

Réinventer le corps et l'espace

Giuseppe Longo, Sara Longo

▶ **To cite this version:**

Giuseppe Longo, Sara Longo. Réinventer le corps et l'espace. 2021. hal-03320645

HAL Id: hal-03320645
https://ens.hal.science/hal-03320645

Preprint submitted on 16 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Réinventer le corps et l'espace

Giuseppe Longo

CNRS-Ecole Normale Sup., Paris

School of Medicine, Tufts U., Boston

https://www.di.ens.fr/users/longo/

Sara Longo

History of Art, PhD, Paris 1, Panthéon-Sorbonne

https://hicsa.univ-paris1.fr/page.phpr=23&id=216&lang=fr

Résumé

Nous défendons les émotions et le corps, leur présence dans nos espaces d'humanité et dans les activités humaines. En arts, comme en sciences, le regard du sujet connaissant donne un sens au monde, découpe le réel et ses contours, qualifie des fragments de ce réel qui résiste, opposant de la matérialité à la matérialité, confrontant l'écosystème à notre interprétation et à notre action sur lui. Par des perspectives entrecroisées de peinture et mathématiques, nous mettons en évidence une "ligne mineure" qui résiste à la perte de sens d'une révolution scientifique certes riche en technique, certes capable de produire de la connaissance, des machines et des profits, mais aussi responsable d'une distorsion du rapport entre l'homme et la nature. En mettant en évidence une hétérogenèse, picturale et scientifique, des formes et du sens, nous suivrons des pistes contemporaines qui tendent à une réinvention de l'humain et du regard sur la nature.

Introduction

Pour défendre et réinventer l'humain, il nous faut suivre un parcours particulier. Le problème qui se pose est celui des racines philosophiques et historiques ou, en d'autres termes, d'une épistémologie historique de l'alliance qui s'est construite, au cours d'un siècle et à partir d'une pensée scientifique emprise de mécanicisme, entre un nouveau scientisme, la technoscience du numérique, et les formes contemporaines de la gouvernance. Nous visons donc à proposer, autour de la question de l'humain et de la machine, une *épistémologie historique de la contemporanéité*[1].

[1] Il existe de nombreuses pratiques et définitions d''‘épistémologie historique", y compris de la contemporanéité, les travaux de Canguilhem et de Foucault en sont un exemple fondamental (pour une belle synthèse de ces deux regards différents et de leur jeu, voir (Angelini, 2020; 2020)). Nous entendons ici développer une analyse des *analogies* et des *homologies* (origines communes) des formes de la pensée scientifique *vs* celles de la pensée ou des pratiques d'autres activités humaines, ainsi que des nouvelles alliances qui se tissent entre ces formes. Une esquisse d'épistémologie historique des mathématiques de l'espace et de l'infini, en référence à la peinture religieuse du XIVe et XVe siècle, se trouve dans (Longo, Longo, 2020) ; nous y avons essayé d'y mettre en évidence l'origine théologico-picturale des espaces de la physique mathématique moderne.

Nombreuses études critiques font état du rôle politique du numérique, dans ses deux développements les plus importants, l'informatique et l'intelligence artificielle. Des réseaux informatiques permettent une centralisation nouvelle de l'information, voire la gestion des activités humaines par quelques monopoles, par des gouvernements aux ambitions autoritaires croissantes. Des machines nous reconnaissent et nous suivent partout, proposent des réponses à des questions pas encore posées, car le formatage programmé précède et canalise nos pensées, nos actions et nos désirs. Si, donc, l'humain lui-même est écrasé sous le poids du numérique, c'est cet humain qu'il faut défendre.

Notre réponse consiste dans l'esquisse d'un parcours alternatif : chez l'humain, la construction du sens est indissociable des modalités de sa présence et de celle de son corps dans l'espace, qui se retrouvent dans l'imaginaire pictural et scientifique du sujet dans la nature. Nous le verrons d'un point de vue bien précis, en référence à l'invention de l'espace et de sa géométrie comme proposée dans (Longo, Longo, 2020), en tant que pensée et forme de l'espace, « … engendrée dans notre espace d'humanité à partir d'une activité humaine » [Husserl, 1933, p. 176]. Notre réponse sera donc de nature épistémologique, mais vue comme épistémologie historique, donc basée sur une dynamique des contextes humains de construction du sens – la peinture nous aidera à en saisir la richesse humaine et la beauté.

Au cœur de cette réponse, il y a une réaction constructive à la perte du sens de l'espace et du corps propre au numérique. À états discrets, la machine numérique est unidimensionnelle et cela de façon intrinsèque (mathématiquement fondamentale). Le calcul est possible, la Machine de Turing et le lambda-calcul nous l'enseignent, car, dans le discret, tout peut s'encoder sur une ligne. C'est cela qui permet la construction de la ''Machine Universelle'' pour le calcul ; dans le langage des ordinateurs, le codage de tout programme et calcul sur une ligne permet l'écriture et le fonctionnement des systèmes d'exploitation et des compilateurs, donc l'ordinateur : ce ne sont que des programmes, écrits comme tout autre programme (des suites de 0 et 1 dans la machine) qui agissent sur des programmes. Le codage des trois dimensions spatiales, voire d'un nombre fini quelconque de dimensions en une seule est, depuis Turing, au cœur de *l'élaboration* de l'information numérique ainsi que, depuis Shannon, de sa *transmission*. Exit l'espace, donc.

Cet écrasement de l'espace sur une ligne suffirait à faire disparaître le corps et le sens du corps biologique dans sa tridimensionnalité intrinsèque, mathématique (pas de tuyau en deux dimensions, pas de singularité ni de membrane, en quatre dimensions, la théorie physico-mathématique du ''champ moyen'' les interdit). Mais il y a pire. Le numérique se fonde sur une distinction cartésienne fondamentale, celle entre logiciel (software) et matériel (hardware), son âme et son corps. Idée comprise et formalisée par Turing : les instructions, le programme et leur écriture sont indépendants de leur implantation matérielle. Et la perte du sens du vivant, de l'animal, de l'humain est alors à son comble. Le biologique, lui, est radicalement matériel : nul vivant sans ces membranes, cet ADN ou ARN, dans leur physico-chimie et leur dimensionnalité spécifiques. Nul cerveau sans ces cellules neuronales vivantes, toujours actives, sans leurs membranes, leurs chimie, se déformant même par leur champ électrostatique, sans leurs connexions mouvantes, sans leur plasticité organique, en dehors d'un corps biologique dans l'espace d'un écosystème. Contre le tout alpha-numérique (suite de lettres ou de nombres, peu importe), de l'Intelligence Artificielle à la biologie du programme et de l'information génétique, il faut reconquérir le sens du corps, de son espace et de sa radicale matérialité biologique. Nous le ferons en passant par des formes de l'imaginaire humain, dans son espace d'humanité, à partir d'une activité humaine. Car il existe un *Artifice Intelligent* qui est, en tout, spécifique à l'homme : l'art.

1 – La perte du sens des limites mathématiques

La construction technique du numérique a changé le monde, car elle permet la mémoire et le dialogue, la collaboration à distance, et intègre le monde dans un réseau d'interaction sans précédent. Elle a son origine dans des inventions scientifiques des années '30 et '40, en particulier dans l'originalité des ''réponses négatives'' aux mythes positivistes du « tout est démontrable, tout est calculable », modulo un encodage de tout formalisme mathématique en Arithmétique, à partir de la géométrie, une construction purement axiomatique selon Hilbert (Hilbert 1898 ; 1926). Pour mettre en évidence *l'indémontrable* et *l'incalculable*, il fallait définir avec rigueur le mécaniquement démontrable, voire cerner la puissance des calculs arithmétiques, exactement, ce que feront Gödel, Church et Turing, dans les années '30. On a ensuite oublié les limites de la construction d'intelligibilité par le calculable, c'est-à-dire les limites données par ces résultats négatifs qui ont permis l'invention du calculable, donc de la Machine pour Calculer, on y reviendra. Et un scientisme du numérique a contribué à écraser le monde sous une image unidimensionnelle et immatérielle de l'homme et de la nature. La machine arithmétique, puissance extrême des 0/1, le numérique d'aujourd'hui, ne serait plus un des outils pour l'intelligibilité du monde, mais un modèle du monde, voire il serait intrinsèque au monde, nous disent certains. Sa puissance, potentiellement et en maintes occasions au service de l'humain, a été largement détournée au profit de la gestion, non seulement d'un pouvoir sur l'humain, mais aussi de la construction d'un nouvel imaginaire, de la technique et du sens commun, voire d'un nouveau réel, qui s'interpose entre l'humain et la nature.

Or la science est toujours le résultat d'une construction historique de sens. Parfois, elle se marie à de nouvelles ouvertures sur la nature ; d'autres fois, le détournement d'une approche spécifique qu'elle propose peut être utilisé par des formes nouvelles de pouvoir, en vue d'une hégémonie qui écrase l'humain, la nature et l'intelligibilité même de la nature. Le scientisme exclut alors la connaissance scientifique et la remplace aujourd'hui par la technoscience des ''start-up'' du numérique et du bio-technologique, externalisation de la recherche de la part d'immenses oligopoles, boîtes à fric dès qu'un objet consommable et rapidement périssable y est produit. Et l'aveuglement technoscientifique face aux problèmes de l'écosystème, y compris la nouvelle « épidémie d'épidémies » (Morse 1995), en est une des conséquences. Qu'elles soient des zoonoses, comme prévu dans (Morand, Foguié 2015) ou le résultat de manipulations génétiques, trop nombreuses et insensées pour être toutes contrôlées, exercices techniques interdits puis financés à nouveau (Burki 2018), elles dérivent d'une vision machinale de l'écosystème (déforestation, élevages intensifs ...) ou des organismes : on peut tout manier par des techniques, comme une machine élabore des signes, sans comprendre, et puis projeter ces signes alpha-numériques sur le monde, le vivant, l'écosystème. Que peut-on faire d'autre si ce n'est du "gene-editing" et du "gene-driving" (Champer et al. 2016), cette réécriture à tout va du génome des virus et des bactéries, et depuis 2001 même du génome humain, si le substrat théorique est celui que "... la spécificité génétique est écrite, non avec des idéogrammes comme en chinois, mais avec un alphabet comme en français, ou plutôt en morse" (F. Jacob, Leçon inaugurale, Coll. France, 7 mai 1965) ?

Bref, si le vivant est le résultat d'une écriture sur quatre signes (les ATCG de l'ADN), son intelligibilité et son maniement ne sont que l'arithmétique computationnelle d'une combinatoire chimique. Et le Dogme Central de la biologie moléculaire (Crick, 1958), encore hégémonique dans tous les manuels scolaires et universitaires, permet d'envisager le pilotage des organismes dans l'écosystème, tout comme les axiomes de Hilbert auraient dû piloter complètement les théories mathématiques, de l'arithmétique à la géométrie.

2 - De la science au scientisme

Cette perte du sens mathématique et biologique suit une époque de transfert positiviste des succès de la physique et de la biologie vers les sciences de l'homme. À la fin du XIX^{e} siècle, deux grandes

constructions en sciences de la nature ont été détournées au service de choix sociétaux, en fait politiques, en revendiquant par cela une objectivité scientifique. D'une part, Hamilton (1805 - 1865) avait justifié et unifié par des méthodes mathématiques nouvelles les grands principes qui encadraient, depuis Galilée, et encadreront jusqu'à nos jours, toute dynamique physique à l'équilibre : dans des espaces adéquats, où l'énergie, l'impulsion et la matière sont conservés, toute ''trajectoire'' physique est un optimum (relatif), une ''géodésique''. De l'autre, Darwin (1809 – 1882) avait rendu intelligible l'évolution du vivant par des principes très généraux de « reproduction avec variation » et « sélection ». Et voilà : en référence à la première approche, les travaux de Hamilton, toute trajectoire économique est aussi un parcours optimal, une géodésique, donné par des équations à l'équilibre (Léon Walras et bien d'autres) qui dérivent d'un hamiltonien domestiqué à l'économie. De même, un darwinisme social marquera le nouveau positivisme de la fin du XIX^{e} siècle et du début du XX^{e} (Ronald Fisher et bien d'autres). Les dynamiques économiques et sociales sont donc analogues ou à comprendre et gérer en analogie avec les dynamiques physiques ou l'évolution biologique, respectivement. Notre humanité, construite dans la *polis,* est oubliée.

Ces deux usages scientistes de la physique et de la biologie ont eu des diffusions diverses au cours de la première moitié du XX^{e} siècle. Les fascismes et le nazisme, plutôt étatiques en économie, quand cela leur convenait, préféraient tenir sous contrôle le laisser-faire et les automatismes individualistes des équilibres économiques. Par contre, le darwinisme social a eu un succès considérable dans ces deux autoritarismes, l'eugénisme étant leur credo. Voilà donc, dans la seconde moitié du siècle, d'une part l'oubli partiel du darwinisme social et génétique, trop compromis par la recherche fasciste de l'homme génétiquement optimal et, de l'autre, la résurgence, sous les traits à la fois antifascistes et anti-staliniens, du mythe de la liberté des marchés qui seule peut permettre le déploiement spontané des parcours optimaux, les géodésiques économiques. La liberté tout court consisterait alors dans l'obéissance aux automatismes de type physico-mathématique des équations renouvelées du néo-libéralisme économique et social. Drôle de liberté.

À la même époque environ, le second après-guerre, l'invention mathématique du calculable se concrétise dans des machines numériques. Or, disions-nous, ce calculable était né dans le but explicite de montrer la présence de l'indémontrable (Gödel, 1931) et de l'incalculable (Church, 1932 ; Turing, 1936) : pour contredire un autre programme positiviste, le "tout est formellement démontrable et calculable" de Hilbert (1900/20), ces mathématiciens avaient dû préciser la notion de calcul formel, donc mécanisable, ce qui leur permettra d'en démontrer les limites. Mais ces limites sont complexes, elles demandent une pensée critique pour être comprises, appliquées, se situent à l'interface des disciplines, elles ouvrent des nouvelles pistes pour la science (Longo, 2018a) ; il faut savoir dire ''non'', c'est-à-dire avoir l'audace de penser avec rigueur à des résultat négatifs. Cela fait partie de la science. Le scientisme, lui, n'a pas de limite et, de la manipulation génétique à l'Intelligence Artificielle, il permet d'envisager le transhumanisme génétique et cérébral (Doudna, Sternberg, 2017; Alexandre, 2017). Aujourd'hui, en mathématiques, on en connaît d'autres, de résultats négatifs, plus forts, plus ''sensés'' – ils concernent l'indémontrabilité de propriétés intéressantes, mais ils sont difficiles même à énoncer, on en discute rarement. Leurs preuves demandent une construction historique du sens mathématique, des gestes qui se justifient par la complexité de notre rapport à l'espace, au temps (Longo, 2011).

La machine, par contre, gère d'immenses bases de données à la vitesse de la lumière, par des pures manipulations de signes, application formidable de la déduction formelle ; elles permettent le calcul immédiat, simulacre de l'action efficace. Et un nouveau mariage se fait. Toute géodésique naturelle et sociale peut être calculée, car elle ne demande que le codage numérique de l'information pertinente. Si l'on regarde de plus près, le simple passage du continu, par lequel on comprend mieux l'espace et le temps, au discret pose problème, mais … « peu importe », explique-t-on au grand public. Du reste, l'économie n'est qu'un jeu d'information (Hayek, 1945), codable dans une

machine digitale, dira-t-on bientôt, une information que la bourse représente de mieux en mieux grâce à la liberté de la dérégulation : l'information que les prix nous donnent est d'autant plus pertinente que leur formation n'est pas entravée/régulée par l'arbitraire du politique, voire de la démocratie politique. Les automatismes qui mènent à l'optimalité économique permettent une ‘‘gouvernance’’ sans gouvernement démocratique (Supiot, 2015), sont traités par des ordinateurs en bourse qui manient de l'information, des pures séquences de signes alpha-numériques, sans référence à une quelconque valeur, ni de production, ni de travail, ni sociale.

Après tant d'années d'abus des calculs, il faut d'abord expliciter le cadre théorique, les principes, souvent cachés, de la modélisation proposée. Il faut en souligner les hypothèses de sens, humain et social, implicite à tout choix de l'outil mathématique. La complexité du monde nous oblige à un regard critique face à toute modélisation. Alors ces outils, très puissants, peuvent contribuer à l'intelligibilité des phénomènes. Par exemple, on ne peut pas transférer les grands principes de conservation des observables physiques, qui permettent de calculer des parcours optimaux, à des processus historiques où la production de la diversité et la création de la nouveauté sont au cœur de ces dynamiques : les processus évolutifs et l'histoire humaine cassent ces symétries qui fondent les principes de conservation physiques, car ils se déroulent dans un temps historique qui modifie l'espace des possibles (Longo 2017, Montévil 2020). L'optimalité perd alors son sens : dans quel espace pourrait-on la définir, si celui-ci change dans la construction même du parcours, évolutif, historique ? Toute trajectoire phylogénétique, tout organisme, co-constitue ses niches, son écosystème.

3 - La machine, le monde et « l'épidémie d'épidémies »

À partir des sciences de la nature et de leurs mathématiques, celles de la physique, on a donc construit des formes d'analyse et de gestion économique et sociale, voire politique, qui retombent aujourd'hui sur notre regard et notre action sur la nature. D'une part, la spontanéité des dynamiques homme/économie/nature choisirait les meilleurs parcours possibles ; de l'autre, le vivant lui-même serait une machine réglable à volonté, programmable par son ADN, dans des réservoirs matériels et biologiques sans limites. On ajouterait alors à la présumée optimalité physique, biologique et économique, le talent combinatoire-chimique et la volonté humaine, visée consciente à l'amélioration sans limite de la nature - du gene-editing au "gain-of-function" chez les virus et les bactéries, au maïs, aux vaches transgéniques et jusqu'à l'homme du transhumanisme.

C'est ainsi que le programme génétique, image machinale du vivant (« mécanisme cartésien … algèbre booléenne, comme dans les ordinateurs », Monod, 1971) permet d'envisager le pilotage des plantes et des animaux en manipulant l'ADN (les OGM, enfants directs du Dogme Central de la Biologie Moléculaire), voire de contrôler machinalement toute action sur la nature et la nature elle-même avec ses ‘‘ressources’’ de vivant, d'énergie et de matière. En agriculture, la baisse de la biodiversité et les dommages causés sur l'humus, dont le massacre du microbiome, dus aux OGM, sont désormais des évidences (Hilbeck et al. 2012), (Lohn 2020), et le slogan commercial “nous éliminerons la faim dans le monde” qui a donné aux OGM leur coup d'envoi, est aujourd'hui pudiquement passé sous silence.

L'économie, la nature et leur interface sont vus et réglés par analogie avec la physique mathématique ainsi que par le fantasme d'un numérique qui amplifie son succès pratique grâce à son rôle dans la gestion économique. En particulier, si la bourse guide l'économie par des méthodes numériques, comme les algorithmes de ‘‘fast trading’’, les méthodes stochastiques et les Big Data, une hégémonie culturelle s'installe et fait croire à la possibilité d'un réglage similaire de nos rapports sociaux et de notre rapport à la nature en les subordonnant, même dans l'analyse, aux méthodes dominant en économie. Phénomène que l'on retrouve, certes, dans l'histoire, mais jamais

avec la force et l'universalité aujourd'hui possibles grâce à la contingence historique de réseaux d'information numériques qui nous font croire à une omniscience (la disponibilité universelle des données) et uniformisent la pensée par une sorte de ''champ moyen'' où tout devient gris.

Il est difficile alors de voir l'importance de la diversité évolutive dans le vivant, une dynamique de contraintes qui modifie l'espace des possibles (les ''a priori'' de la physique-mathématique) et rend inapplicable l'optimalité physique et encore moins son codage numérique. Mais aussi, la résilience plastique du vivant, les nuances, ''la secrète noirceur du lait'', sont mal saisies par le digital, tout comme le hasard fonctionnel de l'évolution, son imprédictibilité intrinsèque. Depuis trente ans, disions-nous, des épidémiologistes et des microbiologistes nous alertent sur une croissante « épidémie d'épidémies », ayant pour cause principale de nouvelles interfaces homme/écosystème (élevages intensifs qui suivent des déforestations) et la baisse de bio-diversité (Morand, Foguié 2015), dont les divers *clusters* cicumscrivent les espaces microbiens. Or, l'évolution biologique imprévisible des contraintes à l'interface homme-écosystème et à l'intérieur des écosystèmes ne sont pas saisissables par - ni compatibles avec - une vision machinale du monde, régie par des méthodes *uniformes* d'optimalité *locale*. Le scientisme nous empêche alors de voir les limites du calcul physico-mathématique et de son codage numérique ; au contraire, il les projette sur le monde, les identifie au monde.

Voici la nouvelle alliance contre laquelle nous nous élevons. D'une part, dans le rapport à la biosphère : on casse l'historicité des corrélations globales de l'évolution biologique, on les remplace par des méthodes mathématiques d'optimalité locale d'une valeur financière, par des gradients purement numériques ; l'ADN, code alpha-numérique du vivant, justifie qui plus est ce jeu combinatoire sans sens sur la nature : par le gene-editing et le gene-driving on va piloter le vivant vers le meilleur des mondes (Doudna, Sternberg, 2017). De l'autre, les réseaux numériques globaux, gérés par des oligopoles, détruisent la structuration locale de la construction politique et éthique. Les différentes formes de l'agora ont toujours une localité, un espace bien délimité de construction de nos vies ensemble, ancrée sur des relations humaines au cœur de la socialité, du projet commun, de la décision commune. Ces réseaux, quand ils sont proposés comme une image du monde et comme outils pour la gouvernance du monde, dispersent, diluent et uniformisent les individualités, cassent la diversité et la localité des écosystèmes ainsi que les agrégations locales des humains, signifiantes et riches d'histoire. Ils détruisent les formes sociales de l'interaction directe et immédiate, rapprochée, lieu premier de la construction des rapports entre les humains et avec la nature, et inaugurent l'époque des "passions tristes" (Benasayag, Schmit 2007).

Sur les réseaux globaux, tous les agents deviennent gris, uniformément. La perte de sens rend les géodésiques d'une "météorologie des dynamiques sociales" envisageables – et rend les humains des gouttes d'eau entraînées par des vents qui suivent des parcours physiquement optimaux, sans éthique, sans valeur et sans sens. Les réseaux du numérique peuvent être et ont été par moments l'occasion pour enrichir la diversité de l'humain en mettant en contact des mondes locaux avec d'autres mondes lointains. Quand ils passent dans les mains d'oligopoles mondiales, le champ devient global et inertiel, comme en physique, voire il suit des statistiques, et le contrôle exercé dans les espaces propres du rapport à l'écosystème et de la démocratie, toujours spécifiques et divers en leur intérieur et entre eux, se constituant dans un espace maîtrisable à portée de l'homme, disparaît. Alors, la gouvernance, un automatisme visant l'optimalité cybernétique, remplace le gouvernement, en tant qu'application de la loi et d'un projet commun, élaborés sur l'agora (Supiot, 2015). Le pouvoir passe entre les mains de ceux qui choisissent les observables quantitatifs à mesurer, ainsi que la politique et l'éthique, toujours implicites, en tout cas présentées comme objectives, seules possibles : une fois données les règles prétendument objectives, mais qui ne sont, au contraire, que les résultats de ces choix subjectifs forts, la gouvernance potentiellement mécanisable peut se passer de la démocratie et de son gouvernement. Et les formes de la gouvernance numérique de la nature et de l'homme s'allient, grâce à une même machine et ses réseaux, à un scientisme qui en fait une image et un outil de contrôle du monde.

Explorons alors un parcours qui propose une autre image du monde, ancrée sur la présence matérielle des corps dans des espaces d'interaction entre l'homme et la nature. Car, quand le calcul et la machine, d'outils pour la pensée, deviennent l'image du monde et l'instrument de la gouvernance du monde, on n'invente plus de nouveaux outils et on ne voit plus le monde.

4. Faire le ciel et les montagnes. De la nature dans la peinture : une piste pour imaginer le monde et ses relations, un outil pour réinventer l'espace.

« La théorisation, pour moi, est liée à la possibilité de plonger le réel dans un virtuel imaginaire doté de propriétés génératives », écrit René Thom en référence à la pensée physico-mathématique[2].
Depuis et tant que l'homme peint, il ne cesse de réinventer le monde. De fait, la peinture est une théorisation du monde, qui engendre de nouveaux mondes.

4.1 Des corps qui construisent l'espace.

Laissons de côté les prétendus réalismes. Toute époque s'intéresse au réel, tout art prend position par rapport à lui, mais la catégorie de réalisme n'a aucune valeur en art. Prenons la perspective linéaire, pratiquée et théorisée à la Renaissance, par exemple. Elle est un système de représentation établi sur une convention mathématique relativement simple, qui s'est imposé ces cinq-cents dernières années, de Masaccio jusqu'à Monet (donc, de 1400 à 1900 environs). Mais cinq-cents ans, un demi-millénaire, à l'échelle humaine, et même à l'échelle de l'art, ce n'est pas tant que ça. Le système égyptien, lui, celui à plusieurs points de vue sur un même objet, celui que les cubistes aimeront tant (la silhouette avec les jambes de profil, le torse de face, le visage de profil et l'œil de face), c'est près de 2000 ans qu'il est resté inchangé. Tant que l'Empire se portait bien, le fabricant d'image, appelé à juste titre « celui qui garde vivant », avait pour mission de représenter, en sculpture ou en peinture, l'effigie du mort, selon le respect des canons d'une expérience ancestrale qui faisait ses preuves. Akhenaton va casser les codes – et d'ailleurs sur le plan politique ses choix vont mener à la première véritable crise du Nouvel Empire. La perspective renaissante, quant à elle, va être délaissée au profit de nouveaux systèmes, à l'aube de la Première Guerre mondiale, quand le monde ne se portait plus si bien que cela.

Quelles sont les caractéristiques de cette « construction légitime », telle qu'elle est définie par les peintres et théoriciens du XV^{e} siècle ?
Avant Brunelleschi, Alberti, Masaccio, avant 1420 donc, l'espace est la somme des corps qui le constituent. En sciences, comme en peinture. C'est par la présence des corps et de leur masse que Giotto révolutionne, en 1300, l'art de la peinture. Regardons la fresque de Giotto à la chapelle Scrovegni de Padoue : les anges se désespèrent dans le ciel, car le Christ vient d'être déposé de sa croix.



[2] René Thom, *Prédire n'est pas expliquer,* Flammarion, Paris, 1993 (p. 91).



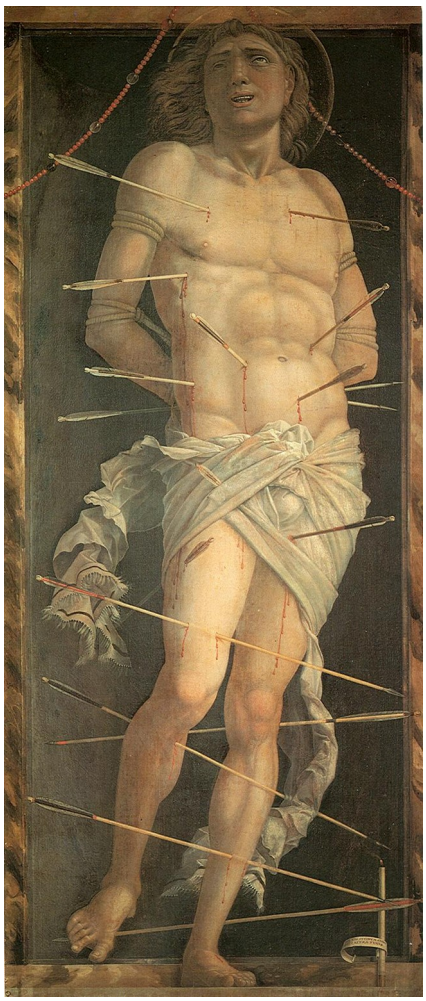
Giotto di Bondone, *Lamentation sur le Christ mort,* 1305, fresque, détail et ensemble.
Padoue, Chapelle Scrovegni.

Au centre de la scène, saint Jean l'évangéliste écarte les bras, son geste est semblable à celui du *putto* ailé qui le surplombe. Il s'incline, désespéré, vers le corps du Christ, son ouverture de bras désigne un espace large, une profondeur grande comme sa douleur, et il nous invite à en faire autant. Notre regard suit le sien, descend et rencontre Marie, autre relai, puis arrive au visage paisible de Jésus, allongé. Là, notre parcours est arrêté par la silhouette qui tient sa tête et ferme la composition : tache de couleur claire et extrêmement massive, son recueillement dans la douleur est suggéré par l'invisibilité de ses traits. Figure repoussoir, elle permet au regard de circuler dans l'œuvre, relayée par l'autre femme de dos, au tout premier plan de la composition et au centre, figure de la souffrance muette, en adoration sur les mains du défunt : le chagrin l'écrase au sol par son poids, rendu par le volume de son corps. Marie-Madeleine, de profil, assise les jambes tendues aux pieds du Christ, participe, elle aussi, à cette construction d'une spatialité de la douleur. Dans cette peinture, c'est la souffrance des hommes qui construit l'espace, en s'exprimant par leur corps massifs. La montagne, quant à elle, suit ce mouvement, délimite la scène et participe au pathos : guidant le regard de la droite vers la gauche, de haut en bas, le petit promontoire dépeint derrière les personnages participe à la chute. La roche vient redoubler le regard de saint Jean et nous force à imiter sa douleur. Elle permet au fidèle de concentrer, de faire converger ses émotions sur la figure du Christ sacrifié.

Ces émotions, ces corps, ces espaces qui en sont le lieu, voilà l'humain que nous défendons.

4.2 L'homme en perspective

La perspective linéaire, théorisée en 1435 par Leon Battista Alberti, bouleverse la pratique de la peinture. En faisant de l'ensemble du tableau une structure unifiée bien qu'articulée en lieux (appelés d'ailleurs ses membres), la perspective renaissante a pour particularité d'être construite à partir d'un point unique et mathématique, choisi par le peintre, le point de centre (ou point de fuite). Ce point est identifié (géométriquement et symboliquement) à l'œil du spectateur immobile, relativement auquel tout s'organise. La « prospettiva », cette technique pour « voir au travers », permet au peintre d'organiser l'espace des hommes et des choses. Le choix de l'emplacement du point de fuite fixe le *point de vue* du spectateur, il propose/impose un regard, comme celui qui voit, humblement d'en bas, le saint Sébastien martyr d'Andrea Mantegna. La ligne d'horizon au niveau des pieds du saint force le fidèle à lever la tête, l'oblige à la position d'adoration.



Andrea Mantegna,
Saint Sébastien,
détrempe sur toile,
1506.
Venise, Ca d'oro.

La dévotion religieuse deviendrait-elle, alors, une géométrie de l'espace ? Dieu, les astres et les hommes y trouvent en effet un nouvel emplacement, organisé par un point de vue unifiant et *subjectivé*. On est bien loin des absolus des mosaïques byzantines. Dans l'invention de la perspective renaissante, c'est donc bien de l'invention simultanée d'une structure explicite de l'espace et d'un point de vue qu'il s'agit, et même d'une « révolution copernicienne » de ce point, nouveau et *relativisant*. Elle est la conséquence d'un changement diamétral : le spectateur ne doit plus se déplacer selon un système d'agencement de lieux contigus et juxtaposés, le regardeur est désormais ce point fixe, à partir duquel se déroule un récit continu et unifié. Cette mutation théologico-picturale est très importante, car elle situe différemment l'homme dans l'espace de l'action, voire dans l'Univers. L'espace physique aristotélicien résulte de la somme de lieux différents, il n'a pas de structure globale et donne forme à un espace pictural conçu comme la somme des lieux de l'*historia.* La plus haute expression de cette idée étant les boîtes spatiales de Giotto, disions-nous, et de ses compagnons du Trecento : des « maisonnettes » sont habitées par les acteurs de différentes histoires, souvent indépendantes. Au Quattrocento, cette (ré-)organisation de l'espace, ce jeu nouveau du point de vue, technique bientôt répandue en Europe, aidera Copernic (1473 – 1543) à « voir » le système solaire du « point de vue du Soleil », nouvelle « prospettiva » de la science moderne (van Frassen, 1970). L'idée du point de vue unique et immobile, *choisi*, constitue un saut théorique, une mutation épistémologique (Damisch, 1993). La peinture pense l'espace jusqu'alors fermé du tableau comme ouvert sur la narration, sur l'homme et sur son espace. Il est ouvert aussi sur le monde *au-delà* du tableau, autre aspect révolutionnaire de la perspective : le tableau se met à contenir *plus que du fini*. Celui qui regarde a l'impression, tout à fait nouvelle, que l'espace se poursuit à droite, à gauche, en haut et parfois même en bas, hors du cadre.

4.3 Corps minéraux et roches animées, l'imagination à la Renaissance, « vivant véhicule » de la création.

Mais ce n'est pas tout. Il n'y pas que dans cette unification narrative, dans cette abstraction symbolique qu'est la perspective que le peintre, à la Renaissance, donne à voir une conception particulière du monde et de l'homme dans le monde. Nous aimons penser qu'il y a, dans l'art de certains grands maîtres du Quattrocento, une quête d'unité toute particulière entre le vivant et l'inerte. Mantegna, par exemple.



Andrea Mantegna, *Madone de la Victoire*, 1496, détrempe sur toile. Paris, Louvre (détail).



Andrea Mantegna, *Christ mort*, détrempe sur toile, Milan, Pinacoteca di Brera, 1490.



Andrea Mantegna, *L'introduction du culte de Cybèle à Rome*, détrempe sur toile, 1505-1506. Londres, National Gallery.

Putti parallélépipédiques au physique trop régulier, Christ mort au teint de pierre, sans parler de son cycle de grisailles : si la « minéralité » des figures est un trait caractéristique de l'œuvre de Mantegna, qu'en est-il de sa peinture des roches ? Il y a chez ce peintre une véritable panoplie de formations rocheuses au service de la *storia*.

Dans la *Prière au jardin des oliviers*, 1459, toute la scénographie de l'image a pour condition de possibilité les concrétions minérales. Sur un arrière-plan d'architectures surplombées de deux pics rocheux, un paysage vallonné accueille la prière de Jésus. La roche prend la forme de l'autel au-dessus duquel peuvent facilement « atterrir » les cinq putti présentant les instruments du martyr, et Jésus est agenouillé sur un promontoire, proscenium minéral muni d'un escalier qui en facilite l'accès.

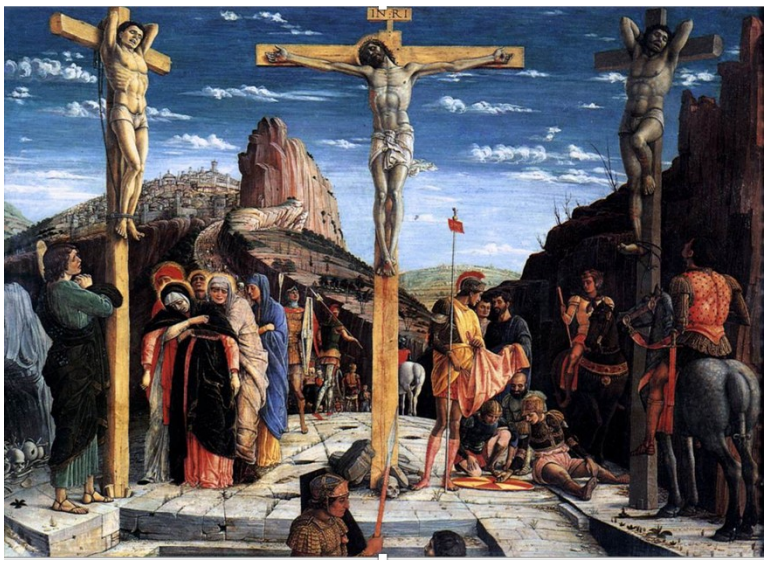


Andrea Mantegna, *Prière au jardin des oliviers*, 1459, détrempe sur bois. Londres, National Gallery.

On remarque que Mantegna a fait en sorte que cet escalier semble le fruit du hasard de l'évolution minérale. Il n'a pas été manufacturé. Il a été construit dans la roche et par elle. Dans l'autre *Prière au jardin des oliviers,* panneau de prédelle de la pala de San Zeno (1450), les roches constituaient, là aussi, le mobilier.



Andrea Mantegna, *Prière au jardin des oliviers*, 1450, prédelle de San Zeno, Tours, musée des Beaux Arts.



Andrea Mantegna, *Crucifixion*, 1457, prédelle de la Pala de San Zeno, détrempe sur bois, Paris, Louvre.

Le procédé est similaire dans le panneau central de la prédelle de ce même retable de San Zeno (1457) : les formations rocheuses dans la *Crucifixion* s'élèvent sur le paysage, ici aussi vallonné, et construisent l'espace, l'organisent par leur ouverture sur la scène au premier plan; le sol attire tout de suite l'attention. Il est introduit par des marches taillées dans le roc, par lesquelles un soldat intercepte un laïc (pas de casque, pas d'auréole), peut être un fidèle (nous). La pierre y est taillée selon un réseau de lignes qui viennent brouiller la rythmicité régulière d'un pavement en perspective. Ces axes sont comme créés par la nature, dont on voit qu'elle gagne du terrain grâce aux timides pousses d'herbe qui s'immiscent dans les fissures. On pourrait croire qu'il s'agit là d'un damier manufacturé dont la nature se joue en faussant la perspective par un jeu de lignes intruses. Il n'y a pas de doute, ces pierres restent de l'ordre du minéral, de la matière rocheuse, inerte. Mais leur forme et fonction d'élément secondaire contribuant au récit (qu'Aby Warburg a appelé *parergon* en évoquant le drapé des nymphes antiques) nous pousse à y voir une corrélation entre art-artéfact, inerte-*parergon* et vivant-organique. S'il existe un référent de l'ordre du naturel, celui-ci se met au service de la *storia* pour faire signe vers un système analogique renvoyant à une *vie de l'inerte*, idée centrale dans la pensée renaissante. L'architecturalisation et le façonnement du minéral concourent à l'intelligibilité de la composition et, dans certaines représentations de concrétions rocheuses, deviennent le vecteur d'un discours très spécifique sur le sujet représenté. Outre la pierre repose-tête ou le rocher prie-Dieu, qui ont déjà pour fonction, par leur disposition, de redoubler le sentiment d'élévation spirituelle induit par la prière, il y a dans la *Crucifixion* un écho formel entre les figures et l'imposant rocher qui sert de relais entre la scène principale et la ville à l'arrière-plan. Dans la *Vierge des carrières*, la question est un peu plus délicate.



Andrea Mantegna, *Vierge des carrières*, 1489, détrempe sur bois, Florence, Offices.

Ce qui frappe tout d'abord dans cette œuvre est l'ellipse spatiale entre le côté gauche et le côté droit de la représentation. Si, à gauche, de toutes petites silhouettes longent un très haut massif rocheux, ce même massif semble beaucoup moins haut lorsqu'il se rapproche de Marie. Si on ne regarde que le côté droit de la composition, il semble presque servir de dossier à la Vierge assise au premier plan. L'imaginaire de la nature et de l'espace est construit autour d'un projet de dévotion mariale.
L'assimilation d'ordre symbolique peut être établie par le rapprochement avec le travail des carriers qui taillent une colonne (à droite) et ce qui semble être un couvercle de sarcophage (instrument de la passion, sépulcre du Christ), le rapprochement spatial traduit un rôle important de la roche. Non seulement elle accueille le personnage (transparence de l'auréole, même éclairage) mais elle lui confère une vie que la figure de la Madone seule n'aurait pas. On peut voir là comme une continuation du concept albertien et léonardesque selon lequel les mouvements du corps doivent exprimer les mouvements de l'âme, dont Giotto est, on l'a vu, un précurseur. Chez Mantegna, on retrouve ce motif dix ans plus tard, dans le panneau représentant *Minerve chassant les vices du jardin des vertus* (plus bas), peint pour le *studiolo* d'Isabelle d'Este à Mantoue, entre 1499 et 1502, aujourd'hui au Louvre. L'accès au jardin des Vertus se fait par deux passages successifs. Le premier est une arcade taillée dans de hauts buissons et le second une arcade minérale surmontée par de la roche brute qui semble pousser spontanément au-dessus de l'arcade architecturée. Ce tableau, par ailleurs parcouru par tout un réseau d'anthropomorphisation d'éléments naturels (nous ne citerons que l'arbre-femme à gauche), confère une importance nouvelle à la roche, non plus architecturée, manufacturée, mais vivante pour elle-même. Cette imposante roche rouge qui s'élève vers le ciel semble d'ailleurs légère comme des nuages qui, eux, sont bien compacts et forment des visages de profil.



Andrea Mantegna, *Minerve chassant les vices du jardin des vertus*, 1499-1500, détrempe sur toile, Paris, Louvre.



Andrea Mantegna, *Minerve chassant les vices du jardin des vertus*, 1499-1500, détrempe sur toile, Paris, Louvre. Détail des nuages anthropomorphes

La vie des roches et des nuages n'est pas une invention des peintres renaissants. Ceux-ci semblent avoir pris comme point de départ les textes anciens, traduits en latin et commentés à l'époque, en particulier dans les cercles érudits padouans, qui stipulent que la Terre est vivante et procrée une matière elle aussi vivante. Dans le lexique des auteurs anciens, la pierre « naît » de la Terre. Elle a, chez Théophraste par exemple, un genre, et le magnétisme est décrit en termes d'attraction amoureuse. Les pierres sont dites enceintes lorsqu'elles sont creuses et contiennent une autre pierre semblable à elles. Ainsi sont employés les verbes latins *nascitur*, *gignere*, *procreare* pour parler des formations de gisements, ce qui ne va pas sans rappeler le vocabulaire employé par Léonard à propos de l'activité du peintre-créateur. Léonard lui-même parle des « *membri dei paesi* » dans son traité, pour signaler les rochers, les plantes et les éléments qui forment le relief. Mais les inventions que la Renaissance propose de ces théories sont fascinantes. L'école ferraraise en fera un des traits caractéristiques de son style dans un des cycles à fresque les plus originaux du Quattrocento, le Salon des mois du Palais Schifanoia. Cet ouvrage réalisé par Cosmè Tura, Francesco del Cossa et Ercole de' Roberti met en scène des formations rocheuses à la frontière incertaine entre l'inerte et le vivant : ces fresques présentent de fait la croissance, le bourgeonnement, l'éclosion des roches.

Dans le registre supérieur du mois d'avril, la thématique de l'amour fertile est présent par le thème central (le *Triomphe de Vénus*), par la multiplication des lapins, mais aussi par l'agencement, au centre au fond, des roches concaves qui contiennent ce qui semble être une portée les « petits » de roches. La forme rocheuse interagit avec l'artefact dans l'écho formel entre le chapiteau qui couronne le demi-pilastre encastré à gauche et le haut du promontoire qui s'épaissit en son sommet pour former la continuation de la volute du chapiteau. L'art montrerait donc la nature dans ses deux acceptions : en tant qu'ensemble d'étants, ou *natura naturata* ; et en tant que processus de création, ou *natura naturans*. Tout est animé, lié par des flux vitaux.





Francesco del Cossa et atelier, *la salle des Mois*, fresque, 1476-1487, Ferrare, palais Schifanoia.
A droite: Détail du mois d'avril.

5. Morphogenèse et turbulences : de l'inerte au vivant.

Revenons à l'imaginaire scientifique, en particulier en reprenant un "Canone minore" (une *ligne mineure*) qui, comme en philosophie, "s'adresse à la nature, à la splendeur de son immanence absolue, à son incompressible et infiniment intelligente processualité" (Ronchi, 2017). En contournant le mécanicisme de la révolution scientifique, que l'on évoquera, cet imaginaire tend la main à la *natura naturans* que l'on a vue chez Mantegna, et que l'on retrouvera chez Léonard.

5.1 Turing et Thom : l'unité dynamique du vivant et de l'inerte

Pour le biologiste D'Arcy Thompson (1860 - 1948), les formes du vivant sont analogues à celles que l'on obtient par des déformations continues de la matière molle, fluide. Son analyse corrèle des différenciations phylogénétiques grâce à des dynamiques physiques : on passe d'une espèce à une autre par des déformations continues :

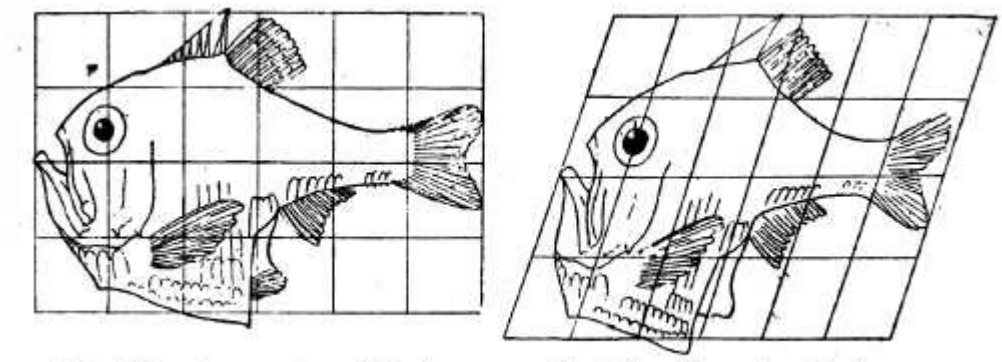


Fig. 517. *Argyropelecus Olfersi.* Fig. 518. *Sternoptyx diaphana.*

de D'Arcy Thompson *On Growth and Form*. Cambridge University Press, 1917.

D'Arcy Thompson voit le vivant comme une dynamique de formes, l'évolution comme un "transformisme" dynamique, déjà cher à Goethe. Puis, il corrèle ces dynamiques constitutives à

celles de l'inerte : les formes des méduses et des gouttes de liquide tombant dans un fluide visqueux sont les mêmes.

Turing cite et s'inspire de D'Arcy Thompson dans son unique article en biologie (Turing, 1952). Cet article est une exploration qui diverge radicalement de sa propre invention, la Logical Computing Machine (LCM) : l'univers physique, avait-il souligné dans (Turing, 1950), n'est certainement pas à états discrets, comme sa machine numérique. Et, en 1952, il propose un système d'équations dans le continu, qui modélise un processus d'action - réaction - diffusion purement physico-chimique. Suite à une petite perturbation initiale d'un milieu homogène, le processus engendre spontanément des vagues qui, à la fois régulières et irrégulières, se propagent et donnent lieu à des formes. Il en déduit que ces structurations/déformations continues de l'inerte justifient, mathématiquement, la formation, par exemple, de taches ou de bandes de couleur sur les fourrures des animaux, et il conjecture que son analyse puisse s'appliquer à la formation des "tentacles of (e.g.) Hydra, and the whorls of leaves of certain plants such as Woodruff (Asperula odorata)". D'une part donc, en 1936, Turing avait posé les fondements mathématiques de la machine programmable à état discrets qui va changer le monde, la LCM, de l'autre il se penche sur une dynamique de formes matérielles, *spontanée,* dit-on en physique, qui n'a point besoin d'un "programme" pour être engendrée. Il suggère même que son modèle mathématique discrédite définitivement, voire "falsifie", écrit-il (Turing, 1952, p.1), la nécessité d'un projet a priori, d'un programme, pour produire ces formes régulières (Longo, 2018), lui qui avait inventé la notion de programme informatique.

Plus précisément, la dynamique des "formes de Turing" est déclenchée par une fluctuation en dessous de l'observable et, dans le cas non-linéaire, elle est déterminée par une dynamique instable, "catastrophique", écrit-il, aux évolutions imprédictibles. Poincaré (1854 - 1912) avait ouvert la voie à cette géométrie des systèmes dynamiques qui brise le lien entre déterminisme et prédictibilité. Contre toute cette histoire, dans une des reprises les plus extrêmes du mécanicisme contemporain, certains en arrivent même à dire que "les lois de la nature sont des algorithmes"[3], donc des programmes, donc qu'une pierre tombe puisqu'elle est programmée pour tomber - sorte de "vertu tombative" intrinsèque, ajoutons-nous, écrite dans l'ADN de toute pierre. Depuis Einstein, on dit plutôt qu'une pierre tombe pour des "raisons de symétrie", car la gravitation est un mouvement inertiel dans des espaces courbes et l'inertie est la conservation de l'impulsion, donc une symétrie dans les équations (théorèmes de Noether (Kosman-Schwarback, 2010)). Si elle tombe dans un étang et engendre des vagues, celles-ci sont dues à la conservation/transmission de l'énergie/impulsion, une symétrie mathématique, qui en justifie *aussi* les symétries morphologiques. Tel est le regard de la physique contemporaine sur ces processus, qui n'ont rien à voir avec le chute programmée d'une pierre virtuelle, changement d'état des pixels, l'un après l'autre, sur l'écran d'un ordinateur. Turing, en distinguant entre "imitation" (d'une femme par sa machine, dans un dialogue par télétype) et "modèle" (d'une dynamique de formes, par des équations différentielle), Longo, 2018), ne fait pas cette confusion, sur laquelle on reviendra.

René Thom (1923 - 2002) reprend lui aussi les analyses de D'Arcy Thompson et en fait des mathématiques très originales : sa *théorie générale des formes* est une analyse des invariants (de ce qui est "topologiquement stable") par rapport à des transformations (techniquement : un groupe de transformations qui agit sur un espace topologique). On voit bien la transformation/déformation topologique qui permet de passer d'une espèce de poisson à une autre dans l'image de D'Arcy Thompson. La nature, inerte et vivante, est une dynamique de ces changements de formes : telle est son unité. Pas besoin de logiciel : Thom critique férocement la biologie moléculaire de l'alphabet et du programme génétique.

Comme chez Mantegna et les ferrarais, il est difficile de dire si ces approches vitalisent l'inerte ou si le vivant se réduit à un inerte, plastique selon les besoins. En tout cas, voilà una *natura naturans* animée par des flux, un matériel sans logiciel qui se déforme dans une continuité spatiale

[3] Voir (Wolfram, 2013), qui ose écrire cela dans un volume en honneur de Turing, en expliquant que Turing … n'a pas bien compris. Il a bien compris, mais il pense le contraire (Longo, 2018).

aux dimensions pertinentes et très importantes, non mécanique, encore moins digitale. On retrouve dans (Thom, 1972) des composantes essentielles de l'organicité biologique : la corporéité matérielle dans un espace aux dimensions propres à l'action animale, loin de tout codage unidimensionnel, de tout dualisme logiciel/matériel, fortement anti-mécaniste, car toute mécanique requiert un empilement de composantes simples et rigides, très différent de l'unité a priori à laquelle s'appliquent les déformations, les tiraillements, et les torsions, les transitions critiques et les singularités (les "catastrophes") au coeur de l'analyse de Thom.

Mais il faut aller plus loin dans l'appréciation de cette unité non-mécanique de la matière, inerte et vivante, pour aller vers une science de cette dernière, de l'état vivant de la matière. On y parviendra graduellement, en passant par des turbulences.

5.2 Léonard

L'attention aux flux, au rythme qui lie tout le créé (par Dieu, par le peintre) est une des caractéristiques essentielles de l'art de Léonard de Vinci. Aucune magie, mais une vision du monde en mouvement, qui n'est pas statique, qui n'est pas *déjà là, déjà donnée.*

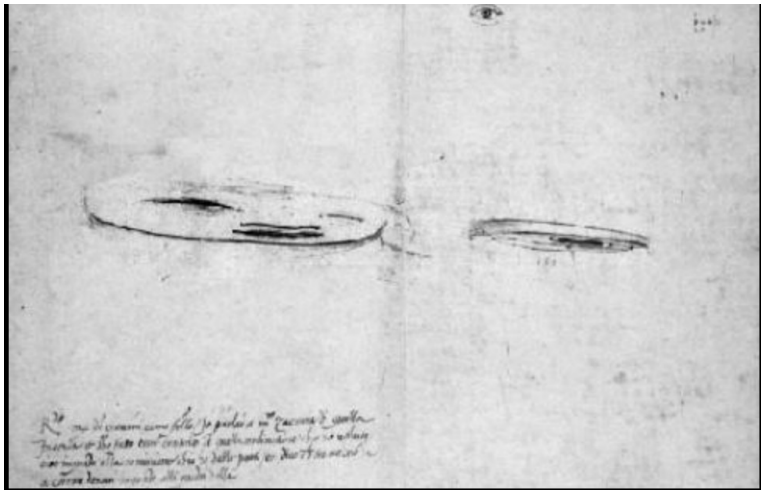


Léonard de Vinci, *Etude de chevaux, un homme et un lion,* vers 1503-1504, plume et encre avec lavis, 19,6 x 30,8 cm. Windsor Castle, Royal Library, RL 12326.

Si, chez D'Arcy Thompson, dans des écosystèmes proches, les déformations continues permettent de passer d'une espèce à l'autre, dans ce dessin préparatoire pour la bataille d'Anghiari, Léonard enquête sur la déformation qui corrèle trois espèces (cheval, lion, homme) partageant la même rage au combat. Comment, par l'acte graphique, Léonard donne-t-il à voir la similitude entre le lion rugissant et l'homme ? Que l'on s'arrête un instant au bas de la feuille : c'est un homme, son buste est de face et il tourne précipitamment la tête vers la gauche, vers un agresseur ou une menace. La violence de son expression durcit ses muscles, les mêmes que ceux d'un cheval hennissant. Au-dessus de la tête de l'homme, un lion s'abandonne à la même rage bestiale. Sa mâchoire inférieure ne fait qu'un avec la mèche de cheveux du guerrier. Ce dessin, dans un tout petit détail, donne à voir l'analogie et la transformation entre l'animal et humain, pensée et exprimée dans le continu du trait. La « *bestialissima pazzia* », termes de Léonard, possède l'homme au combat et l'assimile à la bête. Léonard met en forme par le trait la ressemblance du sentiment de fureur qui envahit l'animal, et montre par les mouvements du corps les « mouvements de l'âme ». Cette idée est déjà proposée par Leon Battista Alberti dans les conseils qu'il donne au peintre. Léonard se l'approprie de façon originale.

De plus, il semblerait que Léonard soit l'inventeur de l'anamorphose. Dans cette technique ce n'est pas la pensée analogique, mais le point de vue, qui impose la déformation. Une anamorphose est le

dessin d'un objet déformé par l'imposition d'un point de vue qui n'est pas frontal par rapport au support : il est ailleurs, et le regardeur est invité à/obligé de se déplacer pour trouver le point unique où l'image se recomposera. Ainsi, dans la perspective linéaire, la figure est assujettie au point de vue, alors que dans l'anamorphose, elle résulte déformée car le spectateur n'est pas à la bonne place, il doit bouger jusqu'à se mettre au point de vue désiré par la figure qui, seulement alors, fera sens.



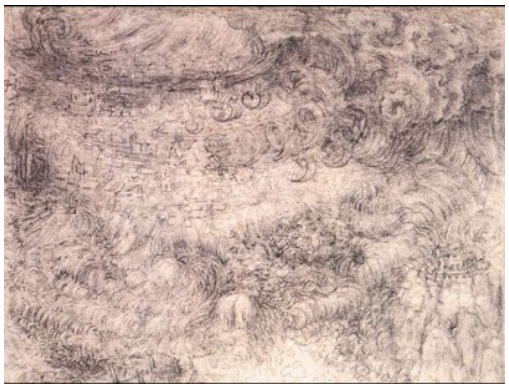
Étude d'anamorphose, Codex Atlanticus, fol. 35 v. Milano, Biblioteca Ambrosiana

Dans la déformation de ce visage, Léonard va donc plus loin que D'Arcy Thompson. La déformation n'est pas simplement dans ou de l'espace de la figure, le plus souvent un plan; l'anamorphose de Léonard demande un déplacement, dans la troisième dimension, du spectateur, voire un mouvement relatif des deux, image et œil qui regarde. Pour Léonard, le voyant et le visible doivent être pensés solidairement, et, contre Alberti, il pense que les conditions physiologiques et le mouvement du voyant concernent le peintre (Arasse 1997, p. 119).

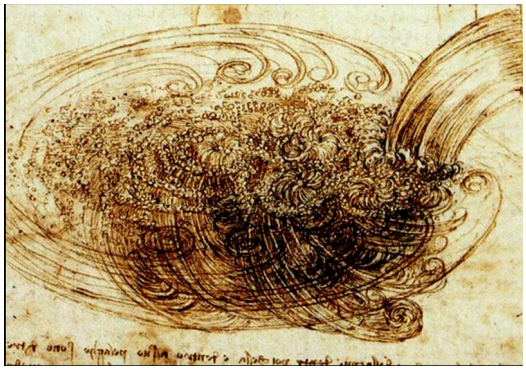
L'acte graphique, le dessin, a pour fonction chez Léonard de capter et d'achever un perpétuel mouvement. De fait, c'est *le rythme du monde* qu'il veut saisir, selon une conception dynamique de la nature. Boucles de cheveux, tourbillons d'eau, vents violents, chevaux effarouchés de Neptune ... la forme que Léonard donne à ces sujets est la même, le dessin semble ainsi se détacher de la nomenclature de l'objet. En d'autres termes, Léonard saisit des "invariants" de ces structures et de leur mouvement ; ses gestes graphiques produisent ce qui leur est commun. Il dira que ces sujets, ces turbulences de l'eau, de l'air, celles des cheveux d'une femme, les mouvements d'une plante, si différents structurellement, sont analogues, car, *pour les dessiner, il a dû faire les mêmes gestes* : il existe "une correspondance entre la plastique du mouvement dans la nature et le mouvement de la main qui dessine" (Rosand, 1993, p. 44).





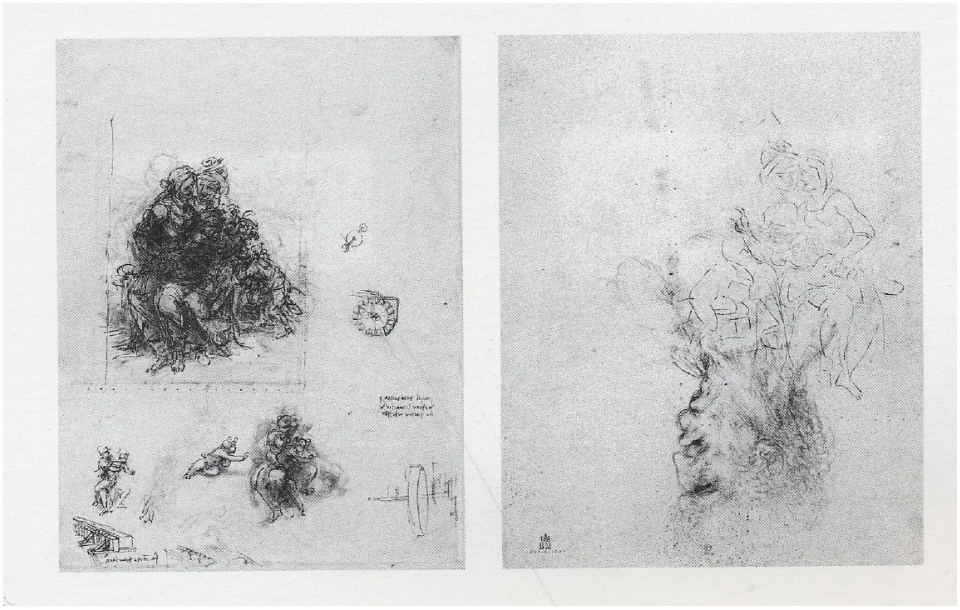


Léonard de Vinci, *Étude de déluge,* vers 1517-1518,
pierre noire. Windsor Castle, Royal Library. RL 12384.



Léonard de Vinci, *Percussions de l'eau contre l'eau*, 1507-1509, plume et encre, Windsor Castle, Royal Library, RL12660v.

Voici comment Daniel Arasse observe le travail de la ligne dans les dessins préparatoires pour la *Sainte Anne* : « En passant et repassant aux mêmes endroits, explorant les potentialités de son geste à trouver la forme justement rythmée, la main de Léonard a fini par produire une tache illisible ; dans ce chaos où rien ne se distinguait plus – mais où son regard avait perçu, dans le mouvement de la main, la forme cherchée, enfouie, latente, en tension vers la figure – Léonard a marqué celle-ci au stylet et, retournant la feuille, l'a, d'un trait net, rendue visible. » (Arasse, 1997, p. 284)



Léonard de Vinci, *Etude pour Sainte Anne, la Vierge et l'enfant*, plume et encre brune, 26,7 x 20,1 cm. Londres, British Museum. *Recto et verso*.

« Léonard cherche *les formes au travers de leur formation*, et la forme achevée doit préserver cette dynamique originelle pour en transmettre le sentiment » ... le mouvement est le principe originaire du tout et « le mouvement, son observation, son interprétation mathématique, sa mise en oeuvre technique, sa restitution artistique se retrouvent à travers toute son oeuvre, comme son premier moteur » (Arasse, 1997, p. 18). L'action du crayon est donc pour Léonard le prolongement de l'acte visuel, captant non seulement la forme, mais son devenir, son mouvement. Le dessin et l'action tourbillonnante sur le papier reproduisent l'élan de la nature et du monde, pour en achever "les énergies par captation méthodique et serrée" (Chastel, 1978, p. 275), quitte à rendre le sujet du dessin méconnaissable. De là naît le *componimento inculto*, traduit en français par "ébauche informe" : "...un aspect essentiel de l'art de Léonard tient à ce qu'il veut, en accord avec ce qu'il perçoit du monde, y faire sentir la 'formation sous la forme'" (Chastel, 1959, p. 19). Le dessin ne doit pas reproduire la forme, le schéma de l'objet, mais recréer son élan vital. Pas de contours, le rythme de la main qui parcourt la feuille répond au rythme de la nature en mouvement.

Voilà donc un imaginaire scientifique : la saisie des formes au travers de leur formation, grâce à l'observation, l'interprétation mathématique, leur mise en œuvre technique, dit Arasse, plus haut. Les mathématiques elles-mêmes, la géométrie sont données par "le mouvement". Pour Alberti, la ligne est faite d'une infinité de points : non, répond Léonard, une ligne est le mouvement d'un point et le plan la translation d'une ligne. On est bien loin des lignes faites d'un nombre fini de pixel, du mouvement qui est un changement d'état, de 0 à 1, des pixels programmés pour s'allumer et s'éteindre en séquence sur l'écran - cette caricature digitale du mouvement, image première pour tant de bébés immobiles élevés face à un écran[4].

Mais Léonard l'avait bien compris : ce que la machine n'a pas, c'est le sentiment - elle n'est point vivante pour lui. Encore plus nettement, la conception d'une machine, pour Léonard sa représentation dessinée, n'a rien à voir avec l'inerte turbulent de ses esquisses, un inerte qui se superpose au vivant, qui devient du vivant. Et pour cela elle ne peut être dessinée de la même

[4] Pour Poincaré, cité par (Berthoz, 1997), évaluer la distance d'un objet c'est imaginer l'action nécessaire pour l'atteindre ; par contre, un être immobile peut prendre le mouvement pour un changement d'état, écrit-il. Ces bébés immobiles devant une tablette, qui apprennent à voir le mouvement d'objets inatteignables décrit par des changements d'état des pixel sur l'écran, n'apprennent pas à évaluer la profondeur de l'espace, à faire le geste pour les atteindre et développent des syndromes autistiques dans leur motilité (Marcelli D., Bossière M.C., Ducanda A.L., 2018). Ils n'acquièrent pas "le sens du mouvement" (Berthoz, 1997).

manière. Ainsi ses dessins techniques sont-ils analytiques, ils rendent compte d'une composition linéaire, par empilement du simple, propre à la construction des machines. Le dessin est analytique, technique, et non unitaire et complexe. C'est donc à partir des principes de la mécanique que Léonard invente le dessin technique. De fait, il est le premier à concevoir des artefacts à partir de principes, et non seulement sur la base d'une pratique artisanale. Et ces principes sont dans ses dessins.

Or il y a une raison pour laquelle ses esquisses préparatoires aux peintures montrent une toute autre approche du travail graphique, à l'opposé de ses dessins de machines : dans les milliers de dessins conservés aux quatre coins du monde, depuis les feuillets épars dans les codex au grand carton pour la *Saint Anne* de Londres, la forme naît de l'informe, du chaos graphique. L'informe est, dans la pensée de Léonard, à l'origine de tout élément non mécanique, qu'il soit vivant ou inerte mais naturel (météorologique ou géologique). Le monde et ses relations sont imaginés (mis en image) par l'homme de la Renaissance dans leur complexité informe et primordiale.

5.3 Prigogine et Kaufmann: order from chaos

Un tourbillon, un cyclone, les formes que Léonard fait *émerger* de son "componimento inculto" sont des *structures dissipatives* (elles dissipent de l'énergie), loin de l'équilibre - c'est-à-dire qu'elles sont "ouvertes" et parcourues par un flot d'énergie/matière. Elles sont des structures *ordonnées*, *organisées*, qui émergent, disons-nous aujourd'hui, à partir d'un désordre instable de l'eau, de l'air, d'un fluide, quand des forces convectives, due à une forte différence de température ou un gradient d'autre nature, induisent un flot entre deux zones de valeurs différentes de l'observable pertinent : leur mouvement spiralant est ordonné par rapport au (et autour du) désordre précédent. Nous parlons et écrivons des équations, de flot typiquement, concernant l'émergence de ces structures, Léonard les donne à voir.

Techniquement, donc, le processus d'émergence est l'*auto-organisation* d'un flot d'énergie et/ou de matière ; dans l'atmosphère, par exemple, ces formes dissipent très rapidement une énorme quantité d'énergie. Pourquoi s'occuper de ces phénomènes éphémères, rares, marginaux, quel intérêt peuvent-ils avoir par rapport aux grands cadres des théories physiques à l'équilibre ou proches de l'équilibre ? Telle question est adressée en 1946 au jeune Elya Prigogine (1917 - 2003) par un illustre physicien, sceptique. Mais, depuis les années 1970, les théories de l'auto-organisation deviennent une nouvelle discipline entre physique, chimie et biologie, minoritaire bien que Prigogine ait eu le prix Nobel de chimie en 1977. D'un point de vue thermodynamique, on observe des phénomènes d'auto-organisation en présence d'un état d'activité désordonnée sous jacente, par exemple le mouvement brownien des particules d'air, d'eau, voire de différents fluides, soudainement entraînées dans un flot, disions-nous, dû à une différence de température, à un gradient ou un catalyseur chimiques[5]. Pour (Glansdorff, Prigogine 1971), le principe fondamental qui unifie l'évolution physique et biologique est un principe d'auto-organisation spontanée à partir de l'*instabilité de l'homogène désordonné*. L'inerte se superpose alors au vivant et l'auto-organisation serait à l'origine de la vie, de la transition de l'inerte au vivant.

Stuart Kauffman et bien d'autres auteurs reprendront ce thème. Citons (Kauffman, 1993), où, à partir de l'auto-assemblage de réactions chimiques (les ensembles auto-catalytiques), on décrit différentes formes d'auto-organisation comme scénarios possibles pour l'origine de la vie. Le processus se base sur des phénomènes collectifs, des dynamiques de réseaux, loin de l'équilibre, fortement dissipatifs ; il est essentiel aussi au maintien de la vie. Le but est de dépasser toute frontière entre inerte et vivant (Luisi, 2006). Kauffman souligne la persistance d'une instabilité

[5] La découverte par Beloussov en 1951 de la formation spontanée de formes et ondes régulières dans une solution instable de réactants chimiques, ne fut pas crue, quoique répétable dans n'importe quel laboratoire. Elle a été reconnue seulement dans les années '70, après les travaux de Zhabotinsky (Winfree 1984).

propre au vivant, toujours au “bord du chaos” (the edge of chaos). Que l’on pense alors aux arrière-plans des chefs d’œuvre de Léonard : la *Vierge aux rochers,* la *Sainte Anne,* la *Joconde...* dans ces compositions, les figures se détachent sur un paysage hors du temps, primordial, tourmenté, qui a troublé les historiens de l’art pour son caractère énigmatique. Le chaos derrière l’histoire humaine est celui, par exemple, qui provoque le fascinant tumulte de l’*Adoration des mages* des Offices.



Léonard de Vinci, *Adoration des mages*, huile sur bois, Florence, Galerie des offices, 1481.

6. Reprise et sortie du mécanicisme

La révolution scientifique a écarté la vision de l’immanence du divin dans le monde, propre au XVe et XVIe siècle. C’est ainsi que la mécanicité de la nature, y compris du vivant, est nettement séparée de Dieu et de l'âme. Il n’y a plus de mouvement unifiant l’inerte et le vivant, les turbulences ne sont plus un objet d’intérêt scientifique ; les régularités géométriques de la mécanique céleste et des machines pour mesurer le temps, pour soulever l’eau ou agir sur la nature sont au centre de l’attention. Même Galilée, en grand humaniste, est très attentif à la diversité de la nature et aux changements, chez le vivant en particulier. Mais la Ligne majeure ne retiendra pas cet aspect de sa pensée et ne se concentrera que sur la mécanique. Toutefois, on ne trouve plus chez Galilée l’attention aux turbulences, aux ouragans et aux tumultes du ciel, de l’air et de l’eau si chère à Léonard de Vinci : ce sont les formes exactes de la géométrie grecque que Galilée, comme Kepler, cherche dans le ciel et la nature.

Ainsi, dans les *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze* (1638), il s’intéressera de près aux rapports des échelles et des masses dans les organismes, les variations des sections et des épaisseurs des os en relation au volume. Une très belle invention, *l’allométrie*, mais

qui est un regard sur une composante mécanique du vivant, comme l'anatomie et l'analyse très fine du squelette, des pompes et circuits hydrauliques, comme les saignées au cœur des pratiques des iatro-mécaniciens cartésiens. Du reste, pour Descartes, le corps animal est une machine, on le sait bien[6]. De fait, pour Descartes comme pour Kepler, l'univers tout entier est l'agencement de composantes élémentaires et simples, comme toute machine, empilement d'engrenages qui permet le mouvement. C'est ainsi, explique Francis Bacon, que nous devons "*drive nature as a machine through action*", cité par un pionnier des bio-technologies (Hartley, 1937).

6.1 Le complexe comme empilement linéaire du simple et au delà

La contrepartie mathématique de ce jeu de l'empilement du simple pour décrire le complexe sera développée par Laplace et Fourier, entre le XVIII et le XIX siècle : pour eux, tout système sensé d'équations, toute dynamique physique déterministe donc, peut être approché de façon linéaire - pas à pas, rien n'échappe à la composition machinale (Marinucci, 2011). Poincaré, à la fin du XIX siècle, va casser ce mythe qui joint mathématiques et machines par l'idée de la compositionnalité progressive. Sa géométrie des systèmes dynamiques non-linéaires, disions-nous, est inventée à partir d'un résultat négatif : la présence de l'imprédictible, donc de l'aléatoire - du chaos, on dira cent ans plus tard - dans des simples systèmes déterministes (déterminés par quelques équations, trois corps dans leurs champs gravitationnels - trois suffisent donc pour produire une unité nouvelle, non décomposable analytiquement). À la même époque, les espaces qui se plient sous les déformations gravitationnelles des géométries Riemanniennes, non-euclidiennes, ouvriront la voie à une nouvelle physique de l'espace et du temps, la Relativité.

Il a donc fallu du temps pour qu'une vision dynamique, "processuelle", du monde, ce "Canone minore", fasse à nouveau surface en physique. Mais on replongera, vers la moitié du XX siècle, dans le mécanicisme de l'ordinateur intelligent et dans la biologie de la combinatoire finie des lettres de la génomique dominante.

Bien évidemment, rien de mieux que l'ordinateur moderne pour voir, sur les écrans, la plus sauvage des turbulences, Léonard en serait fasciné. La physique computationnelle est devenue une science de grande importance et utilité : ses applications à la météorologie, à l'hydrodynamique etc sont innombrables. Mais il faut toujours faire la différence. Suggérons à un jeune physicien computationnel, qui a implémenté les solutions de ses équations de flot dans un programme et qui se trouve face à une magnifique turbulence sur l'écran, de faire "restart"... la turbulence se déploiera de façon parfaitement identique, ce qui n'a pas de sens physique. La machine à états discrets itère à l'identique, c'est son métier. Gare à nous si un programme, lancé et relancé, ne ferait pas la même chose, indéfiniment. Mais gare à vous si, au casino, la bille de la roulette s'arrête un grand nombre de fois de suite sur le même chiffre! Même en réseau, on arrive à faire fonctionner les ordinateurs correctement, c'est-à-dire à itérer à l'identique les mêmes protocoles d'échange, d'interaction. Le travail difficile des informaticiens des réseaux consiste d'ailleurs à surmonter l'aléatoire omniprésent dans les dynamiques spatio-temporelles des réseaux électrodynamiques et informatiques sur la surface de la Terre, en faire un "do not care" (Longo, Palamidessi, Paul, 2010). Rien à voir avec les dynamiques physiques et moins encore avec les processus biologiques, des réseaux dans des écosystèmes où le changement et l'aléatoire sont au cœur de la viabilité, car celle-ci est basée sur la variabilité et la production de diversité. De façon sommaire, on peut dire que le vivant se manifeste par "l'itération *jamais identique* d'un processus morphogénétique".

[6] En se posant en précurseur du "jeu de l'imitation" (Turing, 1950), Descartes écrit: "s'il y avait de telles machines qui eussent les organes et la figure extérieurs 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" (Descartes, 1637; pp. 164-165) - seulement l'âme produit la différence avec la machine. Turing, au contraire, envisage l'impossibilité à faire la différence (en … 2000 et dans 30% des cas) entre sa machine et une femme, sans corps. C'est l'âme que l'ordinateur dualiste pourra un jour imiter par son logiciel.

Cela nous mène plus loin dans l'appréciation de la spécificité et l'historicité du vivant, bien au-delà de la plasticité qui conduit de Mantegna à Turing et Thom, et même de l'ordre émergeant du chaos de Léonard, une auto-organisation, pour Prigogine et Kauffman, de flots d'énergie et de matière. Les descriptions et figurations des dynamiques que l'on appelle aujourd'hui complexes, parfois évoquées avec une certaine légèreté, suggèrent toutefois un passage des formes inertes au vivant, un imaginaire et un parcours de connaissance très éloignés de la machinerie cartésienne modernisée[7] au pouvoir en biologie - voir le rôle du gene-editing et gene-driving dans les débats aujourd'hui sur les OGM[8]. De fait, ces idées sur la complexité unifient de façon pertinente, autour des thèmes du chaos, les phénomènes de "type critique" (transitions critiques) et les phénomènes de la "matière molle". On y étudie alors les systèmes complexes auto-organisés, par des dynamiques non linéaires, de la thermodynamique hors équilibre, par la physique statistique et la physique de la matière condensée. Mais le vivant n'y est pas - ou pas encore. Mis à part le problème de l'origine de la vie, difficile à traiter en absence d'une bonne théorie de l'organisme - on risque sinon de "tirer par les cheveux" une ou deux théories physiques pour essayer d'atteindre le vivant - quelles sont les propriétés robustes, dont parler scientifiquement, de l'état vivant de la matière, de l'organisme ?

Il n'y a pas de genèse spontanée du vivant, comme s'engendrent spontanément un cyclone ou un tourbillon d'eau ; un organisme n'est pas une auto-organisation des flots, mais il *contraint* et *utilise* des flots d'énergie et matière, pour reconstruire ces contraintes (Montévil, Mossio, 2015). Un organisme n'a pas seulement un temps des processus physiques, identiques depuis quatre milliards d'années comme toute turbulence, mais un temps historique et des rythmes propres, coordonnés mais indépendants des horloges physiques (Chaline, 1999; Longo, Montévil, 2014; Longo 2017, 2021; Montévil 2020).

Pour mieux défendre l'humain de la débâcle intellectuelle constituée par la pensée machinale qui détourne l'homme de son humanité, il faut aussi une réponse scientifique visant à saisir la radicale matérialité et spécificité de l'organisme vivant et vivant avec son corps, massif, giottesque, dans ses espaces et dans son écosystème. Il faut passer du "siècle du gène au siècle de l'organisme" (West-Eberhard, 2003; Noble, 2006; Soto et al., 2016) et accompagner ce mouvement par une "naturalisation" de la physique elle-même (Longo, 2020). Les mathématiques qui dominent encore en physique sont trop sous l'emprise de leurs origines théologiques (Longo, Longo 2020), d'espaces cartésiens (ou d'Hilbert) et d'ensembles cantoriens donnés par Dieu, une fois pour toute, qui limitent mathématiquement et à priori une nouvelle dynamique de la pensée scientifique. L'exemple ultime en est la recherche de la seule et unique "loi physique du tout", loi d'optimum ou de flots thermodynamiques qui contrôlerait tout processus, de ceux de l'inerte au vivant, aux processus sociaux. Ces derniers seraient alors soumis à une sorte de "météorologie des dynamiques sociales" dans des espaces pré-donnés, aux mathématiques héritées telles quelles de la physique, réduction à un quantitatif sans sens, contre lequel nous défendons l'émergence historique et humaine du sens en mathématiques, en particulier pour la construction de connaissance (voir le manifeste du Groupe Cardano, dans https://cardano.visions-des-sciences.eu/).

6.2 L'hétérogenèse

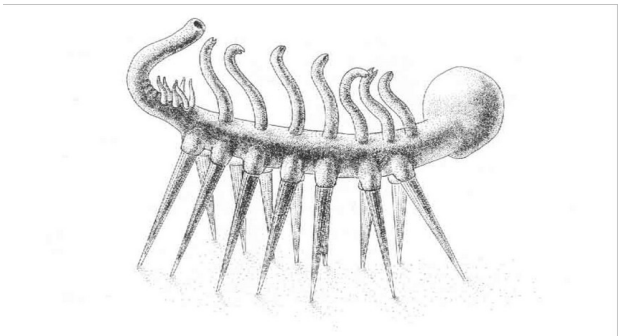
Au début du XXe siècle, en abandonnant la figure, certains peintres abandonnent la perspective : cet espace pré-donné les contraint à des limites auxquelles ils n'ont plus l'intention de se borner. Nous le disions, il y a eu dans l'histoire de l'art un moment où les égyptiens ont délaissé leur système

[7] Comme le prétend Walter Gilbert, un éminent biologiste du Projet Génome Humain : "we were going to be able to put the sequence of the DNA on a compact disk and say : « Here is a human being, this is me »", (Gilbert, 1992, p. 96)

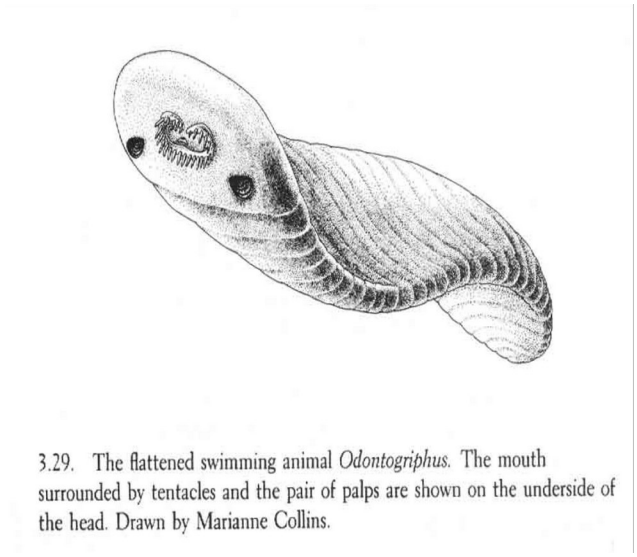
[8] ENSSER: https://ensser.org/

traditionnel de représentation. Ainsi, ce que l'on appelle l'art non figuratif naît, dans les premières années du XXe siècle, sous le pinceau de Monet, Kandinsky, Picasso, sous la plume des futuristes et de dada. Ces artistes et ces courants, et d'autres encore tout au long du premier quart du siècle, détruisent les repères figuratifs et spatiaux de la peinture. Mais la peinture non figurative n'est pas la seule voie de l'"*abstraction*"; il y en a une autre, tout aussi détachée du réel : le *surréalisme*. On retrouve chez Dali, De Chirico ou Magritte de merveilleuses perspectives, qui rendent leur art encore plus abstrait, justement car c'est de *l'idée* qu'ils s'abstraient : c'est la juxtaposition fortuite, la condensation, comme dans un rêve, de deux figures en une, dans un monde en l'apparence pré-donné, la formation de chimères, qui caractérise ce courant artistique, une "hétérogenèse" fort différente de la morphogenèse par déformations continues. L'homme est en proie à visions, utopies et distorsions qui sont à la base de sa (nouvelle) nature humaine, psychanalytique[9].

Quant aux "dynamiques créatives", l'évolution biologique nous en donne de nombreux exemples, un réel qui n'a d'égal que l'imagination humaine. Elle produit des chimères à chaque instant, à partir des cellules eucaryotes qui nous composent, dont les mitochondries (des organites des cellules) sont des anciennes bactéries, et dont, peut-être, même le noyau est un ancien micro-organisme ; notre ADN est à 20 ou 30 % d'origine (retro-)virale. Et notre corps résulte d'environ 10^{13} cellules eucaryotes auxquelles s'ajoutent les environ 10^{14} bactéries symbiotes qui nous habitent. Il y a des colonies bien soudées de mono-cellulaires au comportement si unitaire qu'elles semblent un organisme aux formes changeantes, comme le Dictyostelium discoideum (Flowers et al., 2010). Sans mentionner l'incroyable faune fossile de Burgess, d'il y a 560 millions d'années, si bien décrite par (Gould, 1989) :



3.34. *Hallucigenia,* supported by its seven pairs of struts, stands on the sea floor. Drawn by Marianne Collins.



3.29. The flattened swimming animal *Odontogriphus.* The mouth surrounded by tentacles and the pair of palps are shown on the underside of the head. Drawn by Marianne Collins.

Face à cette permanente construction de nouveauté, il faut reconnaître une ultérieure spécificité de l'évolution biologique, (Kauffman, 2000) et (Longo, 2001/2020) : une fois le *type* d'observables et de paramètres pertinents choisis, c'est-à-dire les organismes et les phénotypes darwiniens en biologie, on ne peut pas en donner à priori la "liste des possibles", voire l'espace de toutes les formes et fonctions possibles (Longo, Montévil, Kauffman, 2012). C'est-à-dire, on ne peut pas se donner un cadre pré-fixé d'observables et de paramètres, un espace des phases donné, comme en propose chaque théorie physique, une généralisation de cet espace-temps, qui, pour Kant, est la condition de possibilité pour toute connaissance de l'inerte. Et, depuis Darwin, la mécanique de l'univers encadrée dans les coordonnées cartésiennes d'un espace des possibles pré-fixé disparaît de l'intelligibilité du vivant.

[9] Nous prenons ici la liberté d'appliquer anachroniquement au surréalisme la notion d'hétérogènese, qui n'a été précisément et mathématiquement définie que récemment dans (Sarti et al. 2019), section 6.3.

L'espace même (des possibles) du vivant se co-constitue avec sa dynamique évolutive. Cette approche change de façon fondamentale les a priori de la physique mathématique : elle impose une dynamique de la symétrie première qui gouverne tout processus physique, la stabilité de son "espace des phases", c'est-à-dire de l'espace donné a priori de toutes les trajectoires possibles. Thom, dans (Amsterdamski, 1990), le saisit très bien : dans les analyses scientifiques, l'espace des phases mathématique préexiste à l'aléatoire («le bruit») qui affecte le système (p. 70), voire "la bifurcation précède [ontologiquement] la fluctuation". Ainsi, « c'est le manque de définition (du possible virtuel) qui affecte – très sérieusement – la nature scientifique de la théorie de l'évolution de Darwin. » (p. 271). Tout en appréciant la lucidité scientifique des analyses de Thom, nous pensons au contraire qu'il faut élargir les modes de la pensée physico-mathématique, aller au-delà de cette pensée, pour analyser l'évolution biologique. La difficulté demande d'ouvrir de nouvelles pistes. Notre a priori devrait être la présence du corps biologique dans un écosystème, avec ses liens et ses interactions avec tout ce qui est dans cet écosystème, à partir de la *co-construction* de sa "niche" biologique, son espace propre. Cet espace écosystémique n'est pas "déjà là", il résulte du réseau de niches, d'une histoire évolutive qui façonne, contraint, canalise le présent. Sa reconstruction continuelle peut être décrite comme une dynamique changeante et historique des symétries fondamentales qui régulent les organismes et leurs espaces (Longo, Montévil 2014).

Toute l'histoire de la vie est un jeu plastique d'*ex-aptation*, adaptation ex-post (Gould, 2002; West-Eberhard, 2003) et *overloading* (surcharge) - un organe est utilisé aussi pour d'autres fonctions (Longo 2017): en aucune façon l'oreille interne des vertébrés, ex-aptation de la double mâchoire des gnathostomes d'il y a 250 millions d'années, était "déjà là"; en aucune façon les ailes des oiseaux et leur plumes existaient déjà, ex-aptations des pattes antérieures et des échangeurs de chaleur de certains dinosaures, fort différentes des ailes des chauve-souris, homologues à (même origine que) nos mains; nos mains et notre cerveau sont le lieu premier de surcharge. Formes ou chimères monstrueuses, voire impensables, pour quiconque sache se placer avant leur ex-aptation, fonctions imprévisibles avant qu'elles ne viennent à être. Il n'y a que cet état vivant de la matière, ce corps propre de tout organisme qui se façonne évolutivement en façonnant son monde, dans la plus radicale des immanences.

6.3 Hétérogenèse différentielle, pour une écologie matématique de l'immanence

L'hétérogenèse différentielle (Sarti et al., 2019) est une notion mathématique, basée sur celle d'opérateur différentiel, c'est à dire d'un opérateur agissant sur des fonctions différentiables. Elle traite de formes qui ne sont ni chaos ni structure, qui se situent entre chaos et structure, mais au-delà des deux. Ce ne sont pas des structures qui évoluent en structurant/définissant un espace par leur propre stabilité, ni du chaos, car celui-ci demande, mathématiquement, un espace pre-donné où se déploie la dynamique. Dans un sens, l'hétérogenèse envisage à la fois l'absence d'espace en arrière-plan de la peinture ''*abstraite*'' et la production de formes nouvelles, bien encadrées dans un espace donné, mais insensées pour ce qui a sens à un certain moment, des images dont on peut à peine rêver, des chimères qui construisent un nouveau sens : l'évolution biologique, quant à elle, est encore plus radicale que le *surréalisme*.

L'hétérogenèse engendre la diversité à partir de la diversité, le devenir des formes lui-même, sans une liste pré-donnée des possibles, elle « casse les structures, modifie les lois, réorganise les dynamiques existantes » … « L'hétérogenèse introduit la possibilité de modifier les lois de manière spatiale et temporelle » (Sarti, 2018). On s'éloigne très nettement des dynamiques à la Turing et Thom, voire même de celles de Prigogine et Kauffman dans leur première formulation (de l'ordre émergeant d'un chaos bien encadré). Le travail mathématique en cours par les auteurs de (Sarti et al., 2019) remplit donc le « manque » d'une pré-définition « (du possible virtuel) qui affecte – très sérieusement – la nature scientifique de la théorie de l'évolution de Darwin » (voir Thom cité plus haut). Ce manque devient le point de départ d'une nouvelle idée mathématique : les opérateurs

différentiels eux-mêmes engendrent la dynamique de leurs espaces, car ces “possibles virtuels”, ces espaces *ne sont pas déjà là*. Pour paraphraser Thom, en le contredisant : la fluctuation co-constitue la bifurcation.

Peut-être, un fondement, voire une unification mathématique, des opérateurs différentiels de l’hétérogenèse à la (Sarti et al., 2019) pourrait être trouvé dans une autre filière des mathématiques modernes, la Théorie des Topos de Grothendieck (Zalamea 2012). Chaque Topos est un espace logique et géométrique avec ses propres lois et sa propre structures, mais il est accompagné par des transformations qui permettent de passer d’un Topos à l’autre, voire d’en engendrer des nouveaux, en sortant de ces absolus de la perspective renaissante et de la Théorie des Ensembles qui encore dominent les mathématiques de la physique. Le point de départ devrait être une nouvelle façon de voir, scientifiquement, le corps matériel du vivant, alors qu’il donne forme aux espaces de sens de son vécu évolutif et historique - une révolution comparable à celle inaugurée par Giotto.



L’art ouvre à cette exploration : dès le début des années ‘40, Jackson Pollock se jette sur ses toiles et engage son corps dans un espace qui n’a pas de limite. Son travail, baptisé Action painting, ne consiste pas tant dans le résultat (qui se vend aujourd’hui à des dizaines de millions de dollars) que dans le moment de création à proprement parler. Son *pooring* et son *dripping* sont les traces de son attaque à la toile, raison pour laquelle on le considère comme l’inventeur de la performance artistique. Accrochées verticalement, pour faire œuvre, les tableaux sont le résultat d’une danse sur la toile, d’une intuition du chaos. Pas de formation sous la forme, juste de l’informe, et on suppose quand même que Léonard aurait, là aussi, été fasciné. Un Pollock est la trace d’un acte, d’une action par laquelle l’homme a pris possession de l’espace et du temps (“I don’t work from nature, I am nature”). Remplaçant le pinceau par une femme, Yves Klein travaillera selon un processus similaire. Dans ses anthropométries, le tableau est là aussi la trace de l’action du corps par l’intermédiaire d’un médium unique, breveté, l’International Klein Blue, la seule couleur avec laquelle Klein, adepte du monochrome, travaille. Le corps de la femme n’est pas le sujet mais le médium, et c’est sa trace qui fait œuvre.



Chez Pollock comme chez Klein, le corps et son action construisent l'espace et les formes. Chez le premier, les mouvements aléatoires sont contraints par les gestes de son propre corps, les mouvements de ses bras, leur amplitude et leurs articulations. Souvent, chez Pollock, la peinture s'arrête avant les bords, on perçoit une attention à la marge. L'aléatoire de la couleur y est à nouveau dompté par l'artiste, qui fait le choix du cadrage, puis découpe et tend sa toile. Chez Klein, le corps est à l'œuvre par trace directe, sans la médiation symbolique des jeux perspectifs. Le bleu est pour Klein la couleur du sensible et du cosmos, de l'espace donc. N'avait-il pas la même fonction chez Giotto ? C'est exactement ce que pensait Klein en tout cas[10].

Conclure et ouvrir

"Je sais que l'âme est immortelle, mais je n'ai pas compris comment fonctionne la chose"
Gerolamo Cardano

Un demi-siècle après le questionnement de Cardano, qui était encore nourri, à notre avis, de cette attention renaissante à l'immanence du divin dans la matière, le problème sera résolu par le dualisme cartésien et par la fragile connexion pinéale avec le corps. Grâce à l'âme, bien séparée de la matière, nous partagerons avec Dieu la connaissance et la construction des mathématiques et des machines. Infime partie de la création divine mais néanmoins identique à elle, du moins en ce qui concerne les mathématiques, dira Galilée. Ce dualisme atteint son point culminant aujourd'hui, lorsque certains Intelligents Artificiels proposent de transférer toutes les "données" alphanumériques du cerveau, son *software*, sur un disque dur, nous rendant ainsi relativement immortels. Quant au *hardware*, nous avons déjà évoqué cet illustre (ou très bien financé) biologiste moléculaire, chef de file du Human Genome Project, qui promettait de transférer toute l'information du corps biologique sur un CD rom, en encodant l'ADN en séquences de 0 et de 1 - jeu facile s'il en est, puisque l'ADN est une séquence finie de quatre lettres. Cet ensemble de courants de pensée par le numérique, Lignes majeures au niveau académique et politique, sont hégémoniques dans l'attribution des financements, des postes et des prix[11]. Leur apport technique est indéniable, tout

[10] "En admettant que Giotto n'ait eu que l'intention figurative de montrer un ciel pur et sans nuage, cette intention est tout de même bien monochrome", Yves Klein, conférence à la Sorbonne, 1959.

[11] Que l'on se réfère aux promesses de (Collins, 1999), (von Eschenbach, 2003) et qu'on les compare au présent; ou celles de (Doudna, Sternberg, 2017), livre qui propose un pilotage génétique de l'écosystème, largement basé sur le Dogme Central de la biologie moléculaire (Crick, 1958). Depuis plus de dix ans, Collins dirige le NIH (la plus grande agence publique de financements de la recherche des Etats-Unis, et donc au monde), von Eschenbach le NCI (même chose, mais pour le cancer); Doudna a obtenu le prix Nobel pour la biologie en 2020. Du reste, tout jeune physicien mathématicien ou théoricien brillant sait que, pour

comme celui de l'invention des machines depuis la révolution scientifique jusqu'à aujourd'hui. Du reste, les grands astronomes de la tradition islamique (VII-XIV siècle) ont bien inventé la trigonométrie sphérique, des méthodes de résolution des équations algébriques et bien d'autres outils mathématiques aussi pour calculer les épicycles planétaires. Leur cadre théorique? Tout faux : plus que l'observation, c'est l'inertie galiléenne qui le démontrera. Leurs prévisions? Tout à fait impossibles, malgré des finalités astrologiques d'une telle entreprise - pour une analogie entre géo-centrisme et géno-centrisme voir (Longo, Mossio 2020). Comme dit Boltzmann, rien de plus pratique, en sciences, qu'une bonne théorie - pour nous, ce sera celle qui nous réapprendra à nous rapporter à l'humain et au vivant. Ce rapport à la nature et à l'homme que nous avons construit, fruit d'une projection / identification de nos machines avec le monde, nous a conduit à une nature toujours moins vivable et à un humain privé de cette intégrité et unité matérielle que nous nous devons de défendre ou, mieux, réinventer.

Nous avons tenté de tisser ici la trame d'une Ligne devenue mineure avec la Révolution scientifique, en nous appuyant sur l'expressivité de la peinture de la Renaissance. Quand elle est liée au corps et aux émotions, la présence humaine dans la nature produit le sujet connaissant et donne une unité à notre expérience et à notre connaissance du monde. L'objectivité computationnelle (bases de données, calcul autonome… ADN comme code de l'organisme…), *a contrario*, divise l'âme du corps, le software du hardware, le sujet de l'objet. On y perd le sens de la connaissance en tant que mise à l'épreuve de celui qui connaît. Pour nous, l'analyse morphologique, qui est au cœur de la construction scientifique et artistique, est un lieu premier de cette friction entre sujet et objet et agit comme un pont entre « entendement et raison », entre théorie et pratique. L'imagination permet ce passage, puisqu'elle se donne ses propres lois, tout comme l'hétérogénèse, qu'elle soit picturale ou mathématique. La proposition d'une loi n'est donc pas arbitraire, elle est construite grâce et à partir d'une friction active avec la nature et d'une histoire vécue, dans l'intersubjectivité humaine. Et elle requiert une prise de risque. L'imagination de nouvelles configurations de sens est le moteur de cette prise de risque, de ces actions, en sciences comme en arts : leurs points de contact ont contribué à bâtir des révolutions. L'imagination, artistique et scientifique, est la faculté qui permet de penser un universel non pas déjà donné, mais résultant d'une interprétation toujours nouvelle. C'est en l'imagination, plus qu'ailleurs, que l'on retrouve la faculté du jugement réflexif, l'esthétique. Nous serons alors contraints d'avancer sur le plan de la création, domaine à la fois contemplatif et actif, et d'exprimer ce qu'il y a en nous de plus humain.

avoir une bourse de doctorat ou un post-doc, il vaut mieux travailler en physique computationnelle ou directement en IA, ou alors être orienté à devenir "quant" en bourse - alors qu'il/elle ignore/ne s'intéresse pas à l'économie. Il en va de même pour un jeune biologiste : mieux vaut faire du gene-editing, du "gain of fonction", du gene-driving ou des combinatoires moléculaires… on publie certes plus, indépendamment de la compréhension biologique des techniques employées. Et, aidée par la bibliométrie, machinerie qui compte le nombre des citations, la formation/sélection œuvre de manière radicale en bouclant le cercle vicieux des modes et du conformisme scientifique.

Références

(les articles dont Longo est co-auteur sont dans https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html)

ALEXANDRE L. (2017), *La Guerre des intelligences : intelligence artificielle versus intelligence humaine*, Paris, JC Lattès.

ANGELINI A. (2020), *La scienza e il suo ambiente. Il confine poroso del discorso scientifico tra epistemologia politica e ontologia dell'attualità*, in Iofrida M. (ed.)., Scienza, tecnica, capitalismo: una prospettiva ecologica, collana "Officine filosofiche" n. 5, Mucchi Editore, Modena.

ID. (2020), *Biopolitica, biostoria, ecologia. L'epistemologia politica del discorso biologico tra Michel Foucault e Georges Canguilhem*, Tesi di Dottorato in Filosofia, Università di Firenze.

ARASSE D. (1997), *Leonardo da Vinci. Il ritmo del mondo* (2019), Jaca Book, Milano.

BENASAYAG M., SCHMIT G. (2007), *L'epoca delle passioni tristi*, Feltrinelli.

BERTHOZ A. (1997), *Le Sens du Mouvement*. Paris: Odile Jacob.

BURKI T. (2018), Ban on gain-of-function studies ends. *The Lancet*, Vol. 18, issue 2, pp148-149, February.

CALUDE C., LONGO G. (2016) Classical, Quantum and Biological Randomness as Relative Unpredictability. Special issue of *Natural Computing*, vol. 15, 2, 263–278, Springer, June.

CHALINE J. (1999), *Les horloges du vivant : un nouveau stade de la théorie de l'évolution,* Paris, Hachette.

CHAMPER J., BUCHMAN A, AKBARI O.S. (2016), "Cheating evolution: engineering gene drives to manipulate the fate of wild populations" in *Nature Reviews*. Genetics. March, 17 (3), p. 146–59.

CHASTEL A. (1959), *Art et humanisme à Florence au temps de Laurent le Magnifique,* Paris, Presses, Universitaires de France.

ID. (1978), *Fables, formes, figures,* Paris, Flammarion.

COLLINS, F. (1999) Medical And Societal Consequences Of The Human Genome Project, *The New England J. of Medicine***,** July 1.

DAMISCH H. (1993), *L'origine de la perspective,* Paris, Flammarion.

DESCARTES R. (1637), *Discorso sul metodo* (2003), a cura di Emanuela Scribano, Edizioni San Paolo, Milano.

DOUDNA J., STERNBERG S. (2017), *A crack in Creation, the new power to control Evolution*, The Bodley Head, London.

VON ESCHENBACH, A.C., (2003), NCI sets goal of eliminating suffering and death due to cancer by 2015. *Journal of the National Medical Association* 95, 637.

FLOWERS, I., SI I LI., STATHOS A., SAXER G., OSTROWSKI E. A., STRASSMAN J., QUELLER D., PURUGGANAN M.D. (2010) *Variation, sex, and social cooperation: molecular population Genetics of the socialamoeba Dictyostelium discoideum*, PLoS Genetics, 6,7,1-14.

van FRAASSEN, B.C. (1970) *An introduction to the Philosophy of Space and Time*, Random House, New York.

GLANSDORFF P., PRIGOGINE I. (1971), *Structure, Stabilité et Fluctuations*, Paris, Masson.

GOULD S.-J. (1989) *Wonderful Life*, Norton & Co..

ID. (2002), *The structure of evolutionary theory.* Harvard University Press.

HAYEK F. A. (1945) The Use of Knowledge in Society. *The American Economic Review*. American Economic Association via JSTOR. **35** (4): 519–530.

HARTLEY H. (1937), *Agriculture as a source of raw materials for industry,* in Journal textile institute, 28.

HILBECK A., MEIER M., TRTIKOVA M.. 2012. 'Underlying Reasons of the Controversy over Adverse Effects of Bt Toxins on Lady Beetle and Lacewing Larvae'. *Environmental Sciences Europe* 24(9):1–5.

HILBERT D. (1898) (transl. 1901) *The Foundations of Geometry*, Chicago: Open Court.

ID. (1926) *Über das Unendliche*. Mathematische Annalen, 95 (1): 161–190

HUSSERL E. (1933) *La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale* (1961), trad. it. di Enrico Filippini, Il Saggiatore, Milano.

KAUFFMAN S. (1993), *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*, Oxford, U. P.

ID. (2000), *Investigations,* Oxford, U. P.

KOSMAN-SCHWARBACK Y. (2010), *The Noether theorems: Invariance and conservation laws in the twentieth century,* Berlin, Springer-Verlag.

LOHN A.F., TRITKOVA M., CHAPELA I., VAN DEN BERG J., DU PLESSIS H., HILBECK A., (2020) Transgene behavior in Zea mays L. crosses across different genetic backgrounds: Segregation patterns, cry1Ab transgene expression, insecticidal protein concentration and bioactivity against insect pests. *PLoS ONE*, vol. 15: no. 9.

LONGO G. (2001), *Space and Time in the Foundations of Mathematics, or some challenges in the interactions with other sciences,* Invited lecture, *First AMS/SMF meeting,* Lyon (printed in the *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*, B. Sriraman (ed.), Springer, 2020)

ID. (2011), *Reflections on Concrete Incompleteness*. Philosophia Mathematica*,* 19(3): 255-280.

ID. (2017), *How Future Depends on Past Histories and Rare Events in Systems of Life*, *Foundations of Science,* (DOI).

ID. (2018), *Letter to Alan Turing*, in Theory, Culture and Society, Posthumanities Special Issue.

ID. (2018a), *Interfaces of Incompleteness*, in Minati, G, Abram, M & Pessa, E (Eds.), *Systemics of Incompleteness and Quasi-systems*, New York, Springer.

ID. (2020), *Naturalizing Physics. Or, embedding physics in the historicity and materiality of the living,* Deleuziana, n. 11, special issue on "Differential Heterogenesis: Deleuze, Mathematics And The Creation Of Forms".

ID. (2021), *Confusing biological twins and atomic clocks. Today's ecological relevance of Bergson-Einstein debate on time*, in Conference "What is time? Einstein and Bergson 100 years later", proceedings in Campo, Ronchi eds, Berlin, De Gryuter.

LONGO G., FREZZA G. (2010), *Crossing-over del vivente*, in Metafore del vivente. Linguaggi e sperimentazione in filosofia, biologia e scienze cognitive, (a cura di) Gagliasso E. e Frezza G., FrancoAngeli, Milano 2010

LONGO G., LONGO S. (2020). *Infinity of God and Space of Men in Painting, Conditions of Possibility for the Scientific Revolution*, in Mathematics in the Visual Arts (R. Scheps and M.-C. Maurel ed.), London, ISTE-WILEY Ltd.

LONGO G., MONTÉVIL M. (2014), *Perspectives on Organisms. Biological Time, Symmetries and Singularities*. Dordrecht: Springer.

LONGO G, MONTÉVIL M, KAUFFMAN S. (2012), *No entailing laws, but enablement in the evolution of the biosphere*, invited paper, ACM Proceedings of *Genetic and evolutionary Computation Conference,* GECCO'12, Philadelphia (PA, USA), July 7-11.

LONGO G, MOSSIO M. (2020) *Geocentrism vs genocentrism: theories without metaphors, metaphors without theories*. Interdisciplinary Science Reviews, 45 (3), pp. 380-405.

LONGO G, PALAMIDESSI C., PAUL T. (2010), *Some bridging results and challenges in classical, quantum and computational randomness*, in Randomness through Computation, H. Zenil éd., World Sci., pp. 73–92.

LUISI P.-L. (2006) *The Emergence of Life - From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge U.P.

MARCELLI D., BOSSIÈRE M.C., DUCANDA A.L. éd. (2018), *Plaidoyer pour un nouveau syndrome « exposition précoce et excessive aux écrans »* (EPEE), ERES, *Enfances & Psy*, 3, p. 142-160.

MARINUCCI A. (2011), *Tra ordine e caos. Metodi e linguaggi tra fisica, matematica e filosofia.* Roma, Aracne.

MONTÉVIL, M. (2020) *Historicity at the hearth of biology*, Theory in Biosciences, Springer Verlag.

MONTÉVIL M., MOSSIO M. (2015), *Closure of constraints in biological organisation*, in Journal of Theoretical Biology, vol. 372, p.179-191.

MORAND S., FOGUIÉ M. (eds.) 2016. *Émergence de maladies infectieuses. Risques et enjeux de société.* Editions Quae, Paris.

MORSE S.S. (1993), *Emerging Viruses,* New York, Oxford University Press, p. 24.

NOBLE D. (2006), *The Music of Life. Biology Beyond the Genome*, Oxford, OUP.

POMIAN K. (a cura di) (1991), *Sul determinismo. La filosofia della scienza oggi*, Il Saggiatore, Milano.

RONCHI R. (2017), *Il canone minore. Verso una filosofia della natura,* Milano, Feltrinelli.

ROSAND D. (1993), *La trace de l'artiste. Léonard et Titien*, Paris, Gallimard.

SARTI A. (2018), *Formes en devenir; bios, mathématiques, philosophie*, Entretien par Igor Pelgreffi, in Officine Filosofiche.

SARTI, A., CITTI, G., PIOTROWSKI, D. (2019), *Differential heterogenesis and the emergence of semiotic function*, Semiotica. Issue 230.

SOTO A., LONGO G., NOBLE D. (eds.) (2016) *From the century of the genome to the century of the organism: New theoretical approaches*, a Special issue of Progress in Biophysics and Mol. Biology, Vol. 122, 1, Elsevier.

SUPIOT A. (2015) *La gouvernance par les nombres.* Coll. « Poids et Mesures du Monde », Fayard (English transl. Hart Publishing, NY, 2017).

THOM R. (1972), *Stabilité structurelle et Morphogénèse*, New York, Benjamin.

THOM R. (1993) *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, Paris.

TURING A. (1950), *Computing machinery and intelligence* in Mind, 50, p. 433–460; voir aussi Boden (1990), *Collected Works* (Volume 1).

ID. (1952), *The Chemical Basis of Morphogenesis*, in Philosophical Transaction of the Royal Society of London*,* 237(641), p. 37-72.

van FRASSEN, B.C. (1970) *An introduction to the Philosophy of Space and Time*, Random House, New York.

WEST-EBERHARD M-J. (2003), *Developmental Plasticity and evolution,* New York, Oxford U. Press.

WINFREE A. T. (1984), *The Prehistory of the Belousov-Zhabotinsky Oscillator*, in Journal of Chemical Education, vol. 61, no 8, p. 661–663.

WOLFRAM, S. (2013), *The importance of Universal Computation*, in Cooper ed., *A. Turing, his work and impact,* Amsterdam*,* Elsevier.

ZALAMEA F. (2012), *Synthetic Philosophy of Contemporary Mathematics*, Urbanomic (UK) and Sequence Press (USA) (review in LONGO G. (2015), *Conceptual Analyses from a Grothendieckian Perspective* in Speculations*,* December)