

UNIVERSITE PARIS IV – SORBONNE
UE 435 - Philosophie de la technique

Mini-mémoire de Maîtrise
Philosophie

SENS DE L'ESPACE ET DU TEMPS A L'ERE DU VIRTUEL
LES ARTS NUMERIQUES, VOIE D'ACCES SENSIBLE AUX MODELES INTELLIGIBLES

DIRECTEUR DE RECHERCHE : M. JEAN-MICHEL BESNIER

REDACTION ET SOUTENANCE : M. YVES-MARIE L'HOUR

Année universitaire : 2003 - 2004

« La tâche suprême du physicien est d'aboutir à ces lois élémentaires universelles à partir desquelles le Cosmos peut être construit par simple déduction. Il n'existe pas de chemin logique vers ces lois ; seule une intuition reposant sur une compréhension proche de l'expérience peut les atteindre. Le monde des phénomènes détermine de façon unique le système théorique, en dépit du fait qu'il n'existe aucun pont logique entre les phénomènes et leurs principes théoriques ; c'est ce que Leibniz désignait avec tant de bonheur comme une "harmonie préétablie".¹ »

Einstein

« Dans tout art, la dernière expression abstraite reste le nombre.² »

Kandinsky

¹ Einstein, à l'occasion du 60^{ème} anniversaire de Max Planck, cité in Miller, I. Arthur, *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 208

² Kandinsky, Wassily, *Du Spirituel dans l'art*, p. 194

0. Introduction

On considère traditionnellement que la physique mathématique est née avec Galilée. Celle-ci pose que les lois de la nature sont apparentées à celles des mathématiques et qu'au-delà de ce que perçoivent nos sens, il existe une réalité objective des entités mathématiques agissant à l'arrière plan du monde des apparences. Galilée inaugura ainsi deux siècles de physique où le déterminisme euclidien semblait représenter le seul et unique modèle envisageable du monde.

Kant et Poincaré comptent parmi les principaux penseurs qui, ayant parfaitement compris les enjeux de la physique mathématique, ont renouvelé les réflexions sur le processus de connaissance, à la lumière, le premier, de la physique newtonienne, le second, de la découverte des géométries non euclidiennes³. Kant, qui n'était pas un profane en matière de sciences⁴, considérait que les conséquences de la théorie de la gravitation newtonienne touchaient au fonctionnement même de l'esprit humain. C'est ainsi que pour répondre à Hume, qui mettait en cause les bases de la certitude scientifique⁵, il chercha à établir un fondement cognitif à la théorie de la gravitation universelle et en vint à poser que l'espace et le temps euclidiens, tels qu'ils étaient décrits par Newton, étaient des conditions *a priori* de la connaissance et non des concepts empiriques. Les découvertes des géométries non euclidiennes dans les années 1820 puis, plus tard, leur remarquable adéquation à la théorie de la relativité générale développée par Einstein, remirent en cause la prééminence de la géométrie euclidienne en tant que modèle privilégié de description de l'univers. Poincaré développa ainsi une nouvelle théorie de la connaissance, certes inspirée de celle de Kant, mais beaucoup plus générique, et qui, surtout, s'appuyait directement sur le formalisme mathématique algébrique. L'espace euclidien n'est plus aujourd'hui considéré par les physiciens et les mathématiciens que comme un modèle particulier parmi d'autres.

Or, malgré ces remises en cause du modèle euclidien, il est manifeste que tout un chacun perçoit encore la réalité quotidienne selon les anciens modèles. Le postulat d'Euclide⁶ nous apparaît plus naturel que les hypothèses alternatives qui sous-tendent les géométries de Riemann et de Lobatchevski. Les conceptions de l'espace-temps décrites par Einstein, Minkowski ou Grossman nous apparaissent bien abstraites et si nous sommes capables d'en énoncer quelques conséquences qui contredisent apparemment nos intuitions, il faut avouer que nous ne parvenons pas à les *saisir* par l'imagination. La perception des lois complexes sensées agir à l'arrière-plan de notre univers, reste inaccessible au quotidien. La nouvelle physique du dernier siècle, par sa complexité et son caractère anti-empirique, est demeurée une pure abstraction pour la plupart de nos contemporains, à l'exception, peut-être, de quelques physiciens qui sont confrontés à

³ Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts* p. 191-209

⁴ Le philosophe de Königsberg était plus que versé dans la physique newtonienne qu'il étudia de manière très approfondie. Outre son intérêt pour la mécanique terrestre, il fera également en 1855, dans son ouvrage *Théorie du ciel*, quelques conjonctures cosmologiques significatives sur les galaxies et les nébuleuses, qui seront vérifiées au cours du XX^{ème} siècle avec l'avènement des radio-télescopes géants.

⁵ Hume affirmait notamment qu'aucune expérience ne pourrait jamais prouver la validité d'une théorie puisqu'il est toujours possible d'imaginer l'existence d'une expérimentation décisive invalidante non menée.

ses lois singulières dans le cadre de leurs travaux quotidiens. Les tentatives pour en rendre compte schématiquement, par exemple par des dessins qui simulent deux dimensions spatiales au lieu de trois⁷, ne parviennent pas à modifier notre traditionnelle conception de l'espace et du temps : elles restent précisément de l'ordre de la métaphore.

Nous allons essayer de montrer dans cette étude comment les nouvelles technologies numériques, appliquées aux champs artistiques, sont susceptibles de nous ouvrir à des temporalités et à des espaces de perception qui remettent fondamentalement en cause nos logiques et intuitions *a priori*. La révolution numérique, telle que nous la concevons avec Philippe Quéau⁸, est en fait double. D'une part, le corps de l'homme peut aujourd'hui être directement connecté, aux moyens d'interfaces visuelles, kinesthésiques ou sonores, sur l'espace abstrait des modèles conceptuels à l'œuvre dans les machines informatiques. D'autre part, il est devenu parfaitement envisageable d'immerger le sujet dans des univers virtuels multi-sensoriels, engendrés à partir de ces modèles et algorithmes purement conceptuels. Nous chercherons ainsi à défendre la thèse selon laquelle ces deux possibilités actuelles d'hybridation entre corps et technologie, et d'immersion dans le virtuel, constituent deux avancées technologiques susceptibles de nous faire expérimenter sensiblement des modèles alternatifs de représentation du monde et ainsi de modifier nos conceptions de l'espace et du temps.

Pour ce faire, nous allons commencer par présenter l'approche mathématique qui domine la plupart des champs de la recherche moderne en sciences physiques et naturelles, en rappelant brièvement son apparition et son développement historique. Nous montrerons pourquoi les succès technologiques et fonctionnels de la science contemporaine rendent plus que jamais essentielle la notion de « modèle ». Dans une seconde partie nous identifierons et analyserons la notion d'arts numériques, en mettant notamment en lumière leur potentiel en terme d'hybridation homme-machine et d'immersion. Nous approfondirons la notion d'interface afin de comprendre les nouvelles voies d'expression qui peuvent s'ouvrir aux artistes contemporains et pourquoi ces arts du virtuel peuvent donner lieu à une représentation sensible de la réalité purement intelligible des modèles sous-jacents. Enfin, dans la dernière partie nous examinerons, en nous fondant pour l'essentiel sur les travaux de Philippe Quéau, comment l'utilisation des technologies de synthèse numérique, en particulier dans le domaine de l'image, est à même d'engendrer des simulations d'univers virtuels régis par des lois singulièrement différentes de celle du monde réel, et quelle expansion de conscience est susceptible d'en découler.

⁶ Celui-ci s'énonce ainsi : « Par un point extérieur à une droite il ne peut exister qu'une seule et unique droite parallèle à la première. »

⁷ Je pense par exemple aux diagrammes spatio-temporels de Minkowski, (cf. Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 189)

⁸ Nous utiliserons notamment dans le contexte de ce travail deux textes de Philippe Quéau : *Altération*, in *Les chemins du virtuel, simulation informatique et création industrielle*, Les Cahiers du CCI, Editions du Centre Pompidou, 1989, p. 127-135 et *Le Virtuel, vertus et vertiges*, Coll. Milieux, Ed. Champ Vallon INA, 1993

1. Lois mathématiques et perception de la réalité sensible

1.1. Le monde des apparences phénoménales versus la réalité intelligible des nombres

En 1959, le physicien Eugène Wigner donna une conférence qu'il intitula *La déraisonnable efficacité des mathématiques* au cours de laquelle il faisait part de sa stupeur quant à :

« L'efficacité énorme des mathématiques dans les sciences de la nature [qui] est une chose presque mystérieuse [...]. Il n'y a aucune explication rationnelle à cela⁹. »

La question de la relation entre sciences naturelles et sciences mathématiques est l'un des mystères les plus profonds qui soit et qui a, au moins depuis Galilée, intéressé tout autant les scientifiques que les philosophes. Comment peut s'expliquer le succès extraordinaire d'outils dits exacts dans la description et la prédiction des phénomènes de la nature dont les mesures sont nécessairement empreintes d'incertitude ? Pourquoi des entités abstraites *a priori* sorties de l'esprit des physiciens semblent-elles entrer en résonance avec les phénomènes naturels, au point de nous permettre non seulement de rendre compte du monde qui se présente à nos sens, mais surtout de prévoir son évolution et de plier ses lois naturelles à nos besoins ? Deux écoles continuent aujourd'hui à s'affronter¹⁰ : les idéalistes platoniciens, qui sont convaincus de l'existence réelle des entités mathématiques et des figures géométriques parfaites dans un monde des idées parallèle à notre univers sensible, et les constructivistes qui soutiennent que les êtres mathématiques sont de pures créations subjectives de l'esprit humain. Les constructivistes, pour qui la nature mathématique de l'univers ne lui est pas intrinsèque mais lui est imposée par l'homme, avancent que le succès des mathématiques est un phénomène psychologique et culturel. Cette hypothèse apparaît à mon sens discutable, notamment dans la mesure où une grande partie des mathématiques s'est élaborée de façon totalement abstraite, sans aucun souci d'une application physique pratique. Les chercheurs ont étudié les nombres et les modèles géométriques pour eux-mêmes, et les physiciens ont été à plusieurs reprises surpris quand amenés sur un nouveau territoire physique, ils découvraient invariablement que les mathématiciens y étaient déjà passés¹¹.

Pythagore et son dogme du « tout est nombre » est à l'origine de la conception reprise par Platon qui énonce que les nombres entiers régissent l'univers, et que la seule façon d'accéder à une connaissance de la nature est, par conséquent, de tisser un lien entre les manifestations sensibles et le royaume des nombres purs. Platon, adhérant dans une large mesure à cette philosophie pythagoricienne (il ne se référerait jamais explicitement à Pythagore mais parlera toujours des pythagoriciens) un siècle et demi plus tard allait faire inscrire au-dessus du porche d'entrée de son Académie d'Athènes la formule : « Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre. ». Son disciple Aristote allait quant à lui choisir la voie de la

⁹ Wigner, Eugène, *The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences*, *Communication on Pure and Applied Mathematics*, 1960, Cité in Miller, I Arthur, *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 183

¹⁰ Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 183

¹¹ Thuan, Trinh Xuan, *Le chaos et l'harmonie*, p. 532-533

philosophie naturelle en mettant l'accent sur l'expérience sensible du monde et non sur l'existence d'un hypothétique univers invisible situé au-delà des apparences, ouvrant ainsi la voie au développement de tout le courant de la science phénoménologique qui aboutira au début du XIX^{ème} siècle au mouvement de révolte de la Naturphilosophie romantique contre la mécanisation du monde.

1.2. L'avènement de la physique moderne : les lois de la nature sont écrites en langage mathématique

Un peu plus tard, allaient adhérer à cette conception platonicienne du monde non seulement Galilée et Descartes mais également Leibniz, qui écrira d'ailleurs lui-même dans un esprit très pythagoricien : « La musique est l'arithmétique de l'âme, elle qui compte sans même s'en rendre compte¹². » A partir du XVII^{ème} siècle les scientifiques, en particulier Bacon, Descartes, Newton, Galilée vont réaliser une véritable rupture, non pas par la formalisation de nouvelles ambitions ou aspirations, mais par la découverte de la méthode analytique et réductionniste fondée sur les mathématiques : Ce sera le début de l'époque des Lumières qui va se caractériser par un engouement pour la connaissance pratique et le refus conjoint des livres et des anciens comme sources exclusives du savoir. Le monde sera représenté comme une immense mécanique sur la base de laquelle Kepler, Galilée, Descartes, Huygens, Newton vont développer des théories et des formalismes mathématiques qui vont traduire l'univers en une série de chiffres, de figures et de formules. Il est traditionnel de reconnaître l'acte de naissance de cette nouvelle physique mathématique dans la fameuse phase de Galilée rapportée dans *L'Essayeur* en 1623 et reprise presque mot pour mot dans sa lettre à Fortunio Liceti de janvier 1641 :

« La philosophie est écrite dans ce livre gigantesque qui est continuellement ouvert à nos yeux (je parle de l'Univers), mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit en langage mathématique, et les caractères sont des triangles, des cercles et d'autres figures géométriques sans lesquelles il est impossible d'y comprendre un mot. Dépourvu de ces moyens, on erre vainement dans un labyrinthe obscur.¹³ »

La géométrie sur laquelle se fondent tous les travaux et toutes les théories des physiciens jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, celle *a priori* seule à même de décrire notre univers depuis l'antiquité jusqu'à Newton, est celle d'Euclide (III^{ème} siècle avant JC). Elle est notamment fondée sur un axiome – c'est à dire que sa formulation n'est le résultat d'aucune démonstration, mais doit être comprise comme une hypothèse que les sens présentent comme une vérité nécessaire – qui a fait couler beaucoup d'encre. Ce cinquième postulat d'Euclide peut s'énoncer ainsi : « Par un point extérieur à une droite, ne peut passer qu'une seule et unique droite parallèle à la première ».

¹² Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 187

¹³ Galileo Galilei, *Il Saggiatore* ; trad. De Christiane Chauviré, *L'Essayeur*, Les Belles Lettres

Dans le sillage spécifique de la physique newtonienne, Kant considérait en 1781 dans la *Critique de la raison pure* que le temps et l'espace étaient des conditions de connaissance *a priori*. C'est à dire qu'elles n'étaient issues d'aucune expérience. En contradiction avec ce qu'énonçait Hume¹⁴, pour qui les assertions scientifiques *a priori*, telles que justement « un corps subit la gravité », sont fondées sur nos expériences passées et sur notre usage de croire que le futur sera identique au passé, Kant soutient que la loi de causalité existe dans l'esprit avant toute chose, c'est-à-dire *a priori* : elle a sa source dans des propriétés plus profondes de l'esprit. Son raisonnement tenait en ce que la cause et l'effet se rapportent en fin de compte à l'ordonnement temporel d'événements qui prennent chacun leur place dans l'espace. Et comme les notions d'espace et de temps newtoniens constituent nos concepts ordinaires d'espace et de temps, il faut également les considérer comme les principes *a priori* qui organisent en connaissance les perceptions qui arrivent éparses à notre esprit. Le raisonnement de Kant est donc le suivant : les représentations de l'espace et du temps doivent être antérieures à nos sensations car nous ne pouvons ni percevoir, ni ordonner nos sensations si nous ôtons l'un et l'autre. Dans la *Critique de la raison pure*, Kant défendit ainsi la thèse que si l'on accepte l'espace newtonien, alors on doit également accepter le fait que la géométrie euclidienne tridimensionnelle soit la seule géométrie permettant de décrire et d'étudier la nature¹⁵.

1.3. Einstein et Poincaré : l'espace euclidien, un modèle parmi d'autres

Ce résultat fut réduit à néant dans les années 1820 lorsque Bolyai et Lobatchevski découvrent les espaces non euclidiens, et surtout lorsque la preuve fut faite que ces derniers ne sont pas incohérents, absurdes ou contradictoires¹⁶. Mais le coup de grâce sera donné par Einstein presque un siècle plus tard, en 1915, lors de la formalisation mathématique de la théorie de la relativité générale. Einstein va considérer l'effet de gravitation qu'exerce un corps, par exemple le Soleil sur la Terre, non plus comme une force agissant à distance, mais comme en une modification de la géométrie de l'espace qui l'entoure. Le mouvement d'un corps (par exemple la Terre) suit une « droite » au sens d'une nouvelle géométrie possédant une dimension supplémentaire, le temps. Or Minkowski avait déjà montré que la géométrie d'un tel espace-temps possédait des propriétés non euclidiennes. Désormais la géométrie ne détermine plus les trajectoires des corps au sens de leur mouvement dans l'espace habituel à trois dimensions, mais des trajectoires dans l'espace temps nommées lignes d'univers. Les lignes d'univers décrites par les corps en chute libre correspondent aux droites de la géométrie de l'espace-temps déterminées par la présence des masses.

¹⁴ Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 191-195

¹⁵ *ibid.*, p. 195

¹⁶ En 1868, le mathématicien italien Enrico Beltrami démontra que l'on pouvait établir une correspondance directe entre la version bidimensionnelle de la géométrie non euclidienne de Bolyai et Lobatchevski et la géométrie des disques dans l'espace euclidien, la cohérence supposée de l'espace euclidien engendrait de même celle des géométries non euclidiennes.

Les conclusions de Kant furent ainsi lourdement mises à mal par l'avènement de la relativité générale et des géométries non-euclidiennes, qui détruisaient l'idée newtonienne de temps et d'espaces absolus. Le renouvellement de la conception kantienne sera le fruit des réflexions du mathématicien Poincaré.

A partir de 1887, suite à la découverte d'un article du mathématicien norvégien Lie qui établissait une théorie de groupe permettant de modéliser tout mouvement d'un corps dans un plan comme une somme infinie de mouvements infinitésimaux, Poincaré va s'intéresser à la relation qui unit l'espace mathématique parfait à l'espace représentatif, donc imparfait, de la physique¹⁷. Se basant sur la *Critique* de Kant et cherchant une alternative aux principes *a priori* de la connaissance qu'étaient le temps et l'espace chez le philosophe, il va proposer dans un article de 1887¹⁸ l'hypothèse de la préexistence dans l'esprit de la notion de groupes continus de transformation. L'ensemble de ces groupes « *a priori* », que nous pouvons tout à fait considérer comme une généralisation des principes synthétiques *a priori* proposés par Kant, serait à même d'engendrer toutes les géométries possibles mutuellement compatibles et permettrait à notre esprit de saisir tout mouvement d'objet dans l'espace et dans le temps. La théorie proposée par Poincaré s'avérait ainsi valable non seulement dans un espace et un temps euclidien, comme celui décrit dans la théorie newtonienne et pensé par Kant, mais également dans tout type de géométrie démontrée comme cohérente. Poincaré¹⁹ explique alors dans son article que notre esprit organisant ses perceptions sensorielles en fonction de ces différents groupes, il en arrive à choisir « par commodité » le groupe mathématique des déplacements euclidiens à trois dimensions d'où résulte notre perception *a priori* de l'univers.

« Le groupe choisi est seulement plus commode que les autres et nous ne pouvons plus dire que la géométrie d'Euclide est vraie et que celle de Lobatchevski est fausse, pas plus que nous ne pouvons dire que les coordonnées cartésiennes sont vraies et les coordonnées polaires fausses²⁰. »

Cet épisode entre philosophie et mathématique met en lumière que le succès du formalisme mathématique lui vaut même de s'immiscer dans le champ des sciences cognitives, de la philosophie de la connaissance ou en théorie de la perception. Nous constatons par-là même l'importance que la notion de « modèle » va acquérir au fur et à mesure du développement extraordinaire de la physique mathématique. La démarche scientifique va alors consister à construire des représentations abstraites et à les confronter, expérimentalement ou par l'observation, à la réalité phénoménale pour vérifier qu'ils ne sont pas réfutés. Or, au fur et à mesure que la physique théorique deviendra plus abstraite, elle semblera toujours trouvé pour répondre à ses besoins, des outils mathématiques plus abscons et complexes, développés souvent sans visée particulière et en toute indépendance par des mathématiciens. Ainsi

¹⁷ Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 200-201

¹⁸ Poincaré, Henri, *Sur les hypothèses fondamentales de la géométrie*, Bulletin de la société mathématique de France, Paris, 1887, p. 203-216

¹⁹ Miller, Arthur I., *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, p. 205

²⁰ Poincaré, Henri, *Sur les hypothèses fondamentales de la géométrie*, Bulletin de la société mathématique de France, Paris, 1887, p. 203-216

Einstein n'eut-il pas à réinventer la théorie des tenseurs - dont les fondements avaient déjà été mis en place par le mathématicien italien Ricci-Curbastro en 1887 et 1888 - ou les outils de la géométrie non euclidiennes - développés dans le courant du XIX^{ème} par Gauss, Riemann, Lobatchevski, Bolyai et surtout Riemann - pour mener à terme entre 1913 et 1915, avec le mathématicien Grossmann, les calculs différentiels sur des surfaces non-euclidiennes nécessaires à la formalisation de sa théorie de la relativité générale. Même si le débat est loin d'être tranché, il semble exister un certain nombre d'arguments qui vont dans le sens d'un lien, d'une correspondance étroite entre mathématiques et nature, entre modèles et phénomènes physiques. Plusieurs mathématiciens de culture, d'éducation, de parcours différents parviennent ainsi très souvent aux mêmes découvertes parfois avec une synchronisation troublante²¹, comme s'ils puisaient effectivement à un fond commun d'idées douées d'une réalité autonome.

1.4. Et pourtant « la terre ne se meut pas... »

Plus généralement, au cours du dernier siècle, nous avons ainsi été témoins de l'émergence d'une nouvelle vision du monde très différente de celle qui émergea au XVII^{ème}. La mise en cause majeure des conceptions de l'espace et du temps qui ont dominé le monde pendant trois cent ans, n'est pas uniquement la conséquence de la théorie de la relativité générale par Einstein (en 1915), mais également celle de l'avènement de la mécanique quantique (1920-1930) et de la découverte des phénomènes chaotiques par Lorenz en 1961. Dans le système mécaniste classique, la matière était une substance pour ainsi dire inerte obéissant à des lois générales parfaitement déterministes. Mais la mécanique quantique, a totalement modifié cette conception : l'horloge bien réglée de Laplace ou de Descartes a été remplacée à l'échelle subatomique par un univers singulier d'ondes et de particules gouvernées non plus par des lois déterministes rigides, mais par celles du hasard et de la contingence apparente. Une certaine forme de déterminisme subsistait néanmoins encore²², notamment au niveau macroscopique, car si un événement quantique individuel était indéterminé, les probabilités relatives à un très grand nombre d'éléments ou considérées sur une longue durée redevenait tout à fait prévisibles au moyen des lois de la statistique. Mais la découverte du chaos a définitivement enterré, et ce même à l'échelle des phénomènes macroscopiques, les anciennes théories fondées sur l'hypothèse exclusive du déterminisme.²³ Dans un certain nombre de domaines, - comme ceux de la météorologie, de l'astronomie, de la mécanique des fluides, de la théorie financière, de l'épidémiologie quantitative... - les ambitions prédictives de la physique mathématique, et donc la question des limites de la connaissance scientifique, ont été sérieusement reconsidérées. Le physicien Trinh Xuan Thuan exprime ainsi cette révolution complète de nos conceptions scientifiques de l'univers :

²¹ Je songe par exemple en la circonstance à Lobatchevski et Bolyai qui découvrirent quasi simultanément dans les années 1820 les « géométries imaginaires ».

²² Thuan, Trinh Xuan, *Le Chaos et l'Harmonie*, p. 544

²³ Le chaos est présent quand une modification infime des conditions initiales dans un système provoque un changement démesuré de son évolution : l'effet n'est plus en proportion de la cause. La métaphore courante est celle du battement d'aile de papillon qui déclenche un cyclone de l'autre côté du globe.

« La machine déterministe de Newton a été remplacée au niveau subatomique par un monde fantasmagorique d'ondes et de particules gouverné, non plus par les lois rigides de la causalité, mais par celles libératrices, du hasard. La matière en vient même à perdre sa substance : l'espace vide regorge de particules virtuelles à l'existence fantomatique et éphémère. La théorie des super-cordes, qui cherche à unifier les forces fondamentales de la Nature stipule que les particules de matière ne sont que des vibrations de bouts de ficelles infinitésimalement petits dans un univers à dix dimensions. Le déterminisme de Newton et de Laplace est balayé. Le principe d'incertitude de Heisenberg nous dit que nous ne pouvons jamais connaître à l'avance le comportement d'un électron. [...]

La matière a perdu son rôle central. Ce sont les principes qui l'organisent et qui lui permettent d'accéder à la complexité qui occupent le devant de la scène. [...]

La créativité dans la matière se trouve nouvellement créditée et sa libération du carcan déterministe nous permet de réexaminer sous un jour neuf le problème de la dichotomie entre le monde changeant de l'expérience et celui invariant des Formes Eternelles ; entre un dieu immuable et éternel, hors du temps et de l'espace et sa manifestation dans une nature changeante et contingente.²⁴ »

Qu'en est-il précisément aujourd'hui de notre perception du monde au regard des bouleversements théoriques qu'ont connus les sciences physiques au cours du dernier siècle ? Nos conceptions de l'espace et du temps ont-elles été réellement bouleversées au quotidien ?

Force est de constater que nous vivons toujours dans un espace euclidien, déterministe et géocentrique. Notre sol psychologique, notre « Lebenswelt », comme l'écrivait Husserl²⁵, est toujours indissociablement lié à notre perspective. C'est le progrès en tant que produit qui a été parfaitement appréhendé, mais notre vision du monde n'a peut-être pas été autant bouleversée que le craignait Pascal dans ses *Pensées*. Pour reprendre l'image développée par Husserl dans son essai *La terre ne se meut pas*, psychologiquement attachés que nous sommes à notre planète comme « monde de la vie », comme « Lebenswelt », c'est cette dernière dans notre vécu quotidien, que nous ressentons toujours comme immobile, alors même que la théorie copernicienne a été énoncée il y a bientôt cinq siècles (en 1543). La matière nous apparaît aussi continues et déterministes qu'avant la révolution quantique. Et plus que tout l'espace et le temps comme parfaitement euclidiens.

A la fin du XV^{ème} et au début du XVI^{ème}, une poignée d'innovations techniques ont ouvert les océans aux navigateurs et bouleversé la vision que l'humanité se faisait de son berceau. Aujourd'hui la science nous invite à participer à une nouvelle révolution intellectuelle et sensible, à vivre une expansion libératrice de conscience comparable à celle de la Renaissance. Mais comment les technologies contemporaines pourraient-elles nous permettre de dépasser l'ancienne conception qui considère l'espace comme inerte et sans autonomie, le temps comme linéaire, absolu et unidirectionnel ? La révolution numérique peut-

²⁴ Thuan, Trinh Xuan, *Le chaos et l'harmonie*, p. 544-549

²⁵ Husserl, Edmund, *La terre ne se meut pas*, Ed. de Minuit Paris, 1989

elle mettre à notre disposition des embarcations inédites et susceptibles de nous faire toucher intimement aux lois mystérieuses que les scientifiques nous présentent sous forme de théories abstraites ?

2. Les arts numériques : hybridation et immersion

2.1. L'appropriation des technologies numériques par le champ artistique

Les techniques artistiques ont, parallèlement à l'évolution de nos conceptions et de notre compréhension de la nature, cherché à développer de nouvelles formes de représentation de l'univers tel qu'il était perçu en un temps et en un lieu donné. Ainsi l'art des grecs se voulait un microcosme, c'est à dire une représentation réduite du Cosmos dont il devait retranscrire l'harmonie et la beauté à une échelle réduite. Peu à peu le savoir et les techniques ont influencé la manière dont les œuvres d'art se sont efforcées de représenter une réalité qui elle-même se modifiait dans notre conception. L'un des exemples les plus évidents réside certainement en la découverte des lois de la perspective au milieu du XV^{ème} siècle par des peintres tels que Masaccio ou van Eyck. La mise en œuvre et le perfectionnement de cette technique a profondément modifié le sens de l'espace que, non seulement les artistes, mais également les spectateurs, pouvaient avoir de leur environnement. Ainsi que l'écrit Panofsky :

« Ainsi le tableau s'est transformé en une « portion de réalité » dans la mesure où et en ce sens que désormais l'espace que l'on imagine déborde de tous côtés l'espace représenté, la finitude même du tableau rendant perceptible l'infinité de l'espace et sa continuité. ²⁶»

Les découvertes scientifiques du début du XX^{ème} siècle, notamment celle de la nature ondulatoire du son et de la lumière, ont encouragé les peintres abstraits, à partir de 1910, à retranscrire sous forme artistique la réalité complexe que dépeignait cette nouvelle science, et à mettre en question la représentation traditionnelle de l'espace en élaborant des lois propres à l'espace pictural, indépendantes de la vision subjective de l'homme. Dès 1912, Kupka a commencé à rassembler des notes où il développe une théorie de la physiologie de la perception, et où il annonce la venue d'un art non seulement abstrait mais « sans aucune médiation matérielle » - ce que Kupka appelle la « psychographie de l'avenir », dont le support ne serait autre que les « ondes magnétiques ». Pour lui, ainsi que l'énonce Pascal Rousseau, « l'art de l'avenir » sera porté par une « communication directe de l'émotion, l'espéranto d'une communication intégrale et immatérielle, flottant tel un effluve magnétique qui envoûte les spectateurs, chargé d'une énergie qui galvanise les corps et les esprits pour les porter vers des sphères plus élevées.²⁷» Les cubistes essayèrent de leur côté, entre 1907 et 1921, de représenter les nouvelles géométries à quatre dimensions que les savants commençaient à considérer comme la structure réelle de notre univers. Mais si leurs œuvres marquèrent indéniablement le siècle, on ne peut que constater qu'ils se trouvèrent rapidement entravé par les moyens limités, et en l'occurrence la matérialité de la technique picturale.

²⁶ Panofsky, Erwin, *La perspective comme forme symbolique*, p. 138

²⁷ Rousseau, Pascal, *Un langage universel : l'esthétique scientifique aux origines de l'abstraction*, in *Aux origines de l'abstraction*, p. 30-31

Mais à partir des années 1940, des cinéastes passionnés par l'expérimentation et les nouveaux moyens technologiques qui commencent à apparaître, vont s'approprier un outil encore élitiste et peu performant, l'ordinateur, pour initier une démarche originale de recherche à partir de courbes représentatives de fonctions mathématiques générées informatiquement. Je songe ici en particulier aux frères James et John Whitney qui peuvent être considérés comme de véritables précurseurs tant par leurs innovations cinématographiques que par l'utilisation de la programmation à des fins artistiques. Certains de leurs films²⁸ laissent présager le développement d'une expression artistique fondée sur l'abstraction et les modèles mathématiques.

L'apparition de la machine informatique instaure une rupture technologique qui la distingue fondamentalement des automates qui existaient depuis l'antiquité. Les ordinateurs numériques diffèrent des machines mécaniques traditionnelles en deux choses : d'une part, par l'existence de programmes sous-jacents, doués d'une autonomie que ne possédait aucun des anciens automates, d'autre part, et de façon plus essentielle encore, par la présence d'organes sensoriels, de membranes sensibles qui leur permettent d'instaurer un dialogue avec l'homme et l'environnement. On peut nommer ces surfaces de contact entre les machines informatiques et leur environnement des interfaces.

Depuis véritablement une dizaine d'années, l'informatique et plus largement les divers outils numériques, graphiques, vidéo, sonores, etc. ont atteint un degré de développement et d'accessibilité financière tel que les créateurs se les approprient massivement et développent de nouveaux concepts d'installations fondées sur l'interactivité homme-machine et sur l'immersion. De la même façon que pour le cinéma à ses débuts²⁹, le médium numérique s'est initialement développé sans ambition artistique d'aucune sorte : initialement promu sous l'égide des grands groupes industriels et des cartels militaires, il n'a trouvé sa vocation artistique que dans un second temps. Il est cependant essentiel de souligner que nous ne faisons pas simplement face à l'apparition d'une nouvelle technique, comme la photographie et le cinéma en leur temps. La technologie numérique pénètre et conditionne en effet transversalement tous les métiers artistiques et les dynamiques culturelles : elle affecte le système des arts dans son ensemble. Aussi, face à la prolifération typologique de l'utilisation de ces nouveaux outils, est-il préférable de parler d'"arts numériques", au pluriel plutôt qu'au singulier.

Comme nous l'écrivions dans notre introduction, nous défendons dans ce travail la thèse selon laquelle les révolutions technologiques introduites par l'avènement du numérique peuvent permettre aux artistes contemporains de rendre perceptible une conception alternative et moderne d'une réalité manifestement de plus en plus fondée sur les modèles. Pour ce faire nous devons nous interroger sur ce qui constitue

²⁸ Parmi eux notamment *Yantra* (1950-1957), *Lapis* (1963-1966) et *Experiments in Motion Graphics* (1967-1968)...

²⁹ Les premières applications du cinématographe devaient se limiter à la chronophotographie pour l'étude du mouvement, ainsi que l'avait initié à partir de 1882 Etienne-Jules Marey. C'est Georges Demeny, notamment qui fera

l'essence de ces nouveaux médiums. Le numérique se caractérise avant tout comme un code binaire, un système abstrait des signes, capable de représenter tout type d'information à partir de chaînes de 0 et de 1. Il permet ainsi une quantification de tous les matériaux, rendant le contrôle sur eux total. L'impact du numérique dans les processus artistiques est un phénomène d'autant plus complexe qu'il se joue sur au moins deux niveaux :

Au niveau le plus sensible, en premier lieu, l'action de l'ordinateur et de ses programmes se définit et se matérialise au travers de surfaces de contact entre la machine et le monde extérieur : interfaces de sortie ou interfaces d'entrée. L'interface est la membrane de contact, l'organe de la sensibilité ou de l'expression. Elle permet le dialogue entre l'environnement ou le sujet et le monde intérieur celui des informations codées en langage informatique.

Au niveau le plus intelligible, en second lieu, il y a le programme et les modèles sous-jacents. Un programme est constitué par un certain nombre de variables pouvant prendre des valeurs appartenant à un ensemble prédéfini (texte, nombre entier, nombre réel...), et de règles, de modèles logiques ou mathématiques permettant l'attribution, aléatoire, interactive ou déterministe de valeurs aux dites variables. Celles-ci génèrent à leur tour les images et sons, produits en dernier lieu. Le programme modélise donc les comportements et des relations au travers d'une série d'instructions codées sous forme d'algorithmes, interprète les données issues des interfaces d'entrées, traite l'information, déclenche les mécanismes de réaction, attribue de nouvelles valeurs aux variables et traduit au final ces valeurs en phénomènes perceptibles via les interfaces de sorties (écran lumineux, haut-parleur, projecteur, moteur électrique, etc...).

2.2. L'hybridation sensible: l'interface comme frontière corps-machine

Si traditionnellement l'interface peut se définir comme surface de contact mettant en relation deux ou plusieurs systèmes hétérogènes, technologiquement parlant, elle est un dispositif assurant la communication entre deux systèmes informatiques différents et exécutant essentiellement des opérations de transcodage et de gestion de flux d'information, mettant en relation les entités selon des modalités uni ou bidirectionnelles, réversibles ou irréversibles, mutuelles ou à sens unique. Emanuele Quinz explique³⁰ que l'interface fonctionne à la fois comme une membrane transparente et comme un filtre. En tant que surface de contact et de communication entre deux (ou plus) systèmes hétérogènes, l'interface est bien transparente, en tant qu'elle assure un transfert d'information, mais elle provoque également des transformations ; elle n'assure pas seulement une communication, mais elle construit une relation. L'interface est la base même de l'interactivité immersive, et la relation qui se construit par son intermédiaire peut être définie comme un circuit, une boucle entre action, perception et réaction³¹: dans le dispositif interactif, le système est capable de modifier à chaque itération la relation qu'il établit entre

le lien entre les travaux scientifiques de Marey et les productions des premiers « cinématographistes » des années 1895-1900.

³⁰ Quinz, Emanuele, *Seuils de mutation : notes sur la notion d'interface*, in *Anomalie Digital_arts n°3*, p. 10-15

³¹ Selon le modèle de la boucle de rétroaction (feedback) théorisé notamment en électronique logique.

données d'entrée et données de sortie, et le système assure le lien entre le monde matériel réel et l'univers immatériel du programme et des modèles intelligibles. Et c'est précisément là qu'émerge le véritable statut de l'interface, ainsi que l'écrit Quinz :

« Avant d'être un espace (intermédiaire), [l'interface] est une fonction. Et cette fonction n'est pas seulement d'unir, de mettre en connexion, mais aussi de séparer, de définir. L'interface est un système de frontières. On peut affirmer que l'interface est la fonction de l'intersubjectivité : dans le jeu de la relation interactive [...], non seulement deux systèmes communiquent, mais deux subjectivités se définissent, se construisent et déconstruisent.³² »

2.3. L'hybridation intelligible : le programme comme nœud de l'interaction entre l'esprit et les modèles

Nous venons de voir que l'interface est au cœur de la relation d'hybridation sensible lors de l'expérience d'interaction d'un sujet avec une machine numérique. Assurant le lien entre le corps du sujet et le « corps sensoriel » de la machine, elle assure la transmission électronique de notre volonté et de nos actions à l'intérieur de la machine, et réciproquement elle impose à notre subjectivité les lois propres du programme. Mais l'expérience interactive numérique va bien au-delà d'une simple interconnexion physico-corporelle : elle nous fait en quelque sorte vivre la dissolution du sujet dans l'objet et réciproquement : l'objet et le sujet fusionnent sensiblement et intelligiblement dans l'expérience de la rencontre, organisée et pilotée par le programme en fonction des modèles à l'œuvre à l'arrière-plan. L'artiste canadien David Rokeby écrit ainsi que :

« Le feedback devient l'élément central de l'œuvre. Le feedback n'est pas simplement "négatif" ou "positif", inhibitoire ou renforçant, mais au contraire il est l'incarnation du devenir, des transformations mutuelles entre les deux systèmes, homme et machine. A la place du modèle de communication basé sur la relation linéaire entre un émetteur et un récepteur, s'installe le principe cybernétique. Le rapport entre le système et le spectateur est circulaire et a l'aspect d'une spirale.³³ »

Etymologiquement, l'interaction consiste en effet en une action réciproque. Elle est susceptible de modifier non seulement les objets en interaction, mais éventuellement les conditions et les lois de l'interaction. Philippe Quéau distingue ainsi deux sortes d'interaction³⁴ : l'interaction *autonome* et l'interaction *hétéronome*. L'interaction *autonome* est précisément une interaction dont les lois ou les modèles possèdent la possibilité d'évoluer au contact de la rencontre avec le sujet. Par opposition, l'interaction hétéronome est régie par des lois fixes, indépendantes du processus interactif proprement dit :

³² Quinz, Emanuele, *Seuils de mutation : notes sur la notion d'interface*, in *Anomalie Digital_arts n°3*, p. 10-15

³³ Rokeby, D., *The Construction of experience : Interface as Content*, in *Digital Illusion : Entertaining the Future with High Technology*, Reading Addison-Wesley Publishing, 1998 cité in Quinz, Emanuele, *Seuils de mutation, notes sur la notion d'interfaces*, p. 10-15

« Autrement dit, dans le premier cas l'échange interactif se bâtit lui-même au fil des transactions, d'une manière épigénétique. Dans le second cas, l'interaction reste confinée dans un jeu formel dont les lois sont définies une fois pour toutes.³⁵»

C'est l'étude de cette deuxième forme d'interaction qui nous paraît bien entendu la plus intéressante, puisque chaque action du sujet est alors potentiellement en mesure d'entraîner une altération des lois de l'interaction, et par-là même d'enrichir encore davantage l'intensité et la richesse de la rencontre. L'itération de l'interaction engendre ainsi des possibilités d'altérations successives pouvant elle-même entraîner une évolution en profondeur de la structure du modèle régissant le jeu de rétroaction. On imagine aisément qu'il n'y a guère de limite en terme de complexité et de nombres de niveaux de cette évolution. Philippe Quéau propose le terme d'alteraction pour caractériser cette « interaction altérante, cette action intermédiaire qui fait devenir autre » et unit étroitement les trois concepts d'altération, d'itération et d'interaction.³⁶

La double hybridation du sujet, sensible via les interfaces, et intelligible, par l'intermédiaire du programme constitue, ainsi le fondement de l'expérience immersive.

3. De l'image de synthèse à l'espace-entité : temps et lieux du virtuel

Nous allons à présent détailler les modalités de cette exploration de temporalités et d'espaces alternatifs, et la manière dont ces différents niveaux d'hybridation et d'immersion participent à la réalisation de l'expérience virtuelle. Les arts numériques, et par extension les élaborations d'univers virtuels peuvent faire un usage combinatoire d'images de synthèse, de sons, de mouvements ou d'impulsions kinesthésiques, etc. Un monde virtuel est défini par Quéau comme « une base de données graphiques interactives et visualisable en temps réel sous forme d'images de synthèse tridimensionnelles de façon à donner le sentiment d'une *immersion dans l'image* »³⁷. Afin de rendre notre propos plus concret, nous allons appuyer une partie de notre réflexion sur l'image de synthèse³⁸ – nous entendons par-là également le film de synthèse en tant que succession temporelle d'images –, pour deux raisons. D'une part, ce support est celui qui nous semble le plus riche de potentialité en terme de création de mondes virtuels. D'autre part, l'image infographique s'inscrit naturellement dans la continuité des recherches artistiques picturales ou cinématographiques menées jusqu'à nos jours. Philippe Quéau nous confirme d'ailleurs dans ce sentiment : selon lui, l'image de synthèse est la « matière première³⁹ » du virtuel.

³⁴ Quéau, Philippe, *Altération*, p. 135

³⁵ *ibid.*, p. 135

³⁶ *ibid.*, p. 127

³⁷ Quéau, Philippe, *Le Virtuel, vertus et vertiges*, p. 13-14

³⁸ ou de manière synonyme image infographique.

³⁹ *ibid.*, p. 29

3.1. L'image de synthèse est d'abord un langage formel

Les logiciels de synthèse visuelle peuvent actuellement réaliser des images parfaitement « réalistes », similaires à celles obtenues par la photographie ou les prises de vue réelles. C'est d'ailleurs dans le champ de l'imitation du réel et des effets spéciaux, que l'image de synthèse est aujourd'hui la plus considérée. Mais bien qu'on puisse y déceler un potentiel figuratif inouï dans les domaines des films narratifs à grand spectacle ou des jeux vidéos, les utilisations les plus intéressantes et les plus prometteuses de ces images ne résident à mon sens précisément pas là. Leur nature, leur essence même, les distingue en effet des images photographiques, cinématographiques ou télévisuelles, c'est à dire de celles prises de nature, en ce qu'elles sont essentiellement « des représentations visibles de modèles conceptuels abstraits »⁴⁰. Elles nous donnent le moyen d'explorer de façon perceptible ces univers où parlent directement les lois de la nature brute, celles écrites en langage mathématique. N'y a-t-il donc pas contradiction dans les termes à vouloir en faire un usage exclusivement figuratif, alors qu'elles sont par nature d'un ordre essentiellement différent de celui des phénomènes sensibles ?

Toute l'information nécessaire à la création d'une image de synthèse se résume en une série d'impulsions électriques ou lumineuses, qui codent sous forme symbolique des suites de 0 et de 1, suite représentant elles-mêmes des fonctions et des modèles mathématiques. Ces informations sont certes inscrites dans le monde réel, elles y sont incarnées dans le sens où elles se fondent effectivement sur des phénomènes électromagnétiques, électroniques ou quantiques, mais elles n'y puisent pas leur sens, de la même manière que la peinture de Cézanne ne tire pas son sens de la substance que le chimiste a utilisé pour obtenir tel jaune pâle. La matière de l'image numérique est asservie à une signification imposée par le modèle, qui, lui, est de nature intelligible. Cette spécificité différencie donc l'image de synthèse de la photographie et du cinéma traditionnels. Les images infographiques forment la matière d'une nouvelle écriture, propre à modifier nos méthodes de représentation et nos habitudes visuelles, et en ce sens elles inaugurent un nouveau paradigme : le formalisme abstrait des lois de la nature, c'est-à-dire un langage au sens propre, peut pour la première fois produire directement des images, sans que le créateur ait à faire usage de métaphore ou œuvre d'imagination. « *Le lisible, peut désormais engendrer le visible.* »⁴¹

Les modèles et algorithmes situés à l'arrière plan ne se manifestent pourtant visiblement que de façon toujours incomplète au travers des traces lumineuses sur l'écran. Chaque image, chaque saisie, ne rend en effet jamais compte que manière très relative et partielle des modèles formels qui les engendrent : Quéau appelle l'ensemble des états pouvant être pris par un modèle donné, son « espace des phases »⁴². Pour obtenir une compréhension plus concrète de cette notion, nous pouvons l'illustrer en songeant aux modèles fractals : A partir d'une équation très simple (la plus célèbre, historiquement, étant celle de Mandelbrot : $Z = z^2 + c$, Z et z étant des nombres complexes), l'artiste peut créer un univers infini et

⁴⁰ *ibid.*, p. 30

⁴¹ *ibid.*, p. 30

⁴² Quéau, Philippe, *Altération*, in *Les chemins du virtuel, simulation informatique et création industrielle*, Les Cahiers du CCI, Editions du Centre Pompidou, 1989, p. 127

jamais complètement connaissable : il est toujours possible de « zoomer » dans l'une des branches de la structure pour découvrir des formes analogues, mais toujours renouvelées, à une échelle plus réduite. Chacune des images n'est qu'une projection sensible de l'un des états de cet espace des phases. Le modèle quant à lui reste toujours identique à lui-même : il représente l'« être » en opposition aux images qui sont l'« apparaître de l'être », les manifestations infinies du modèle. L'ensemble de ces représentations ne fait jamais que donner un aperçu de la puissance générative d'un modèle, celle-ci pouvant souvent s'avérer infinie. L'image infographique ouvre ainsi la voie à un éventail fascinant de médiations entre les langages formels et les représentations sensibles. Il est par exemple possible d'imaginer la création d'univers totalement virtuels où les mathématiques s'incarmeraient physiquement et tangiblement au travers de lois d'action ou de réaction complètement différentes de celles à l'œuvre dans le monde physique.

« [Les images] ne suffisent pas en tant que telles à intelliger le modèle abstrait qui les engendre, mais elles nous ouvrent une fenêtre sur lui.. L'image de synthèse renvoie nécessairement à son modèle. [...] Une image de synthèse n'est donc pas simplement l'image *de* quelque chose, une sorte de copie statique et figée d'une entité préalable. Pour comprendre l'essence d'une image de synthèse, on ne peut se dispenser de chercher à intelliger le modèle qui l'engendre. Pour ce faire, il peut être nécessaire d'engendrer des images alternatives du modèle et d'explorer son « espace des phases », autrement dit l'ensemble de tous les « états » possibles du modèle, en faisant varier les paramètres accessibles. C'est cette nature, à la fois langagière et toujours en puissance, des images de synthèse qui explique leur importance et leur richesse applicative. ⁴³»

L'enrichissement multi-sensoriel des mondes virtuels ne constitue alors qu'une accentuation de cette concrétisation des modèles abstraits, en amplifiant la gamme sensorielle à travers laquelle ces derniers deviennent perceptibles et connaissables, mais il ne change pas la nature du contact qui s'établit. L'intégration numérique qui peut traduire une suite de 0 et de 1 indifféremment en images ou en sons, par exemple, ouvre en effet tout un nouveau champ, non de correspondances sémantiques, mais d'une véritable synesthésie d'où peuvent émerger de nouvelles expériences esthétiques (la relation interactive, la simulation, l'immersion) ainsi que de nouvelles formes d'œuvres (les installations interactives, les univers virtuels, les jeux vidéos, le web art, etc.) Il est par exemple possible de mener, sur ordinateur, des travaux sur l'abstraction en envisageant d'une façon nouvelle la question de la correspondance des images et des sons dans les arts du mouvement. Dans cette perspective l'image n'illustre plus les manifestations les plus extérieures et les plus évidentes des sons (intensité, fréquence, timbre, chromatisme, etc.), de même qu'à l'inverse les sons ne cherchent plus à copier les manifestations extérieures des images (formes, vitesse, rythme, couleurs, etc.). L'idée de la synesthésie est autre : sons et images sont produits simultanément par une seule et même entité : un archétype, une structure logico-mathématique, une abstraction numérique, bref une loi supérieure apte à dépasser les spécificités matérielles propres à chaque art et à tendre vers d'authentiques correspondances structurelles.

⁴³ Quéau, Philippe, *Le Virtuel, vertus et vertiges*, Coll. Milieux, Ed. Champ Vallon INA, p. 30-31

3.2. L' « espace-entité » comme lieu de l'expérience virtuelle

La phénoménologie moderne nous enseigne que l'espace n'est pas seulement un concept, mais que c'est aussi un lieu d'existence. Notre existence implique celle de l'espace où nous sommes, où nous nous mouvons, où nous agissons. Dans cet extrait du *Visible et l'invisible*, Merleau-Ponty annonce cette démarche qui mène du sensible à l'intelligible, de la perception à la signification :

« La littérature, la musique, les passions mais aussi l'expérience du monde visible, sont non moins que la science de Lavoisier et d'Ampère l'exploration d'un invisible et, aussi bien qu'elle, dévoilement d'un univers d'idées. Simplement cet invisible-là, ces idées-là, ne se laissent pas comme les leur détacher des apparences sensibles, et ériger en seconde positivité. [...] L'idée est ce niveau, cette dimension, non pas dans un invisible de fait, comme un objet caché derrière un autre, et non pas un invisible absolu qui n'aurait rien à faire avec le visible, mais l'invisible *de* ce monde, celui qui l'habite, le soutient, et le rend visible, sa possibilité intérieure et propre, l'Être de cet étant.⁴⁴ »

Or, notre appréhension empirique du monde peut se trouver elle-même profondément bouleversée par le développement actuel des techniques et des arts de la réalité virtuelle. Dans la majorité des cas, les logiciels de synthèse d'image utilisent naturellement une notion euclidienne de l'espace. Les transformations applicables aux objets créés se réduisent à des opérations de translations, de rotations ou d'affinités. Au bout du compte, on ne fait avec ces logiciels que redécouvrir et mettre en œuvre l'essentiel des représentations de la Renaissance. Sans l'aide de ces logiciels, et au travers d'efforts de programmation indépendants, l'artiste se confronte nécessairement à ce lien subtil, à cette relation étroite qui existe entre la sensation d'espace dans lequel on se trouve plongé et la nature des modèles qui génèrent ces espaces. Car l'art numérique ouvre des voies inédites d'exploration ; il peut nous mettre en contact avec des structures alternatives comme les espaces de Riemann ou ceux de Lobatchevski. Ce qui passait au XIX^{ème} siècle pour des jeux formels très abstraits ou de purs formalismes mathématiques peut se transformer aujourd'hui en images mouvantes d'une vivacité particulièrement saisissante. Ce nouveau rapport à l'espace mérite d'être médité, il représente un des points clé qui constituent l'originalité des images de synthèse et des mondes virtuels à venir.

L'image de synthèse, éventuellement couplée à d'autres canaux d'expression/perception, devient ainsi un « lieu » virtuel explorable, non pas lieu au sens kantien comme cadre a priori dans lequel l'expérience viendrait s'inscrire, mais espace prenant épigénétiquement naissance et vie dans l'expérience du sujet qui l'explore, le découvre, s'impose à lui et le subit conjointement. L'espace devient l'une des conditions de la simulation, qui s'établit dans la langue souple et mobile, en perpétuelle recherche d'elle-même, des mathématiques. Il n'est plus seulement un support neutre, un décor, au sens théâtral du terme, devant lequel viennent défiler les «acteurs». Il est le produit de modèles intelligibles eux-mêmes en transformation, en mouvement, et acquiert en tant que tel un rôle actif et structurant. Il interagit continuellement avec les objets, les sujets et les modèles, et nous enjoint à le penser comme « une

⁴⁴ Merleau-Ponty, Maurice, *Le visible et l'invisible*, p193-196

entité en relation permanente avec d'autres entités, qu'il est censé «contenir», et qui en réalité le contiennent (symboliquement) tout autant qu'elles sont contenues par lui. [...]. Autrement dit, l'espace est un élément du modèle et réciproquement. ⁴⁵»

Le corps et l'esprit deviennent alors capables de se promener sensiblement et intelligiblement dans ces espaces symboliques abstraits, dotés de propriétés arbitraires. Les images infographiques sont en mesure de traduire les théories les plus abstraites en formes sensibles et de plonger physiquement les sujets dans des mondes aux propriétés déroutantes. La pure représentation de la nature cède la place à la simulation et à l'auto génération d'œuvres autonomes douées d'une quasi-vie, qui suscite une émotion qui n'est pas de l'ordre de « celle du potier pétrissant sa glaise » mais plutôt de « celle du jardinier soignant ses fleurs ⁴⁶ ».

3.3. Vers la rupture de l'isomorphisme réel-virtuel

Le corps humain peut être «interfacé» avec des calculateurs numériques, qui peuvent saisir et interpréter chaque son, chaque mouvement des yeux ou des mains, et plongé dans des environnements sonores et visuels dans lesquels le sujet est appelé à jouer un rôle actif⁴⁷. Ces potentialités inédites ouvrent des perspectives conceptuelles et perceptuelles révolutionnaires, propres à instaurer une déréalisation du rapport du corps à son environnement visuel et sonore. Elles nous offrent par-là même une occasion sans précédent de remettre en cause nos représentations du monde, jusqu'ici limitées par les contraintes physiques, physiologiques ou psychologiques, et de laisser nos consciences s'évader hors d'un réel que nous avons, par habitude et naïveté, tendance à considérer comme le seul envisageable *a priori*. Car, nous l'avons déjà rappelé plus haut, l'avènement de nouveaux moyens de transport, navires, automobiles, avions et l'ouverture de nouvelles voies aériennes et maritimes ont déjà eu l'occasion de modifier nos conceptions de l'espace et du temps. De manière similaire, les outils numériques, particulièrement dans leurs mises en œuvre artistiques, sont en passe de nous ouvrir à de nouveaux espaces et à de nouvelles temporalités, et d'enrichir l'expérience phénoménologique de notre rapport de « l'être à l'étant », pour reprendre les mots de Merleau-Ponty⁴⁸. Ces lieux et ces temps symboliques ne devront pas en effet se limiter à de simples isomorphismes de l'espace euclidien et déterministe de notre quotidien. En totale rupture avec les utilisations actuelles de la technologie numérique qui se contente d'imiter le réel, par des effets spéciaux de synthèse dans les superproductions hollywoodiennes ou les jeux vidéos figuratifs, nous pouvons imaginer des jeux de formes et de couleurs abstraites et stéréoscopiques, se mouvant selon des géométries et des rythmes déroutants, répondant à nos gestes ou nos paroles d'une manière si singulière que nous devons rompre avec notre rapport habituel au temps et à l'espace.

⁴⁵ Quéau, Philippe, *Altération*, p. 134

⁴⁶ Quéau, Philippe, *Metaxu, Théorie de l'art intermédiaire*, 4^{ème} page de couverture

⁴⁷ Jean-Louis Weissberg a ainsi créé le néologisme de « spectacteur » qui fusionne jusqu'à les rendre indiscernable les figures du spectateur passif et celle de l'acteur agissant (in Amato, Etienne Armand et Weissberg, Jean-Louis, *Le corps à l'épreuve de l'interactivité : interface narrative et gestualité*, in *Anomalie Digital_arts* n°3, p. 41-51)

Les mouvements et expressions du corps peuvent alors devenir eux-mêmes langage mais avec des significations différentes de celles imposées ou acquises dans le monde réel : tel mouvement des doigts dans le vide pourra donner naissance à une symphonie de sons en provenance de sources mouvantes contrôlées par le déplacement des yeux, progresser dans une direction pourra paradoxalement nous faire reculer, les lois qui empêchent deux objets solides d'occuper simultanément la même place pourront être aisément contredites, des chimères multidimensionnelles à mêmes de nous faire ressentir l'entrelacement entre dimensions spatiales et temporelles seront bientôt imaginées, des avatars numériques pourront aligner leur comportement sur des modèles chaotiques, nous introduisant ainsi au ressenti des phénomènes les plus singuliers de la matière... Notre sens de l'espace, non seulement sera bouleversé, modulé, traité, mais également notre temps propre, celui de notre corps dans son investissement sensoriel, ses tentatives d'adaptation, et ses interactions à l'espace.

« Il s'agit certes d'une révolution radicale, lourde de conséquences. Mais pour cette raison même, elle porte les germes d'une libération plus profonde, mieux comprise, moins naïve de notre corps. En déconstruisant les notions trop bien apprises de l'espace piagétien de notre enfance, nous conquérons du même coup, soudainement, des espaces nouveaux, vierges, nous apercevons des rapports impensés (parce que jusqu'alors impensables...). »

De nouvelles formes d'expressions artistiques et de rhétoriques esthétiques se développeront ainsi, fondées sur des agencements combinatoires complexes impliquant mathématiques, informatiques, architecture, physique, musique, cinéma, cybernétique, etc. et mettant en scène différents types d'hybridation entre le corps et l'œuvre, entre le réel et le virtuel. Des métamorphoses continues pourront s'enchaîner entre ces espaces représentationnels dont chaque point pourra se révéler comme une porte vers un nouvel espace de données. L'esprit devra alors s'ouvrir à des formes inédites et singulières de navigation mentale pour évoluer sans se perdre dans ces labyrinthes conceptuels en perpétuelle mouvance... La nature réelle que nous connaissons au quotidien, ne constitue qu'un exemple, un seul parmi une infinité, de ce que pourront être ces œuvres du futur.

Face à la complexité grandissante de ces nouvelles formes d'expression, l'artiste de demain se devra nécessairement d'être polyvalent : tout autant mathématicien que musicien, ingénieur que peintre, informaticien qu'architecte, son rôle consistera alors à imaginer et à concevoir de nouvelles réalités autonomes, en les traduisant par un agencement subtil et parfaitement maîtrisé de modèles. Les arts du virtuel viennent à peine de voir le jour et nous n'en avons encore parfaitement saisis ni l'essence, ni le potentiel. Jamblique affirmait que « l'habitude est une seconde nature ». Nous avons alors tout lieu de croire que nous serons à même de changer notre nature en confrontant notre corps et notre esprit à ces jeux improbables.

⁴⁸ Merleau-Ponty, Maurice, *Le visible et l'invisible*, p. 196

4. Conclusion

La physique mathématique contemporaine découvre chaque jour de nouveaux mondes à explorer à la limite de nos perceptions et de nos capacités d'appréhension. Les technologies de l'image nous ont conjointement donné accès à tout un nouvel univers sensible, des formes de vie protozoaires jusqu'aux images de nuages stellaires, en passant par les photographies de *la Terre vue du ciel*⁴⁹ qui nous présentent notre environnement d'une manière totalement nouvelle. Nous y lisons une beauté qui n'a rien à envier aux plus belles images de Novalis ou de Lucrèce. Or les mathématiques, ses modèles, ses courbes semblent constituer le langage même de cette nature proliférante. Nous retrouvons les mêmes fonctions derrière l'agencement des pétales d'une fleur, le phénomène de diffusion d'un gaz, la propagation des ondes électromagnétiques ou la courbe de réponse de l'oreille interne. Pourquoi ces courbes et ces fonctions seraient-elles moins proches de la nature que les hiéroglyphes secrets que le poète et le philosophe de jadis croyaient déceler dans les formes d'un coquillage ou d'un élytre ?

Les mathématiques possèdent une quasi-vie singulière qui fascine et dérouté même les meilleurs mathématiciens. Ceux-ci ont souvent le sentiment que les formules et les théorèmes mathématiques en savent davantage que leurs inventeurs et utilisateurs. Or les arts numériques nous donnent les moyens immédiats, de diffuser sensiblement cette vie des modèles dans des espaces complètement virtuels et crépitant de cette richesse infinie des lois de la nature. Les nouvelles œuvres se déploieront comme des environnements informatisés, comme des systèmes sensibles, intelligents et interactifs étroitement hybridés au corps du sujet. Et c'est dans l'expérience de ces nouvelles rencontres du corps avec des mondes inédits et improbables que pourra se réaliser une véritable ouverture de conscience. L'artiste de demain sera, ainsi que le défend Quéau⁵⁰, appelé à se servir de l'autonomie de ces êtres « intermédiaires » que sont les êtres mathématiques comme d'un nouvel outil d'expression pour immerger le sujet (le *spectateur*) au sein de réalités virtuelles en constante genèse, des espaces-entités en perpétuelle évolution, se modifiant en fonction de leurs rythmes propres et des interactions avec les hommes qui les peuplent.

D'après Panofsky⁵¹, chaque civilisation posséderait son propre « sens de l'espace » et l'humanité, au cours des âges, évoluerait vers des représentations de plus en plus abstraites de l'espace. En faisant défiler le cours de l'histoire, on peut voir ainsi la conscience humaine s'enfoncer peu à peu dans les profondeurs de la réalité abstraite. L'espace des grecs était « tactile et musculaire ». L'espace des médiévaux était plat et sans profondeur, « l'air n'y circulait pas » selon l'expression de Panofsky. L'espace des Renaissants, grande révolution était « optique et visuel ». Nous vivons largement encore, nous-même, dans cette vision là de l'espace, conçu comme un lieu abstrait, statique, homogène et transparent. L'artiste de la Renaissance élaborait son tableau tout entier en une sorte de fenêtre par lequel notre regard plongeait dans l'espace. Le tableau était nié dans sa matérialité et ne trouvait sa fonction, son rôle que dans cette

⁴⁹ pour reprendre le titre de l'ouvrage de Yann Arthus-Bertrand.

⁵⁰ ou « Metaxu » : cf. in Quéau, Philippe, *Metaxu, Théorie de l'art intermédiaire*, Coll. Milieux, Ed. Champ Vallon INA, Seyssel, 1989, p. 328

⁵¹ Panofsky, Erwin, *La perspective comme forme symbolique*, Ed. de Minuit, Paris, 1975

notion de fenêtre, de section plane d'une pyramide visuelle. On nous permettra d'anticiper : l'espace des modernes, autre grande révolution, sera une entité vivante, il ne sera plus vu statique mais frémissant de vie. Ce n'est plus le regard, mais le corps tout entier qui plongera dans cet espace-entité. Non plus réceptacle passif, posé une fois pour toute, mais cadre actif, l'espace-entité, intimement hybridé aux modèles mathématiques les plus abstraits, deviendra un lieu d'existence. La réalité matérielle des écrans s'estompera pour laisser place à des espaces frémissant d'une vie nouvelle et profonde.

5. Bibliographie

1. Amato, Etienne Armand et Weissberg, Jean-Louis, *Le corps à l'épreuve de l'interactivité : interface narrative et gestualité*, in *Anomalie Digital_arts n°3*, p. 41-51, Paris, 2004
2. Kandinsky, Wassily, *Du spirituel dans l'art et dans la peinture en particulier*, Denoël, Coll. Folio Essais, Paris, 1989
3. Merleau-Ponty, Maurice, *Phénoménologie de la perception*, Gallimard, Coll. Tel, Paris, 1945.
4. Merleau-Ponty, Maurice, *Le visible et l'invisible*, Gallimard, Coll. Tel, Paris, 1964.
5. Miller, Arthur, *Intuitions de génie, images et créativité dans les sciences et les arts*, Flammarion, Coll. Nouvelle Bibliothèque Scientifique, Paris, 2000.
6. Panofsky, Erwin, *La perspective comme forme symbolique*, Ed. de Minuit, Paris, 1975
7. Quéau, Philippe, *Altération*, in *Les chemins du virtuel, simulation informatique et création industrielle*, Les Cahiers du CCI, Editions du Centre Pompidou, Paris, 1989
8. Quéau, Philippe, *Metaxu, Théorie de l'art intermédiaire*, Coll. Milieux, Ed. Champ Vallon INA, Seyssel, 1989
9. Quéau, Philippe, *Le Virtuel, vertus et vertiges*, Coll. Milieux, Ed. Champ Vallon INA, Seyssel, 1993
10. Quinz, Emanuele, *Seuils de mutation, notes sur la notion d'interfaces*, in *Anomalie Digital_arts n°3*, p. 10-15, Paris, 2004
11. Rousseau, Pascal, *Un langage universel : l'esthétique scientifique aux origines de l'abstraction*, p.19-33, In *Aux origines de l'abstraction 1800 – 1914*, Editions de la Réunion des Musées Nationaux, Paris, 2003
12. Thuan, Trinh Xuan, *Le Chaos et l'harmonie*, Gallimard, Coll. Folio Essais, 1998.

TABLE DES MATIERES

0. INTRODUCTION.....	3
1. LOIS MATHÉMATIQUES ET PERCEPTION DE LA RÉALITÉ SENSIBLE.....	5
1.1. Le monde des apparences phénoménales versus la réalité intelligible des nombres..	5
1.2. L'avènement de la physique moderne : les lois de la nature sont écrites en langage mathématique.....	6
1.3. Einstein et Poincaré : l'espace euclidien, un modèle parmi d'autres.....	7
1.4. Et pourtant « la terre ne se meut pas... ».....	9
2. LES ARTS NUMÉRIQUES : HYBRIDATION ET IMMERSION	11
2.1. L'appropriation des technologies numériques par le champ artistique.....	11
2.2. L'hybridation sensible: l'interface comme frontière corps-machine.....	13
2.3. L'hybridation intelligible : le programme comme nœud de l'interaction entre l'esprit et les modèles.....	14
3. DE L'IMAGE DE SYNTHÈSE À L'ESPACE-ENTITÉ : TEMPS ET LIEUX DU VIRTUEL.....	15
3.1. L'image de synthèse est d'abord un langage formel.....	16
3.2. L' « espace-entité » comme lieu de l'expérience virtuelle.....	18
3.3. Vers la rupture de l'isomorphisme réel-virtuel	19
4. CONCLUSION	21
5. BIBLIOGRAPHIE.....	23