'*AR* (*Augmented Reality*) désormais combinées en *XR* (*Extended Reality*), fonctionnent avec des moteurs de rendu en temps réel. C'est à cette révolution technique que l'on doit la popularité actuelle du terme de « métavers » présenté comme un monde virtuel au-delà du « monde réel ». Dans certains discours tenus par les grandes entreprises du *web 2*, à commencer par *Meta* qui s'est rebaptisée à l'occasion, ce monde virtuel semble entrer en compétition avec le monde physique et l'on a parfois l'impression, à écouter les keynotes de *Meta*, que nous finirons par nous débarrasser de notre corps. Effrayante et fascinante à la fois, cette perspective excite les fantasmes et peine à choisir entre l'utopie et la dystopie. Ce qui ressort c'est la comparaison avec le monde physique, dit « réel », que le « virtuel » viendrait augmenter, selon les défenseurs, ou remplacer, selon les détracteurs. L'enjeu des contenus immersifs en temps réel semble donc être la capacité à créer une expérience sensorielle crédible dans un monde virtuel. Mais que signifie ce virtuel ?

¹ Les acteurs jouent devant des « LED-wall », écrans géants dont l'affichage d'un décor virtuel est calculé en temps réel selon les mouvements de la caméra physique sur le plateau.

B. La virtualité de la 3D temps réel

Le terme « virtuel » sert souvent de synonyme au « numérique » dans le langage usuel. À plus forte raison encore, ce « virtuel » désigne les simulations visuelles de l'informatique graphique. Les images générées par ordinateurs souffrent d'une ambiguïté dans la manière dont elles sont perçues. Une image numérique affichée sur un écran LED n'a assurément pas la corporalité d'une photographie imprimée ou d'un tableau dont on voit à l'œil nu l'enchevêtrement des coups de pinceau – on sent la matière et sans même la toucher on est en mesure d'en éprouver la rugosité. Rien de tel pour l'image numérique condamnée, quelle que soit sa nature et son origine, à la platitude lisse et désincarné de l'écran. Et le problème s'épaissit lorsqu'on remonte une étape en amont à la source de l'image numérique. L'écran est neutre et ne nous apprend rien – il anonymise en quelque sorte les images – mais il a un corps, une matérialité. Le fonctionnement d'un écran demeure dans le royaume du physique ; on en comprend aisément son principe fonctionnel : sous chaque pixel de l'écran, logent trois diodes correspondant aux trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu) qui s'allument à tour de rôle selon la couleur du pixel en question, avec des millions de diodes qui s'illuminent il est possible de reconstruire des images détaillées. Mais d'où provient l'ordre qui décide laquelle des trois diodes s'allume ? Que se passe-t-il en amont de l'écran ? En amont de la matière ? D'où vient l'image numérique ?

La présence de telle couleur à tel endroit sur un tableau s'explique aisément par l'action mécanique de la main du peintre qui a plongé son pinceau dans l'amas de la couleur répandue sur sa palette et l'a ensuite appliqué à l'endroit désiré sur la toile. Comment expliquer la présence de telle couleur à tel endroit de l'écran ? L'image numérique souffre d'un défaut de clarté dans son fonctionnement, une sorte d'opacité qui dissimule sa « machinerie »¹ à l'utilisateur. Bruno Latour utilise le terme de « boîte noire » pour désigner l'opacité dont fait preuve une technologie fonctionnelle qui ne laisse transparaître que son *input* et son *output* mais non le cœur de son fonctionnement². Du fait de cette opacité, la « source » des images numériques apparaît voilée d'un mystère ontologique. Quel est l'être de ces images impalpables et inexplicables ? La solution la plus aisée et la plus répandue

¹ Expression du philosophe de la technologie Albert Borgmann

² « When a machine runs efficiently, when a matter of fact is settled, one need focus only on its inputs and outputs and not on its internal complexity. Thus, paradoxically, the more science and technology succeed, the more opaque and obscure they become. » Bruno Latour (1999). *Pandora's hope: essays on the reality of science studies*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. p. 304.

consiste à les qualifier de « virtuelles » selon une définition qui les oppose au « réel ». D'une ignorance de leur fonctionnement on conclut à leur inexistence : les images numériques n'auraient pas de réalité. Formulée de cette manière, la « virtualité » de l'informatique graphique exhibe son absurdité. Comment, en effet, nier toute existence à ces images qui nous accompagnent au quotidien, ces images qui font désormais office de supports de nos vies, avec lesquelles nous travaillons, nous divertissons, nous communiquons mais aussi avec lesquelles nous perdons notre temps ? Et la question prend une nouvelle dimension avec la 3D et les mondes « virtuels immersifs » comme ceux du jeu vidéo. Qu'en est-il de la perception d'un corps plongé dans un espace « virtuel », en tant que ce « virtuel » renvoie à une absence de réalité ? Qu'en est-il de la perception d'un « joueur » plongé dans un tel monde virtuel par le biais d'un avatar (un personnage ou même une simple caméra) ? Est-ce qu'il se dissout dans le virtuel ? Est-ce que son existence glisse dans le néant ? Ce qui intrigue tant dans le « virtuel » numérique c'est son caractère éthéré, insaisissable, et pourtant bien présent. On sent que quelque chose pose problème : à l'immatérialité et au mystère des origines répond l'omniprésence agentive et visuelle des images numériques. Le « virtuel » numérique est souvent utilisé par opposition au « réel », mais cette opposition semble infondée. Elle tient plus simplement à une mauvaise définition du « virtuel ». Dans son livre *L'être et l'écran*¹, Stéphane Vial revient sur différentes définitions du virtuel pour éclairer la confusion. Il examine la définition philosophique d'Aristote qui distingue deux faces du réel : le virtuel et l'actuel. Ainsi dans *Métaphysique* peut-on lire :

La notion d'acte que nous proposons peut être élucidée par l'induction, à l'aide d'exemples particuliers, sans qu'on doive chercher à tout définir, mais en se contentant d'apercevoir l'analogie : l'acte sera alors comme l'être qui bâtit est à l'être qui a la faculté de bâtir, l'être éveillé à l'être qui dort, l'être qui voit à celui qui a les yeux fermés mais possède la vue, ce qui a été séparé de la matière à la matière, ce qui est élaboré à ce qui n'est pas élaboré. Donnons le nom d'acte au premier membre de ces diverses relations, l'autre membre, c'est la puissance.²

Selon Aristote, le virtuel est de l'actuel en puissance, du possible qui attend d'être actualisé. Ceci doit nous mener à deux conclusions. La première, c'est que le virtuel n'est pas opposé au réel, il est une dimension du réel. La seconde, c'est que le virtuel s'oppose à

¹ Stéphane Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception*, Hors collection (Paris, Presses Universitaires de France, 2013)

² Aristote, *Métaphysique*, Paris, Vrin, 1991, livre 8, 6, 1048 a 35-b 5.

l'actuel, il est en puissance et non en acte. Or cette définition du virtuel ne semble pas s'appliquer à l'informatique graphique et en particulier à la 3D temps réel. Les images numériques n'existent pas au simple état mental, dans l'esprit d'un joueur de jeux vidéo, mais elles se déroulent bien sur un écran devant ses yeux, et lorsqu'il actionne le joystick de sa manette, le joueur peut constater une réaction à l'écran : le virtuel de la 3D temps réel comporte en fait de nombreuses caractéristiques de l'actuel aristotélicien. C'est la conclusion à laquelle aboutit Stéphane Vial qui ne retient que la définition du « virtuel informatique », la seule pertinente pour notre sujet :

Le virtuel informatique, c'est donc le simulationnel au sens technique du terme, c'est-à-dire en tant que résultat d'une manipulation programmable de l'information. Il ne faut pas le confondre avec le simulacre, qui nous ramènerait dans la caverne platonicienne des mensonges et des mirages, réduisant la technicité objective du virtuel à une métaphysique fantasmée de l'illusion. Le simulationnel, au contraire, est entièrement réel : on en relève des applications concrètes dans l'efficacité opérationnelle du simulateur de vol, la précision scientifique du logiciel de conception assistée par ordinateur, le réalisme incroyable du jeu vidéo. Le plus souvent ignorée, en particulier par tous ceux qui aiment la confondre avec quelque métaphysique de l'irréel, cette acception strictement technique du terme « virtuel » est la seule qui soit objectivement recevable, et par conséquent la seule que nous retiendrons.¹

Le virtuel auquel on fait référence lorsqu'on parle des simulations visuelles de l'informatique graphique, c'est donc le virtuel informatique ne devant son qualificatif de « virtuel » qu'à sa programmabilité et non à une quelconque irréalité. La 3D temps réel n'est pas une pure idée : il lui faut tout un appareillage matériel pour fonctionner, elle se manifeste visuellement sur un écran et elle permet l'action. Mais cette réponse apportée concernant la virtualité de la 3D temps ne parvient pas entièrement à dissiper le mystère ontologique. Comment classer ces mondes virtuels numériques qui, s'ils penchent certes du côté du réel en actes, n'en conservent pas moins un statut ontologique étrange : ils semblent flotter entre deux mondes, entre deux régimes de réalité sans parvenir à choisir. En négatif semble se dessiner la querelle classique qui oppose idéalisme et empirisme. La 3D temps réel existe en corps, et en ce sens elle est du côté de l'empirisme, mais elle existe tout autant par sa dimension computationnelle et mathématique, rétablissant la balance avec l'idéalisme. Sans compter

¹ Stéphane Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception*, op. cit., p. 159

enfin sur sa dimension d'image dont le statut est toujours sujet à débat. La 3D temps réel pose donc problème quant à son régime de réalité. De quel côté la balance penche-t-elle ?

C. Perspectives de la 3D temps réel

La 3D temps réel est d'abord une expérience, elle est tournée toute entière vers l'utilisateur qui regarde ses images défiler et qui s'immisce en elles pour les co-crée. Sensuelles tout autant qu'immatérielles, les images numériques en 3D se laissent difficilement saisir. Quel genre d'expérience en découle ? Est-ce une expérience corporelle ? Ou bien est-ce une expérience qui, justement, se fait sans corps ? Une expérience détachée du corps ? En effet, la 3D temps réel comporte une part d'immatérialité : il y a quelque chose du flottement et de l'abstraction dans ces mondes virtuels qu'on pénètre après avoir, semble-t-il, déposé son corps physique sur le seuil. Mais le corps est-il complètement absent du virtuel numérique qui, rappelons-le, tient plus de l'actuel que du virtuel. Ces mondes ont justement la particularité d'être en trois dimensions : ce sont des espaces dans lesquels on peut se déplacer et agir, ce sont des espaces à habiter. Or la perception d'un espace tout comme l'action sont des notions inséparables du corps. Dès lors, quelle est la place du corps dans l'expérience de la 3D temps réel ?

Maurice Merleau-Ponty semble apporter une réponse intéressante avec la phénoménologie en offrant la description d'un *être-au-monde* qui s'effectue d'abord par l'existence dans un corps. Dans l'introduction de la *Phénoménologie de la perception*¹, Maurice Merleau-Ponty cherche à rendre tout son caractère à la perception souvent malmenée dans l'histoire de la philosophie. Elle est abandonnée au milieu d'un champ de bataille sur lequel s'affrontent empirisme et intellectualisme. Pour le phénoménologue, l'empirisme postule qu'il n'y a pas de formes *a priori* dans l'esprit du sujet qui perçoit, et qu'ainsi les formes doivent être cherchées dans l'objectivité du réel qui s'offre à l'expérience. L'intellectualisme, au contraire, postule qu'il n'y a pas de formes dans le réel et que c'est l'entendement qui, possesseur *a priori* de ces formes, effectue le travail de mise en forme du réel. Mais, écrit Merleau-Ponty, « l'empirisme ne voit pas que nous avons besoin de savoir ce que nous cherchons sans quoi nous ne le chercherions pas, et l'intellectualisme ne voit pas que nous avons besoin d'ignorer ce que nous cherchons, sans quoi de nouveau nous ne le

¹ Maurice Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception* (Paris, Editions Gallimard, 2013).

chercherions pas. »¹. Ce qui manque à l'un comme à l'autre, c'est une dimension d'intériorité. Dans les deux cas de l'empirisme et de l'intellectualisme, le monde est toujours purement extérieur au sujet qui le perçoit, toujours pure objectivité. Il est toujours question de « saisir » un réel au-delà des apparences, le « vrai au-delà de l'illusion ». Dès lors, Merleau-Ponty se prête à la défense de cette « illusion » : « Sentir, c'est se remettre à l'apparence, sans chercher à la posséder et à en savoir la vérité. »². Il y a quelque chose de tangible dans l'« illusion » perçue, une intériorité qui dépasse le double problème de l'empirisme et de l'intellectualisme : « la perception est justement cet acte qui crée d'un seul coup, avec la constellation des données, le sens qui les relie — qui non seulement découvre le sens qu'elles ont mais encore fait qu'elles aient un sens. »³. La phénoménologie met donc de côté la poursuite d'un « vrai au-delà de l'illusion » pour réhabiliter la perception dans ce qu'elle est purement et simplement : subjective et ancrée dans un corps. La 3D temps réel semble se prêter particulièrement à une étude phénoménologique. Pourtant, le lien entre phénoménologie et 3D temps réel n'est pas évident au premier abord. La perception des phénomènes repose sur le corps. La phénoménologie c'est l'expérience vécue du corps dans un monde. Dans l'introduction du recueil de textes *Philosophie du corps*⁴, Bernard Andrieu écrit : « Écosophique, la philosophie du corps comprend le monde comme une partie du corps et le corps comme une partie du monde. »⁵ La phénoménologie, qui est avant tout une philosophie du corps, présuppose un corps plongé dans un monde où le corps, accompagné de ses sens, constitue une sorte de médiateur contribuant à la constitution d'un être-au-monde. Or, si le virtuel numérique est immatériel, il est bien perçu par le corps. C'est par l'écran, et son affichage graphique, que l'informatique se dote d'une phénoménalité dont la 3D temps réel est sans doute la manifestation la plus convaincante. En partant d'une reproduction fonctionnaliste du réel, l'informatique a évolué vers une reproduction phénoménale avec les premières interfaces graphiques puis les moteurs de jeu vidéo et la 3D temps réel. Cette technologie constitue le stade le plus avancé de l'investigation du champ phénoménal par l'informatique et montre que, loin d'être purement virtuelles, les images numériques 3D possèdent une réalité qui intéresse le corps. C'est l'objet de la première partie.

¹ *Ibid.*, p. 52

² *Ibid.*, p. 59

³ *Ibid.*, p. 61

⁴ Bernard Andrieu, *Philosophie du corps: expériences, interactions et écologie corporelle*, Textes clés (Paris: J. Vrin, 2010).

⁵ *Ibid.*, p. 58

Le virtuel numérique, en tant que simulation graphique, constitue la manifestation phénoménale de ce qui se passe au niveau nouménal avec le traitement de l'information : c'est en quelque sorte la surface de la « black-box » de Latour. La 3D temps réel s'inscrit dans une histoire moderne de l'imitation de la nature par l'art, la science et la technique. L'art occidental classique vise une reproduction de la nature, tout comme la science moderne qui cherche à en susciter des manifestations phénoménales pour mieux la comprendre et pouvoir la reproduire avec la technique. La 3D temps réel constitue un exemple concret de la triple alliance de l'art, de la science et de la technique dans la reproduction de la nature, à l'image de la perspective ou de l'anatomie à la Renaissance. Le but poursuivi de la 3D temps réel ne réside donc pas dans une reproduction du réel en lui-même mais dans une reproduction de sa phénoménalité : il s'agit avant tout de donner l'illusion, d'avoir recours au « trompe-l'œil »¹. La question ontologique de l'être importe alors moins que la question pragmatique de l'expérience. En cela, la phénoménologie et la post-phénoménologie² ouvrent des voies intéressantes pour l'étude de la reproduction de l'expérience du monde par la 3D temps réel. C'est l'objet de la deuxième partie.

Mais la 3D temps réel ne se borne pas à l'imitation de la nature : elle contribue à en créer une nouvelle. Gérard Berry, chercheur en informatique, distingue l'informatique des autres sciences par sa dimension créatrice³. La physique ou la biologie sont des sciences d'observation, l'informatique est une science de création. Le virtuel numérique est un réel malléable qui n'est pas donné d'avance mais qui, au contraire, est à inventer. Le rôle du concepteur est majeur : il s'agit de mettre en forme un régime d'expérience phénoménale nouveau. La dimension créative est au centre des nouveaux mondes de la 3D temps réel. Elle inaugure un type de création artistique, scientifique et technique dans lequel le créateur est comme un dieu à l'origine d'un rapport au monde, voire d'un monde nouveau. C'est l'objet de la troisième partie : étudier la dimension créatrice de la 3D temps réel à travers différents profils de créateurs –l'ingénieur, l'artiste, le designer et l'utilisateur.

¹ Marie-Paule Cani, « Mondes virtuels : genèse des nouveaux mondes », in *La Création, Le Temps des savoirs* (Odile Jacob, 2005), 97-110, <https://doi.org/10.3917/oj.rouss.2005.01.0097>.

² La postphénoménologie présente l'intérêt par rapport à la phénoménologie de ne pas chercher à défendre une ontologie. Peter-Paul Verbeek dans *What Things Do* défend une approche qui consiste non pas à décrire les lois universelles et objectives qui régissent la réalité mais à proposer un cadre théorique pour envisager les différentes faces de la réalité.

³ Gérard Berry (2019, 23 janvier). » Où va l'informatique ? » [Conférence]. Où va l'informatique ?, Collège de France, <https://www.college-de-france.fr/agenda/cours/ou-va-informatique/ou-va-informatique>

Mais ce caractère de nouveau monde fascine comme il effraie. La 3D temps réel donne un nouveau souffle aux fantasmes technophobes d'une technologie fausse et aliénatrice. Ces critiques, notamment portées par Heidegger, prennent une dimension particulière avec le virtuel numérique qui, du fait de son ambiguïté, on l'a vu précédemment, apparaît comme une menace pour la réalité même. Dans les critiques du « virtuel », en tant que mal du XXI^e siècle et menace pour la jeunesse, il y a l'idée largement répandue d'une déconnexion du réel, d'un monde virtuel hermétique au réel. Poussées à leur paroxysme, ces critiques expriment la crainte d'un remplacement du réel, c'est-à-dire de l'ancien monde corporel qui existe sous le soleil, par le virtuel – un monde froidement logique et inorganique. Mais on a vu à quel point cette conception simpliste est imputable à une mauvaise définition du virtuel. Bien réelles, les images de la 3D temps réel ne sont pas hors du monde ou contre le monde, mais en lui et pour lui. A l'instar de la « réalité augmentée » nous devons nous interroger sur les manières dont cette technologie peut « augmenter » notre expérience du monde. Latour parle d'une « médiation » exercée par les objets techniques. Quel rôle la 3D temps réel peut-elle jouer dans cette médiation ? Peter-Paul Verbeek, dans son ouvrage *What Things Do*¹, livre une définition du design post-phénoménologie centrée sur la participation de la technologie à la mise en forme du monde. Avec cette approche centrée sur la relation *humain-technologie-monde*, les dimensions expérientielles et créatives de la 3D temps réel invitent à requalifier la question ontologique en question éthique : au lieu de chercher ce qui est, il convient plutôt de se demander ce qui doit être. Finalement, la 3D temps réel pourrait nous aider à apporter une réponse à la question de la « vie bonne ». Comment bien vivre avec la 3D temps réel ? C'est l'objet de la quatrième partie.

À travers ces quatre parties, nous espérons définir plus clairement en quoi consiste l'expérience de la 3D temps réel, et en particulier concernant sa dimension corporelle pas évidente à priori. Que peut-elle nous apprendre de notre rapport au monde moderne ? Et de quelle manière pourrait-elle inaugurer une nouvelle façon d'être au monde ?

¹ Peter-Paul Verbeek, *What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design* (University Park, Pennsylvania State University Press, 2005).

I. Informatique : d'une reproduction fonctionnaliste à une reproduction phénoménale du réel

A. Le causalisme à l'origine du computationnel

La reproduction numérique du monde est une héritière de la conception causale : si le monde n'est qu'une suite de causes à effet alors il est entièrement calculable et rien n'empêche sa reproduction par le computationnel. C'est cette croyance qui est à l'origine de l'informatique, science du traitement rationnel de l'information.

L'ancêtre de l'ordinateur c'est la machine à calculer. Dans les années 1640, Pascal fabrique la *Pascaline* qui est considérée comme la première machine à calculer. Cette invention marque une rupture avec les nombreux outils pour le calcul qui avaient été conçus jusque-là dans la riche histoire de l'humanité. Howard Aiken, informaticien américain, en offre un bon aperçu dans son article *Proposed automatic calculating machine*¹, présenté à IBM en 1937, pour la construction de l'ASCC²:

Le désir d'accélérer le calcul mental et d'en réduire l'effort intellectuel, ainsi que celui d'éliminer les erreurs dues à la faillibilité de l'esprit humain, est probablement aussi vieux que l'histoire des mathématiques. Ce désir engendra la création et la construction d'abaques de toutes sortes, commençant avec le groupement de petits objets, comme des cailloux, utilisés initialement en petits tas, puis utilisés comme compteurs sur des planches compartimentées et enfin coulissant sur des fils montés dans un cadre comme dans le boulier. Cet instrument fut vraisemblablement inventé par les Sémites, puis adopté en Inde, d'où il se propagea à l'Ouest vers l'Europe et à l'Est vers la Chine et le Japon. Après le développement du boulier, il n'y eut aucune amélioration des abaques jusqu'à l'invention par John Napier de ses bâtons, ou réglettes de Neper, en 1617. Ces réglettes furent incorporées dans des instruments de formes diverses, parfois approchant le début de la mécanisation du calcul, mais c'est Blaise Pascal qui nous donnera la première machine à calculer au sens du terme que nous utilisons aujourd'hui.

L'invention de la *Pascaline* ouvre la voie au calcul mécanique. De nombreuses machines suivent comme celle de Leibniz mais c'est véritablement avec la conception dans

¹ Howard Hathaway Aiken, « A Proposed Automatic Calculating Machine (1937) », in *Ideas That Created the Future: Classic Papers of Computer Science*, éd. par Harry R. Lewis (The MIT Press, 2021), 0, <https://doi.org/10.7551/mitpress/12274.003.0009>.

² « The Harvard Mark I, or IBM Automatic Sequence Controlled Calculator (ASCC), was a general-purpose electromechanical computer used in the war effort during the last part of World War II. » « Harvard Mark I », in *Wikipedia*, 17 mars 2023, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Harvard_Mark_I&oldid=1145072429.

les années 1830 de la machine analytique du mathématicien anglais Charles Babbage qu'un nouveau pas est réalisé en direction de l'ordinateur. Babbage réutilise les cartes perforées des métiers à tisser Jacquard et conçoit ainsi la première machine à calculer programmable. Ada Lovelace, fille du poète Byron, écrit en 1843 un programme destiné à la machine de Babbage et devient ainsi la première programmeuse informatique de l'histoire. En 1936, Alan Turing développe le concept mathématique de « machine de Turing », une machine virtuelle capable de résoudre n'importe quel algorithme. L'ingénieur américain Raymond Kurzweil décrit la machine de Turing comme « capable de résoudre n'importe quel problème qui peut être résolu par une machine »¹. Cette idée de machine à calculer universelle est considérée comme l'un des piliers fondamentaux de l'ordinateur numérique. En partant de ce principe, l'ordinateur constitue la machine à calculer ultime, en mesure de résoudre n'importe quel calcul. Les ordinateurs sont ainsi d'abord considérés comme des « super-calculateurs » occupés à la résolution d'opérations de plus en plus complexes. À partir des années 1940, leur usage commence à se répandre de manière industrielle comme l'ASCC d'IBM. Stéphane Vial décrit cette démocratisation du numérique comme la seconde phase de la machinisation :

Dans sa première forme historique, la machinisation est la mécanisation. Il s'agit de remplacer l'effort corporel et les opérations manuelles par des machines mécaniques, c'est-à-dire des appareils de métal, motorisés ou automatisés. Dans sa seconde forme, la machinisation est la numérisation. Il s'agit de remplacer l'effort intellectuel et cognitif par des machines numériques, qui traitent de l'information de manière massivement automatique.²

En secondant les humains dans l'effort intellectuel, les ordinateurs font franchir à la machinisation un cap symbolique puisqu'elle pénètre le plus haut lieu de l'humanité, la conscience. En investiguant ainsi le champ cognitif, le numérique poursuit la désacralisation du monde entamée au début de l'ère moderne. En rupture avec l'animisme qui le précédait, le naturalisme moderne cherche les causes tangibles derrière les prétendus « miracles ». Le tonnerre n'exprime pas la colère de Dieu mais résulte d'un processus météorologique, l'humain n'est pas apparu tel quel mais est le résultat d'une longue et lente évolution... En posant les fondements du causalisme moderne, c'est-à-dire un causalisme régi par des lois générales immuables, Descartes ouvre la porte à un monde sans Dieu, un monde dans lequel

¹ John Von Neumann et Ray Kurzweil, *The computer & the brain*, 3rd ed (New Haven, Conn. ; London: Yale University Press, 2012).

² Stéphane Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception*, Hors collection (Paris cedex 14: Presses Universitaires de France, 2013), 68, <https://www.cairn.info/l-etre-et-l-ecran--9782130621706.htm>.

l'immatériel semble prendre de moins en moins de place. À partir du XVII^e siècle, tout phénomène de la nature devient explicable par une cause elle-même effet d'une autre cause, etc... Dieu qui, jusque-là, était présent derrière chaque événement, se trouve soudain rejeté hors de la nature et réduit à la seule cause première. En redéfinissant son pouvoir, Descartes appauvrit considérablement la puissance de Dieu, sans d'ailleurs vraiment l'avoir fait exprès. Dieu est nommé « grand horloger » de l'univers. L'analogie de l'horloge est significative : après avoir minutieusement conçu le mécanisme délicat de la nature, il suffit au « grand horloger » de « donner une chiquenaude pour mettre le monde en mouvement »¹, selon les mots de Pascal, et de se retirer à jamais. Descartes développe dans le *Discours de la méthode*², la fameuse analogie des animaux et des automates qui, dans le monde moderne, n'ont plus rien d'animal au sens étymologique (*animal* provient du latin *anima* « souffle de la vie, principe vital »). Avec le causalisme cartésien, il n'y a plus d'impossibilité de principe à imaginer un animal d'un point de vue purement fonctionnel, amas de d'organes et d'os qui fonctionnent comme les rouages et l'armature d'une machine :

S'il y avait de telles machines qui eussent les organes et la figure d'un singe, ou de quelque autre animal sans raison, nous n'aurions aucun moyen pour reconnaître qu'elles ne seraient pas en tout de même nature que ces animaux.³

C'est de cette conception mécaniste qu'hérite l'informatique : le monde est, tel un programme, réductible à une suite de causes à effet régi par des grandes lois générales. En d'autres termes, le monde est réductible à une suite de calculs. Ainsi, s'ils sont d'abord présentés comme des machines à calculer universelles, les ordinateurs ont dès leur origine une prétention bien plus large que celle d'être de simples supercalculateurs, ou plutôt c'est le calcul en lui-même qui vise une application allant bien au-delà des opérations de comptabilité. On l'a vu, la modernité porte en elle l'idée d'un monde entièrement calculable : les ordinateurs sont, plus que n'importe quelle autre machine, emblématique de la prétention des modernes. Les machines de Turing universelles sont censées pouvoir calculer tout ce qui est calculable, or si l'on pousse à son paroxysme le paradigme moderne, tout ce qui est calculable

¹ « Je ne puis pardonner à Descartes : il aurait bien voulu dans toute sa philosophie, se pouvoir passer de Dieu ; mais il n'a pu s'empêcher de lui faire donner une chiquenaude pour mettre le monde en mouvement ; après cela, il n'a plus que faire de Dieu. » Pensées, 77, Pascal

² René Descartes, *Discours de la méthode*, GF 1091 (Paris: Flammarion, 2000).

³ *Ibid.*, p. 92

c'est Tout, l'ensemble de l'univers et tout ce qui l'habite. L'informatique constitue bel et bien la poursuite du rêve de Descartes et son dépassement. Si Descartes démontre, par une expérience de pensée, qu'il n'y a pas d'impossibilité logique à concevoir un animal comme un automate, il ne franchit pas la ligne rouge de la conscience humaine, ce qui aurait équivalu à nier l'âme :

Car, on peut bien concevoir qu'une machine soit tellement bien faite qu'elle profère des paroles, et même qu'elle en profère quelques-unes à propos des actions corporelles qui causeront quelque changement en ses organes : comme, si on la touche en quelque endroit, qu'elle demande ce qu'on lui veut dire ; si en un autre, qu'elle crie qu'on lui fait mal, et choses semblables ; mais non pas qu'elle les arrange diversement, pour répondre au sens de tout ce qui se dira en sa présence, ainsi que les hommes les plus hébétés peuvent faire.¹

Pour Descartes, un humain ne saurait être comparé à un automate. Or c'est bien à ce tabou que s'attaque très tôt l'informatique avec la volonté de concevoir une « intelligence artificielle ». Dans l'ouvrage écrit en 1957, *The computer and the brain*², John Von Neumann, mathématicien considéré comme l'un des pères fondateurs de l'informatique, fait l'analogie entre le système nerveux et un ordinateur selon une approche fonctionnaliste : un neurone fait la même chose qu'un transistor en transmettant une information binaire (allumé ou éteint). Ainsi Von Neumann écrit-il : « Le signal nerveux peut clairement être considéré comme un marqueur (à deux valeurs) dans le sens évoqué précédemment : l'absence de signal représente alors une valeur (par exemple, le chiffre binaire 0), et la présence d'un signal représente l'autre valeur (par exemple, le chiffre binaire 1) »³. Ce qui lui permet de conclure : « les neurones apparaissent [...] comme l'organe logique de base - et donc aussi comme les organes numériques de base »⁴. Le cerveau est numérique, les neurones font office de connecteurs logiques : « si un neurone est contacté (par l'intermédiaire de ses synapses) par les axones de deux autres neurones, et si son exigence minimale de stimulation (pour évoquer une impulsion de réponse) est celle de deux impulsions entrantes (simultanées), alors ce neurone est en fait un organe « et » [...]. Si, par contre, l'exigence minimale est seulement l'arrivée (au

¹ Ibid.

² Von Neumann et Kurzweil, *The computer & the brain*.

³ « The nervous pulse can clearly be viewed as (two-valued) markers in the sense discussed previously: the absence of a pulse then represents one value (say, the binary digit 0), and the presence of one represents the other (say, the binary digit 1). », *Ibid.*, p. 43

⁴ « the neurons appear [...] as the basic logical organ – and hence also as the basic digital organs », *Ibid.*, p. 54

moins) d'une impulsion, le neurone est un organe « ou ». »¹ A travers ces quelques lignes, Von Neumann exprime clairement le paradigme fonctionnaliste à la base de l'informatique en s'attaquant au symbole le plus fort : le cerveau humain, siège de sa conscience. Il s'agit ici de réduire le réel à un ensemble de fonctions permettant d'obtenir des « effets-images » à partir de « causes-antécédents ». Ce texte considéré comme l'un des textes fondateurs de l'informatique, écrit par un chercheur ayant joué un rôle majeur dans le développement des premiers ordinateurs dans les années 1930 et 1940, expose clairement les ambitions de cette science nouvelle du traitement de l'information. Dans sa reproduction fonctionnaliste du réel, le calcul binaire s'avère de plus en plus convaincant à mesure que les ordinateurs évoluent et qu'ils résolvent des opérations de plus en plus complexes, si complexes qu'elles tendent à faire oublier la dimension calculatoire. Le calcul arithmétique et le système binaire réduisant l'informatique numérique à manipuler deux chiffres seulement, le 0 et le 1, apparaissent trop simples pour expliquer les « miracles » produits par l'ordinateur. L'usage du terme « intelligence artificielle » est un exemple significatif du fantasme que suscitent les ordinateurs et de l'oubli qu'ils fonctionnent sur un mode purement calculatoire. L'avantage de *Deep Blue*, l'intelligence artificielle d'IBM qui battit le champion du monde d'échecs Garry Kasparov en 1996, loin de résider dans une prétendue « intelligence », était à chercher plutôt du côté de sa formidable capacité de calcul. Avec 10 millions de coups calculés à l'avance, aucun humain, pas même Kasparov n'était en mesure de résister. Les choix de l'ordinateur n'étaient donc en rien guidés par une quelconque intelligence ou intuition mais reposaient plus prosaïquement sur des calculs de probabilités. On le voit, cette « intelligence » artificielle correspondait en réalité à une conception bien éloignée d'une intelligence transcendante ayant recours à une entité hors de la matière telle que l'âme ou la conscience. *Deep Blue* était une intelligence « bête » et dénuée d'intentionnalité, une intelligence aveugle. Mais plus récemment, de nouveaux modèles d'IA ont vu le jour, basés sur des réseaux de neurones et l'apprentissage profond (*deep learning*). Poursuivant l'analogie avec le cerveau, les « réseaux de neurones » sont des reproductions numériques des neurones humains. Ils fonctionnent en couches superposées, chaque couche héritant de la couche précédente et transmettant une information enrichie à la couche suivante. Ainsi, dans l'exemple d'une IA exercée à la reconnaissance d'images, s'il s'agit de reconnaître la photo d'un éléphant, on peut imaginer

¹ « If a neuron is contacted (by way of their synapses) by the axons of two other neurons, and if its minimum stimulation requirement (in order to evoke a response pulse) is that of two (simultaneous) incoming pulses, then this neuron is in fact an « and » organ [...]. If, on the other hand, the minimum requirement is merely the arrival (at least) of one pulse, the neuron is an « or » organ. », *Ibid.*

que la première couche de neurones identifie des pixels, la seconde des lignes, la troisième des formes et ainsi de suite jusqu'à la dernière couche qui reconnaît l'éléphant. Par ailleurs, ces IA sont souvent mises en compétition avec un réseau de neurones adverse qui cherche à l'induire en erreur, favorisant l'apprentissage profond. *Deep Blue* connaissait les règles des échecs qui avaient été renseignées par ses programmeurs, *Alpha Go* l'IA plus récente de Google également exercée aux échecs et basée sur la méthode du *deep learning*, en a déduit elle-même les règles en perdant et en gagnant de nombreuses parties. La méthode du *deep learning* et des réseaux de neurones semblent rapprocher un peu plus l'informatique de la démonstration d'un monde purement matériel, vidé de toute âme. Mais l'écart qui la sépare encore de cette preuve pourra-t-il être réduit un jour ? Le « trou d'être » pourra-t-il être bouché ? À juste titre, Pascal rappelle que ce qui manque à la machine arithmétique, celle de son époque comme celle d'aujourd'hui, c'est l'intentionnalité : « La machine d'arithmétique fait des effets qui approchent plus de la pensée que tout ce que font les animaux ; mais elle ne fait rien qui puisse faire dire qu'elle a de la volonté, comme les animaux. »¹. Pourquoi alors utiliser le terme d'« intelligence » pour désigner la puissance de calcul des ordinateurs ? Bruno Latour formule l'hypothèse que « nous n'avons jamais été modernes »² : nous sommes convaincus de notre modernité pourtant nous ne nous sommes jamais complètement départis de l'animisme passé. Latour en veut pour preuve la multiplication des « hybrides », des entités « impures » dont on ne sait pas très bien ce qu'elles doivent à la nature et ce qu'elles doivent à la culture. L'intelligence artificielle est un bon exemple d'être hybride : l'abus de langage qui qualifie d'« intelligence » une machine à calculer est symptomatique de notre besoin de douer un objet artificiel d'une certaine nature, de lui donner une âme. Pour l'informatique, théorie du traitement de l'information, penser c'est calculer, mais cette « pureté » ne convient pas aux humains qui éprouvent le besoin de qualifier cette forme poussée de calcul d'« intelligence ». Et l'« impureté » du réel, c'est-à-dire selon Latour la difficulté à séparer complètement nature et culture, semble se confirmer un peu plus à chaque nouveau pas que fait l'informatique en direction du monde phénoménal. À partir du calcul binaire, le computationnel se trouve en mesure de reproduire des phénomènes a priori continus et irréductibles, comme le phénomène visuel. L'informatique parvient à produire des images avec des 0 et des 1. Le calcul disparaît sous le « miracle » des phénomènes animés, doués

¹ Pensées, Pascal

² Bruno Latour, *Nous n'avons jamais été modernes: essai d'anthropologie symétrique*, Nachdr. (Paris: Editions La Découverte [u.a.], 2010).

d'une âme. Lorsqu'un humain contemple une suite d'images qui défilent sur un écran, ce n'est pas une suite de *bits* qu'il voit mais le « monde mouvant des phénomènes », la « mouvante originalité des choses »¹. Comment alors fonctionnent les images numériques ? Comment le computationnel donne-t-il à percevoir le phénomène visuel ? Et dans quel but ?

B. L'émergence d'une phénoménalité numérique

Les ordinateurs, nous l'avons vu, sont d'abord des machines à calculer. En anglais, on parle de *computing machine* ou *computer*, et le mot « ordinateur » ne se démocratise en français qu'à la toute fin des années 1950 remplaçant la traduction littérale de l'anglais (« calculateur »). Dans le même élan, l'ingénieur Philippe Dreyfus propose le terme d'« informatique » en 1962. Après plusieurs années de dissensus quant à la nature de cette nouvelle discipline, l'académie française tranche en apportant sa définition : « Science du traitement rationnel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances humaines et des communications dans les domaines technique, économique et social ». Cette notion de « traitement de l'information » ouvre le champ des calculateurs désormais rebaptisés en « ordinateurs ». Il devient clair que l'informatique a une vocation bien plus large que les opérations de comptabilité. Dans le sillage de la cybernétique développée dans les années 1940 sous l'égide notamment de Norbert Wiener et son livre *Cybernetics: or Control and communication in the animal and the machine*², l'information prend une importance nouvelle :

Wiener est l'un des premiers, sinon le premier à mettre en évidence la notion d'information et à donner à cette notion un caractère très large et une portée quasiment universelle, aux côtés d'autres grandes notions comme l'énergie ou la matière.³

L'information devient une unité de base pour comprendre le monde, au même titre que l'atome : tout peut être décomposé et traité comme de l'information. Plus rien n'empêche alors l'informatique d'investir le « monde mouvant des phénomènes » en le décomposant et

¹ Henri Bergson, *La pensée et le mouvant: essais et conférences*, Nouvelle éd., Quadrige (Paris: Presses universitaires de France, 2012). p. 116

² Norbert Wiener, *Cybernetics: or, Control and communication in the animal and the machine*, Second edition, 2019 reissue (Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2019).

³ Philippe Breton, « L'informatique comme discipline existe-t-elle? Histoire d'un clivage qui sépare les informaticiens », *Réseaux* 24, n° 3 (1987): 65-75.p.74

en mettant à jour l'information qui le sous-tend malgré son a priori continuité.

L'informatique reprend à son compte la conception scientifique du réel décrite par Bergson : un réel discret et donc manipulable. Mais dans cette science nouvelle il n'est plus question de matière ou d'énergie : c'est l'information qui recouvre tout avec son nouvel atome numérique, le *bit*. Forte de cette nouvelle approche du réel, l'informatique investit avec un grand succès le monde phénoménal dont elle livre une reproduction de plus en plus crédible, à l'image du cinématographe cité en exemple par Bergson :

C'est parce que la bande cinématographique se déroule, amenant, tour à tour, les diverses photographies de la scène à se continuer les unes les autres, que chaque acteur de cette scène reconquiert sa mobilité : il enfile toutes ses attitudes successives sur l'invisible mouvement de la bande cinématographique. [...] Tel est l'artifice du cinématographe.¹

Mais l'artifice de l'informatique va plus loin que celui du cinématographe puisque, non content de reproduire l'illusion du mouvement avec une succession d'instantanées, les images elle-même sont créées de toutes pièces. Les images analogiques capturées d'après le monde sur la pellicule étaient encore des images continues qui provenaient du contact direct avec la lumière. Avec les *raster images* (de l'anglais *raster* qui veut dire « trame ») naît le concept de « pixel » qui divise chaque image en un quadrillage de *picture elements* (d'où le nom « pixel »). Très vite, dès la fin des années 1950, les premiers ordinateurs se dotent d'interfaces graphiques. La machine à calculer disparaît peu à peu derrière un écran aux potentialités sans cesse renouvelées. Le paradigme du réel entièrement calculable est appliqué avec succès aux images. Dans son livre *Images inter-actives et jeu vidéo : de l'interface iconique à l'avatar numérique*², Etienne Perény explique le changement à l'œuvre dans le « tournant informatique »³ : d'une saisie continue et physique des images avec l'optique, on passe à une retranscription discrète avec le numérique : les images sont désormais calculables. Qu'est-ce que cela implique ? Pour la première fois dans l'histoire des images, elles deviennent « manipulables et computables »⁴. Dans le processus de rastérisation, les images numériques sont décrites en séquences de *bits* à la disposition des développeurs. Tout

¹ Henri Bergson, *L'évolution créatrice*, réimpression de la 12^e éd, Quadrige (Paris: Presses universitaires de France, 2013). p. 304 - 305

² Étienne Perény, *Images interactives et jeu vidéo: de l'interface iconique à l'avatar numérique* (Paris: Questions théoriques, 2013).

³ *Ibid.*, p.

⁴ *Ibid.*, p.

commence avec une image vectorielle, c'est-à-dire une description de l'image basée sur des vecteurs mathématiques. Ceux-ci sont définis par une direction, un sens et une longueur à partir d'une origine dans un repère donné qui peut être de différentes dimensions : 1D $[x]$, 2D $[x, y]$, 3D $[x, y, z]$, etc... La 2D et la 3D sont les dimensions majoritairement utilisées dans l'informatique graphique. Une image vectorielle comporte donc une infinité de points dont la position peut être déterminée par la direction d'un vecteur à partir de son origine. Ainsi, les différentes opérations entre vecteurs, avec l'aide des matrices et de la trigonométrie, permettent de décrire n'importe quelle position dans un espace à n dimensions, c'est-à-dire n'importe quel point d'une image vectorielle. Les vecteurs sont donc à la base de l'informatique graphique dans la description des formes et du mouvement. Mais à ce stade il s'agit encore de formes et de mouvements purement virtuels : l'image vectorielle est une description mathématique abstraite qui n'existe pas visuellement ; c'est une pure idée. Pour être affichée sur un écran et pouvoir être perçue par la vue, l'image vectorielle doit être rasterisée. Au moment de la rasterisation, la *GPU (Graphic Processing Unit)* récupère en entrée la description vectorielle de l'image qui lui est fournie par la *CPU (Computing Processing Unit)* et livre en sortie la raster image, *i.e.* l'image concrète qui existe sous forme d'un quadrillage de pixels. Les auteurs du livre *Real-time Rendering*¹ résument ainsi le processus : « La rasterisation, également appelée conversion par balayage, est donc la conversion de sommets bidimensionnels dans l'espace de l'écran [...] en pixels sur l'écran. »². À la fin du processus, on obtient une image pixellisée qui peut être affichée sur un écran. Selon la définition, le nombre de pixels est plus ou moins grand ce qui entraîne des formes plus ou moins fines ainsi qu'une palette de couleurs plus ou moins riche. Lorsque la définition est trop faible, on voit nettement les lignes d'une image comme des « escaliers », lorsqu'elle est élevée ces « escaliers » disparaissent pour donner une impression de lignes continues. Quoi qu'il en soit, l'image rasterisée, qui existe désormais visuellement sur un écran, est bien une image discrète : il y a un nombre fini de pixels et un fossé infini de nuances possibles entre chacun d'entre eux.

Dans le fichier numérique de l'image est stockée la suite de pixels qui la composent : chaque pixel comporte trois valeurs numériques pour les trois couleurs primaires à partir desquelles n'importe quelle couleur visible par l'humain peut être reconstituée, et parfois une

¹ Tomas Akenine-Möller et al., *Real-Time Rendering*, Fourth edition, An A K Peters Book (Boca Raton London New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018).

² Traduction personnelle de : « Rasterization, also called scan conversion, is thus the conversion from two-dimensional vertices in screen space [...] into pixels on the screen. », *Ibid.*, p. 21

quatrième valeur pour l'*alpha* (l'opacité). Une image au format *Bitmap 24 bits* par exemple, attribue 8 *bits* à chaque couleur primaire, ce qui permet avec le système numérique binaire de compter jusqu'à 255, donc d'obtenir 256¹ nuances de chaque couleur primaire, et au total sur l'image, 16 777 216 couleurs différentes. Avec un tel nombre, l'illusion de continuité est saisissante : une image numérique dans un tel format ne procure pas à celui qui la visionne le sentiment d'une réduction du réel mais plutôt d'une transcription fidèle. Preuve est faite qu'avec un chiffre suffisamment important, la perception humaine n'est plus en mesure de différencier la discrétion de la continuité. Le computationnel joue sur cette approximation très fine dans la représentation des images comme du son, sortant ainsi du monde abstrait de la logique pour se revêtir d'une phénoménalité. Gaston Bachelard écrit cette phrase qui semble résumer le glissement de l'informatique depuis le monde mathématique vers le monde phénoménal :

Il ne s'agit plus, comme on le répétait sans cesse au XIXe siècle, de traduire dans le langage mathématique les faits livrés par l'expérience. Il s'agit plutôt, tout à l'inverse, d'exprimer dans le langage de l'expérience commune une réalité profonde qui a un sens mathématique avant d'avoir une signification phénoménale.²

Avec l'informatique graphique c'est bien une réalité mathématique qui revêt des apparences phénoménales accessibles à l'expérience, ouvrant ainsi de nouvelles possibilités d'expérience. Etienne Perény écrit :

Des « vues de l'esprit », nous passons aux visions tangibles et expérimentables. Les progrès conjoints de l'image de synthèse et de la simulation informatique ainsi que la généralisation de l'interactivité installent un nouveau régime de la vision et des techniques d'inscription mobilisant un inter-agir numérique avec l'image.³

Puisque l'image est « computable » elle se tient à disposition du développeur comme de l'utilisateur : tous deux peuvent la modifier et interagir avec elle. Pour la première fois, les images nous répondent de manière concrète. Bien vite, les concepteurs informatiques, comme

¹ En informatique on compte à partir de 0.

² Gaston Bachelard, *Études*, éd. par Georges Canguilhem, 2e éd, Bibliothèque des textes philosophiques (Paris: Vrin, 2002). p. 16

³ Perény, *Images interactives et jeu vidéo. op. cit.*

Steve Jobs, saisissent l'importance de la dimension phénoménale des ordinateurs. Pour s'adresser au grand public, il faut que les machines à calculer se dotent d'interfaces graphiques. Les premiers macintoshs d'Apple se démarquent de la concurrence en offrant une interface graphique au lieu d'une interface en ligne de commande, avec des icônes intuitives comme la « corbeille » ou le « finder » en forme de chemise cartonnée, ou encore avec la « souris ». L'émergence et l'immense succès des interfaces graphiques donnent une corporalité à l'ordinateur qui s'adresse désormais aux sens avant l'intellect. L'informatique descend dans le monde des phénomènes et devient une discipline sensible, à considérer, selon Pierre Lévy, comme l'un des beaux-arts :

Il y a, dans le métier d'informaticien, toute une part de créativité et de coopération inventive, généralement mal connue du grand public. [...] À l'époque de la Renaissance, on trouvait normal que les artistes soient géomètres ou les ingénieurs, humanistes. Hélas, depuis ce temps, la spécialisation disciplinaire a ravagé le paysage intellectuel. Alors que le métier des informaticiens est d'agencer des architectures de signes, de composer l'environnement de communication et de pensée de groupes humains, on se refuse bizarrement à considérer que leur activité relève d'une compétence artistique et culturelle.¹

Avec les interfaces graphiques, les *designers UX (User Experience)* et *UI (User Interface)* entrent en jeu et redéfinissent le design. Il ne s'agit plus de *designer* en premier lieu l'objet lui-même mais l'expérience qu'il procure, son interaction avec l'utilisateur. Le numérique renoue avec l'un des enjeux majeurs de la phénoménologie : abandonner la poursuite d'une vérité derrière l'illusion. Et l'illusion en question, c'est la perception phénoménale qui façonne notre *être-au-monde*, un *être-au-monde* qui repose sur notre relation avec la phénoménalité du numérique, et notamment avec ses images. Finalement, l'approche phénoménale de l'informatique garde en commun avec son approche originelle fonctionnaliste un certain pragmatisme qui recherche le résultat plutôt qu'une vérité figée. Ce qui compte, c'est que la magie opère et que les images prennent vie. D'abord loin du compte, les images numériques gagnent progressivement en définition et finissent par acquérir une nouvelle dimension. C'est la « 3D » dont le couplage avec le rendu en temps réel constitue le paroxysme actuel de la phénoménalité du numérique. La magie opère.

¹ Pierre Lévy, *De la programmation considérée comme un des beaux-arts* (Paris: Editions La Découverte, 1992). p. 40

C. Développement de l'imagerie 3D et de la 3D temps réel comme stade le plus avancé de la phénoménalité du numérique

Dans l'histoire de la phénoménalité du numérique, la 3D temps réel constitue la technique la plus avancée. Remontons aux origines¹. D'abord confinées à deux dimensions, les images numériques se sont rapidement ouvertes à une troisième dimension. Pour être précis, ce sont les images vectorielles, à l'origine des images rastérisées (en pixels, existant visuellement), qui se sont dotées d'une troisième dimension, les images rastérisées n'existant nécessairement qu'en 2D du fait de leur affichage sur un écran. La prise en compte d'un axe z en plus des axes x et y dans la description vectorielle des images offre la possibilité d'une imitation complète du réel et repousse les limites de la phénoménalité du numérique. À partir des années 1970, les premiers logiciels de modélisation 3D se développent. C'est notamment sous l'égide d'Ivan Sutherland, l'un des pères fondateurs de l'informatique graphique, que l'université d'Utah devient un haut lieu de la recherche dans ce domaine, donnant le jour à de nombreuses découvertes significatives. En 1972, Edwin Catmull, futur cofondateur de Pixar, alors étudiant de l'université réalise le premier court métrage en 3D, *A computer animated Hand*, dans lequel on peut voir une main virtuelle, modélisée d'après la sienne, tourner sur elle-même, s'ouvrir et se refermer avant de pointer du doigt le spectateur. Cette animation apparaît quelques années plus tard en 1976, aux côtés d'une autre animation 3D d'un visage réalisée par Fred Park, un autre étudiant de l'université, dans *Futureworld*, l'un des tous premiers long métrages sorti au cinéma comportant des séquences en images de synthèse 3D. En 1975, Martin Newell, chercheur de l'université, modélise la fameuse « Utah Teapot », sorte d'équivalent 3D au « Hello, world » de la programmation. Il s'agit d'une simple théière dont la géométrie variée, faite de rondeurs et d'angles, de cylindres et de plans, se prête à de nombreuses expérimentations. En parallèle des recherches concernant la modélisation, les avancées concernant la physique et plus précisément le calcul de la lumière progressent rapidement. D'une représentation plus « vraie » de l'espace géométrique, découle le besoin d'une représentation plus « vraie » du monde physique. En 1968, Arthur Appel met au point le premier algorithme de *ray casting* qui consiste à simuler la distribution des rayons

¹ Pour tout l'historique de la 3D et du rendu en temps réel je me base essentiellement sur les pages wikipedia « Computer Graphics » (« Computer Graphics », in *Wikipedia*, 3 avril 2023, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Computer_graphics&oldid=1147920811#1970s. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Computer_graphics&oldid=1147920811#1970s « Computer Graphics ».) et « History of computer animation » (« History of Computer Animation », in *Wikipedia*, 28 mars 2023, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=History_of_computer_animation&oldid=1147113295.)

lumineux à travers une scène 3D. Au cours des années 1970, l'ingénieur français Henry Gouraud ainsi que les ingénieurs américains et vietnamiens, Jim Blinn et Bui Tuong Phong, posent les bases du *shading*, c'est-à-dire la simulation des matériaux selon leurs propriétés physiques. Les moteurs de rendu 3D se mettent à calculer la lumière avec de plus en plus de précision et de réalisme. En 1986, la *rendering equation* développée par David Immel et James Kajiya, constitue un tournant majeur dans la recherche. Cette équation, encore utilisée aujourd'hui, définit précisément la façon dont chaque rayon de lumière virtuel doit se comporter selon les propriétés physiques de la surface qu'il heurte. La *rendering equation* permet d'obtenir une image 2D rastérisée à partir d'une scène 3D virtuelle : chaque pixel de l'image rendue est défini en fonction de l'angle de vue de la caméra, de la quantité de lumière et des objets présents dans la scène. Bien que l'équation de rendue soit restée inchangée, les progrès techniques ont permis d'augmenter, au fur et à mesure des années, la précision du calcul. Ainsi le rendu 3D *offline* a été en mesure de produire, à partir des années 1980, des images d'une qualité suffisante pour qu'elles soient intégrées régulièrement dans des films qui sortent au cinéma. *Tron* de Walt Disney, sorti en 1982, comporte un peu moins d'une vingtaine de minutes d'animation 3D, ce qui est considéré à l'époque comme une prouesse technique. Au cours de la décennie, les images de synthèse se démocratisent et franchissent un nouveau palier avec *The abyss* de James Cameron. Datant de 1989, le film est connu pour être le premier à intégrer des images de synthèse de manière « invisible » au milieu d'images en prise de vue réelle. Le studio ILM, fondé par Spielberg, qui a réalisé les effets spéciaux, ouvre la voie au photoréalisme de la 3D. S'ensuivent de nombreux films au cours des années 1990 qui repoussent à chaque fois les limites techniques et artistiques : *La belle et la bête* de Walt Disney et *Terminator 2* de James Cameron, deux gros succès du *box-office* de 1991, puis *Jurassic Park* de Steven Spielberg en 1993 et bien sûr *Toy Story* de Pixar en 1995, premier long-métrage entièrement réalisé en animation 3D. En parallèle du cinéma, et de son mode de rendu *offline* favorisant la qualité des graphismes, la 3D se développe également rapidement dans le jeu vidéo qui favorise la rapidité de calcul avec le rendu *real-time*. Le jeu de course, *Virtua Racing*, sorti en 1992, fait la démonstration de la puissance de la 3D temps-réel pour l'immersion des joueurs. Mathieu Triclot parle de l'arrivée de la 3D dans le jeu vidéo comme d'une « révolution aussi importante que le passage du muet au parlant pour le cinéma »¹ et ajoute : « avec la 3D c'est le jeu lui-même qui se mue dans son ensemble en un genre de

¹ Mathieu Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, La Découverte-poche (Paris: la Découverte, 2017). p. 87

quasi-cinéma. »¹. Cette nouvelle technologie combine l'interactivité des jeux vidéo 2D au réalisme physique et spatial des images 3D :

Le rendu en temps réel consiste à créer rapidement des images sur l'ordinateur. C'est le domaine le plus interactif de l'informatique graphique. Une image apparaît à l'écran, le spectateur agit ou réagit, et ce retour d'information affecte ce qui est généré ensuite. Ce cycle de réaction et de rendu se produit à un rythme suffisamment rapide pour que le spectateur ne voie pas des images individuelles, mais soit plutôt immergé dans un processus dynamique.²

Ce mode de rendu nécessite le développement d'un nouveau composant des ordinateurs : au processeur (la *CPU* : *Computing Processing Unit*), est ajoutée la *GPU*, la *Graphic Processing Unit*, entièrement dédiée au rendu des images. Cette amélioration *hardware* est significative pour le développement des nouvelles images:

L'interactivité et un certain sentiment de connexion à l'espace tridimensionnel sont des conditions suffisantes pour le rendu en temps réel, mais un troisième élément fait désormais partie de sa définition : le matériel d'accélération graphique. Beaucoup considèrent l'introduction de la carte 3Dfx Voodoo 1 en 1996 comme le véritable début des images tridimensionnelles grand public.³

Les consoles de jeu comme la *Sony Playstation*, la *Sega Saturn* ou la *Nintendo 64*, se dotent des capacités de rendu 3D en temps-réel, et puis c'est au tour des ordinateurs. À la toute fin de la décennie, la carte graphique *GeForce 256*, vendue par son constructeur Nvidia comme la « world's first 'GPU' » fait son apparition pour les ordinateurs alors que les *API* (*Application programming Interface*) *OpenGL* et *DirectX* sont créées pour répondre aux besoins nouveaux de la programmation 3D. Au début des années 2000, la 3D est largement adoptée par le cinéma et le jeu vidéo qui en font un grand usage. Les blockbusters comme *Matrix* ou *Le seigneur des anneaux* reposent grandement sur cette technologie ; le film de Peter Jackson allant jusqu'à investir le champ du *real-time* en réalisant la première *motion*

¹ *Ibid.*, p. 88

² Traduction personnelle de : « Real-time rendering is concerned with rapidly making images on the computer. It is the most highly interactive area of computer graphics. An image appears on the screen, the viewer acts or reacts, and this feedback affects what is generated next. This cycle of reaction and rendering happens at a rapid enough rate that the viewer does not see individual images, but rather becomes immersed in a dynamic process. », Akenine-Möller et al., *Real-Time Rendering*. p. 1

³ Traduction personnelle de : « Interactivity and some sense of connection to three-dimensional space are sufficient conditions for real-time rendering, but a third element has become a part of its definition: graphics acceleration hardware. Many consider the introduction of the 3Dfx Voodoo 1 card in 1996 the real beginning of consumer-level three-dimensional graphics. », *Ibid.*, p.1

capture en temps-réel avec le personnage de Gollum : la technologie mise au point pour le film permettait de visualiser, directement sur le plateau, la créature de synthèse se mouvoir selon le jeu de l'acteur revêtu d'une combinaison de capteurs. Les images 3D atteignent un niveau de réalisme dans la reproduction de personnages humains qui les fait basculer dans la *uncanny valley*¹, à la lisière de l'illusion parfaite. Du côté du jeu vidéo, des grandes franchises voient le jour comme *Grand Theft Auto* ou *Assassin's Creed*, générant des milliards de dollars de chiffre d'affaires et repoussant à chaque fois les limites de l'immersivité, au point de concentrer de plus en plus de critiques sur le réalisme de la violence qui y est représentée. Ce qui est au centre du débat, c'est le rôle endossé par le joueur et sa capacité à faire la distinction avec la vie « réelle » : « le jeu vidéo peut revendiquer une forme de supériorité vis-à-vis du cinéma, se penser comme un cinéma que l'on ne regarde plus à distance, en spectateur passif, mais auquel on participe activement. Un cinéma dont vous êtes le héros. »². Et cette distinction se fait moins nette à mesure que la technologie progresse. *Avatar*, sorti en 2009, marque une nouvelle avancée majeure et surprend des millions de spectateurs par une débauche de prouesses visuelles. Après les lunettes de 3D stéréoscopiques portées par les spectateurs de cinéma, c'est au tour des casques de réalité virtuelle de connaître un engouement pendant la décennie des années 2010. Loin d'être une technologie récente, la réalité virtuelle dont les premiers prototypes de casques datent de la fin des années 1960, connaît cependant un nouvel essor très récemment avec de nombreux investissements. Le premier casque *Oculus* sort en 2010 attirant l'attention de *Facebook* qui rachète la compagnie en 2014 dans sa stratégie tournée vers le virtuel et le métavers qui mènera à sa rebaptisation en 2022 sous le nouveau nom de *Méta*. D'autres casques grand public voient le jour comme ceux des marques HTC, Sony ou Microsoft jusqu'au très récent *Vision Pro* d'Apple. D'une manière générale, l'*Extended Reality* se démocratise et ouvre de nouvelles applications à la 3D temps réel. Les moteurs *real-time* comme Unreal Engine ou Unity, accessibles au grand public, favorisent la création de visuels avec la 3D temps réel qui investit des champs très variés : jeu vidéo, le bastion historique, VR, AR, spectacle vivant, événementiel mais aussi le cinéma. En effet, la rapidité de calcul n'avait été obtenue jusque-là qu'au prix de graphismes moins riches que ceux permis par le rendu *offline*. Mais très récemment, les avancées

¹ Wikipedia : « The uncanny valley is a hypothesis in the field of robotics and 3D computer animation, which holds that when human replicas look and act almost, but not perfectly, like actual human beings, it causes a response of revulsion among human observers. The concept "valley" refers to the dip in a graph of the comfort level of humans as a function of a robot's human likeness. »

² Triclot, *Philosophie des jeux vidéo. op. cit.*, p. 93

technologiques ont permis des améliorations significatives dans la qualité des images rendues en temps réel. En 2018, Unreal Engine présente *Reflections*, un court métrage visant à démontrer les progrès graphiques permis par les nouvelles cartes graphiques RTX de Nvidia qui supportent le ray-tracing, un algorithme de calcul de la lumière utilisé jusque-là uniquement par le rendu *offline*. On assiste ainsi depuis quelques années à une convergence des techniques, les graphismes du temps réel rejoignant le réalisme et la précision du rendu *offline* sans abandonner leur rapidité de calcul. De tels progrès ont mené à l'adoption du temps réel par l'industrie des effets spéciaux pour les tournages en *virtual production* dans lesquels d'immenses écrans remplacent les fonds verts et affichent des décors virtuels qui réagissent en live aux mouvements de la caméra. Les mises à jour successives des moteurs de rendu *real-time* comme les nouveaux projets de toutes sortes vont toujours plus loin dans l'amélioration des graphismes et de l'immersivité. D'abord contraint de sacrifier le réalisme pour répondre à des exigences de rapidité de calcul, le temps réel est en ce moment en train de rejoindre la qualité du rendu *offline*, avec l'interactivité en plus. Les simulations en 3D temps réel combinent dès lors un grand réalisme spatial et physique combiné à l'immédiateté. Ce mélange de réalisme perceptif et actif permet des expériences immersives confondantes, plus proches que jamais de l'expérience phénoménale du monde. Il est désormais possible de percevoir dans des mondes virtuels et d'agir en conséquence. Au point qu'un nouveau monde virtuel a paru émerger ces dernières années et s'être détaché du monde physique. Philippe Quéau écrit dès 1993 :

Nous tournions autour des images, maintenant nous allons tourner dans les images. [...] Les images virtuelles ne sont jamais seulement des images, juste des images, elles possèdent des dessous, des derrières, des en-deçà et des au-delà, elles forment des mondes. [...] Un monde virtuel est une base de données graphiques interactives, explorable et visualisable en temps réel sous forme d'images de synthèse tridimensionnelles de façon à donner le sentiment d'une immersion dans l'image. Dans ses formes les plus complexes, l'environnement virtuel est un véritable « espace de synthèse », dans lequel on peut avoir le sentiment de se déplacer « physiquement ».¹

Mais le terme de « virtuel » peut prêter à confusion, comme on l'a vu dans l'introduction : il désigne seulement le virtuel numérique et non une virtualité au sens philosophique qui s'opposerait à de l'actualité. Le virtuel numérique existe phénoménologiquement, à plus forte raison encore en ce qui concerne les simulations en 3D

¹ Quéau, *Le virtuel.*, op. cit.

temps réel : il est accessible à l'expérience et à l'action. Ce virtuel est du côté de l'actuel, et bien sûr du réel hors duquel on a parfois été tenté de le rejeter.

II. La reproduction du monde phénoménal avec la 3D temps réel

A. La 3D temps réel dans une histoire de l'imitation esthétique de la nature

Qu'est-ce que l'esthétique ? Peter-Paul Verbeek rappelle que, dans son origine étymologique, le mot ne renvoie pas seulement au visuel mais à la sensorialité en général :

Esthétique vient du grec ancien *aesthesis*, qui signifie « perception sensorielle ». L'esthétique doit donc se situer dans la relation sensorielle des êtres humains avec le monde, une relation qui n'est pas seulement visuelle mais qui implique également d'autres sens.¹

L'esthétique concerne donc l'entièreté des sens et du système perceptif, en cela elle renvoie à la notion d'expérience, de confrontation avec le monde. L'expérience esthétique est une expérience sensorielle ce qui permet à John Dewey d'affirmer que, loin d'être purement conceptuelle et coupée du monde, l'expérience esthétique est avant tout l'expérience de la vie². De fait, si l'esthétique est souvent associée à l'art, il est nécessaire de rappeler qu'elle est d'abord présente dans la vie même. L'art n'est pas une abstraction hors du monde, hors de la vie comme voudrait nous le laisser penser le système muséal ; au contraire il existe dans la vie, par elle et pour elle : « Pourquoi semble-t-il à une multitude de gens que l'art a été importé dans l'expérience depuis un pays étranger et que l'esthétique est synonyme d'artificiel ? »³. Dewey s'oppose fermement à une séparation de l'art de la vie, et montre à quel point l'art procède de la vie :

Les sources de l'art dans l'expérience humaine seront connues de celui qui perçoit comment la grâce alerte du joueur de ballon gagne la foule des spectateurs, qui remarque le plaisir que ressent la ménagère en s'occupant de ses plantes, la concentration dont fait preuve son mari en entretenant le carré de gazon devant la maison, l'enthousiasme avec lequel l'homme assis près du feu tisonne

¹ « Aesthetics comes from the ancient Greek word *aesthesis*, which means « sensory perception. » Aesthetics should therefore be located in the sensory relation of human beings to the world, a relation that is not solely visual but that involves other senses as well. », Peter-Paul Verbeek, *What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design* (University Park, Pa: Pennsylvania State University Press, 2005). p. 211

² John Dewey, *L'art comme expérience*, Folio 534 (Paris: Gallimard, 2010), chap. L'être vivant.

³ *Ibid.*, p 44

le bois qui brûle dans l'âtre et regarde les flammes qui s'élancent et les morceaux de charbon qui se désagrègent.¹

Ainsi l'art est-il une mise à l'honneur, une façon de mettre en lumière l'expérience esthétique qui peut se produire à tout moment dans la vie. L'art consiste en la reproduction de cette esthétique, c'est une « exacerbation du sentiment de vie ». Comment s'y prend-t-il ? Comment l'art parvient-il à restituer l'expérience esthétique du monde ? D'abord par la subjectivité de l'artiste qui vit une expérience esthétique avant d'en produire une dérivée. À ce titre, on pourrait concevoir la création artistique comme la reproduction d'une expérience esthétique vécue. Quel que soit son degré d'éloignement par rapport à la « réalité », l'œuvre existe toujours grâce à son lien avec le monde. Un artiste est d'abord un être percevant dans la nature dont l'expérience le façonne lui et sa création. Ainsi, le degré d'éloignement d'une œuvre par rapport à la nature ne tient toujours qu'en apparence : une peinture de Joan Miró nous semble a priori plus éloignée de la nature qu'une peinture figurative de Caravage et pourtant Miró a vécu comme Caravage ; comme lui il a respiré et senti, et c'est de son expérience de vie que Miró tire son œuvre, pas moins abstraite en fin de compte que celle du peintre italien. Au cœur du travail artistique la problématique de la sincérité occupe une place importante : il s'agit pour un artiste d'être sincère avec son ressenti et d'en restituer le contenu d'une manière presque transparente. L'artiste est une sorte de catalyseur qui éprouve et met en forme une expérience du monde. L'œuvre d'art est moins une création jaillie du néant qu'une traduction ou qu'une imitation. Tout artiste imite la nature et c'est plutôt dans son interprétation, plus ou moins abstraite, que réside sa singularité. Dans une grande part, l'art est tenu pour l'expression d'une subjectivité : une œuvre d'art est le produit de celui qui l'a conçue, c'est en quelque sorte la nature vue à travers le prisme de son artiste. Mais pour certains artistes, la subjectivité ne suffit pas, et dans l'histoire de l'art de nombreux courants artistiques ont cherché à dépasser les limites de la perception subjective. La subjectivité est supposée favoriser la liberté d'expression de l'artiste : puisque son œuvre est subjective, l'artiste n'est tenu à rien d'autre qu'à sa sincérité qui constitue de ce point de vue la seule vérité artistique. Mais, de cette liberté totale résulte la relativité de l'art, son caractère éthéré qui ôte à toute œuvre sa certitude. Du fait de sa subjectivité intrinsèque, l'art est condamné à voir sa légitimité toujours questionnée : n'importe quelle œuvre est à la merci du premier venu qui peut la remettre en cause sans autre argument que son propre point de vue.

¹ *Ibid.*, p 32

Conscients de cette faiblesse, de nombreux artistes ont cherché à dépasser la subjectivité en introduisant une part d'objectivité dans leurs créations. La Renaissance est un exemple saisissant de cette volonté artistique de toucher à l'absolu. À l'époque où sont posés les fondements de la science moderne expérimentale, il n'est pas étonnant de voir les peintres et les sculpteurs occidentaux lorgner du côté de la vérité scientifique, attirés par « un art neuf, plus fidèle à la nature que tout ce qui avait été fait auparavant [...] un art plus vivant et plus direct »¹. L'historien de l'art Ernst Gombrich décrit comment le XVe siècle a vu la création artistique occidentale se muer en une « conquête de la réalité »². La découverte de la perspective d'abord, et puis la mise en application des principes de la science expérimentale mènent à une révolution dans l'imitation de la nature :

Les maître florentins de l'entourage de Brunelleschi, ont élaboré toute une méthode pour rendre la nature avec une précision quasi scientifique. Après avoir établi une armature de lignes perspectives, ils y édifiaient le corps humain, soutenus en cette entreprise par leur connaissance de l'anatomie et des lois du raccourci.³

Les tableaux de la Renaissance deviennent comme « le miroir du monde visible »⁴. Les artistes de la Renaissance se mettent à observer la nature selon les principes de l'observation scientifique : ils assistent aux séances de dissection des facultés de médecine pour mieux comprendre l'anatomie, ils observent le comportement de la lumière et se livrent à des études géométriques concernant la perspective. L'expérience scientifique est toujours le produit d'une subjectivité mais avec, cette fois, l'envie d'aller au cœur des choses, de dépasser la supposée illusion de la surface. Les artistes de la Renaissance semblent vouloir répondre à Platon qui critiquait l'art trompeur qu'est la peinture, incapable de produire autre chose qu'une vulgaire imitation sans jamais atteindre à l'essence des choses. Au XVe siècle, la peinture fait presque oublier sa dimension imitatrice tant elle semble donner à voir les choses elles-mêmes : « pour la première fois dans l'Histoire, l'artiste était un parfait œil-enregistreur. »⁵. C'est par l'alliance de l'art, de la science et de la technique que la Renaissance marque un tournant dans l'imitation humaine de la nature. En parallèle des sculptures « plus vraies que nature » à l'image du *David* de Donatello ou de la *Pietà* de

¹ Ernst Hans Gombrich, *Histoire de l'art*, Nouv. éd (Paris: Flammarion, 1994), p. 176.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*, p. 178

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

Michel-Ange, les scientifiques se lancent également dans l'imitation de la nature. Les « expériences » scientifiques constituent bien une représentation esthétique, non plus au service de l'art, mais au service de la science elle-même. C'est sur ce nouveau concept d'« expérience » fondé sur l'observation empirique, abandonnant tout idéalisme, que repose la science moderne. Latour, en se basant sur les travaux des historiens Steven Shapin et Simon Schaffer, attribue au scientifique irlandais Robert Boyle la parenté de l'empirisme moderne avec la réalisation de la première expérience scientifique, celle de la pompe à air mettant en évidence l'existence du vide :

Plutôt que sur la logique, les mathématiques ou la rhétorique, Boyle se fonde sur une métaphore para-juridique : des témoins crédibles, fortunés et de bonne foi rassemblés autour de la scène de l'action peuvent attester de l'existence d'un fait, *the matter of fact*, même s'ils n'en connaissent pas la véritable nature. Boyle invente ainsi le style empirique que nous utilisons encore aujourd'hui.¹

L'expérience du savant est une reproduction phénoménale du monde, et dans la mesure où elle s'adresse aux sens, c'est une expérience esthétique qui « exacerbe » un phénomène naturel. Avec la technique, la science moderne ouvre un nouveau champ de l'expérience en utilisant des instruments qui lui permettent de rendre perceptibles et accessibles des phénomènes qui n'existaient pas pour l'œil nu. Ainsi la science expérimentale, finalement proche de l'art en cela, offre une reproduction de la nature : elle fabrique les faits, et c'est tout l'enjeu de la démonstration du constructivisme latourien. À propos de la fabrication des phénomènes par le biais des instruments techniques, Gaston Bachelard parle de « phénoménotechnique » :

La division classique qui séparait la théorie de son application ignorait cette nécessité d'incorporer les conditions d'application dans l'essence même de la théorie. [...] C'est alors qu'on s'aperçoit que la science *réalise* ses objets, sans jamais les trouver tout faits. La phénoménotechnique *étend* la phénoménologie. Un concept est devenu scientifique dans la proportion où il est devenu technique, où il est accompagné d'une technique de réalisation.²

Avec ce terme de phénoménotechnique, Bachelard montre à quel point la science moderne est inséparable de la technique qui l'aide dans sa reproduction de la nature. Les

¹ Bruno Latour, *Nous n'avons jamais été modernes: essai d'anthropologie symétrique*, Nachdr. (Paris: Editions La Découverte [u.a.], 2010), p. 29.

² Gaston Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, 16. éd, Bibliothèques des textes philosophiques (Paris: Vrin, 1999). p. 61

instruments donnent un corps aux faits scientifiques, ils les dotent d'une phénoménalité. De ce point de vue, la science fabrique les faits en livrant une reproduction esthétique de la nature, de la chose-en-soi, par le biais d'expériences instrumentées : un microscope ou un écran donnent à voir des réalités phénoménales qui n'existeraient pas sans ces objets techniques. En définitive, ce qui marque l'art de la Renaissance et la science expérimentale, ce sont leurs échanges réciproques et l'utilisation de techniques pour reproduire la nature. Et la 3D temps réel semble apparaître comme une suite logique de cette collaboration entre art, science et technique. On a vu précédemment à quel point les progrès de l'informatique graphique sont d'abord le résultat d'une science et d'une technique. Mais la 3D temps réel est également indissociable d'une composante artistique : son but premier consiste à produire des expériences esthétiques, ouvrant ainsi l'informatique aux mondes des phénomènes. À l'image de l'art de la Renaissance, la 3D temps réel constitue une expérience esthétique hybride : à mi-chemin entre l'expérience esthétique de l'art et celle de la science. Les simulations de la 3D temps réel doivent autant leur existence aux scientifiques qu'aux artistes qui les conçoivent. De telles simulations peuvent être considérées comme des expériences scientifiques : ce sont des simulations réalistes du monde pouvant prendre en compte un certain nombre de lois scientifiques. On pourrait d'ailleurs pousser très loin le réalisme jusqu'à obtenir de véritables expériences scientifiques, comme c'est par exemple le cas des simulations 3D qui servent à la médecine. Mais une simulation en 3D temps réel peut tout aussi bien se situer du côté de l'art avec la seule volonté de produire une émotion artistique. Si une simulation en 3D temps réel peut aller très loin dans la reproduction de la nature, jusqu'à être utilisée à des fins scientifiques, elle reste toujours une expérience esthétique qui s'adresse à la perception. Le logiciel Ziva, utilisé dans l'industrie des effets spéciaux, permet par exemple de simuler à la perfection les différentes couches de chair, de muscles et de peau sur une créature organique en mouvement. En visionnant les images rendues avec ce logiciel il est difficile de les distinguer d'images en prise de vue réelle. Les muscles se contractent et la peau épouse parfaitement leurs formes : on croit avoir affaire à des êtres de chair et d'os, des êtres « épais ». Pourtant il ne s'agit que d'une illusion, l'épaisseur n'existe pas dans les mondes virtuels de la 3D : chaque corps de ces mondes n'est qu'une enveloppe vide ; tout objet est défini par sa seule surface. Dès lors, ce qui compte ce n'est pas la reproduction des choses en elles-mêmes mais la reproduction de la perception qu'on en a, c'est-à-dire la reproduction de l'expérience phénoménale. Le mot d'ordre est celui du « trompe-l'œil » :

Concentrant la puissance de calcul sur la partie vue du monde, ces techniques optent à chaque instant pour la représentation minimale capable de donner l'illusion du réel, en adaptant à notre insu le niveau de détail d'un modèle selon son importance à l'image, voire en le faisant passer d'un mode de fonctionnement à un autre. Les créateurs de mondes virtuels sont donc amenés à redécouvrir le vieux concept de trompe-l'œil, mais ce dernier prend maintenant une dimension dynamique, chaque objet s'adaptant et se transformant au fur et à mesure qu'on s'en approche, et disparaissant dès que nous ne pouvons plus l'observer.¹

Dans un jeu vidéo soucieux d'économiser de la puissance de calcul, les objets les plus loin de la caméra perdent en résolution, voire disparaissent, à mesure qu'on s'en éloigne, ou se précisent à mesure qu'on s'en rapproche. Le monde virtuel s'adapte par rapport à la perception de l'utilisateur : c'est un immense trompe-l'œil évolutif. Dans sa dimension d'imitation-illusion de la nature, la 3D temps réel est, on l'a vue, l'héritière d'une longue tradition dans les arts comme dans les sciences. Mais son caractère révolutionnaire tient à la puissance de son illusion : par son interactivité – la possibilité qu'elle offre à son utilisateur de se promener à sa guise dans le monde virtuel et d'y agir – la 3D temps réel touche à l'expérience de la vie même. L'art, depuis toujours, poursuit une reproduction de la vie, mais en dépit du génie de certains artistes qui parviennent à insuffler un semblant d'élan vital à leurs créations, les œuvres produites sont immanquablement finies, figées. La dimension computationnelle de la 3D temps réel semble pouvoir repousser cette limite en reproduisant l'illusion des deux facettes du vivant : la perception et l'action.

B. La reproduction de la vie

La 3D temps réel apporte une nouveauté dans l'expérience artistique : l'imitation du vivant au niveau de son fonctionnement. Les images ne suffisent pas dans la volonté de reproduction de la nature, elles apparaissent comme la couche superficielle de la réalité, une couche liée aux illusions. Il faut chercher en dessous de cette surface qui s'offre un peu trop facilement, il faut pénétrer le réel sous les images et toucher à la vie même. Mais en quoi consiste le vivant ? C'est un élan : le vivant possède un aspect auto-génératif et évolutif, il est source de lui-même, il s'engendre et change sans cesse ; c'est un mouvement permanent. Le vivant se distingue par sa capacité à percevoir et à agir en conséquence : la perception et

¹ Marie-Paule Cani, « Mondes virtuels : genèse des nouveaux mondes », in *La Création, Le Temps des savoirs* (Odile Jacob, 2005), 97-110, <https://doi.org/10.3917/oj.rouss.2005.01.0097>.

l'action en sont ses deux faces. Pour Merleau-Ponty, « toute habitude est à la fois motrice et perceptive parce qu'elle réside [...] entre la perception explicite et le mouvement effectif, dans cette fonction fondamentale qui délimite à la fois notre champ de vision et notre champ d'action. »¹. La reproduction du vivant est le rêve ultime de l'art : on dit d'une œuvre réussie qu'elle est « vivante », que l'artiste a réalisé un tour de force en procurant l'illusion de la chair animée, du souffle de vie. Et de la même manière, la science, par le biais de la technique, cherche aussi la reproduction du vivant comme en témoignent les recherches actuelles sur le clonage ou l'intelligence artificielle, pas si éloignées des grands mythes de la science-fiction comme *Frankenstein* ou l'ordinateur Hal de *2001, l'Odyssée de l'espace*. Le mythe de l'œuvre, de la machine ou de la créature qui prend vie est vieux comme le monde : chaque petite création contient toujours un peu en elle du mythe de la Création. La 3D temps réel n'échappe pas à cette histoire humaine : à la croisée de l'art et de la technique, elle poursuit le vieux rêve de la création parfaite, celle qui prend vie et échappe ainsi à son créateur. Mais comment s'y prend-t-elle pour entretenir l'illusion du vivant ?

D'abord, en tant que programme informatique : un monde en 3D temps réel est moins une imitation qu'une simulation. Le choix des mots est important : la « simulation » est un genre particulier d'imitation qui va plus loin que les apparences en cherchant à reproduire le fonctionnement réel d'un système, d'un phénomène. La restitution du mécanisme sous la surface, comme un degré de réalité plus profond, est flagrante dans un monde virtuel où la lumière réagit « naturellement », où les phénomènes se produisent conformément aux lois de la physique. D'une manière générale, le fonctionnement computationnel du virtuel numérique offre une restitution mécaniste du monde (cf. partie I). Un programme informatique est, par essence, causal : chaque ligne de code entraîne une conséquence logique. C'est par là que l'illusion de vie se produit : le causalisme de code informatique permet un semblant de création autonome. Le programmeur remonte une étape en amont du peintre dans sa reproduction de la nature : au lieu de décrire précisément le monde auquel il veut donner vie, il décrit plutôt les lois générales qui vont le mettre en mouvement. Contrairement au peintre qui ne peut s'en remettre qu'à lui-même, le concepteur de mondes en 3D temps réel peut s'en remettre à l'ordinateur. Cette aide de la machine, cette conception assistée par ordinateur, commence avec des tâches simples d'automatisation (placer des objets dans une scène en suivant un certain schéma : par exemple aligner des lampadaires, placer des bâtiments...)

¹ Maurice Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception* (Editions Gallimard, 2013). p. 188

mais elle se poursuit avec des tâches de plus en plus complexes. Ainsi l'intégration des lois physiques, comme le calcul de la lumière, facilite considérablement la tâche à un concepteur qui veut créer une scène virtuelle avec un éclairage réaliste. La lumière est au centre de la peinture : la réputation d'un grand maître comme le Caravage s'est faite sur la maîtrise de son fameux clair-obscur et sa capacité à restituer l'ambiance lumineuse de ses tableaux avec un réalisme saisissant. Peu de gens en sont capables, et c'est à ce titre que Caravage est considéré comme un grand maître, voire un génie. Par comparaison, il suffit à un artiste 3D de « placer » une lumière dans une scène – c'est-à-dire de faire glisser sur l'écran l'icône correspondant à une lumière avec la souris – pour qu'aussitôt le moteur de rendu se charge du calcul de la lumière et la fasse jaillir de la même manière que lorsqu'on appuie sur un interrupteur dans le monde physique. Cet aspect computationnel facilite grandement la tâche du créateur de mondes virtuels, non seulement dans des tâches automatiques et répétitives, mais également pour des tâches spontanées et génératives. Ainsi, travailler avec la 3D temps réel c'est travailler avec de la matière calculée, c'est utiliser et créer des programmes. Les jeux vidéos en sont un parfait exemple : concevoir un jeu vidéo c'est bien sûr concevoir des visuels, mais c'est d'abord concevoir un programme qui prendra en compte tous les comportements inhérents au monde virtuel et les interactions avec le joueur. J'ai, par exemple, eu l'occasion de créer un tel monde virtuel doué d'une certaine autonomie. Très concrètement, il s'agissait de reproduire l'environnement de la Camargue sur quelques centaines de mètres avec de la végétation, de l'eau, des flamants roses, des insectes, le soleil déclinant au fur et à mesure de la journée... Pour ce faire, j'ai utilisé le moteur de rendu 3D temps réel Unreal Engine qui m'a permis, entre autres, d'écrire des programmes introduisant de l'aléatoire dans les mouvements des animaux peuplant ce microcosme. Ainsi une fois la simulation « lancée » les oiseaux et les insectes adoptaient des comportements qu'il m'aurait été impossible de prévoir et qui différaient à chaque nouveau « lancement ». Par ailleurs, la simulation pouvait « tourner » indéfiniment sans jamais se répéter, procurant l'impression d'un véritable monde autonome. Et je pouvais me « promener » dans ma création avec une souris et un clavier ou avec un casque de réalité virtuelle, en éprouvant l'étrange sensation d'être à la fois le créateur de ce monde et un simple visiteur.

C'est donc une reproduction du vivant même, dans son fonctionnement, qui est mise à l'œuvre dans les mondes virtuels de la 3D temps réel. L'analogie avec le monde « réel » est tentante : après le Big Bang, la « chiquenaude » divine ou le lancement du programme, le monde se déroule et évolue selon les lois qui le régissent – lois physiques, divines ou

commandes du programme. Et cette analogie ne repose pas seulement sur le fonctionnement interne du programme, elle tient également aux structures externes qui permettent la manipulation de la matière calculée : le *hardware* qui supporte le *software*. Une simulation en 3D temps réel permet l'interaction avec un ou plusieurs utilisateurs. Ce va-et-vient entre l'« intérieur » et l'« extérieur » de l'ordinateur contribue tout autant à la reproduction du vivant. En partant de la double capacité à percevoir et à agir, on pourrait étendre, du *software* au *hardware*, l'analogie avec le monde « vivant ». On a vu dans la partie I que les ordinateurs ont été conçus dans une première approche fonctionnaliste : il s'agissait de reproduire le fonctionnement des choses, à commencer par le fonctionnement du cerveau humain. C'était l'objet du livre de Von Neumann qui comparait les transistors d'un processeur aux neurones du système nerveux. Le paradigme fonctionnaliste s'intéresse aux fonctions de chaque chose et cherche à reproduire non pas la chose telle qu'elle, identique à elle-même, mais sa fonction. En suivant cette idée, le reste du corps humain peut être reproduit avec l'ordinateur de la même manière que le cerveau. Les ordinateurs à interfaces graphiques et les divers moyens d'interactions qu'ils offrent (tactilité, souris, clavier, manettes...) élargissent à l'ensemble du corps l'analogie du cerveau. Si le processeur est un cerveau dont les transistors sont les neurones, les outils d'interaction mis-à-disposition de l'utilisateur peuvent tout à fait être conçus comme le système perceptif de l'ordinateur. En effet, clavier, souris ou encore manettes constituent des capteurs qui envoient au cerveau de l'ordinateur des informations. Et ce sont ces informations entrantes, ces *inputs*, qui permettent à l'ordinateur de générer ensuite des *outputs* qui, dans le cas de la 3D temps réel, prendront la forme d'une modification de l'image affichée à l'écran. Ainsi un joueur de jeu vidéo qui, en contrôlant la direction d'un personnage, oriente le joystick de sa manette vers la droite, envoie une information jusqu'au processeur qui agit en conséquence : le personnage à l'écran tourne vers la droite. Or sans manette, sans câble ou sans prise USB, l'information ne peut parvenir à l'organe central : l'ordinateur est bien plus qu'un cerveau, il dispose d'un corps dont l'une des fonctions remplit le rôle de système perceptif. Ici le corps est une interface entre un dedans et un dehors. Le dehors c'est le monde physique de l'utilisateur, le dedans c'est le monde virtuel de la logique et du calcul. Mais ce corps purement fonctionnel est-il vraiment un corps ? C'est cette conception du corps comme simple « transmetteur » que critique Merleau-Ponty dans l'introduction de la *Phénoménologie de la perception*¹ lorsqu'il décrit « l'appareil sensoriel,

¹ *Ibid.*

tel que la physiologie moderne se le représente »¹. A cette occasion, le philosophe décrit en quelque sorte le projet de l'informatique :

Il est inévitable que dans son effort général d'objectivation la science en vienne à se représenter l'organisme humain comme un système physique en présence de stimuli définis eux-mêmes par leurs propriétés physico-chimiques, cherche à reconstruire sur cette base la perception effective et à fermer le cycle de la connaissance scientifique en découvrant les lois selon lesquelles se produit la connaissance elle-même, en fondant une science objective de la subjectivité.²

Ainsi, l'existence corporelle de l'ordinateur lui conférerait une certaine subjectivité. En effet, contrairement à ce que pourrait faire croire son qualificatif de virtuel, on a vu qu'une simulation en 3D temps réel a un corps au sens propre, elle existe physiquement : son cerveau-processeur est constitué de milliards de transistors qui s'allument ou s'éteignent électriquement, son visage-écran est constitué de millions de diodes, l'interaction est permise par une manette ou un clavier qui constituent son système perceptif, son alimentation-batterie fournit l'énergie nécessaire et ses ventilateurs tournent pour dissiper la chaleur produite. Rien de virtuel là-dedans. L'écran, le clavier, les manettes mais aussi les organes qui traitent la perception, comme le processeur, tous ces composants matériels sont conçus comme le corps de l'ordinateur, et le corps en tant que système perceptif. L'ordinateur perçoit par son corps et agit en conséquence : nous en avons la preuve grâce aux modifications en temps réel de l'image qui s'affiche sous nos yeux. En ce sens, un ordinateur est doué de subjectivité. C'est un élément clé de l'interaction : il s'agit bien dans l'ambition des informaticiens, comme l'écrit Merleau-Ponty, de « reconstruire la perception effective ». C'est parce que l'ordinateur est capable de percevoir qu'on peut interagir avec lui. Mais cette perception factice suffit-elle à produire de la subjectivité ? Merleau-Ponty est très critique de ce corps-interface, fonctionnel, auquel s'oppose justement le projet phénoménologique. Pour lui, « il est inévitable aussi que cette tentative [de reconstruire la perception effective] échoue » car elle cherche à « niveler l'expérience à la hauteur de la nature physique et convertir le corps vivant en une chose sans intérieur. »³ La subjectivité en question se révèle finalement moins être celle de l'ordinateur qu'une prolongation de celle de l'utilisateur.

¹ *Ibid.*, p 33

² *Ibid.*, p.

³ *Ibid.*, p. 82

C. La prolongation de la subjectivité dans l'espace virtuel

En livrant une imitation esthétique et fonctionnaliste de la nature, la 3D temps réel s'approche de l'expérience de vie. Au-delà de l'imitation, c'est la simulation qui intéresse ce nouveau médium : il s'agit d'instruire des prémisses et de les voir dérouler, avec plus ou moins d'aléatoire, un monde nouveau, une expérience sensible. La 3D temps réel poursuit le rêve partagé de l'art, de la science et de la technique en touchant à la reproduction de l'expérience phénoménale du monde. Ce qui est visé c'est la simulation de *ce que ça fait que d'être-au-monde*. Mais à quoi correspond cette expérience ? Depuis l'antiquité, avec les deux modes vies parallèles de la *vita activa* et de la *vita contemplativa*, on trouve cette idée que le monde s'offre de deux manières : par la perception et par l'action. Si certains penseurs antiques avaient coutume de privilégier la contemplation à l'activité, la complémentarité de ces deux approches est mise en avant dans les philosophies qui s'intéressent à l'expérience, à l'existence au sein du monde. John Dewey écrit à ce propos que « rien ne s'enracine dans l'esprit quand il n'y a pas d'équilibre entre agir et recevoir »¹. L'expérience est conditionnée à l'équilibre des deux facultés et peut être entravée par une « hypertrophie » de l'une ou de l'autre. Dans le même esprit, Merleau-Ponty décrit l'« habitude perceptive » et l'« habitude motrice » comme participant à l'« acquisition d'un monde »². Cette double faculté est constitutive de notre « être-au-monde », c'est-à-dire la « vue pré-objective » que nous avons du monde, le rapport inné qui nous donne à lui. L'être-au-monde est avant tout une relation qui repose sur notre existence dans un corps : notre corps est alors une partie du monde et le monde une partie de notre corps. Merleau-Ponty résume ainsi la question : « Le corps est notre moyen général d'avoir un monde. »³. C'est cette conception qui est cœur du projet phénoménologique dont l'enjeu principal consiste à réintroduire une intériorité en réaffirmant le corps. Merleau-Ponty rappelle à quel point l'expérience du monde est une relation. Cela veut dire que le corps humain n'est pas un simple transmetteur qui se contenterait de nous passer l'information absolue d'un réel extérieur, quelle que soit d'ailleurs la provenance de cet extérieur. On a vu dans l'introduction que Merleau-Ponty reproche à l'empirisme comme à l'idéalisme de rechercher la nature originelle derrière l'illusion, de postuler un *a priori*. Bien qu'opposées au départ, les deux philosophies déterminées à fonder une connaissance

¹ Dewey, *L'art comme expérience*, op.cit., p. 96

² Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception*, op. cit., p.188

³ *Ibid.*, p. 182

objective, aboutissent à une même extériorité. C'est là, aux yeux de Merleau-Ponty, une erreur qu'il s'agit de réparer avec la phénoménologie. Contre l'idée qu'il y a déjà des formes *a priori*, c'est au contraire notre relation avec le monde qui se charge de la mise en forme, qui fait que nous voyons tel élément du monde comme une chose et tel autre comme un intervalle. Mais notre perception est relative et nous pourrions nous mettre « à voir comme choses les intervalles entre les choses »¹. Ce qui compte alors ce n'est plus la poursuite d'un absolu, d'un monde objectif et déjà-là, mais la reconnaissance du « monde humain » en perpétuelle évolution, en perpétuelle création. Merleau-Ponty insiste sur cet *a posteriori* qui naît de la relation avec le monde. Il ne s'agit pas de découvrir des faits qui nous préexistent mais de donner vie à une nouvelle réalité par la configuration de nouvelles structures et le tissage de liens : « Faire attention, ce n'est pas seulement éclairer davantage des données préexistantes, c'est réaliser en elles une articulation nouvelle en les prenant pour figures. »². L'être-au-monde décrit par la phénoménologie se livre à un exercice de mise en forme qui pénètre au cœur des choses : au lieu de manipuler et d'agencer de l'extérieur des faits objectifs (Merleau-Ponty parle de « qualités mortes »³), cette relation en immanence est créatrice de « propriétés actives ». Reprenant les principes de la Gestalt theorie, l'être-au-monde est un tout supérieur à la somme de ses parties. Et cette synthèse ne saurait se produire sans le corps : « Le sentir [...] investit la qualité d'une valeur vitale, la saisit d'abord dans sa signification pour nous, pour cette masse pesante qui est notre corps, et de là vient qu'il comporte toujours une référence au corps. »⁴. Ce que vise Merleau-Ponty, c'est de « revenir au monde vécu en deçà du monde physique »⁵ : dépassant l'idéalisme et l'empirisme, la perception constitue la seule véritable intériorité. Et justement le corps est toujours subjectif, c'est un « espace du dedans ». C'est par la prise en compte du corps qu'on peut renouer avec l'intériorité dont le caractère relatif et singulier a entraîné son rejet d'une grande partie de la philosophie occupée à la recherche d'un absolu. Or l'existence dans un corps est fondamentale car sans elle il n'y a pas d'existence tout court. Notre corps est le « pivot du monde », c'est à partir de lui que nous percevons et que nous agissons : « le schéma corporel est un savoir-faire incorporé, un sens pratique et une portée sur le monde dont le corps est le

¹ *Ibid.*, p. 36

² *Ibid.*, p. 54

³ *Ibid.*, p. 79

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*, p. 83

point de départ. »¹. Avec la phénoménologie, il y a l'idée que la perception élargit le corps : si le corps-objet est limité physiquement, le corps phénoménologique n'a pour limite que ses capacités perceptives, il « excède les limites de la peau »². D'ailleurs, le stade ultime de l'être-au-monde c'est le sentiment océanique, la non-distinction de son corps avec son environnement. Si un tel sentiment pouvait s'étendre aux mondes virtuels numériques, il ne ferait aucun doute qu'ils constitueraient des prolongations du « monde réel ». Mais la 3D temps réel peut-elle permettre de s'approprier, par la perception, un nouveau monde, un nouvel espace dans lequel notre corps pourrait se répandre ? Contre la phénoménologie, une idée répandue consiste à considérer que le corps ne suffit pas à faire l'identité personnelle : l'identité psychologique se voit, par exemple, accorder plus d'importance que l'identité corporelle. En suivant cette thèse, on serait toujours la même personne si on changeait de corps sans changer d'esprit alors que l'inverse ne serait pas vrai. De là l'idée qu'on pourrait exister virtuellement sans corps. L'argument est convaincant mais il est trompeur : ce serait une erreur de considérer qu'une connaissance quelconque est accessible sans corps. Comme le rappelle Merleau-Ponty, « il n'y aurait pas pour moi d'espace si je n'avais pas de corps »³. Tout ce que je connais, je le connais par mon existence dans un corps, source de mon être-au-monde. Vouloir se débarrasser de son corps pourrait appartenir à la catégorie des « faux problèmes philosophiques » établit par Bergson. Mon corps propre « ne me quitte pas », je ne peux pas choisir de point de vue sur lui comme pour les autres objets. Et de la même manière, ce serait une erreur de voir, dans la 3D temps réel, la promesse d'une existence purement virtuelle. Loin de se couper du corps, la 3D temps réel le remet justement au centre. La reproduction de l'expérience phénoménale du monde passe avant tout par la reproduction de l'existence dans un corps, de *ce que ça fait que d'être-au-monde avec un corps*. Mais comment la 3D temps réel s'y prend-elle ?

L'immersivité des mondes numériques virtuels réside d'abord dans leur réalisme spatial. La révolution de la 3D temps réel, dans les années 1990, c'est l'introduction d'une troisième dimension et d'une temporalité qui permettent de se déplacer dans les images et de tourner autour des choses. Or cette faculté de se mouvoir dans un espace et de comprendre la forme d'un objet en tournant autour de lui est propre au corps : « je sais que les objets ont plusieurs faces parce que je pourrais en faire le tour, et en ce sens j'ai conscience du monde

¹ Bernard Andrieu, *Philosophie du corps: expériences, interactions et écologie corporelle*, Textes clés (Paris: J. Vrin, 2010), p. 28

² *Ibid.*

³ Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception*, op. cit., p. 118

par le moyen de mon corps. »¹. L'expérience de *ce que ça fait que d'être-au-monde avec un corps* est restituée dans toute son ampleur avec le réalisme spatial de la 3D temps réel. Grâce à ses trois dimensions et la capacité à s'y déplacer, une simulation en 3D temps réel offre une continuité à l'être-au-monde de l'utilisateur : dans le monde virtuel, son corps est toujours « le pivot du monde »². Mais de quel corps s'agit-il ? Merleau-Ponty distingue deux modes d'existence du corps : le corps phénoménal ou corps propre, une sorte de corps *pour moi*, en intériorité ; et le corps objectif, mon corps pour autrui, en extériorité. L'un comme l'autre jouent un rôle dans la conscience de l'espace à l'œuvre dans le monde physique comme dans le monde virtuel numérique. Le corps phénoménal possède un espace premier, inné, qui n'existe que par lui : il est « à l'espace ». Dans cet espace, le corps propre dispose d'une « spatialité de situation » et non d'une « spatialité de position » : elle se définit non par des coordonnées dans un espace mathématique mais par rapport à une action. C'est son intentionnalité, sa projection vers un but, qui donne au corps phénoménal un espace. De ce fait, il constitue toujours l'origine du repère, le point par rapport auquel tout objet détermine sa position :

Mon corps tout entier n'est pas pour moi un assemblage d'organes juxtaposés dans l'espace. Je le tiens dans une possession indivise et je connais la position de chacun de ses membres par un schéma corporel où ils sont tous enveloppés.³

Dans le schéma corporel, décrit par Merleau-Ponty, l'espace mathématique ne s'applique pas car chaque organe constitue sa propre origine : les parties de mon corps « ne sont pas déployées les unes à côté des autres, mais enveloppées les unes dans les autres »⁴. Ainsi, la position du corps propre est toujours absolue : mon bras est défini par sa position propre, connue de manière innée, et non par une position relative à un objet à côté de lui où par son inscription dans un repère spatial. Mais comment se constitue alors le corps objectif ? On a vu que le corps phénoménal est défini par son orientation vers un but : il est « à l'espace » dans une « spatialité de situation ». Mais c'est justement cette intentionnalité qui entraîne, au moment de l'action, un retour du corps sur lui-même. Le corps phénoménal « se

¹ *Ibid.*, p. 111

² *Ibid.*

³ *Ibid.*, p. 127

⁴ *Ibid.*

ramasse sur lui-même »¹ et soudain se voit en quelque sorte de l'extérieur, placé dans une « spatialité de position » : c'est le corps objectif. Celui-ci ne dispose plus d'un espace relatif dont il constitue sans cesse l'origine, le point zéro ; au contraire, il est « dans l'espace ». Le corps objectif est situé dans un repère mathématique, absolu, dont l'origine extérieure à lui ne varie pas selon sa position. On le voit, c'est à partir de l'espace corporel que l'espace objectif peut se déployer. C'est fondamentalement l'expérience d'un corps qui permet la conception de l'espace rationnel et universel. Il serait impossible de définir un tel espace de manière abstraite sans avoir jamais vécu dans un corps auparavant : « il est essentiel à l'espace d'être toujours « déjà constitué » et nous ne le comprendrons jamais en nous retirant dans une perception sans monde. »². Les interprétations qui tiennent les expériences dans les mondes virtuels numériques de la 3D temps réel pour des expériences « sans monde » se trompent. Ces expériences reposent toujours autant sur le corps, et l'acquisition des espaces virtuels se produit, comme dans le monde physique, par le va-et-vient permanent du corps phénoménal et du corps objectif. Ce double mécanisme, décrit par Merleau-Ponty, qui passe du corps phénoménal, intentionnel et origine du repère dans sa spatialité de situation, au corps objectif, né dans l'action du « ramassement » du corps sur lui-même, est reproduit par la 3D temps réel. En effet, au moment du calcul d'une image, la caméra en charge du rendu (c'est-à-dire celle dont l'espace filmé constituera l'image affichée à l'écran) devient le « pivot du monde ». Jusqu'à là placée dans un repère objectif, la caméra devient, au moment même du rendu, l'origine du repère : son emplacement correspond au point de coordonnées 0, 0, 0 par rapport auquel la position de tous les objets de la scène 3D est déterminée. Le *world space* dans lequel est placée la caméra se mue en *camera space* ou *view space* au moment du rendu : l'espace objectif se transforme en quelque sorte en espace subjectif. De ce fait, la caméra apparaît comme la représentante de la subjectivité de l'utilisateur dans le monde virtuel qui continue d'y être l'origine de l'espace, le point par rapport auquel tout objet trouve sa position. Le basculement du *world space* au *view space* assure la prolongation du corps phénoménal dans le monde virtuel qui, dès lors, s'agrége à l'être-au-monde de l'utilisateur. Et ce réalisme phénoménal est poursuivi pendant le rendu avec les étapes du *clipping* et du *merging* : la caméra élimine tous les objets hors de son champ ou dissimulés derrière des objets au premier plan. Pour le corps phénoménal seul existe ce qui est perceptible par lui : « Mais notre point de vue est toujours condamné à ne voir qu'une seule face, seuls le temps et

¹ *Ibid.*, p. 130

² *Ibid.*, p. 291

le langage peuvent nous permettre de multiplier les points de vue. »¹. Ainsi, pour le corps phénoménal, la lune qu'il contemplait il y a un instant cesse d'exister à partir du moment où il lui tourne le dos. Et c'est exactement ce qui se produit au cours du rendu d'une image en temps réel : tout objet hors du champ de la caméra cesse immédiatement d'exister.

Puisque son point de vue phénoménal est préservé dans le monde virtuel, l'utilisateur est toujours « à l'espace », dans une « spatialité de situation » à partir de laquelle sa faculté d'agir peut se déployer. La caméra qu'il contrôle lui permet, en effet, de se déplacer dans l'espace virtuel et d'y prendre possession corporellement : elle constitue le point d'entrée de l'utilisateur dans ce monde. Et c'est ensuite, selon le schéma décrit par Merleau-Ponty, qu'au cours de l'action, l'utilisateur sort de son corps phénoménal pour « se voir » placé dans un repère mathématique. Il constitue du même coup l'espace objectif du monde virtuel qui n'a plus rien alors de différent avec l'espace du monde physique. L'utilisateur sait que le cube qu'il voit devant lui, dans la simulation en 3D temps réel, a six faces, alors même qu'il n'en voit que trois, car il sait qu'il peut tourner autour et découvrir les faces qui se dérobent pour le moment à sa vue. Cet entrelacement du corps phénoménal, pour qui seules les trois faces visibles existent, et du corps objectif, pour qui les six faces sont une évidence, confère toute sa crédibilité à la reproduction de l'expérience du corps dans une simulation numérique. C'est bien sa dimension interactive – sa faculté d'agir depuis un point de vue – qui lui permet d'exister comme un véritable espace. Il n'est pas question de parler à propos d'un film d'« immersivité spatiale » comme pour un jeu vidéo où c'est le joueur qui contrôle ses mouvements et ses points de vue, tout en réalisant ses objectifs.

La conservation du corps dans l'espace virtuel rend possible l'exercice de la double faculté de la perception et de l'action, prolongeant ainsi l'expérience du monde. Merleau-Ponty parle d'« habitude perceptive » et d'« habitude motrice » pour désigner la pratique régulière d'un monde qui nous le rend familier. Avec l'« habitude », c'est l'idée qu'à force de percevoir et d'agir dans un espace on finit par l'habiter. Au-delà du réalisme spatial, l'habitation des mondes virtuels numériques passe aussi par leur réalisme sensible. Avec le sentir, écrit Merleau-Ponty, « je livre une partie de mon corps »². La sensation est comparée à une communion : elle s'adresse à l'être premier, au moi pré-individuel déjà donné au monde. Au moment de la sensation, le sujet sentant se retire tout entier en lui-même, il est une pure subjectivité. L'enjeu est donc de taille pour la 3D temps réel : donner à un utilisateur la

¹ *Ibid.*, p. 98

² *Ibid.*, p. 256

possibilité d'exercer ses sens dans un monde virtuel revient à lui permettre de se plonger en lui et de se l'approprier, c'est lui permettre d'exercer « cette relation vitale avec le monde qui nous le rend présent comme lieu familier de notre vie »¹. À partir du moment où l'on perçoit dans un monde virtuel, celui-ci devient l'un des lieux de notre existence. Les sens de la vue et de l'ouïe peuvent être retranscrits assez fidèlement par rapport à l'expérience du monde physique. En revanche, c'est plus difficile pour les autres sens, comme le goût et l'odorat, qui ne disposent pas de dispositifs adaptés à l'instar de l'écran et du casque audio. Le toucher, quant à lui, est ambivalent : la tactilité est partie prenante de l'interaction avec une simulation en temps réel. C'est par le toucher qu'on agit sur une manette, sur une souris ou sur un écran tactile. Par ailleurs, il est possible de restituer une partie de l'expérience du toucher avec la vue : la rugosité d'un tronc d'arbre ou l'aspect lisse et froid du verre peuvent, par exemple, être éprouvés grâce à la convocation de souvenirs provoqué par la vue du matériau en question. Le réalisme du toucher est en partie lié au réalisme visuel. Et de la même manière que pour les matériaux, les « collisions » occasionnées par les surfaces définies comme surfaces d'arrêt (des surfaces que l'utilisateur ne peut pas traverser, avec lesquelles il « se cogne ») peuvent provoquer la sensation du choc. Ce qui est visé avec restitution plus ou moins convaincante de ces différents sens, c'est l'habitation au monde virtuel : il s'agit de se l'approprier pour pouvoir l'utiliser. Merleau-Ponty décrit l'habitude comme une synthèse opérée par le corps :

S'habituer à un chapeau, à une automobile ou à un bâton, c'est s'installer en eux ou inversement, les faire participer à la voluminosité du corps propre. L'habitude exprime le pouvoir que nous avons de dilater notre être au monde, ou de changer d'existence en nous annexant de nouveaux instruments.²

L'habitude, c'est le corps qui comprend et qui apprivoise le monde avec lequel il est en relation. Ce processus est à l'œuvre dans une simulation en 3D temps réel qui est façonnée par les actes de son utilisateur, au moment de sa conception comme au moment de son jeu. De ce fait, elle constitue un instrument qui prolonge l'expérience phénoménale, qui l'augmente, qui la rend possible dans l'espace virtuel. La 3D temps réel est donc une perception instrumentée comme l'est la perception de l'aveugle par le biais de son bâton. Merleau-Ponty

¹ *Ibid.*, p. 79

² *Ibid.*, p. 179

décrit bien de quelle manière l'instrument qui sert à percevoir, soudain, ne fait plus qu'un avec le corps qu'il augmente :

Quand le bâton devient un instrument familier, le monde des objets tactiles recule, il ne commence plus à l'épiderme de la main mais au bout du bâton. [...] Le bâton n'est plus un objet que l'aveugle percevrait, mais c'est un instrument avec lequel il perçoit. C'est un appendice d'un corps, une extension de la synthèse corporelle.¹

Comme le bâton de l'aveugle qui devient une extension sensorielle, le clavier ou l'écran tactile deviennent des extensions du corps. Mais, dans le cas de la 3D temps réel, l'extension sensorielle a ceci de particulier qu'elle permet de percevoir non pas dans un monde physique mais dans un monde virtuel. Plus impressionnante encore que le bâton de l'aveugle, la souris fait office de passerelle vers un autre régime de réalité : elle ouvre sur un nouveau monde avec des possibilités d'action nouvelles. Et la transition se fait en douceur, presque naturellement. Après une courte période de prise en main, le déplacement et le plongement sensoriel dans l'espace virtuel se font de manière intuitive. C'est comme si le cerveau n'éprouvait aucune difficulté, ne soulevait aucune incohérence dans cette extension sensorielle. Soudain, l'utilisateur qui manipule une manette, ou toute autre sorte d'objet interactif, éprouve le sentiment d'être plongé physiquement dans un monde derrière l'écran. Mais peut-on vraiment parler d'une expérience corporelle en tous points identique à celle du monde physique ? La 3D temps réel est un outil de perception phénoménale donnant accès à un monde qui, à la différence du monde qui s'offre au bâton de l'aveugle, n'est pas le monde physique que l'on connaît : c'est cet étrange virtuel numérique, difficilement définissable, actuel et virtuel en même temps, imitation de la nature et pourtant fondamentalement différent, nouveau. La caméra peut se déplacer dans n'importe quelle direction, parfois elle peut traverser les murs où même voler ; souvent elle semble flotter, sans corps. Avec la 3D temps réel, l'utilisateur perçoit dans un monde virtuel numérique qui n'est pas contraint aux lois physiques. Une simulation peut, bien sûr, s'y tenir et les reproduire fidèlement, mais elle peut tout autant les ignorer et prendre son autonomie. Après tout, l'informatique est une science de création.

¹ *Ibid.*, p. 188

III. La création de mondes phénoménaux avec la 3D temps réel

A. La conception technique des moteurs de rendu 3D en temps réel

Dans un de ses cours au collège de France intitulé « Où va l'informatique ? »¹, Gérard Berry rappelle que l'informatique constitue une science de création. En cela, elle se distingue des sciences de la nature qui reposent sur l'observation et la découverte d'une vérité préexistante. Il ne s'agit pas simplement de reproduire la nature mais d'en créer une nouvelle, de créer un nouveau monde. L'informatique est à mi-chemin entre sciences et technique. Or, comme le rappelle Latour, la vérité de la technique ne répond pas à la question « Est-ce que c'est vrai ? » mais « Est-ce que ça marche ? »². Dès lors, il est permis et même nécessaire de « tricher » avec le réel. Plutôt que d'une imitation de la nature, on devrait parler dans le cas de l'informatique d'une inspiration : l'informaticien se rend bien vite compte que le réel ne se laissera pas dompter tel quel et qu'il va falloir ruser. De ce fait, la conception des moteurs de rendu 3D temps réel comporte une grande part de créativité : c'est un monde vierge qui attend d'être écrit, ou plutôt codé. Et ce caractère de création jaillie du néant se retrouve à différents niveaux dans la 3D temps réel, fondant une certaine autonomie des mondes virtuels et leur détachement du « vrai » monde. L'expérience de la 3D temps réel, comme celle d'une nouvelle terre, comporte une grande part de nouveauté irréductible à l'expérience du « vieux » monde. Marie-Paule Cani exprime, dans son article *Mondes virtuels : genèse des nouveaux mondes*³, toute la puissance créatrice que libèrent ces nouveaux mondes :

Qui n'a pas rêvé d'être Dieu ? De créer le monde, « son » monde, de le contrôler et de l'explorer librement ? Les nouvelles technologies de l'image nous propulsent dans cette voie. Parfois munis de dispositifs d'immersion – vision en relief, son spatialisé, dispositifs tactiles et même olfactifs, animés pour donner l'illusion de la vie, les mondes virtuels nous permettent d'exprimer librement notre force créatrice.

La conception d'une expérience en 3D temps réel commence avec la conception des moteurs de rendu. C'est d'abord le travail technique et scientifique des informaticiens qui doit

¹ Gérard Berry (2019, 23 janvier). « Où va l'informatique ? » [Conférence]. Où va l'informatique ?, Collège de France, <https://www.college-de-france.fr/agenda/cours/ou-va-informatique/ou-va-informatique>

² *La science telle qu'elle se fait - Bruno Latour : l'ultime entretien 8/11* | ARTE, 2022, https://www.youtube.com/watch?v=XsC_UeFx2JA.

³ Cani, « Mondes virtuels ». *op. cit.*

répondre aux lois du « est-ce que ça marche ? ». Marie-Paule Cani décrit ainsi la base de son travail de chercheuse en informatique graphique :

Créer une image de synthèse repose sur deux étapes fondamentales : définir la forme tridimensionnelle des objets – c'est-à-dire en donner une description mathématique – et « rendre » l'image, c'est-à-dire calculer une vue du monde virtuel ainsi constitué, prise par une caméra fictive dont on a indiqué la position.¹

On a vu que l'enjeu ne résidait pas dans une reproduction à l'identique de la nature. Ce qui compte, ce n'est pas la chose en soi mais le principe producteur de l'illusion : garder l'esprit en s'affranchissant de la lettre. C'est tout un travail d'innovation qui cherche à adapter les grandes lois physiques et mathématiques pour faire en sorte que « ça marche ». C'est d'ailleurs d'autant plus vrai pour la 3D temps réel dont la performance est un enjeu central. Il faut que la génération des images soit assez optimisées pour se faire en « temps réel », c'est-à-dire pour qu'elles soient calculées dans la fraction de seconde qui précède leur affichage :

Les modifications du monde calculées à partir de ces données doivent être perçues comme « immédiates », ce qui ajoute une difficulté majeure : le temps alloué pour calculer chaque nouvel état du monde est limité par la fréquence d'affichage ou de retour sensoriel. Ces contraintes, dites de « temps-réel », sont antinomiques de l'exigence de qualité nécessaire à la synthèse d'un monde crédible, voire « réaliste ». Le savoir-faire d'un créateur de mondes virtuels réside dans la réponse qu'il apporte à cette double exigence.²

La meilleure qualité dans le temps de calcul le plus court : voilà le défi des créateurs de moteurs de rendu et de monde en 3D temps réel. Dans cette optique, deux facteurs sont à prendre en compte : la puissance des machines et la simplicité des calculs. L'effort est mené des deux côtés, et c'est la raison pour laquelle les jeux vidéo, si longtemps condamnés à des graphismes plus pauvres que ceux du cinéma, sont désormais en train de rattraper l'écart grâce aux avancées récentes des cartes graphiques. Il leur est désormais possible de traiter des tâches complexes en temps réel, comme le calcul de rayons de lumière, allant vers un réalisme accru des images interactives et une plus grande immersivité. Quoi qu'il en soit, l'optimisation est toujours nécessaire et ne semble pas prête de disparaître un jour puisqu'il

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

n'y a pas de limites au réalisme. Le *real-time* sera toujours à la recherche de l'image la plus parfaite que les moteurs seront en mesure de rendre. Dans sa tentative de reproduire le monde, la recherche en informatique graphique se retrouve à devoir comprendre, étudier et inclure toutes les autres sciences :

Simuler » un monde virtuel en mouvement – avec ses rivières, ses nuages, sa végétation, ses bâtiments, ses personnages, ses animaux – revient potentiellement à y intégrer la quantité colossale de connaissances qui s'y rapportent, issues de tous les domaines scientifiques, ainsi que les valeurs des paramètres permettant de passer du phénomène général aux éléments particuliers du monde observé.¹

Reproduire un humain à la perfection reviendrait à comprendre l'ensemble du fonctionnement du corps, des cellules, à percer le mystère de la conscience et de la vie. Et même en restant dans une conception matérialiste de l'univers qui ne présupposerait qu'un enchaînement mécanique des choses, la tâche serait toujours bien trop grande, démesurée, hors de portée de tout calcul. Dès lors, il faut ruser, « tricher » avec le réel, viser le « réalisme perceptif », aller vers le « trompe l'œil » comme on l'a vu précédemment. C'est un exercice non seulement de synthèse mais de réécriture : pour simuler une chevelure qui flotte dans le vent, un nuage ou une prairie, il n'est pas possible de reproduire à l'identique les connaissances physiques, météorologiques ou biologiques relatives à ces différents phénomènes. Il faut partir de l'observation du réel et prendre ses distances : d'abord en faisant des approximations et puis en inventant des techniques nouvelles. Les lois scientifiques doivent être adaptées ou réécrites quand il s'agit de les appliquer aux mondes virtuels. De nombreux systèmes de simulation se basent, par exemple, sur les lois de Newton, donc sur les lois en action dans le monde physique. Mais un autre système de simulation, les *Position-Based Dynamics* constitue, par exemple, une alternative aux *Newtonian Dynamics*. Au lieu d'utiliser les différentes lois de Newton pour calculer le mouvement des corps, les *PDB* se servent d'un système de contraintes entre particules, définissant leur mouvement les unes par rapport aux autres pour simuler le mouvement global du corps qu'elles composent. Ce système des *PDB*, bien qu'inspiré des *Newtonian Dynamics* est une invention de l'informatique graphique qui ne règle que le mouvement des corps virtuels, aucunement celui des corps physiques. Ce genre d'écart par rapport au « réel » est néanmoins recouvert sous

¹ *Ibid.*

des apparences identiques : que leurs mouvements soient organisés par la physique newtonienne ou par les *PDB*, les particules se meuvent de la même façon pour l'œil et l'identité de surface est préservée. Mais l'informatique graphique peut aller bien plus loin dans la prise de distance avec le réel. C'est l'identité de surface elle-même qu'un concepteur de moteurs de rendu peut choisir d'ignorer, consommant alors la séparation du virtuel avec le monde physique. Il est, par exemple, possible de paramétrer des moteurs de rendu pour qu'ils échappent aux règles de la géométrie euclidienne, produisant ainsi des espaces étranges et déroutants où la perspective et le sens de l'orientation ne sont plus d'aucune utilité. L'effet recherché peut être de divers ordres : artistique, s'il s'agit de procurer une émotion nouvelle, jamais expérimentée dans le monde physique, mais également scientifique à des fins d'expérimentation. Il s'agit alors d'une expérience bien étrange, à mi-chemin entre l'expérience de laboratoire et l'expérience de pensée qui se réalise. Ici, la démarche du scientifique, de l'ingénieur et de l'artiste se confondent pour donner lieu à une création hybride. Une simulation en 3D temps réel est un véritable exemple de création : plus qu'une imitation de la nature, c'est une nature nouvelle créée par l'humain, à commencer par les informaticiens. Ceux-ci, sans plus se soucier de découvrir une vérité cachée, s'inspirent des découvertes des sciences d'observation pour réécrire les lois du monde et en inventer de nouvelles. En fin de compte, tout doit être exprimé sous forme de code informatique : les informaticiens, comme les écrivains, n'ont d'autre limite que leur créativité.

B. La création artistique avec la 3D temps réel

Un artiste 3D est avant tout un artisan. Son art, comme la plupart des arts, repose sur la maîtrise d'un savoir-faire technique. Créer une image de synthèse avec la 3D implique deux grandes étapes : la conception de la scène 3D et le rendu. C'est cette dernière étape du rendu qui constitue la différence fondamentale entre 3D *offline* et 3D *real-time*. En revanche, pour ce qui est de la conception de la scène 3D, les deux types de 3D entretiennent de nombreux points communs. Admettons qu'un artiste veuille créer l'image d'un bord de mer : quelques baigneurs qui jouent au loin dans les vagues, une plage de sable, des touristes allongés sur des serviettes et, au premier plan, des dunes avec de la végétation. Pour obtenir cette image, l'artiste 3D doit réaliser un certain nombre de tâches successives qui nécessitent des savoir-faire différents. Après avoir défini son idée – par exemple avec un *concept art*, une illustration de l'image qu'il compte obtenir – l'artiste 3D s'attelle au *layout*, c'est-à-dire à une

sorte de brouillon de mise en scène dans l'espace 3D. Au moyen d'un logiciel qui offre un *viewport 3D*, un espace tridimensionnel dans lequel l'utilisateur peut se déplacer et positionner des objets, des lumières ou des caméras, l'artiste met un place une première version de sa scène avec des formes grossières. Dans l'exemple du bord de mer, on pourrait imaginer quelques bosses pour les dunes, une surface plane pour la mer et quelques rectangles pour l'emplacement des personnages. C'est également à cette étape que les premières intentions de lumière peuvent être signifiées, ainsi que les premières intentions de cadrage, avec le placement dans l'espace 3D de lampes et d'une caméra virtuelles. Ensuite, vient l'étape cruciale de la modélisation : il s'agit de créer, avec le niveau de détail qu'on souhaite, les objets qui vont peupler la scène. C'est en quelque sorte l'équivalent des métiers de concepteur de décors, d'objets et de costumes qu'on trouve dans le cinéma en prise de vue réelle, avec ceci en plus que dans le cas de la 3D il faut également créer de toutes pièces les acteurs. La modélisation peut s'effectuer de différentes manières avec différents logiciels : pour les objets géométriques une souris peut suffire à agencer les différentes arêtes et sommets pour obtenir la forme désirée (un parasol ou une glacière par exemple), en revanche pour les formes organiques (un corps humain par exemple) il est plus simple d'utiliser une tablette graphique avec un stylet dans un logiciel de sculpture numérique – on ajoute ou on enlève de la matière avec la pointe du stylet qui se transforme en burin virtuel de l'autre côté de l'écran. Il est à noter qu'on peut aussi obtenir des objets 3D en scannant des objets physiques : en photographiant un objet sous tous ses angles, certains logiciels peuvent reconstruire à partir des photos une représentation virtuelle de l'objet. En parallèle de la modélisation, d'autres étapes peuvent être nécessaires pour la création d'objets particuliers comme les poils, les vêtements ou encore l'eau. Une fois les objets 3D modélisés, il faut leur appliquer des textures et des matériaux. Pour cela, on commence par découper chaque objet 3D pour en obtenir un patron qui tient dans un espace 2D. L'aplatissement de la surface de l'objet permet de lui assigner une image en guise de texture et il devient alors possible de peindre l'objet. C'est l'étape du *texturing* pendant laquelle l'artiste 3D peint la surface de l'objet 3D au moyen d'une tablette graphique et d'un stylet qui s'est mué cette fois en pinceau virtuel. Ainsi, dans le cas d'un humain, l'artiste devra peindre la couleur globale et les différents détails de la peau comme les taches de rousseur ou les grains de beauté. Lorsque qu'on dispose des textures pour tous les objets, il faut les appliquer sur la surface 3D avec un *shader*, un programme informatique qui permet de paramétrer un matériau virtuel. Le *shader* d'un objet effectue le *mapping* de la texture 2D sur la représentation 3D de sa surface, mais il

se charge également de reproduire la façon dont le matériau souhaité réagit à la lumière avec des effets de transparences, de réflexion, d'absorption... En parallèle de cette étape, une chaîne de tâches peut s'ajouter si, au lieu d'une image fixe, on souhaite obtenir une image en mouvement. Il faut alors « rigger » les objets qui seront animés, c'est-à-dire qu'il faut leur créer un squelette dont les différents os auront la capacité d'entraîner la surface de l'objet qu'on leur aura assignée. Dans le cas d'un personnage humain, par exemple, on crée une armature qui schématise le squelette humain avec des os pour les jambes, la colonne vertébrale, les bras, les mains, etc... Ce squelette est placé à l'intérieur de la modélisation du personnage et l'on vient peindre sur sa surface les zones d'influence de chaque os : c'est le *skinning*, l'assignation d'une zone de peau à chaque os. Lorsque le *rig* est prêt, on peut animer, et il s'agit alors de bouger le squelette selon le mouvement qu'on veut obtenir. La séquence d'animation est constituée de poses placées à différentes images sur la *timeline*. Pour chaque pose, les os du squelette sont positionnés avec la souris et se voient assigner une « clé » qui les fige à un moment donné. C'est la succession des poses qui crée le mouvement. Il existe d'autres techniques d'animation comme la motion-capture qui consiste à enregistrer les mouvements d'un acteur revêtu d'une combinaison de capteurs, et à appliquer cette séquence de poses au squelette d'un personnage 3D. Par ailleurs, certains objets ne se prêtent pas à l'animation par le biais d'un squelette, comme les vêtements, les cheveux ou l'eau. Ces animations particulières sont du ressort de la « simulation » qui vise à reproduire de manière procédurale certains phénomènes physiques. Dans notre exemple d'une scène de bord de mer, il faudrait simuler le mouvement des vagues ainsi que l'effet du vent dans la chevelure des personnages, dans leurs vêtements et sur la végétation. Enfin, lorsque toute la matière de la scène 3D a été modélisée ou scannée, c'est-à-dire lorsqu'il en existe une représentation géométrique dans l'espace 3D ; lorsqu'elle a été texturée, qu'on lui a appliqué des matériaux et qu'elle a été animée, cette matière peut être mise en lumière. Concrètement, il s'agit de faire glisser, avec la souris, des lampes virtuelles dans le *viewport* 3D du logiciel. En déterminant de nombreuses options comme la position de la lampe, son orientation, son type (un soleil ? un spot directionnel ?) ou encore l'intensité de la lumière, il est possible d'obtenir l'éclairage souhaité pour sa scène. En parallèle, il faut placer une caméra virtuelle qui effectuera la transition entre l'espace 3D et l'image finale calculée, en 2D. Une fois qu'on a procédé aux derniers réglages concernant la taille de la focale ou son ouverture, il ne reste plus qu'à cliquer sur le bouton « rendu » comme on appuie sur un déclencheur.

Toute cette chaîne de tâches qui précède le rendu, allant de la première modélisation aux dernières intentions photographiques, demeure dans une large mesure la même, qu'il s'agisse de rendu *offline* ou *real-time*. Ce processus commun concerne l'informatique graphique tridimensionnelle en général : c'est lui qui a entraîné, à partir des années 1970, une révolution dans la création des images. Pour produire une image 3D, un artiste se retrouve à créer un véritable petit monde dans lequel il peut se déplacer, choisir sa lumière et son point de vue, dans lequel les personnages animés ont un squelette et des cheveux dont le flottement ne dépend pas d'une décision arbitraire et purement esthétique mais d'un « vrai-faux » vent qui souffle.

C'est au moment où l'on appuie sur le déclencheur de la caméra virtuelle que la différence fondamentale entre rendu *offline* et rendu *real-time* se produit. Pour le premier type de rendu, l'image mettra dans le meilleur des cas quelques secondes à être calculée, mais plus souvent plusieurs minutes voire plusieurs heures. Au contraire, pour le rendu temps-réel l'image est calculée dans l'instant qui précède son affichage, ce qui donne l'impression à l'utilisateur d'avoir déclenché un monde plutôt que son calcul. Le rendu fait la différence fondamentale entre les deux types de 3D, jusqu'à occasionner des changements dans la chaîne de fabrication qu'on vient d'étudier. Si les grandes étapes de la modélisation, du *texturing*, du *shading*, du *rigging*, de l'animation, de la simulation et du *lighting* demeurent les mêmes dans les grands principes, le choix du rendu a une influence sur la façon dont ces tâches sont réalisées. Puisque le rendu *offline* vise la qualité esthétique au mépris du temps de calcul, toute sa chaîne de fabrication est tournée vers cette optique : on exige le meilleur niveau de définition à chaque étape. C'est différent pour le rendu *real-time* qui doit prendre en compte l'optimisation : dans le cas des modélisations, par exemple, elles sont simplifiées, ou plutôt on en réalise différentes versions de la plus détaillée à la moins détaillée (ce sont les « *LOD* » pour *Level Of Detail*), et lors du rendu le moteur adapte dynamiquement le niveau de détail de l'objet : plus il est loin de la caméra plus son niveau de détail est bas, plus il est proche et plus il gagne en définition. Ces deux approches antagonistes – la qualité au détriment de l'optimisation ou l'optimisation au détriment de la qualité pour schématiser – servent des fins différentes. Dans l'ordre d'apparition, c'est la 3D *offline* qui a vu le jour en première. On a vu précédemment qu'elle a été utilisée dès les années 1970 pour le cinéma. Cette nouvelle technologie a eu un impact important sur le septième art en introduisant de grands changements dans les méthodes de réalisation. Pour le cinéma en prise de vue réelle, l'usage des images de synthèse dans les effets spéciaux a permis de repousser les limites techniques

des effets jusqu'alors réalisés physiquement. On a vu apparaître un grand nombre de films reposant largement sur ces nouvelles images, dont certains sont devenus de véritables emblèmes du cinéma fantastique : on pourrait citer *Le seigneur des anneaux*, *Matrix* ou encore *Avatar*. Pour ce genre de films, l'expérience de réalisation a drastiquement changé avec la démocratisation de la motion capture ou encore des tournages devant d'immenses « fonds verts » ou « fonds bleus » à travers lesquels l'équipe du film, à commencer par les acteurs et actrices, doivent imaginer le décor virtuel qui les remplacera. Et cette révolution dans l'expérience de réalisation concerne tout autant le cinéma d'animation qui a vu progressivement la 3D remplacer la 2D comme genre majoritaire. Si l'animation classique produite par le Walt Disney des années 1930 était avant tout une affaire de papier et de crayon, l'animation de nos jours est principalement informatique : les animateurs qui bougent les squelettes des modélisations avec une souris sont désormais bien plus nombreux que ceux qui dessinent. Et les bouleversements dans la façon de travailler existent pour toutes les étapes de la production d'un film, pas seulement pour l'animation. La mise en lumière par exemple change fondamentalement avec la 3D : encore une fois le dessin, et le tracé manuel des ombres et des lumières, a laissé place aux calculs informatiques qui déterminent le comportement des rayons lumineux émis depuis une lampe virtuelle ajustée par le *lighting artist*. Au niveau de la réalisation, un film d'animation 3D est sans doute plus proche du cinéma en prise de vue réelle que du dessin animé : on travaille dans une scène 3D qui tient beaucoup du plateau de tournage avec un décor, des acteurs, des lumières et des caméras. Le métier de directeur de la photographie qui, pour des raisons évidentes n'existait pas dans le dessin animé, occupe désormais une place importante dans la réalisation d'un film d'animation 3D : comme sur plateau de tournage, il supervise le choix des lumières et des focales de caméra qui exécuteront le rendu. Et ces nouvelles façons de travailler entraînent également une nouvelle esthétique. La 3D permet de réaliser des films d'animation qui n'auraient pas pu voir le jour avec le dessin animé. On pense aux films de Pixar dont l'aspect visuel est facilement identifiable et qui offrent une réalisation très proche du cinéma *live* avec un travail poussé sur la lumière et les mouvements de caméra. Si les travellings et autres effets de caméra sont très vite limités dans l'animation dessinée (il faut prendre en compte, pour le dessin de chaque image, le mouvement de la caméra en plus du mouvement des personnages), ils deviennent illimités dans l'animation 3D qui peut même aller beaucoup plus loin que le cinéma en prise de vue réelle. Il est possible de faire exécuter à la caméra absolument tous les mouvements qu'on souhaite : la faire voler ou traverser des murs. Le film

d'animation *J'ai perdu mon corps*, dont les images finales ont été dessinées à la main a toutefois fait un grand usage de la 3D pour la mise en scène, le choix des points de vue et des mouvements de caméra : le film entier a été réalisé dans une version brute en 3D avant d'être redessiné, ce qui a permis de combiner l'esthétique de la 2D avec la réalisation immersive et très réaliste de la 3D.

On voit donc à quel point la 3D *offline* a constitué une révolution dans la manière de faire des films, qu'ils soient en prise de vue réelle ou en animation. Mais dans le fond, cette 3D précalculée a poursuivi le cinéma qui lui préexistait. Le médium a été poussé et perfectionné à un niveau supérieur (images plus impressionnantes, immersivité, fluidité) mais reste toujours le même : c'est une continuité. La vraie rupture est introduite avec les premiers jeux vidéo en 3D *real-time* dans les années 1990. À l'imitation esthétique de la nature par la 3D *offline*, la 3D *real-time* répond avec l'imitation fonctionnaliste : l'interactivité donne aux mondes virtuels des jeux vidéo un réalisme de fonctionnement. Soudain, on peut se déplacer dans les images et agir sur elles, en elles. Les jeux vidéo 3D constituent un nouveau médium, une nouvelle forme d'art, qui tire pleinement parti des capacités de sa dimension informatique. Puisque les images numériques sont obtenues par calcul, il est possible de les manipuler et de jouer avec. La dimension manipulable, pourtant bien présente dans toute la chaîne de fabrication qui précède le rendu, se trouve soudain évacuée et verrouillée avec le rendu *offline*. Les concepteurs d'effets spéciaux ou de films d'animation, peuvent tourner dans les images comme les joueurs de jeux vidéo, mais une fois que le rendu a été déclenchée, l'image devient figée sous un angle de vue et il n'est plus possible de « jouer » avec. Les jeux vidéo, à l'inverse, laissent aux utilisateurs la possibilité de poursuivre la création (avec bien sûr une marge de manœuvre plus ou moins restreinte). Le jeu vidéo 3D s'affirme progressivement comme un nouvel art né de l'informatique graphique, comme le cinéma constituait en son temps un nouvel art né de l'invention du cinématographe. Et le jeu vidéo 3D, qui n'a qu'une trentaine d'années, est toujours en train de se construire une grammaire, comme le cinéma dans les années 1920. La 3D temps réel semble destinée à un bel avenir : on observe, depuis quelques années, une convergence des arts usant des images 3D. La temporalité du temps réel et sa dimension interactive se combinent au réalisme esthétique du rendu *offline*. Ainsi, le cinéma, jusqu'à la chasse gardée de la 3D *offline*, se tourne de plus en plus vers le *real-time*, qu'il s'agisse de prise de vue réelle avec les tournages en *virtual production* dans lesquels d'immenses écrans remplacent les fonds verts, ou qu'il s'agisse d'animation dont les productions adoptent progressivement des moteurs de rendu de jeu vidéo comme Unreal

Engine ou Unity. Mais dans l'autre sens, le jeu vidéo est de plus en plus en mesure de livrer une expérience cinématographique : on pourrait citer en exemple le jeu *Unrecord* dont le récent trailer a suscité un *buzz*, les internautes ne parvenant pas à définir s'ils avaient affaire à des images filmées ou à des images de synthèse rendues en temps réel. Avec les améliorations constantes des moteurs de rendu et des cartes graphiques, le jeu vidéo prend une nouvelle dimension, et la 3D temps réel en profite pour s'ouvrir à d'autres médiums. Au-delà des effets-spéciaux et de l'animation qui se mettent à utiliser le *real-time* dans un esprit de continuité avec ce qu'ils faisaient avant dans le rendu *offline*, de nouvelles tentatives artistiques se distinguent en cherchant à exploiter pleinement les caractéristiques interactives et directes du *real-time*. La réalité virtuelle apparaît comme l'une de ces innovations prometteuses, à la croisée du jeu vidéo et du cinéma d'animation. Le studio *Baobab*, fondé par un ancien réalisateur de *Dreamworks*, se positionne par exemple comme un studio de films d'animation en VR, ouvrant la voie à de nouvelles histoires et de nouvelles expériences. Le *real-time* comporte une immédiateté qui donne à ses images un caractère spontané et imprévisible : les visuels précalculée du rendu *offline* laissent place au « direct » et sa part d'aléatoire. Le logiciel *Touch Designer*, par exemple, dédié à la création « live » fait un grand usage de la 3D temps réel pour donner vie, à l'occasion d'un concert, d'un spectacle ou d'une exposition, à des images qui interagissent avec leur environnement. Les fréquences d'une musique ou les mouvements d'un spectateur deviennent des paramètres qui influent sur le rendu de l'image, lui conférant un caractère unique lié à un moment à un endroit. Comme pour une pièce de théâtre qui ne livre jamais exactement la même représentation, la 3D temps réel est en mesure de faire jaillir l'étincelle du spectacle vivant. John Dewey rappelle à quel point l'expérience esthétique est d'abord l'expérience de la vie et, face au snobisme de l'art académique qui voudrait faire oublier ce lien, il convient au contraire de lui rendre toute sa place.¹ En répondant à l'appel de John Dewey, la 3D temps réel offre de nouvelles possibilités de créations artistiques étroitement reliées à la vie, comme le jeu vidéo, la réalité virtuelle ou encore le *VJing* (manipulation d'images en direct). À une époque où les images sont livrées à domicile et les salles de cinéma désertées, la 3D temps réel pourrait réintroduire la création visuelle dans l'espace public.

¹ Dewey, *L'art comme expérience*, chap. 1 L'être vivant.

C. Conception par le design

La 3D temps réel possède une forte dimension expérientielle. Comme le rappelle John Dewey, « il y a constamment expérience, car l'interaction de l'être vivant et de son environnement fait partie du processus même de l'existence »¹. C'est l'interaction avec un environnement qui est la source productrice de l'expérience vécue. Un jeu vidéo ou un film en *VR* sont d'abord des expériences car ils constituent un environnement avec lequel l'utilisateur peut entrer en contact. C'est d'ailleurs tout le sens du mot « immersif » si souvent utilisé pour désigner les mondes virtuels. Mathieu Triclot se livre à une comparaison du cinéma et du jeu vidéo, si souvent rapprochés, et constate que leurs objectifs diffèrent : le cinéma fait appel à une perception passive du spectateur pour « produire des émotions et véhiculer une histoire »², à l'inverse, le jeu vidéo recherche une perception active pour « expérimenter un univers actionnable »³. C'est ce pouvoir d'agir qui, on l'a vu précédemment, permet à l'utilisateur d'habiter ce monde virtuel en lien dynamique avec lui. À partir du moment où le spectateur entre dans la simulation, il n'est justement plus spectateur mais désormais utilisateur, acteur. Puisque c'est lui qui peut choisir, dans une certaine mesure, son histoire et sa mise scène, le travail de réalisateur sur un jeu vidéo ou sur un film en *VR* s'apparente plus à celui du *designer*. Il consiste à faciliter l'expérience de l'utilisateur ainsi qu'à le guider dans ses actions en attirant son regard vers tel ou tel endroit du monde virtuel, en attisant sa curiosité pour tel ou tel objet, pour tel ou tel personnage. Depuis les débuts de l'informatique graphique, le *design* occupe une place importante. L'expérience utilisateur et l'aspect visuel des interfaces graphiques jouent un rôle fondamental dans le rapport des utilisateurs à leurs machines numériques, et c'est encore plus vrai pour les expériences de la 3D temps réel qui sont perçues comme des environnements à part entière. Concevoir des expériences, c'est le métier des *designers*. Stéphane Vial souligne leur responsabilité dans le domaine numérique :

Celles et ceux qui ont la charge de concevoir ces appareils [phénoménotechniques] doivent être considérés comme philosophiquement responsables de l'expérience, c'est-à-dire de tout ce qui s'offre à être perçu, vécu, éprouvé. Aussi, l'ontophanie numérique n'est pas seulement une

¹ *Ibid.*, p. 80

² Mathieu Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, La Découverte-poche (Paris: la Découverte, 2017). p. 102

³ *Ibid.*

phénoménologie nouvelle : elle engage une phénoménologie créative, qui résulte d'un processus de fabrication.¹

D'une manière générale, les concepteurs des mondes de la 3D temps réel sont des « générateurs d'ontophanie ou des faiseurs d'être-au-monde »². Stéphane Vial évoque ici la dimension médiatrice de la technologie : elle contribue à la mise en forme de notre rapport au monde et génère une expérience qui lui propre. Le qualificatif d'« appareil phénoménotechnique », pour désigner un appareil producteur de phénomènes, s'applique parfaitement aux différents dispositifs qui soutiennent le fonctionnement d'une simulation en 3D temps réel (un ordinateur, une console ou encore un casque de réalité virtuelle). Prise dans cette appréciation phénoménologique, la 3D temps réel se prête à une nouvelle conception du design telle qu'elle est définie par Peter-Paul Verbeek dans son ouvrage *What Things Do*³. Verbeek rappelle que le *design* industriel prend principalement en compte deux aspects d'un objet : sa fonctionnalité et sa valeur sémiotique. Un objet doit fonctionner et doit correspondre à l'image que veut renvoyer son utilisateur. Selon cette approche, faire du *design* c'est donc s'interroger sur la fonction et sur le sens. Mais dans l'exemple d'une simulation en 3D temps réel, quelle est la fonction et quelle est le sens ? Si ces deux aspects peuvent bien sûr être pris en compte, ils ne constituent néanmoins pas le premier enjeu d'un *designer* de mondes virtuels. Ce qui compte avant tout, c'est la dimension expérientielle : ne se concentrer que sur la valeur sémiotique ou sur la fonction d'une simulation en 3D temps réel reviendrait à manquer l'essentiel, c'est-à-dire sa capacité à produire des phénomènes et à constituer ainsi une médiation entre l'utilisateur et le monde. Or cette médiation des objets techniques, rappelle Verbeek, se fait au niveau matériel et non pas au niveau sémiotique, au niveau sensoriel plutôt qu'au niveau interprétatif :

Les objets sont les médiateurs de la relation entre les êtres humains et leur monde, non pas d'une manière linguistique, mais d'une manière matérielle. Ils remplissent leurs fonctions en tant qu'objets matériels et, par ce biais, ils façonnent les actions et les expériences humaines. Cette "médiation matérielle" ne s'effectue pas à un niveau interprétatif, mais à un niveau sensoriel.⁴

¹ Stéphane Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception*, Hors collection (Paris: Presses Universitaires de France, 2013), p. 250

² *Ibid.*, p. 251

³ Verbeek, *What Things Do.*, *op. cit.*

⁴ Traduction personnelle de: « Things mediate the relation between human beings and their world not in a linguistic but in a material way. They fulfill their functions as material objects, and by this functioning they

Peter-Paul Verbeek expose alors sa volonté de repenser le *design* selon les principes de la postphénoménologie : pour rendre justice à l'esthétique qui s'adresse, dans son appréciation originelle à tous les sens et pas seulement au sens visuel, Verbeek parle de « material aesthetic ». Avec cette notion, il est question de remettre la sensorialité au centre du *design*, ce qui compte avant tout c'est la relation qu'entretient l'utilisateur avec l'objet technique : « La signification de l'esthétique dans le design n'englobe donc pas seulement le style et la beauté, mais aussi les relations entre les personnes et les produits, et la manière dont les produits façonnent la relation entre les personnes et le monde. »¹. Cette conception du *design* tournée vers la relation et l'interaction semble tout à fait pertinente pour la 3D temps réel qui permet l'expérimentation d'un « univers actionnable ». Une simulation en *real-time* constitue un monde qui possède une « capacité à faire-être et à faire-faire. »². Le *design* numérique ne renvoie donc pas au *design* assisté numériquement, où l'objet produit à l'aide de l'informatique n'est pas en fin de compte nécessairement numérique, mais il renvoie à la mise-en-forme de la « matière calculée » elle-même. Le *design* numérique a « recours à la matière calculée comme matière à modeler en elle-même et pour elle-même, avec l'intention de donner vie à des usages (factitivité) en donnant forme avant tout à des matériaux informatisés »³. L'expérience de la 3D temps réel représente sa propre fin : elle trouve tout son sens dans l'usage complet de ses potentialités. Il faut prendre en compte les possibilités propres de la 3D temps réel pour *designer* des expériences particulières. C'est le rôle des *game designers* qui définissent le *gameplay* d'un jeu, c'est-à-dire la façon dont les joueurs vont pouvoir y jouer. Ainsi, par exemple, le jeu *Player / Non Player* de Jonathan Coryn met en place un *gameplay* étonnant, en rupture avec ce que l'on a l'habitude de voir dans un jeu vidéo. Quatre personnages sont bloqués sur une île, et il revient au joueur de les soulager en les aidant à accomplir leur quête. Pour interagir avec eux, il faut les caresser. Le joueur peut activer une grande main qui vient effleurer la peau des personnages et l'on peut contrôler les mouvements de la caresse avec le joystick de la manette. La caresse comme élément central du *gameplay* réintroduit fortement le corps dans l'espace virtuel et produit une sensation d'intimité avec les personnages qui n'est pas sans rappeler l'esthétique sensorielle que prône

shape human actions and experiences. Such "material mediation" does not take place on an interpretive level, but on a sensorial level. », *Ibid.*, p. 209

¹ « The meaning of aesthetics in design then comes to include not just style and beauty, but also the relations between people and products, and the ways in which products coshape the relation between humans and world. », *Ibid.*, p. 212

² Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception.*, op. cit., p. 258

³ *Ibid.*, p. 264

Verbeek. Un tel choix de *game design* change des interactions auxquelles nous sommes habitués et questionne notre rapport aux personnages virtuels. A rebours des interactions classiques, la caresse donne une incarnation aux personnages de *Player / Non Player*. Et de la même manière, lorsqu'on est violent avec eux ils crient leur douleur avant d'en réclamer encore plus, produisant une sensation dérangeante qui nous fait soudain prendre conscience de la violence pratiquée naturellement et sans même y penser à l'encontre des avatars de jeux – dans *GTA* par exemple de nombreux joueurs s'amuse à écraser des passants sur les trottoirs de manière gratuite. Ainsi, par un *design* original, Jonathan Coryn est parvenu à créer une expérience nouvelle en introduisant un rapport corporel intime avec les personnages virtuels. Dans le jeu vidéo, et d'une manière générale dans toute sorte d'expérience interactive en 3D temps réel, c'est par le *design* que sont transmises les intentions de mise en scène. Dans l'exemple des films en *VR*, à mi-chemin entre cinéma et jeu vidéo, le spectateur passif au niveau de l'histoire se voit cependant en charge de la caméra. C'est avec l'orientation de son regard qu'il contrôle l'angle de vue reprenant ainsi deux éléments de mise en scène présent au cinéma et surtout au jeu vidéo : la vue en première personne et l'absence de montage dont Mathieu Triclot livre une analyse. En se basant sur les *Essays on Algorithmic Culture* par Alexander Galloway, Triclot explique que la vue en première personne est associée à une place vide, désincarnée :

La vue en première personne [...] n'apporte pas un surcroît d'incarnation, l'impression d'être dans la peau du personnage, mais bien plutôt le sentiment inverse d'un vertige, d'une désincarnation, d'une perte de repères.¹

Alors, « le dedans se révèle une simple place vide »² que le joueur peut occuper. Le jeu vidéo ne cherche pas, comme le cinéma, l'identification à un personnage qui détournerait le spectateur de lui-même, mais au contraire il ménage au joueur une place vide dans laquelle il peut se glisser. Si les expériences immersives permettent à leurs utilisateurs d'expérimenter de nouveaux points de vue ou de se créer des personnages, ceux-ci n'abandonnent pas pour autant leur subjectivité : on peut jouer à un jeu de western dans lequel on incarne un cow-boy ou voir un film en *VR* qui nous offre le point de vue d'un migrant mexicain traversant la frontière des États-Unis, mais quelle que soit l'identité qu'on est censé incarner l'expérience se fait toujours à la première personne. Une expérience immersive est donc toujours conçue

¹ Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, op. cit., p. 96

² *Ibid.*

en vue de son utilisation. C'est le rôle du designer que de mettre en scène cette expérience et de faciliter la prise en main de l'utilisateur. Un monde virtuel devient immersif à partir du moment où l'utilisateur parvient à le faire sien, à l'habiter.

D. Conception par l'utilisation

Les mondes virtuels de la 3D temps réel agissent comme de véritables environnements pour l'utilisateur qui peut dès lors interagir avec eux. Son action a une grande influence sur ces nouveaux mondes en contribuant à leur mise en forme. Si la 3D temps réel est d'abord une expérience c'est que, par son immersivité, elle parvient à inclure ses utilisateurs. Ils ne sont pas en face d'un écran hermétique mais dans le monde virtuel, ou plutôt « au monde » virtuel comme ils sont « au monde » dans son appréciation la plus large. Les simulations de la 3D temps réel agissent comme des environnements pour ceux qui s'y plongent et qui y vivent des expériences sensorielles. Si l'on prend l'exemple du jeu vidéo, médium le plus représentatif de cette technologie, on est forcé de constater à quel point la question de l'immersivité est centrale. Dans son ouvrage *Philosophie des jeux vidéo*¹, Mathieu Triclot insiste sur l'importance de l'expérience de jeu pour l'analyse des jeux vidéo. Contre les *games studies*, courant anglo-saxon qui s'est attaché à l'étude des jeux vidéo en se concentrant essentiellement sur les structures formelles du jeu en évacuant l'expérience, Mathieu Triclot propose le nouveau champ d'étude des *play studies*. Pour lui, « définir le jeu vidéo indépendamment de l'activité du joueur »² est une erreur. C'est l'expérience qui fait la spécificité du jeu vidéo. Pour défendre l'importance de l'expérience, Triclot s'appuie sur le travail du philosophe Jacques Henriot³ pour qui le jeu en général se définit par l'expérience de jeu et non par la simple analyse de ses règles. Suivant cette conviction, les *play studies* que proposent Mathieu Triclot ne visent pas l'étude des structures du jeu, comme le font les *game studies* en évacuant le joueur et en ne considérant que l'objet jeu, mais l'expérience de jeu. En fait le jeu se situe dans un espace intermédiaire « dans la zone des phénomènes dits « transitionnels » »⁴. En citant le psychanalyste Donald Winnicott, Triclot affirme le jeu comme un « objet subjectif » qui « n'est ni du dehors ni du dedans, mais du milieu »⁵. Et ce qui est

¹ Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, op. cit.

² *Ibid.*, p. 23

³ Jacques Henriot, *Le jeu*, 3. éd (Paris: Synonyme-S.O.R., 1983).

⁴ Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, op. cit., p. 31

⁵ *Ibid.*

applicable au jeu vidéo l'est à l'ensemble de simulations en 3D temps réel : leur dimension ludique réside dans la relation qui se noue entre elles et leurs utilisateurs. Un monde virtuel est une profondeur qui se laisse investir. Cependant l'expérience peut sembler étrange du fait de la « virtualité » des mondes numériques. Mathieu Triclot pose la question centrale : « Peut-on retrouver quelque chose de la vision naturelle et du sentiment du corps ordinaire dans ces conditions hautement artificielles ? »¹. Le philosophe va jusqu'à parler d'une immersion sans corps propre. Mais on a vu au chapitre précédent avec Merleau-Ponty, que l'expérience présuppose toujours un corps phénoménal. C'est parce qu'on existe dans un corps propre, un corps pour-soi, qu'on parvient à concevoir l'espace : l'existence dans un corps est la base de toute expérience. Dans cette optique, l'expérience immersive du jeu vidéo n'est pas moins corporelle que l'expérience du monde physique, d'autant plus qu'au réalisme perceptif s'ajoute le réalisme de l'action. La capacité à agir dans le monde virtuel, à commencer par la simple possibilité de choisir ses angles de vue, participe grandement de la communion de l'utilisateur avec la simulation. Merleau-Ponty rappelle à quel point la perception est intentionnelle, toujours tournée vers l'action : « La conscience est originairement non pas un « je pense que » mais un « je peux » »². C'est parce que la conscience est intentionnelle que le corps est d'abord un « corps propre », un corps pour lui-même dans un espace subjectif où toute chose trouve sa place par rapport à lui. Mais c'est aussi de la projection de ce corps propre vers un but qu'émerge la conscience de l'espace et du corps objectif. Comme dans le « vrai » monde, on se plonge dans un monde virtuel par l'action qui devient, dans la valse permanente du corps propre et du corps objectif, un espace subjectif-objectif. C'est l'utilisation qui fait d'une simulation en 3D temps réel une expérience immersive : l'utilisateur est « au monde »³. Mais il est à un monde bien particulier : s'il est impossible d'en faire l'expérience sans corps, le corps n'est pas non plus une condition suffisante. La 3D temps réel est, on l'a vu, une expérience instrumentée qui agit comme une extension du système perceptif, à l'instar du bâton de l'aveugle. L'instrument existe en vue de son utilisation et il offre des possibilités d'action nouvelles. Mathieu Triclot prend l'exemple des points de sauvegarde dans le jeu vidéo qui permettent de rejouer une situation à l'infini :

¹ *Ibid.*, p. 99

² Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception.*, op. cit., p. 171

³ *Ibid.*, p. 109

Quelle autre forme culturelle, autre que le jeu vidéo, peut permettre cela ? Qui peut rembobiner un film ou tourner en arrière les pages d'un livre et espérer que la suite en sera modifiée conformément à ses attentes ? [...] Le jeu vidéo autorise un plaisir inédit, qui est intimement lié à la machine informatique, à la confrontation à un univers engendré par le calcul.¹

L'expérience du jeu vidéo, comme plus généralement celle de la 3D temps réel, est une expérience inédite qui tient à la spécificité de sa dimension informatique. Puisque ces mondes virtuels sont faits de matière calculée, ils sont malléables à souhait, manipulables, computables : on peut prendre des libertés par rapport au monde physique. En partant du réalisme spatial et de l'expérience corporelle, l'utilisateur d'une simulation en 3D temps réel peut utiliser l'instrument pour prendre ses distances avec les nécessités de la matière. Dans une simulation on peut revenir en arrière, mépriser les lois de la gravité et même mourir pour revivre ensuite. L'informatique offre des expériences nouvelles aux utilisateurs qui sont immergés dans une « augmentation » du monde. Cette perception instrumentée, puisque justement elle se conçoit comme un instrument, est pensée en vue de son utilisation : la technologie de la 3D temps réel fait office d'extension corporelle pour l'utilisateur. Il peut agir sur le monde virtuel dans lequel il est plongé : c'est par l'interaction que se produit l'immersivité. La capacité à interagir avec l'espace 3D, si cruciale, est valable pour l'utilisateur ou le joueur, comme pour le développeur ou le créateur. On modélise, on anime, on met en lumière ou bien on code comme on joue : finalement c'est l'utilisation qui fait la création. Avec la 3D temps réel, le rôle du créateur et celui du joueur se confondent. Les jeux vidéo illustrent bien la dimension créative qui résulte de la fréquentation des mondes virtuels par leurs utilisateurs. Ils vont dans le sens d'une personnalisation maximale où les joueurs peuvent choisir leurs « skins » (le costume des personnages), qu'ils vont d'ailleurs jusqu'à payer très cher. Les joueurs choisissent leurs avatars, ils les *design* dans un tout esthétique et fonctionnel : l'avatar est plus qu'un plaisir visuel, c'est la possibilité de se construire une identité, de changer de sexe voire d'espèce. Ceux qui se décrivent comme « xenogenders », d'un genre qui n'est pas, en partie ou complètement, humain, profitent des possibilités offertes par les mondes numériques pour vivre leur identité choisie. Le DJ NeuroDunjeon, mixe en physique et en virtuel sous une identité d'elfe, tout en revendiquant une continuité entre les deux mondes : son identité dans le métavers a au moins autant d'influence sur son identité physique que l'inverse. D'une manière générale, beaucoup de jeux vidéo incluent une

¹ Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, op. cit., p. 25

dimension créative dans leur *gameplay* : les possibilités toujours plus grandes de customisation permettent aux joueurs d'investir l'espace virtuel, d'y développer leurs habitudes et de prendre possession des lieux par leur activité. L'utilisateur peut choisir son monde, le choisir selon ses goûts, ses envies, et il peut le modifier avec plus ou moins de liberté. Et les verrous qui existent encore, imposant un *gameplay* particulier, une narration ou encore un style graphique, tendent à disparaître. L'éditeur de jeux Epic Games, à l'origine du très populaire *Fortnite*, a dévoilé récemment une nouvelle version de son moteur de rendu Unreal Engine à destination des joueurs de *Fortnite*. Epic Games avait déjà rendu gratuit et *open source* le moteur jusque-là utilisé uniquement par les professionnels du jeu vidéo, ouvrant ainsi son utilisation aux concepteurs amateurs, mais l'entreprise a franchi un nouveau pas en dévoilant le « Unreal Editor For Fortnite ». Avec ce lancement, les joueurs se voient offrir un contrôle quasi-total sur leur jeu : la création devient le jeu, le jeu devient création. Epic Games fait la promesse de rendre la création de jeux vidéo accessible à tous : « nous prévoyons d'améliorer et d'étendre les capacités de l'Unreal Editor For Fortnite au point que les équipes de créateurs et de développeurs de toutes tailles et de toutes compétences, des amateurs aux studios AAA, puissent créer des expériences étonnantes et les déployer directement dans *Fortnite*. »¹. Avec ses 500 millions de joueurs et ces nouvelles possibilités créatives, *Fortnite*, dans lequel des concerts virtuels rassemblant des millions de personnes en *live* ont déjà été donnés, se positionne progressivement comme un « métavers », un univers virtuel qui présente le merveilleux attrait de laisser à chacun la possibilité de se choisir et de choisir son environnement. Mais tout ceci soulève également de nombreuses craintes dignes des récits de science-fiction à commencer par celle-ci : « Le monde virtuel remplacera-t-il le monde physique ? ».

¹ « We plan to improve and expand the Unreal Editor For Fortnite capabilities to the point where creator and developer teams of all sizes and skillsets, ranging from hobbyists to AAA studios, can build amazing experiences and deploy directly to *Fortnite*. », <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/unreal-editor-for-fortnite-is-now-available-in-beta>

IV. La 3D temps réel et la « vie bonne »

A. Aliénation technologique : la menace numérique ?

L'idée d'un monde parallèle virtuel est effrayante. Nous sommes des êtres de chair et nous y tenons. Nous tenons à notre existence. Car bien sûr les machines sont dénuées de toute existence au sens fort du mot. Il est évident qu'une machine ne « vit » pas, qu'elle n'est pas capable de nourrir une seule de ces émotions qui nous traversent chaque jour et qui font le sel de la vie. Exister — et exister *par un corps* — c'est faire usage de nos sens, ressentir directement sans intermédiaire. Le ressenti est irréductible, intraduisible : le ressenti a pour seule unité de mesure le ressenti. Dès lors, il ne peut être transcrit en information numérique, où plutôt sa fonction peut être retranscrite — ce qu'il cause (ressentir de la douleur et agir en conséquence par exemple) — mais pas l'effet que cela fait. La qualia reste l'apanage de l'organique. Le virtuel numérique est effrayant parce qu'il ne conserve que la fonction, dans sa reproduction du vivant, et oublie l'essentiel : *ce que ça fait* que d'être en vie. Être plongé dans un univers virtuel en 3D temps réel c'est aussi se couper du monde sensible. Les jeux vidéo ont cette mauvaise réputation de maintenir les jeunes enfermés quand ils pourraient aller jouer dehors et se rouler dans l'herbe, sentir le vent glisser dans leurs cheveux. C'est un argument très simple et pourtant il concentre l'essence du rejet à l'égard du virtuel. Dans son chapitre dédié à l'histoire informatique du jeu vidéo¹, Mathieu Triclot fait le récit de la création de *Spacewar*, le « premier » jeu vidéo, et de l'émergence de l'identité « hacker ». Il reprend une description qu'en fait Joseph Weizenbaum dans son livre *Computer Power and Human Reason*² :

Leurs habits froissés, leurs visages sales et mal rasés et leurs cheveux en bataille, tout cela indique qu'ils ont fini par oublier leur corps et le monde qui les entoure. Voilà ce à quoi ressemblent les fanas d'informatique, les programmeurs compulsifs.

Il y a quelque chose de fascinant et d'effrayant dans ces jeunes « hackers » absorbés tout entier par l'ordinateur au point d'en oublier leur corps. On les imagine facilement subjugués se glissant à travers l'écran comme dévorés par l'ordinateur-sirène. Tels des Narcisses séduits, non plus par leur reflet, mais par la liberté qui leur est offerte, ils en

¹ Triclot, *Philosophie des jeux vidéo*, chap. La machine intime ou l'écosystème hacker.

² Joseph Weizenbaum, *Computer power and human reason: from judgment to calculation* (San Francisco: W. H. Freeman, 1976).

oublent le monde et se noient dans le virtuel. Il y a quelque chose d'instinctivement repoussant à cela, quelque chose de primaire qui nous dit que toute rupture avec le monde s'avérera fatale. En 2015, un jeune joueur de 17 ans est mort après avoir joué 22 jours consécutifs au jeu *Defence of the Ancients* ne s'arrêtant que brièvement pour se restaurer ou dormir. Dans l'article qui recense sa mort il est écrit que « le jeune gamer s'est évanoui peu de temps après que son personnage ait été tué ». Les faits divers de la sorte sont nombreux et semblent donner raison à cette peur instinctive de la rupture avec le monde physique. De la même manière, dans les ouvrages de science-fiction ou dans les films on trouve de nombreux exemples d'ordinateurs représentant des menaces pour les humains, le plus connu d'entre eux étant sans doute l'ordinateur Hal de *2001, l'odyssée de l'espace*. La technologie constitue dans l'imaginaire humain une menace plus ou moins diffuse, plus ou moins intentionnelle dont la philosophie s'est faite écho. Dans son livre *What things do*¹, Peter-Paul Verbeek constate justement que le thème de l'aliénation par la technologie est largement répandue dans la philosophie classique : « Les philosophes classiques de la technologie ont dressé un tableau excessivement sombre du rôle de la technologie dans la culture contemporaine, craignant que la technologie ne finisse par aliéner les êtres humains d'eux-mêmes et de la réalité. »². Verbeek distingue deux courants importants de la philosophie de la technologie qui reprennent cette thèse aliénatrice : la phénoménologie existentialiste de Karl Jaspers et celle, herméneutique, de Martin Heidegger. La première s'intéresse à la manière dont les êtres humains réalisent leur existence dans le monde, la seconde à la manière dont ils interprètent la réalité. Pour l'une comme pour l'autre, il est question d'une technologie qui viendrait rompre ou fausser le rapport au monde. Concernant l'approche phénoménologique existentialiste de Karl Jaspers, Verbeek écrit :

Son approche existentielle met l'accent sur l'idée que la technologie crée une « règle de masse » à grande échelle, favorisant la production et la culture de masse et promouvant un mode d'existence entièrement nouveau dans un environnement matériel entièrement nouveau.³

¹ Verbeek, *What Things Do.*, op. cit.

² « Classical philosophers of technology have painted an excessively gloomy picture of the role of technology in contemporary culture, worrying that technology would end up alienating human beings from themselves and reality. », *Ibid.*, p. 4

³ « His existential approach emphasizes the idea that technology creates large-scale « mass rule » fostering mass production and mass culture and promoting an entirely new way of existence in an entirely new material environment. », *Ibid.*, p.10

L'approche instrumentaliste de Jaspers fait de la technologie un moyen en vue d'une fin. Ce n'est pas le processus de production en lui-même qui est étudié mais le résultat qui en découle : un nouveau rapport au monde caractérisé par une perte d'authenticité. Et c'est à peu près à la même conclusion qu'aboutit la phénoménologie herméneutique d'Heidegger : « Heidegger comprend la technologie comme une manière particulière d'aborder la réalité, une manière dominatrice et autoritaire dans laquelle la réalité ne peut apparaître que comme une matière brute bonne à manipuler. »¹. Et Verbeek poursuit un peu plus loin, dans son introduction, la comparaison entre les deux approches qu'il qualifie d'instrumentaliste, pour celle de Jaspers, et de substantiviste pour celle d'Heidegger :

Le premier est le point de vue instrumentaliste selon lequel la technologie est un moyen neutre d'atteindre des objectifs humains, qu'ils soient bons ou mauvais ; le second est la conception substantiviste selon laquelle la technologie n'est pas neutre, mais exerce une influence déterminante et régulatrice sur la société et la culture.²

L'approche substantiviste donne un pouvoir d'autonomie à la technique qui dès lors échappe au contrôle des humains, voire les domine. L'approche utilitariste est l'exacte inverse, elle vide la technologie de tout pouvoir et la rend neutre, à la merci de l'utilisation qu'en feront les humains. Mais quelles que soient le pouvoir qu'elles accordent à la technologie, ces deux philosophies cultivent le même discours d'une technologie aliénatrice qui, si l'on n'y prend garde, finira par nous priver de notre rapport originel avec le monde. Et la dimension aliénatrice de la technologie qui ressortait à l'époque d'Heidegger et de la « civilisation mécanique », semble avoir pris un nouvel essor avec le numérique. Plus que jamais, il est question d'une technologie qui nous coupe du monde, de notre nature. En France, la part des métiers dans les secteurs primaire et secondaire a grandement diminué quand elle a explosé dans le secteur tertiaire. Une part majoritaire de la population travaille dans les « services » qui reposent sur les systèmes numériques et internet. Plus récemment encore, la crise de la Covid a accentué la « virtualité » des métiers du secteur tertiaire avec le télétravail et les réunions « zoom ». Au-delà du travail, une grande part des interactions sociales et du temps libre se passe en ligne, sur les réseaux sociaux ou les services de streaming. Il devient difficile

¹ « Heidegger understands technology as a particular manner of approaching reality, a dominating and controlling one in which reality can only appear as raw material to be manipulated. », *Ibid.*, p. 10

² « The first is the instrumentalist view that technology is a neutral means to achieve human goals be they good or evil; the second is the substantivist conception that technology is not neutral but a determining and controlling influence on society and culture. », *Ibid.*, p. 20

de vivre sans connexion internet ou sans prise électrique à proximité : l'humanité entière semble se laisser entraîner dans le piège du numérique et déjà on imagine l'homme cyborg du XXII^e siècle, si tant est qu'il ait toujours un corps. Dans cette fuite en avant vers un virtuel qui est tenu ici pour l'ennemi du réel, la 3D temps réel avec ses jeux vidéo et ses métavers apparaît comme la dernière manœuvre de la technologie pour nous couper de notre réalité. Les publicités de Méta, vues dans le métro, qui annoncent un univers immersif entièrement connecté et se suffisant à lui-même, tiennent tout de la dystopie. Soudain la nature nous manque, on éprouve un mal-être et la certitude que quelque chose ne va pas dans le chemin technologique que l'humanité emprunte. Peter-Paul Verbeek cite le philosophe Albert Borgmann qui, en héritier d'Heidegger, décrit le « désengagement » auquel nous mène la technologie. Borgmann propose une nouvelle approche « paradigmatique » de la technologie, dans le sens où la technologie constitue un paradigme, « un schéma caractéristique et contraignant qui structure notre vie »¹. Et Borgmann remonte à l'origine de ce paradigme : au début de la modernité, au XVI^e siècle, et puis un peu plus tard, à l'époque des lumières. Le but premier du paradigme technologique n'était pas tant de contrôler la nature que d'améliorer la condition humaine « dans le but de libérer l'humanité de la maladie, de la faim et du labeur, et d'enrichir la vie par l'apprentissage et l'art »². Et de fait, la technologie a permis de « mettre à disposition » (« delivering availability », selon les mots de Borgmann) tout un tas de choses, contribuant à la réalisation de la promesse moderne d'amélioration de la condition humaine. Avec la « mise à disposition » du chauffage, exemple parmi tant d'autres, nous n'avons plus froid. La technologie rend accessible, sans aucun effort de notre part, des services qui « enrichissent nos vies ». A l'ère technologique, les « appareils » (« devices ») ont remplacé les « choses ». Or les « choses », qui sont décrites par Borgmann comme les équivalents des « appareils » avant l'ère technologique, demandaient un engagement que ne demandent plus les « appareils ». Entretenir un feu nécessitait un engagement que ne réclame plus le réglage d'un thermostat. Un « appareil » rend disponible une « commodité » grâce à une « machinerie » cachée. L'utilisateur ne se préoccupe pas de la machinerie qui reste dissimulée. Ainsi la technologie divise fin et moyens : seule la fin reste visible, évidente pour l'utilisateur, tandis que le fonctionnement est occulté. Verbeek résume de cette manière : « Un dispositif peut donc être considéré comme une entité qui met à disposition un bien sur la base d'une

¹ « a characteristic and constraining pattern to the entire fabric of our lives », *Ibid.*, p. 175

² « with the aim of liberating humanity from disease, hunger, and toil, and of enriching life with learning, art », *Ibid.*

machinerie qui reste dissimulée dans la mesure du possible. »¹. La dissimulation de la « machinerie » a une conséquence : le désengagement. Avec le « paradigme de l'appareil » (« device paradigm »), Borgmann parle d'un désengagement des êtres humains vis-à-vis des appareils : tout ce qui compte c'est la commodité qu'on obtient désormais sans effort. À l'engagement avec les « choses » succède le désengagement et la pure consommation : « Le paradigme de l'appareil est donc un modèle dans lequel les choses qui favorisent l'engagement sont remplacées par les appareils qui n'invitent qu'à la consommation. »². Pour Borgmann, le paradigme technologique a amené à un style de vie qui se caractérise par la consommation désengagée. Voilà une vision sombre de la technologie : certes elle est présentée comme un moyen d'améliorer nos vies, mais on voit difficilement en quoi la consommation à laquelle elle aboutit constitue une amélioration. L'aliénation par la technologie est bien réelle : « les humains ne choisissent pas la technologie, c'est elle qui forme l'arrière-plan de leurs choix »³. Borgmann décrit alors ce qu'il appelle l'« ironie de la technologie ». La technologie produit du désengagement : au lieu d'améliorer nos conditions de vie, elle les appauvrit. La technologie a commencé par nous rendre service avant de se retourner contre nous. Elle appauvrit notre expérience du monde en nous dépossédant de notre compréhension et de notre engagement. Si elle s'était d'abord présentée comme un moyen d'enrichir notre expérience du monde, elle finalement aboutit à une perte de contact, et beaucoup d'entre nous sont incapables d'expliquer le fonctionnement des « appareils » qu'ils utilisent tous les jours : « notre contact avec la réalité s'est réduit à appuyer sur des boutons et à tourner des poignées. Les résultats sont garantis par une machinerie qui n'est pas de notre conception et qui échappe souvent à notre compréhension. »⁴. Mais à quoi se réfère Borgmann lorsqu'il parle de désengagement ? Et en quoi est-ce que la technologie entraîne moins d'engagement ? Pour Verbeek, Borgmann confond deux types d'engagement : le premier est synonyme d'effort, de peine physique, le second est synonyme de sens. Borgmann se livre à une romantisation des « choses » non technologiques : l'engagement, au sens d'effort, avec les choses ne remplissait

¹ « A device can thus be viewed as an entity that makes available a commodity on the basis of machinery that remains concealed as much as possible. », *Ibid.*, p. 177

² « The device paradigm is thus a pattern in which things that promote engagement become replaced by devices that invite only consumption. », *Ibid.*

³ « Humans do not choose technology; rather, technology forms the background for their choices. », *Ibid.*, p. 179

⁴ « our contact with reality has been attenuated to the pushing of buttons and the turning of handles. The results are guaranteed by a machinery that is not of our design and often beyond our understanding. », A. Borgmann, *Technology and the Character of Contemporary Life: A Philosophical Inquiry* (University of Chicago Press, 1984), p. 140

pas plus la vie des habitants des sociétés pré-modernes. Ils faisaient simplement plus d'effort mais ni trouvaient pas plus de sens :

Il ne fait aucun doute qu'une certaine dimension de sens peut être trouvée dans la rencontre avec les choses prétechnologiques, mais c'est romantiser le passé que de prétendre que la disparition de choses telles que puiser de l'eau et ramasser du bois implique une perte de sens. Les gens accomplissaient ces tâches non pas parce qu'elles avaient une valeur intrinsèque, mais en raison des objectifs qu'elles servaient, objectifs que les technologies peuvent atteindre d'une manière différente.¹

Finalement, la fonction première des technologies c'est de réduire l'effort : en ce sens le désengagement (par rapport à la conception de l'engagement en tant qu'effort) est assumé. En second vient le désengagement en tant que perte de sens : celui-ci n'est pas voulu, il est à combattre et d'ailleurs, dit Verbeek, la technologie n'implique pas nécessairement un tel désengagement, au contraire elle peut même mener à de nouveaux engagements. En rejetant l'approche transcendantale d'Heidegger qui pensait la technologie comme un tout venu d'ailleurs, la postphénoménologie cherche au contraire à partir des objets concrets. Il ne s'agit plus de considérer les objets techniques en eux-mêmes, comme des entités étrangères, mais de prendre en compte la relation complète dont ils font partie. Dès lors qu'on considère les objets techniques dans leur dimension médiatrice, la technologie apparaît sous un jour nouveau. Un objet technique est toujours pris dans une relation (« technology-in-order-to »), il n'existe rien de tel que la « Technologie », goliath transcendantal. Selon Verbeek, toute prétention ontologique est vouée à l'échec : il n'y a pas de chose en soi. Dans cette optique, la postphénoménologie apporte une critique à la phénoménologie qui voulait ontologiser la « réalité vécue ». Verbeek écrit : « La « réalité vécue » est toujours vécue d'une manière spécifique »². Il n'y a pas de perception pure ou en soi : toute perception est toujours médiée. Et c'est là, en tant que médiateurs, qu'entrent en jeu les objets techniques. Verbeek reprend la thèse de l'acteur-réseau de Latour :

Le cadre de travail le plus influent pour une approche constructiviste de la technologie est fourni par la théorie de « l'acteur-réseau » proposée par le philosophe et anthropologue français Bruno

¹ « No doubt some dimension of meaning can be found in the encounter with pretechnological things, but it romanticizes the past to claim that the disappearance of things like drawing water and gathering wood involves a loss of meaningfulness. People did such tasks not because they were intrinsically valuable, but because of the ends that these tasks served—ends that technologies can realize in a different way. », Verbeek, *What Things Do.*, op. cit., p. 187

² « « lived reality » is always lived in a specific way », *Ibid.*, p. 105

Latour. Latour décrit la réalité en termes d'acteurs qui se relient et interagissent entre eux par le biais de réseaux.¹

Dès lors, « Les objets et les artefacts peuvent eux aussi devenir des acteurs et méritent donc d'être étudiés au même titre que les humains. »². La théorie de Latour est dite « symétrique » car elle traite les humains et les non-humains de la même manière : les objets techniques, eux aussi, ont voix au chapitre. Verbeek cite l'exemple d'« eternally yours », un collectif de *designers* qui s'intéresse à la « durée de vie psychologique » (« psychological lifetime ») des objets avec l'idée qu'ils sont jetés avant d'être devenus obsolètes, simplement parce qu'ils ne nous plaisent plus. Ezio Manzini, sociologue du *design*, emploie l'expression « prendre soin des objets » (« caring for objects ») : pour lui, les objets doivent avoir la possibilité de « vieillir de manière digne »³. Il y a là une sorte d'humanisation des objets, voire de subjectivation qui vient nuancer le thème répandu de l'aliénation par la technologie. Le désengagement, synonyme de perte de sens, n'est pas une nécessité avec les objets techniques. Voire, la technologie peut ouvrir de nouveaux engagements. Emprunter les allées d'un monde virtuel en 3D temps réel c'est faire un nouveau genre d'expérience sensible, c'est la possibilité par exemple, comme dans le film *VR Carne y arena* d'Alejandro Iñárritu, d'expérimenter le point de vue d'un migrant mexicain pourchassé par la police états-unienne alors qu'il essaie de traverser la frontière. Qui pourrait soutenir qu'une telle expérience est vide de sens ou d'engagement ? La 3D temps réel contribue sans nul doute à la médiation de notre relation avec le monde, offrant, non pas un désengagement avec le réel, mais un engagement différent, impossible auparavant. Quelle est la particularité de cette médiation ? Et en quoi la 3D temps réel peut-elle permettre de repenser le concept de médiation par les objets techniques ?

B. La médiation exercée par la 3D temps réel

Quel rôle jouent les objets techniques dans notre rapport au monde ? A l'approche transcendante de la philosophie classique, la postphénoménologie apporte une réponse plus nuancée. Au lieu d'une « Technologie » qui tombe du ciel, il convient de partir d'en-bas, de

¹ « The most influential framework for a constructivist approach to technology is supplied by the « actor-network » theory proposed by French philosopher and anthropologist Bruno Latour. Latour describes reality in terms of actors who link and interact with each other via networks. », *Ibid.*, p. 102

² « Things and artifacts, too, can become actors and thus deserve to be studied on apart with humans. », *Ibid.*

³ *Ibid.*, p. 12

partir du constat que chaque objet technique est un objet concret, intentionnel, pris dans une relation concrète. C'est la dimension médiatrice de la technologie que Verbeek cherche à mettre en avant dans le projet postphénoménologique :

Lorsque les artefacts technologiques sont considérés en termes de médiation - comment ils médiatisent la relation entre les humains et leur monde, entre les êtres humains, et entre les humains et la technologie elle-même - les technologies ne peuvent plus être cataloguées comme étant simplement neutres ou déterminantes.¹

Pour ce faire, Verbeek se base beaucoup sur le travail de Latour et sa conception de la médiation de l'action. Pour commencer, Latour et la phénoménologie ont en commun de vouloir dépasser la séparation sujet/objet. Il y a cette idée majeure chez Latour qu'humains et non humains doivent être traités symétriquement puisqu'ils sont liés dans un réseau de relations :

Latour décrit généralement cette dichotomie comme une séparation ou une purification des « humains » et des « nonhumains » et il s'oppose au fait que ces derniers ont été traités de manière radicalement différente depuis le siècle des Lumières. Pour Latour, la réalité ne peut être comprise de manière adéquate si les humains et les nonhumains sont traités de manière « asymétrique ».²

Dans la théorie de l'acteur-réseau de Latour, des acteurs sont en relation les uns avec les autres via un réseau : ce sont les relations elles-mêmes qui entraînent l'action et donc la constitution des actants (et pas l'inverse, ce ne sont pas les actants qui constituent les relations). Les humains comme les non-humains sont définis par les relations auxquelles ils prennent part : « Selon Latour, ce qu'est une chose et ce qu'est un être humain découlent de leurs relations avec d'autres choses et êtres humains plutôt que d'une "essence" qui se cacherait derrière eux. »³. Latour est un constructiviste : la réalité dépend des constructions entre humains et non humains. Il ne réfute pas le concept de « réalité » mais il veut une réalité qui ne soit pas « hors de nous », une réalité qui est façonnée par les relations. Ainsi le constructivisme de Latour englobe tout, et d'ailleurs Latour met en garde contre le

¹ «When technological artifacts are looked at in terms of mediation—how they mediate the relation between humans and their world, amongst human beings, and between humans and technology itself—technologies can no longer be pigeonholed simply as either neutral or determining. », Ibid., p. 11

² « Latour usually describes this dichotomy as a separation between or purification of « humans » and « nonhumans » and he objects to the fact that these have been treated in radically different ways since the Enlightenment. For Latour, reality cannot be adequately understood if humans and nonhumans are treated « asymmetrically » », Ibid., p. 149

³ « According to Latour, what a thing is and what a human being is both arise from their relations with other things and human beings rather than from an « essence » that hides behind them. », Ibid., p. 150

constructivisme social qui pose l'humain à la source de toute réalité : le non-humain a aussi une agentivité. Le but premier de la théorie de l'acteur-réseau est d'échapper au dualisme sujet/objet de la modernité. Le travail de purification qui place les sujets d'un côté, qui constituent la chasse gardée des sciences humaines, et les objets de l'autre, qui appartiennent aux sciences de la nature, est périmé. La séparation entre sujets et objets n'est qu'une abstraction : en réalité le monde est plein d'« hybrides », c'est-à-dire d'entités qu'on ne sait comment classer, mélange de sujet et d'objet : « Ces entités ne sont ni des sujets ni des objets. Comment considérer ces hybrides ? Sont-ils humains ? Humains parce qu'ils sont notre œuvre. Sont-ils naturels ? Naturels parce qu'ils ne sont pas de notre fait. »¹. Or ce dépassement de la dichotomie sujet/objet constitue précisément l'enjeu de la philosophie de la technologie selon Verbeek. La séparation est absurde tant il est évident que les objets techniques et leurs utilisateurs entretiennent une relation d'interdépendance. Latour prend l'exemple d'une personne abattue par un tir d'arme à feu : qui l'a tuée ? Le tireur ou le pistolet ? Les deux réponses soutiennent une séparation humain/non humain qui n'a pas lieu d'être : il est évident que le pistolet et le tireur sont liés. En reprenant cette conviction que les objets techniques existent en relation avec leurs utilisateurs, la postphénoménologie se concentre sur la médiation technologique (qui constitue un type de chaîne de relations parmi toutes celles comprises dans la théorie de l'acteur-réseau) : c'est la chaîne humain-artefact-monde. Les objets techniques déterminent la façon dont les humains et le monde sont présents l'un à l'autre : « Parce que les actions médiées font que les humains rencontrent le monde d'une manière particulière, l'artefact médiateur aide à déterminer comment le monde (« objectivité ») et ceux qui agissent en lui (« subjectivité ») sont présents. »². Les artefacts technologiques co-forment, avec nous autres utilisateurs, la façon dont nous sommes « au monde ». Ils font la médiation de notre perception et de notre action sur le monde. Dans cette optique, Stéphane Vial soutient l'idée que la révolution numérique est d'abord une révolution phénoménologique instaurant un nouveau régime de perception. Ce n'est pas un hasard si son livre *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception*³ porte un tel sous-titre :

¹ « These entities are neither subjects nor objects. Where are we to put these hybrids? Are they human? Human because they are our work. Are they natural? Natural because they are not our doing », *Ibid.*, p. 153

² « Because mediated actions make humans encounter the world in a particular way, the mediating artifact helps to determine how both the world (« objectivity ») and those who act in it (« subjectivity ») are present. », *Ibid.*, p. 171

³ Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception.*, op. cit.

Le phénomène numérique ne fait que rendre visible, par son ampleur, un trait philosophique caractéristique de toute technique en général, resté relativement inaperçu mais essentiel : *la technique est une structure de la perception*, elle conditionne la manière dont le réel ou l'être nous apparaît.¹

La technique existe depuis que l'homo faber se sert des outils, et depuis lors « toute ontophanie du monde est une ontophanie technique »². La technique est toujours déjà médiatrice de notre rapport au monde. Vial reprend les mots de Gaston Bachelard qui parle de « phénoménotechnique » pour désigner le processus par lequel l'appareil technique produit un phénomène. Dans ce cadre, les phénomènes sont créés et non pas simplement dévoilés car ils ne préexistent pas : c'est ainsi que la science, aux moyens des appareils de mesure, produit des phénomènes plus qu'elle ne les découvre. Le numérique, et à plus forte raison encore la 3D temps réel, correspondent tout à fait à cette définition de la technologie comme productrice de phénomènes, productrice d'un rapport au monde. Mais si sa dimension médiatrice est évidente, comment se noue la relation avec une simulation en 3D temps réel ? Quelle forme prend-t-elle ? Pour revenir à la postphénoménologie, Verbeek cite Don Ihde qui, dans *Philosophy of Technology*³, distingue trois types de relations entre humain et technique. Le premier type de relation consiste en une médiation avec le monde par la technique : l'humain est en contact avec le monde non pas directement mais à travers un objet technique, par exemple des lunettes ou la télévision. Le second type de relation est une relation avec l'artefact lui-même : l'objet n'est pas un moyen mais une fin, comme c'est le cas avec un jeu vidéo. Enfin le dernier type de relation est ce que Don Ihde nomme « relation d'arrière-plan » (« background relation ») : les objets techniques « mettent en forme » notre expérience du monde en restant à l'arrière-plan, par exemple le système de chauffage qui adapte la température ambiante de notre logement. Ainsi dans ces trois types de relations avec la technique, c'est le second qui décrit le mieux l'utilisation de la 3D temps réel. Lorsqu'on interagit avec un monde virtuel en 3D temps réel, on interagit directement avec la technologie 3D temps réel pour elle-même. Ou alors, on pourrait considérer que la 3D temps réel appartient au premier type de relation, une relation qui fait une médiation directe avec le monde, mais pas n'importe quel monde : un monde virtuel hors du monde physique. À

¹ *Ibid.*, p. 99

² *Ibid.*

³ Don Ihde, « Philosophy of Technology », éd. par Philosophy Documentation Center, *Techné: Research in Philosophy and Technology* 14, n° 1 (2010): 26-35

l'inverse des différents objets techniques qui jusqu'à là nous mettaient en relation avec le monde dit « réel » (entendre par là le « monde physique »), la 3D temps réel introduit un nouveau genre de médiation en ouvrant la porte vers une nouvelle dimension. C'est une fenêtre vers « un monde d'images » pour reprendre une expression de Stéphane Vial. En effet, les graphismes sont notre point de contact avec le noumène dont parlait Bachelard : les images donnent un corps, mettent en corps la réalité virtuelle numérique. Et de la même manière que chaque révolution technique a amené une révolution ontophanique, la technologie de la 3D temps réel apporte une nouvelle perception du réel, une nouvelle expérience qui pourrait nous amener à changer notre rapport au monde. De quelle manière ? Les nouvelles expériences permises sont à la mesure des possibilités de la 3D temps réel. Une des particularités notables de l'expérience *real-time* c'est la désincarnation. On l'a évoqué avec l'analyse de la vue en première personne reprise par Mathieu Triclot¹: exister dans un monde en 3D temps réel c'est être une caméra, c'est être une place vide qui n'est jamais vraiment comblée dans le monde virtuel. De cette caractéristique il découle qu'il est possible pour l'utilisateur de se défaire, virtuellement, de son corps et, pourquoi pas, d'en choisir un autre. Bien sûr, l'expérience corporelle est fondamentalement inimitable mais on peut imaginer la puissance d'un tel dispositif pour expérimenter un avant-goût de l'existence dans un autre corps. Dans cette optique, le mouvement des « xenogenders » s'est développé autour des mondes virtuels en 3D temps réel. Pour les « xenogenders » il s'agit d'affirmer leur identité transhumaine que le virtuel leur permet d'expérimenter concrètement. L'artiste-avatar LaTurbo Avedon dit être né(e) en 1995 dans le jeu *Chrono Trigger* et avoir grandi de jeu en jeu, son avatar évoluant au passage. LaTurbo n'est connu(e) que par son identité non-physique et a pris part à de nombreuses expositions et événements à l'international. Le magazine *Tracks*² d'Arte la rencontre pour une interview dans le jeu de simulation spatiale *Star Citizen*. Pour l'occasion, le journaliste de *Tracks* s'est créé un avatar et se retrouve à déambuler à travers les couloirs d'une station spatiale à la recherche de LaTurbo. Ils finissent par se rencontrer et « prendre un verre » dans un des bars de la station. Au cours de l'interview, LaTurbo Avedon explique la liberté offerte par le virtuel vis-à-vis de la physicalité :

¹ Triclot, *Philosophie des jeux vidéo.*, op.cit

² *Métavers, shifting et xenogenders : bienvenue dans la réalité désirée* | *Tracks* | ARTE, 2022, https://www.youtube.com/watch?v=6P_mKhKvIZ4.

La physicalité a des limites. Mais je crois que les espaces virtuels offrent tant de possibilités pour commencer à penser à la fluidité qui accompagne la corporalité. Nous pouvons choisir un corps humain aujourd'hui, mais nous n'y sommes certainement pas limités. Nos idées de genre et de sexualité offrent tant de combinaisons possibles dans ces mondes virtuels. Et nous commençons à peine à voir comment cela peut être célébré et exploré.¹

Les mondes virtuels offrent littéralement la possibilité de choisir son identité, et même plus son « corps », grâce à la 3D temps réel. Cette technologie, par la liberté qu'elle offre vis-à-vis de l'existence corporelle, inaugure un être au monde en rupture avec la condition humaine. Au non-choix de l'existence physique (être « jeté au monde ») se substitue le choix total du virtuel. Pour un artiste le pouvoir est presque sans limite (les seules limites étant la créativité et la puissance de calcul) par rapport au monde physique. Les lois physiques ou biologiques ne sont que des données qu'on peut modifier à sa guise ou ignorer. Cette liberté sans faille est notable dans les effets spéciaux en images de synthèse. Chevaucher un dragon ou donner vie à des humanoïdes bleus de trois mètres de haut n'a jamais été aussi simple. Avec le temps réel, la liberté des mondes virtuels influence le monde physique. Les *LED-Wall* de la *virtual production* qui remplacent désormais les fonds verts prolongent l'illusion des décors physiques tout comme les spectacles immersifs, la réalité augmentée ou virtuelle. La médiation technologique prend un sens nouveau avec la 3D temps réel en inaugurant un rapport au monde qui prend ses distances avec la physicalité et son déterminisme. Il s'agit d'ouvrir un peu plus la liberté humaine avec la possibilité de *se choisir* au sens le plus fort du mot.

C. Vivre et créer avec la 3D temps réel

En dépassant le thème de l'aliénation technologique, on voit comment la 3D temps réel peut constituer un enrichissement de l'expérience du monde. De nombreux utilisateurs profitent déjà chaque jour des nouvelles libertés offertes par le virtuel. Et paradoxalement, la qualité des expériences immersives repose sur le lien plus ou moins fort qu'elles entretiennent avec le monde physique. Tout l'enjeu de la mise au point des moteurs de rendu en 3D temps réel réside dans la capacité de cette technologie à donner un poids corporel au numérique : il

¹ « Physicality has limitations. But I believe that virtual spaces offer so many opportunities to begin to think about the fluidity that comes after corporality. We may choose a human body today but we are certainly not limited to it. Our ideas of genders and sexuality offer so much possible combinations in these virtual worlds. And we are just beginning to see how that can be celebrated and explored. », *Ibid.*

faut incarner le virtuel. Or c'est justement le tort du virtuel numérique que de manquer de phénoménalité. Stéphane Vial en fait la conclusion de son livre :

Il faut distinguer le degré d'existence d'une chose – en tant que *quantum d'être* – de son degré d'aura phénoménologique – en tant que *quantum de perception*. Une chose peut avoir moins d'aura qu'elle n'a d'être, et réciproquement. C'est là qu'est toute la subtilité de la révolution numérique comme révolution ontophanique, et c'est ce qui, longtemps, nous a trompés en nous jetant dans l'illusion du virtuel et la rêverie de l'irréel.[...] Les expériences du monde induites par l'ontophanie numérique possèdent, malgré la puissance inédite de leurs effets de réel, un assez bas degré d'aura phénoménologique.¹

Pour Stéphane Vial, le numérique est doué d'un faible degré phénoménal du fait d'un manque de profondeur et de consistance. Or c'est justement le sens de l'informatique graphique et de la 3D temps réel que de chercher à douer l'informatique d'une phénoménalité. Mais jusqu'où peut aller cette poursuite phénoménale ? Jusqu'où pourra aller la reproduction du sensible par le numérique ? Pour lors, l'absence de corps organique semble faire une différence infranchissable entre ordinateurs et vivants. Dans sa reproduction fonctionnaliste de la nature, l'informatique est limitée par son mode d'acquisition des données. Les ordinateurs traitent de l'information numérique discrète, et c'est le seul type d'information qu'ils ont à leur disposition. Dans le monde « extérieur », l'information existe sous forme numérique mais pas seulement : si les neurones du cerveau humain peuvent être considérés comme fonctionnant de manière numérique binaire, ils tirent avant tout l'information qu'ils traitent de récepteurs sensibles. Pour le corps humain, et l'ensemble du vivant, l'information est organique et continue. Elle n'est traduisible, en ce qui concerne la perception, en aucune autre unité de mesure que la sienne : la quantité de douleur, de douceur ou de chaleur n'est mesurable qu'en unité de douleur, de douceur ou de chaleur. À partir de là, les ordinateurs, dans leur existence inorganique et leur incapacité à récolter de l'information autrement que de manière numérique, semblent considérablement limités dans leur capacité à imiter le vivant comme les scénarios de science-fiction le laissent à penser. Par ailleurs, la reproduction phénoménale se heurte à l'affichage en deux dimensions des interfaces graphiques. On a beau parler de 3D, l'image rendue en définitive est toujours en 2D, irrémédiablement plate. Il

¹ Vial, *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception.*, op. cit., p. 284 - 285

manque à cette image la profondeur dont parle Merleau-Ponty, la profondeur qu'il remarque dans les tableaux de Cézanne ou dans le bleu du ciel :

Moi qui contemple le bleu du ciel, je ne suis pas en face de lui un sujet acosmique, je ne le possède pas en pensée, je ne déploie pas au-devant de lui une idée du bleu qui m'en donnerait le secret, je m'abandonne à lui, je m'enfonce dans ce mystère, il « se pense en moi », je suis le ciel même qui se rassemble, se recueille et se met à exister pour soi, ma conscience est engorgée par ce bleu illimité.¹

Une image en 2D sur un écran ne saurait provoquer le même sentiment de profondeur ou d'étoffement qu'offre la vue du monde. La nature a un poids qui semble difficilement reproductible. D'ailleurs, l'échec critique de la 3D stéréoscopique au cinéma est assez représentatif de cette difficulté à doter les écrans d'une profondeur. Cela étant dit, la 3D temps réel est tout de même en mesure de livrer des expériences immersives saisissantes et progresse chaque jour dans ce sens. Quelle place les phénomènes de la 3D temps réel peuvent-ils occuper parmi les phénomènes du monde ? Peter-Paul Verbeek rappelle à quel point la médiation des objets techniques est d'abord d'ordre sensoriel. La relation se fait au niveau matériel et non pas au niveau sémiotique. La dimension expérientielle de la 3D temps réel est donc fondamentale : puisque le rapport avec les objets techniques est en premier lieu un rapport sensoriel on comprend l'importance de la phénoménalité du virtuel numérique. C'est par la sensorialité que la médiation de la technologie s'effectue, et qu'un nouveau rapport au monde est mis en place. Lorsqu'un utilisateur est en relation avec une simulation en temps réel, il l'est d'abord sur un plan sensoriel : qu'il s'agisse d'un infographiste en train de « lighter » un jeu vidéo en plaçant une source lumineuse dans l'espace 3D, ou d'un joueur qui, attiré par une lumière dans la scène, se déplace vers elle, c'est toujours d'une relation sensorielle avec le monde virtuel dont il s'agit. À partir de ce constat que toute médiation technologique se fait sur un plan sensible, Verbeek milite pour une nouvelle « esthétique des choses ». Si Heidegger donne une place intermédiaire aux « objets utiles », c'est-à-dire les objets techniques, entre les choses et les œuvres d'art car une chose n'est pas fabriquée et une œuvre d'art n'est pas utile, Verbeek cherche réhabiliter ces « objets utiles ». Pour Heidegger, l'objet technique disparaît derrière sa fin, contrairement à l'œuvre d'art qui est admirée. Or Verbeek montre qu'un objet technique n'est pas réductible à sa seule fin car on peut tout à fait

¹ Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception*., op. cit., p. 259

être en relation avec lui pour lui. C'est dans cette reconnaissance de l'objet technique en lui-même que réside, selon Verbeek, les potentialités de l'« esthétique des choses ». En effet, l'esthétique ne renvoie pas uniquement à l'aspect visuel, mais d'une manière plus large à la sensorialité et la relation qu'elle fait naître entre un utilisateur et son objet. Ensemble, ils mettent en forme le monde, ou plutôt c'est leur relation elle-même qui fait jaillir un nouveau rapport au monde. Pour la conception des images de synthèse en 3D, le temps réel remodèle complètement le lien entre les artistes numériques et leurs outils. Nombreux sont ceux qui souffrent d'une perte de contact avec la profondeur du monde. Le peintre, le photographe ou même l'écrivain travaillent en face du monde, logés en lui : leur création repose sur l'observation directe du monde. L'artiste 3D, en revanche, travaille face à son ordinateur. Dans beaucoup de studios on va même jusqu'à fermer les rideaux pour empêcher le soleil de pénétrer dans les salles et d'éblouir les écrans. On se coupe donc de la profondeur du monde et du soleil pour manipuler des mondes et des soleils virtuels visibles sur des écrans 2D. Pour tous ces artistes, l'aliénation par la technologie a une résonance particulière, et à plus forte raison concernant la menace du virtuel qui asservirait le monde tangible : ils savent ce que ça signifie que d'être coupé du monde, que de vivre chaque jour sans profondeur et sans soleil. Et la virtualité, dans son sens philosophique de possible non encore actualisé, se fait ressentir à travers le mode de conception des images à destination du rendu *offline*. Puisque la lumière n'est calculée qu'au dernier moment, après un long processus de rendu, les artistes travaillent devant des interfaces grises. Pendant la plus grande partie du processus de création, ils ne peuvent qu'imaginer l'aspect que revêtira leurs images une fois calculées. Le rendu *offline* met en œuvre une vision utilitariste de la technologie où seule la fin compte. Heidegger parle d'outils « à portée de la main », c'est-à-dire d'objets utiles qui ne se pensent qu'en vue de leur utilisation. Dans cette appréciation des objets techniques, l'humain ne serait en contact qu'avec la fonction finale de l'objet qui s'effacerait derrière son but et c'est à peu près à cette conception que répondent les images 3D *offline* : elles ne sont pas faites pour être utilisées mais pour être contemplées lorsque le processus de création est terminé. La 3D temps réel, en revanche, correspond à la vision défendue par Verbeek d'un objet technique qui constitue une fin en soi : l'objet ne s'efface plus derrière sa fonction mais, au contraire, joue un rôle actif dans la relation avec son utilisateur. Et le « désengagement » inhérent à la technologie dont parlait Albert Borgmann, disparaît dès lors qu'on pense les objets techniques, non plus seulement du point de vue de leur fin, mais depuis celui du rapport que nous entretenons avec eux. Aux interfaces grises et inaccueillantes des moteurs de rendu *offline*, succèdent les

mondes virtuels illuminés en temps réel. Il n'y a plus besoin d'attendre le rendu final pour avoir devant les yeux une image éclairée, mise en lumière, ensoleillée. Avec le *real-time*, un infographiste a devant les yeux, en permanence, son monde illuminé, rendant ainsi le processus créatif bien plus organique (d'ailleurs on imagine mal Dieu créer le monde dans une interface grise et attendre un délai de calcul pour voir la lumière être). Fini de travailler à l'aveugle, le moindre changement se répercute immédiatement ; le travail de conception des expériences virtuelles se fait plus sensible, et tout simplement plus agréable : la 3D temps réel offre aux artistes une expérience phénoménale. Et le caractère organique de cette technique ne se limite pas au calcul immédiat de la lumière : puisque la 3D temps réel est résolument tournée vers l'interaction, elle offre une expérience « intelligente ». Que comprendre par-là ? Les logiciels *offline* sont tournés vers le produit fini, calculé une fois pour toute. Les logiciels *real-time*, au contraire, se projettent vers l'expérience vécue dans un temps toujours présent : la « déconnexion » du *offline* laisse place à une liaison sans cesse réactualisée dans le *real-time*. L'expérience d'utilisation des différents logiciels s'en trouve profondément affectée. Les logiciels *offline* sont « bêtes » : ils n'intègrent pas une grande dimension de programmabilité et donnent lieu à un rapport superficiel avec la technologie à destination d'utilisateurs « pousse-boutons ». À l'inverse, les logiciels *real-time* sont développés pour l'interaction et doivent, dès lors, assister l'utilisateur : ils donnent, bien plus que les logiciels *offline*, la sensation de seconder l'infographiste dans sa tâche, voire de prendre part au processus créatif. Développer un jeu par exemple, c'est déléguer toute une part de la création au programme qui va réagir aux interactions, parfois en prenant en compte une part d'aléatoire : c'est accepter de partager la paternité de son œuvre avec son outil. Il importe alors de bien comprendre le fonctionnement de la technologie qu'on utilise, ce qui renforce au passage l'engagement avec l'objet technique. Verbeek souligne à quel point la « transparence » des artefacts technologiques est cruciale dans la relation avec les utilisateurs. Il faut que les objets deviennent transparents et non plus opaques : c'est-à-dire qu'ils puissent être ouverts et réparés, mais aussi plus généralement, que les gens comprennent leur fonctionnement :

Leur fonctionnement doit être compréhensible et accessible. Une enveloppe hermétiquement fermée constitue un obstacle impénétrable, rendant l'objet opaque. La transparence est nécessaire non seulement pour rendre les produits réparables et donc prolonger leur durée de vie physique,

mais aussi pour prolonger ce qu'Eternally Yours appelle la « durée de vie psychologique » des produits.¹

Il faut rendre visible la « machinerie » pour provoquer l'engagement de l'utilisateur : à partir du moment où son fonctionnement est compréhensible, familier, l'utilisateur s'approprie l'objet technique qui devient comme un proche. C'est cela que représente la 3D temps réel pour ses utilisateurs de tous les niveaux : un engagement avec un monde familier. On a vu à quel point les créateurs et les joueurs se confondent, plus personne n'est spectateur, tout le monde est acteur car c'est une technologie qui implique un engagement, avec elle-même mais aussi avec une manière de vivre. Verbeek explique que les objets techniques, par leur médiation, apportent une réponse matérielle à la question éthique de « comment vivre ? ». Puisque les objets contribuent à mettre en forme notre être-au-monde (c'est-à-dire notre manière d'interpréter et d'agir), le *design* et l'utilisation de ces objets contribue bien à réaliser une vision de la « vie bonne ». Le *design* a un rôle éthique, un pouvoir sur notre façon de vivre : « L'éthique s'intéresse aux questions relatives à la manière d'agir (éthique du comportement) ainsi qu'à la question plus classique de savoir « comment vivre » (éthique de la vertu ou de la vie). »². Bruno Latour est un des premiers à avoir fait le lien entre éthique et artefacts dans son article « Where Are the Missing Masses ? »³ où il prend l'exemple d'une voiture qui « bip » si le conducteur n'a pas attaché sa ceinture. Ici, la matière se voit déléguer une intention morale. Verbeek soutient la position conséquentialiste qui veut que, quelle que soit l'intention morale du *designer*, le résultat sera également jugé moralement. Dès lors, les *designers* ont une responsabilité morale. Mais qui sont les designers de la 3D temps réel ? Tous ses utilisateurs, tous ceux qui par leur fréquentation des mondes virtuelles numériques se les approprient et contribuent à leur mise en forme. Tous les utilisateurs de la 3D temps réel peuvent être élevés, jusqu'à un certain point, au rang de *designers* : c'est flagrant dans les rêves de métavers à l'image de *Fortnite* où les joueurs ont vocation à créer leurs propres jeux, leurs propres mondes. Dès lors, sans prétendre remplacer le monde physique, le virtuel

¹ « Their functioning should be understandable and accessible. A tightly sealed covering forms an impenetrable obstacle, making the object opaque. Transparency is necessary not only to make products repairable and thus to extend their physical lifetime, but also for extending what Eternally Yours calls the « psychological lifetime » of products. », *What Things Do*, op. cit., p. 226

² « Ethics is concerned with questions of how one should act (ethics of behavior) as well as with the more classical question of « how to live » (virtue or life ethics) », *Ibid.*, p. 212

³ Bruno Latour, « Where are the missing masses, sociology of a few mundane artefacts ».

numérique pourrait au contraire l'« augmenter » en donnant une nouvelle expérience du monde où la liberté et la créativité de chacun se voient accorder une place conséquente. Il ne s'agit pas de mettre images numériques et monde physique dos-à-dos, de les opposer, mais plutôt de réfléchir à la manière dont ils pourraient se supporter l'un l'autre de sorte que chacun y gagne. La liberté du virtuel qui laisse à ses utilisateurs la possibilité de se choisir leurs corps inspire, par exemple, de nombreuses personnes qui ne s'accordent pas avec leur corps physique. Et l'identité qu'ils se sont choisis virtuellement, ils continuent de la vivre dans le monde physique. L'écran n'agit pas comme une frontière infranchissable entre monde virtuel numérique et monde physique. Les expériences immersives de la 3D temps réel sont à vivre physiquement et pourraient bien éclairer le « vieux monde » d'un jour nouveau.

Conclusion

Que nous apprend la 3D temps réel de notre rapport au monde ? Nous sommes d'abord remontés aux origines de l'informatique que l'on a trouvées dans la fièvre rationnelle de la modernité. Le monde des modernes tend à constituer un monde de pure matière où l'âme, ou tout autre *en dehors* de la matière, se voient accorder peu de place. Un concept comme l'âme est trop mouvant, trop imprévisible et trop plein de doute pour se plier aux lois régulières et universelles de la science moderne. À l'inverse, la matière « obéit », elle se laisse faire, passive, et avec elle « les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets ». Peu à peu, dans un monde rationnel, il devient évident que tout peut être calculé. « Penser c'est calculer » selon Leibniz qui mit au point une machine à calculer, s'inscrivant ainsi dans la lignée des inspireurs de l'informatique. Car en effet, lorsqu'elle émerge au XXe siècle cette science nouvelle formule sa volonté de reproduire le monde par le calcul et de réduire tout ce qui est à de l'information. Une question se pose alors : jusqu'où cette réduction peut-elle aller ? Et surtout, peut-elle aller jusqu'à atteindre la conscience humaine ? Dès le début de son histoire, l'ordinateur est pensé comme une réplique du cerveau, une machine à penser, et l'on tremble de parvenir un jour à concevoir une « intelligence artificielle » indifférenciable d'une intelligence humaine car alors nous aurons la preuve que nous n'avons « rien en plus », qu'il n'y a pas d'âme, rien d'autre en dehors de la matière. Mais en dépit de notre ontologie moderne, que Descola qualifie de « naturaliste », nous ne pouvons pas nous empêcher d'« animer » les choses. Latour a montré à quel point notre monde est fait d'« hybrides », c'est-à-dire d'êtres appartenant à la fois à la nature et à la culture. Le pseudo travail de purification des modernes ne tient pas selon Latour qui parle de « faitiches » pour désigner la fétichisation moderne des faits. L'« intelligence artificielle » constitue un bon exemple de « faitichisation ». Nous avons besoins de phénomènes, nous avons besoin d'être impressionnés par des manifestations a priori inexplicable, dotées d'un caractère magique qui parle aux sens. C'est pourquoi, très rapidement, le numérique s'est doté d'une phénoménalité par le biais de l'informatique graphique. Les images ont toujours excité les passions pour le caractère trouble de leur mode d'existence : on se méfie des icônes qui induisent en erreur ou bien on les vénère car elles sont l'émanation de la divinité adorée, on se méfie des photographies qui volent l'âme de celui qui est photographié... Les images numériques n'échappent pas à cette fascination et l'exacerbent, à plus forte raison encore concernant les images de la 3D temps réel. C'est que ces nouvelles images permettent l'interaction et la

perception d'un espace. Comme l'a montré Merleau-Ponty dans son projet phénoménologique, c'est par le corps que l'on accède à l'espace et que l'on prend conscience de la voluminosité, de la profondeur du monde. C'est parce que nous avons la possibilité de tourner autour du cube que nous avons conscience de ses six faces quand bien même on n'en voit que trois à la fois. Cette vue de toutes parts, vue objective, ne saurait exister sans l'expérience première de la vue subjective, c'est-à-dire de la vue dans un corps. Voilà qui rend encore plus troublante l'expérience d'un monde immersif de la 3D temps réel : nous percevons dans ces espaces dits « virtuels » comme dans un espace physique, par le moyen de notre corps. En dépit des apparences, le corps est préservé dans un espace 3D virtuel, et à vrai dire, l'expérience qu'on fait d'un tel espace est d'abord une expérience corporelle. En fait, on a vu que cette incompatibilité apparente entre le virtuel numérique et le corps provenait d'un mauvais usage du terme. Parler de « virtuel » à propos des simulations en 3D temps réel dans un sens qui signifie « non réel », c'est faire le jeu d'une conception technophobe qui oppose le monde non-technique (naturel) au monde technique (artificiel). L'idée principale qui découle d'une telle appréhension c'est l'équivalence de l'artificialité à la fausseté, à l'illusion ou encore à l'irréalité. Puisque les images de la 3D temps réel sont artificielles alors elles ne sont pas réelles, irréelles et c'est bien en jouant avec cette idée qu'un des moteurs de jeu les plus populaires a été nommé « Unreal Engine », le « moteur irréel ». En fin de compte, c'est la vieille accusation des images comme vectrices d'illusion et ennemies de la vérité qui s'exprime ici avec l'emploi du « virtuel ». Mais les images de la 3D temps réel sont plus réelles que des images ne l'ont jamais été : elles sont tournées vers l'interaction, elles réagissent aux actions des utilisateurs et de ce fait, elles se situent bien du côté de la réalité actuelle, celle qui se produit en actes. Pour la première fois « on peut tourner dans les images » et jouer avec elles. Les images de la 3D temps réel ont quelque chose de l'ici et maintenant : une simulation ne redonne jamais lieu au même enchaînement exact d'images comme c'est le cas au cinéma. À chaque fois, le monde virtuel, qui réagit à des interactions nouvelles, se modifie en conséquence et donne lieu à des expériences jamais identiques. Cette technique implique un fort engagement avec ses utilisateurs au sens décrit par Peter-Paul Verbeek, l'engagement constituant sa raison d'être même. Mais si les simulations de la 3D temps réel sont des expériences corporelles appartenant à la réalité actuelle, elles constituent un réel bien différent du monde physique : les actes réalisables ne sont pas conditionnés au lois physiques et l'on peut, à sa guise, voler dans les airs, changer de corps ou même mourir et puis revivre... Qui n'a jamais rêvé d'expérimenter la vie d'un autre, le corps d'un autre ou

bien de retourner en arrière avant d'avoir commis un acte regretté ? Tout ceci est rendu possible, expérimentable, grâce à la 3D temps réel qui combine réalisme et onirisme. Depuis notre monde matériel et mécanique, la 3D temps réel nous fait voyager en corps dans des univers parallèles peuplés d'autres possibles, des « métavers ». Et la dimension du rêve a toute son importance car cette technologie met à disposition des expériences chamaniques adaptées aux modernes : c'est en quelque sorte une machine à faire vivre des rêves à ceux qui n'y croient plus.

Bibliographie

- Aiken, Howard Hathaway. « A Proposed Automatic Calculating Machine (1937) ». In *Ideas That Created the Future: Classic Papers of Computer Science*, édité par Harry R. Lewis, 0. The MIT Press, 2021. <https://doi.org/10.7551/mitpress/12274.003.0009>.
- Akenine-Möller, Tomas, Eric Haines, Naty Hoffman, Angelo Pesce, Michał Iwanicki, Sébastien Hillaire, et Nathaniel Hoffman. *Real-Time Rendering*. Fourth edition. An A K Peters Book. Boca Raton London New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018.
- Andrieu, Bernard. *Philosophie du corps: expériences, interactions et écologie corporelle*. Textes clés. Paris: J. Vrin, 2010.
- Bachelard, Gaston. *Études*. Édité par Georges Canguilhem. 2e éd. Bibliothèque des textes philosophiques. Paris: Vrin, 2002.
- . *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin, 1999.
- . *Le nouvel esprit scientifique*. Quadrige. Paris: PUF, 2020.
- Bergson, Henri. *La pensée et le mouvant: essais et conférences*. Nouvelle éd. Quadrige. Paris: Presses universitaires de France, 2012.
- . *L'évolution créatrice*. Quadrige. Paris: Presses universitaires de France, 2013.
- Borgmann, A. *Technology and the Character of Contemporary Life: A Philosophical Inquiry*. University of Chicago Press, 1984
- Breton, Philippe. « L'informatique comme discipline existe-t-elle? Histoire d'un clivage qui sépare les informaticiens ». *Réseaux* 24, n° 3 (1987): 65-75.
- Cani, Marie-Paule. « Mondes virtuels : genèse des nouveaux mondes ». In *La Création*, 97-110. Le Temps des savoirs. Odile Jacob, 2005.
- « Computer Graphics ». In *Wikipedia*, 3 avril 2023.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Computer_graphics&oldid=1147920811#1970s.
- Descartes, René. *Discours de la méthode*. GF 1091. Paris: Flammarion, 2000.
- Dewey, John. *L'art comme expérience*. Folio 534. Paris: Gallimard, 2010.
- Gombrich, Ernst Hans. *Histoire de l'art*. Nouv. éd. Paris: Flammarion, 1994.
- « Harvard Mark I ». In *Wikipedia*, 17 mars 2023.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Harvard_Mark_I&oldid=1145072429.
- Henriot, Jacques. *Le jeu*. 3. éd. Paris: Synonyme-S.O.R., 1983.
- « History of Computer Animation ». In *Wikipedia*, 28 mars 2023.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=History_of_computer_animation&oldid=1147113

295.

Ihde, Don. « Philosophy of Technology ». Édité par Philosophy Documentation Center.
Techné: Research in Philosophy and Technology 14, n° 1 (2010): 26-35.

<https://doi.org/10.5840/techne20101415>.

———. *Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth*. The Indiana Series in the Philosophy of Technology. Bloomington: Indiana University Press, 1990.

La science telle qu'elle se fait - Bruno Latour : l'ultime entretien 8/11 | ARTE, 2022.

https://www.youtube.com/watch?v=XsC_UeFx2JA.

Latour, Bruno. *Nous n'avons jamais été modernes: essai d'anthropologie symétrique*.

Nachdr. Paris: Editions La Découverte [u.a.], 2010.

———. « Where are the missing masses, sociology of a few mundane artefacts »

Lévy, Pierre. *De la programmation considérée comme un des beaux-arts*. Paris: Editions La Découverte, 1992.

Merleau-Ponty, Maurice. *Phénoménologie de la perception*. Paris. Gallimard, 2013.

Métavers, shifting et xenogenders : bienvenue dans la réalité désirée | Tracks | ARTE, 2022.

https://www.youtube.com/watch?v=6P_mKhKvlZ4.

Perény, Étienne. *Images interactives et jeu vidéo: de l'interface iconique à l'avatar numérique*. Paris: Questions théoriques, 2013.

Quéau, Philippe. *Le virtuel: vertus et vertiges*. Collection Milieux. Seyssel : [Paris]: Champ Vallon ; Institut national de l'audiovisuel, 1993.

Triclot, Mathieu. *Philosophie des jeux vidéo*. Paris: la Découverte, 2017.

Verbeek, Peter-Paul. *What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design*. University Park, Pa: Pennsylvania State University Press, 2005.

Vial, Stéphane. *L'être et l'écran. Comment le numérique change la perception*. Paris: Presses Universitaires de France, 2013

Von Neumann, John, et Ray Kurzweil. *The computer & the brain*. 3rd ed. New Haven, Conn. ; London: Yale University Press, 2012.

Weizenbaum, Joseph. *Computer power and human reason: From judgment to calculation*. Oxford, England: W. H. Freeman & Co, 1976.

Wiener, Norbert. *Cybernetics: or, Control and communication in the animal and the machine*. Second edition, 2019 reissue. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2019.