

LA SECRÈTE NOIRCEUR DU LAIT⁽¹⁾

GIUSEPPE LONGO^(*)

Abstract: Two aspects are fundamental to the construction of scientific knowledge: access to “reality” and the analysis of its dynamics. We will outline the enormous challenges of measurement, as “access”, in physics and biology, as well as the challenges of intelligibility posed by the diversity of processes. If we identify reality with a database of digital, exact data, we erase the problem of access and if, moreover, we identify any process with a computable function, we no longer see the classical nuances, the quantum fluctuations, the biological historicity. Wolfram and his acolytes explain to us that the Universe is a large digital computer and the laws of nature are algorithms (sometimes interactive ones: ecorithms), that a body falls because it is programmed to fall (little interaction in this case), that numbers are intrinsic to reality, independently of any physical/biological measurement, that «what cannot be computed cannot be thought» (Ladyman, Ross, 2008), that DNA drives organisms in the ecosystem. A new ontology, some explicitly tell us. The ontology of GAFAM and Monsanto. An answer is possible in the reconquest of the meaning of our human gestures in our spaces of humanity, including those proposed by geometry, starting from Euclid.

Keywords: Arithmetic, Discretization, Access, Measure, Historicity, Formalization.

Nous posons ici une question qui regarde notre rapport à la nature en passant par les machines, car aujourd’hui la médiation entre nous et la nature se fait beaucoup à travers la machine. Évidemment une question est l’usage en tant que tel de la machine, avec l’attention qu’il faut avoir par rapport à son rôle

(*) Giuseppe.Longo@ens.fr.

(1) Trascrizione e revisione di Ada Tenuti della presentazione orale.

dans la construction de connaissance, qui est une nouveauté d'une grande puissance et d'une grande richesse, autre question ce sont les phénomènes d'écrasement du monde par rapport à cet usage et à la proposition théorique implicite qu'il y a derrière.

Un premier élément, qui a inspiré mon titre, est celui de la dichotomie du discret et du continu, fort justement définie par René Thom comme l'aporie fondamentale des mathématiques. Les discrets et le continu sont deux formes de structuration du monde, deux formes d'organisations que les mathématiques nous proposent qui correspondent à des façons très différentes de découper, de qualifier le monde. Je me suis mesuré techniquement à la différence entre discret et continu en faisant de l'analyse numérique, mon premier poste de MdC. Dès qu'on travaille aux équations différentiels, données dans le continu, et on les transfère sur une machine à état discrets, tout change et on fait face à des enjeux énormes (les dynamiques vont ailleurs, la question de l'approximation n'est pas du tout banale...). Donc il y a un enjeu technique mais qui cache un enjeu philosophique fondamental.

Tout d'abord on se demande qu'est-ce qu'on entend par discret. Sur ce point les mathématiques sont très claires : une structure (une topologie) est discrète quand tous les points sont "naturellement" isolés du point de vue topologique (tout point est un voisinage de soi-même — quel solipsisme...). Mais il faut comprendre qu'est-ce que ça signifie, naturellement. Ça veut dire que si on considère les points tous isolés, on aura un accès exact à la structure et, malgré ou grâce à cela, on pourra y faire des mathématiques, nos opérations de calcul vont marcher, c'est naturel — par exemple, la théorie de la calculabilité. Au contraire si on prend la droite réelle à la Cantor, avec tous les points qui forment une infinité continue, et on lui impose la topologie discrète, ce n'est pas naturel, on n'y fait rien, on ne peut pas faire de l'analyse. Par contre, sur une structure continue des mathématiques, la topologie des intervalles donne la "topologie naturelle", car un intervalle peut être défini comme correspondant à l'intervalle de la mesure physique classique. Qu'est-ce qu'il est le monde derrière ? On n'en sait rien. Nous avons deux façons fondamentales de parler du monde, en mathématiques, une fait référence à la structure mathématique faite des points isolés auxquels on accède de façon exacte, l'autre fait référence à l'intervalle de la mesure classique. Cette question n'est pas du tout neutre, car la mesure est la première forme d'accès au monde qu'on a en science, et elle change radicalement si on suppose d'avoir une

structure discrète à l'accès exact ou une structure que l'on considère continue avec cet intervalle, la mesure physique classique, comme forme d'accès.

Jusqu'à la fin du 19^e siècle ce n'était pas un sujet très thématé, par exemple Laplace, Lagrange, Fourier pensaient que tout système raisonnable d'équations pouvait être approché de façon linéaire, et donc, même si la mesure était bien connue être un intervalle, c'est à dire approchée, grosso modo le résultat restait, au cours de l'évolution de la dynamique, de l'ordre de grandeur de la mesure proposé par l'intervalle initial. Cette approche ne marche pas : Poincaré démontre à la fin du XIX^e siècle, qu'une fluctuation, ou une perturbation en dessous de la meilleure mesure possible, dans les systèmes non linéaires (et on a non-linéarité dès qu'il y a interaction entre plusieurs éléments), change totalement la dynamique dans le temps. Il propose la notion de bifurcation (et de trajectoire "homocline", entre le stable et l'instable) et en 1902 il aborde l'aléatoire dans des pages très belles, ou il décrit le desordre des dynamiques non linéaires avec toutes les caractéristiques qu'après on appellera le chaos. Pour réaliser ce type d'analyse le continu est essentiel — le chaos sur un écran d'ordinateur est autre chose, on y reviendra. A la même époque la physique quantique s'aperçoit tout d'en coup que le spectre de l'énergie de l'électron lié est discret et cette observation pose un grand problème parce que les lois de conservation (énergie, impulsion) sont des transformations de symétrie *continues*. La découverte du spectre discret de l'électron lié (celui de l'électron libre est continu) apparaît comme un premier grand défi, mais l'image du monde qui était en question n'est ni discrète ni continue, ce sont les deux qui se superposent et ça représente le vrai enjeu. Il y a des phénomènes continus, d'autre dans le discret et il y a des phénomènes qui cassent les deux, typiquement les phénomènes d'intrication. Dans ces cas, la physique quantique a à faire avec des observables, séparées dans l'espace et dans le temps, dont les mesures donnent des résultats qui montrent une corrélation pas classique, qui n'est pas compatible avec aucun des deux approches, surtout pas avec le discret (de tous les espaces des observables pertinents).

Il y a donc un regard sur le monde que la physique nous propose qui est complexe mais très différent quand on essaie de le qualifier, de le découper avec ces outils classiques. Évidemment l'approche discret a eu un grand succès surtout depuis l'analyse des fondements des mathématiques réalisé par Hilbert dans son travail sur les fondements de la géométrie (1899), où il axiomatise toutes les géométries de l'époque et pose le problème de la cohérence

de l'Arithmétique (la théorie du discret numérique). Grâce à l'encodage analytique en Arithmétique, il réduit le problème des fondements des mathématiques à une structure éminemment discrète, même pour les théories géométriques, une fois axiomatisées. Plus tard il va même conjecturer que l'Arithmétique est "complète", c'est-à-dire que pour tout énoncé il doit pouvoir démontrer s'il est vrai ou s'il est faux.

En mathématiques surgit donc un nouveau pythagorisme dans le sens où le fondement ultime de la déduction mathématique est reconduit à l'arithmétique qui aurait permis d'encoder et de formaliser la déduction, qui pour Hilbert est une succession de suites de signes transformée en une autre succession de suites par des règles. Du point de vue des fondements, tout s'inscrit donc dans le discret.

C'est en répondant à ces questions que naît la notion de calculable. Entre 1931 et 1936 Gödel, Church et Turing démontrent l'incomplétude de l'arithmétique. Et Gödel démontre l'impossibilité d'en démontrer la cohérence par des méthodes dans le fini/discret et en plus ils arrivent à démontrer qu'elle n'est pas complète. Pour donner cette réponse négative ils inventent la notion de fonction calculable, qui est d'une très grande invariance : dans toutes structures qui ont certaines propriétés du discret de la formalisation hilbertienne, la classe de fonctions définies est au plus la classe des fonctions calculables. Ils inventent ainsi un nouveau et fondamental invariant mathématique. Sur ces prémisses émerge une approche mystique qui tend à absolutiser cet invariant fondamental : le cerveau est une machine à états discrets, une machine de Turing, l'ADN est un programme dans le discret qui détermine l'ontogenèse et la phylogenèse. Certains identifient l'univers tout entier avec une grande machine de Turing (dixit Wolfram). Il faut préciser que Turing, de son côté, est bien conscient que l'univers ou le cerveau ne sont pas des machines à états discrets, mais il veut essayer de *imiter* le deuxième par sa machine à calculer.

Quant à l'univers, en 1950 il donne l'exemple de l'effet d'un électron : il dit que la fluctuation et l'oscillation d'un électron peut causer comme effet dans une échelle supérieure, la nôtre, la mort d'un homme par une avalanche, un an après. Il s'agit d'une reprise d'une intuition que Poincaré avait déjà eu et précède de vingt ans l'effet papillon de Lorentz ; le grand enjeu c'est la question de l'existence d'une mesure, à l'échelle humaine, en dessous de laquelle la fluctuation de l'électron n'est pas mesurable, mais cela va provoquer des conséquences à cette échelle. Bien que pour Turing était claire le rôle de l'accès et de la mesure dans la conceptualisation du discret et du continu, il est utilisé comme référence pour dire que tout est algorithme. Quand on a une

telle approche, dans le discret, on efface la question de l'accès au monde et de la production d'un nombre par la mesure, en disant que les nombres sont déjà là, chacun sur son point du réel bien séparé des autres points, et donc l'opération d'association d'un nombre à un processus réel est facile et naturelle. Au contraire, j'insiste, il faut effectuer la mesure, c'est-à-dire associer un nombre à un processus, ce qui est un enjeu énorme auquel est dédié une littérature immense en physique quantique et relativiste. A ce propos en biologie il y a une pratique formidable mais peu de théorie, puisque la mesure demande la connaissance de l'histoire de l'objet, de son ontogenèse et sa phylogénèse. Mael Montévil a déjà travaillé sur la particularité de la mesure biologique, qui ajoute, au défi propre à la physique de la mesure, le problème de la mesure diachronique : en fait la recherche biologique suppose la connaissance du passé de l'objet scientifique. Un laboratoire qui fait des expériences sur des souris doit connaître parfaitement leur phylogénèse et donc se poser la question d'avoir des mesures sur le passé, question qui ne se pose pas en physique, sauf peut-être en astrophysique (et ils ont des problèmes théoriques immenses). Cette corrélation de la mesure aux formes de l'accès à l'objet scientifique est un enjeu énorme au cœur du rapport que nous proposons entre nous et le monde.

Pour ces raisons, ce que l'on comprend mieux dans le continu c'est la nuance classique, comme la secrète noirceur du lait, qui en principe est une valeur d'interférence. Il s'agit des outils puissants d'intelligibilité mais en même temps on ne peut pas les projeter directement sur le monde dont la nature reste indéfinissable par rapport à la dichotomie du discret et continu. Nous donnons donc des outils d'intelligibilité riches d'une construction de sens qui peuvent donner lieu à des choix métaphysiques très différentes. Dans la présentation de l'objectivité scientifique dans le discret comme réel déjà numérisé, il est bien évident l'effacement du rôle connaissant du sujet. L'absolutisation du discret atteint le maximum dans le champ des big data, où des immenses bases des données sont présentées comme objectives en oubliant qu'elles sont le résultat d'un processus de mesure et qu'il faut donc identifier le parcours constitutif riche de biais, des choix des observables ainsi que de l'histoire qu'il y a derrière la construction et la collecte des données. L'aspect très problématique dans ce cadre est la prétendue possibilité de faire des déductions sur n'importe quel sujet avec une prétendue objectivité qui dérive de la conviction que les nombres sont "déjà dans le monde" et, par conséquent, l'homme ne doit faire rien d'autre que les lire et manipuler par des calculs. Toutefois les nombres ne sont pas déjà dans la nature, ni dans le processus

social, ni aucune part sauf à l'interface entre notre approche cognitive et le "réel", car c'est un choix difficile et fort celui de fixer l'observable qu'on va mesurer, de se donner l'instrument de mesure et le cadre théorique pertinent. La conséquence de cette discrétisation de l'objectivité scientifique est le filtrage implicite de la nature à travers l'approche discret aux données. En biologie cette question est énorme, elle atteint son maximum dans la réduction de l'histoire évolutive à l'interaction des programmes inscrits dans les lettres bien séparées de l'ADN.

L'autre aspect de ces images du monde qu'on obtient en projetant la machine sur le réel c'est leur caractère *instructif*. Quand on dit que les lois de la physique sont des algorithmes, donc des programmes, on dit qu'une pierre tombe parce qu'elle est programmée pour tomber, elle a une sorte de *vertu tombative*, inscrite dans l'ADN de chaque pierre. Certaines scientifiques répondent que les langages fonctionnels, comme le lambda-calcul, sont décrits par des équations et non par des instructions, mais, même dans les langages fonctionnels, quand on écrit l'équation, la preuve de l'égalité est donnée par des règles de réduction, ou un calcul par remplacement de lettres, qui coïncident avec des instructions. Dans tous ces cas, donc, l'ordinateur renvoie à une vision *instructive* du monde, qui fait passer un message riche du sens politique selon lequel le monde marche par des ordres. De cette façon même la manipulation de la nature devient possible : la modification des instructions par exemple à travers la fabrication des OGM, manipulations génétiques est sensée piloter l'organisme grâce aux instructions dans l'ADN, structure discrète : voilà le *gene editing*, *gene driving*, *gain-of-function* de la biologie moléculaire, qui isole ces structures de l'organisme. Et l'organisme finit par devenir un jeu computationnel.

Ce nouveau pythagorisme a des racines dans la Grèce ancienne. Les grecs l'ont dépassé à travers la géométrie d'Euclide, une géométrie qui n'a pas de nombres mais est faite par des gestes, la trace des lignes, des contours, des bords, gérés par les translations et rotations, des symétries sur le plan. Les grecs inventent ainsi un autre monde.

Mais essayons de comprendre qu'est-ce qui se passe réellement dans cet univers computationnel. En effet, d'un côté l'approche computationnel nous a donné des machines extraordinaires, qui ont changé le monde. Cependant, il

ne faut pas confondre ce qu'on a produit comme activité humaine, et les applications qui nous ont permis de vivre ensemble même mieux, avec le fait que ces machines et ces réseaux sont désormais dans les mains des gros oligopoles qui ne font que de la politique et de la finance. En Italie, au début des années '80, sont nées des machines à contrôle numérique comme réponse industriel au mouvement ouvrier des années '70 ; c'étaient des machines d'ingénierie informatique qui ont totalement remplacé les ouvriers aux chaînes de montage et ça a été un grand succès et s'est répandu dans le monde. Un cas similaire est représenté par les systèmes de preuve de correction partiels. Si on ne peut pas démontrer qu'un programme est correct, ni que deux programmes sont équivalents (conséquences du théorème de Gödel), on peut en revanche avoir des méthodes partielles qui permettent d'identifier des bons éléments pour retenir que le programme est très probablement correct (comme le contrôle des dimensions en physique). Ces méthodes ont été appliquées très efficacement dans des systèmes de vol, en améliorant beaucoup les technologies des avions. Il y a au moins trois grandes méthodes de contrôle de correction des programmes, aucun ne peut démontrer que le programme est correct mais chacune aura ses mérites dans la preuve de partiels corrections et, grosso modo, l'application arrive à marcher même sans aucune certitude définitive. Il s'agit d'un travail sérieux et remarquable qui connaît ses limites. Tout à fait à part, il y a l'univers complexe de l'intelligence artificielle, qui marche très bien avec la reconnaissance d'images mais prétend aussi d'arriver à conduire une voiture. Or, nous ne conduisons pas une voiture en reconnaissant toutes les configurations possibles, comme prétend faire la voiture autonome, mais on anticipe tous ce qui bouge en comprenant sa direction, ses "intentions". Il faut donc souligner la différence entre l'apport important qui nous donnent ces machines et leur identification au monde ou à notre action sur le monde.

Un autre domaine de succès remarquable des machines est celui de la *proof assistance*. Dans ce domaine, des collègues ont inventé des méthodes qui permettent d'isoler des lemmes très techniques et de les passer pour les calculs à la machine. Cette assistance à la preuve enrichit énormément le travail mathématique. La preuve mathématique purement formelle, c'est-à-dire la déduction automatique, n'existe pas : il n'y a pas des théorèmes intéressants qui ont été produits de façon entièrement automatique par des machines. Évidemment, même à partir d'une axiomatique assez riche, l'arbre des théorèmes qu'on peut déduire est à branchement fini, mais infini, et, dans ce branchement fini, qui est très large, il y a très peu de branches qui sont effectivement intéressantes. Lorsqu'une machine prend une branche qui n'est pas

intéressante elle y va à l'infini car elle ne peut pas *choisir par le sens* son parcours. En effet, en mathématiques la démonstration des théorèmes est très importante, mais bien plus important c'est de comprendre quel théorème ça vaut la peine de démontrer. Le but c'est le sens d'un théorème, son contexte de sens, l'environnement conceptuel qui pose sur le problème et qui est totalement renouvelé par la preuve elle-même.

Revenons un instant au rapport informatique–physique. En physique en particulier on ne peut pas faire des sciences sans l'informatique, mais cela peut engendrer un déplacement de l'attention vers la physique computationnelle. Dans cette approche toutes les expériences ont lieu entièrement sur écran et ça constitue une limite, car la mesure et l'accès sont des composantes essentielles de l'imprédictibilité chaotique et de la non-linéarité des phénomènes. Quand l'accès est exact, même si on considère la plus chaotique et imprédictible des dynamiques, si on fait repartir le procès, on fait “restart”, la machine montrera exactement la même trajectoire — impossible en nature. Et ça change complètement l'intuition de l'homme sur les processus.

Il faut dire que, dans ce dialogue avec le numérique, la situation a beaucoup changé grâce à la nouvelle intelligence artificielle, qui était marginalisé par l'intelligence artificiel fondé sur la déduction et sur la machine de Turing. L'intelligence artificielle autrefois dominante, celle de la logique déductive, a disparu parce que dans les années '90 une filière alternative a été revitalisé. L'idée d'imiter la logique du cerveau, en réduisant l'activité humaine à une activité logico-déductive qu'on peut faire à la machine computationnelle, est remplacé par la construction d'un modèle des réseaux de neurones dans le continu, avec des fluctuations et des oscillations qui caractérisent un réseau d'interaction. Cette approche par réseaux a été marginalisé aussi à cause des résultats qui étaient bien mineurs du point de vue mathématique, qui ont démontré qu'on ne calculait pas plus que les fonctions calculables, voire moins. Cette conclusion est une banalité, puisque, évidemment, dès qu'on formalise un réseau des neurones dans un système hilbertien, les fonctions définissables sont au plus celles que peut définir la machine de Turing, donc le problème remonte à la formalisation du système. Les réseaux des neurones ne calculent pas des fonctions, ceci n'est pas leur métier, voyons-le.

Dans les années '90 le *deep learning* a introduit dans le modèle plusieurs couches, et par conséquent sont nées des méthodes pas banales du point de vue mathématique de filtrage et convolution dans la constitution d'invariants des images. Par des méthodes riches mathématiquement, prises souvent de la physique mathématique, le *deep learning* permet donc de faire des

convolutions non linéaires, des filtrages linéaires, une alternance sur plusieurs couches qui arrive à produire ce qui est stable, les invariants d'une image. Par exemple, face à millions des photos des chats différents, la machine sélectionne, filtre, et produit des invariants qui permettent de reconnaître un chat. Et ça c'est toute autre chose par rapport au calcul de fonctions, c'est la constitution d'invariants "saillant", de *saillances*. Ce qui est intéressant sont les limites d'une telle approche, même s'il est très efficace, car elles posent la question des résultats négatifs qui sont source de richesse pour une théorie. A cet égard, récemment a été démontré un résultat difficile mais très intéressant. Ces méthodes sont basées sur la recherche d'optima : il s'agit des méthodes physico-mathématiques, qui se donnent des espaces des possibles, dans lesquels la constitution d'invariants s'obtient par la constitution d'une géodésique, d'un parcours optimal, par rapport à certaines observables et paramètres, qui produit ces invariants fondamentaux de l'image. Or, il vient d'être démontré que, si on traite ces systèmes dans un cadre uniforme, comme la théorie des ensembles de Zermelo-Fraenkel, l'existence de cette optimum exprimé par la géodésique est indépendante de la théorie (plus exactement, équivalente à l'Hypothèse du Continu). Par conséquent on ne peut pas se donner une fois pour toutes un cadre mathématique qui permet à la machine de fonctionner dans tous les contextes. Chaque fois il faut faire une construction ad hoc pour donner les outils mathématiques qui permettront de trouver le parcours optimal. Il faut que l'homme choisisse le cadre théorique, adapté au problème spécifique, pour le donner, une fois formalisé, à la machine, pour qu'elle qui puisse construire les invariants. Donc, nous disent ces résultats limitatifs, même dans le cadre de la reconnaissance d'images, dès qu'on change le contexte il faut construire un système ad hoc, car il n'y a pas des méthodes uniformes et effectives dans un cadre mathématique générale qui permettent toujours de trouver ces invariants grâce à des méthodes d'optimum préfixées. Ces résultats sont rendus possible parce qu'il y a derrière un travail mathématique sérieux, qui sait montrer ses limites et reconnaît qu'il n'y a aucune autonomie possible d'une machine qui agisse dans la reconnaissance d'images ou des sons, en dehors d'un cadre bien spécifié chaque fois. Donc ce cadre de travail n'a rien à voir avec nos formes de reconnaissance d'images, puisque c'est la constitution de saillances et invariants des images qui doit être guidée soit par l'homme qui sélectionne des patterns soit par des graduels reconstruction des invariants par la machine elle-même, chaque fois avec une forte composante ad hoc dans le cadre mathématique construit par l'homme.

Observons aussi que l'approche qui était née comme une modélisation du cerveau, les réseaux de neurones, n'a plus rien à voir avec le cerveau. Tout d'abord parce que la tridimensionnalité du cerveau n'est pas faite par des couches qui se succèdent dans filtrage et convolution, il s'agit d'une tridimensionnalité intrinsèque et spécifique. Ensuite, les structures cérébrales qui reconnaissent l'image ou le son, voire les odeurs, sont organisées de façon très différente. Les réseaux de neurones formels sont "génériques", un seul type de structure multi-couche sert à tout faire, modulo les différences d'implantation mathématique dont on parlait. Les parties du cerveau ne sont pas génériques, mais le cerveau est plastique : il utilise des structures très différentes, qui peuvent changer leur fonction dans de cas particuliers, en fait se restructurer. Par exemple, un aveugle peut utiliser les parties de la vision pour améliorer l'audition. Le cerveau se transforme, voilà sa plasticité, il utilise la structure pour faire une autre chose par rapport à l'interface qui change avec le monde. Du point de vue scientifique il y a un abîme entre la plasticité du cerveau et les méthodes "génériques" d'apprentissage et reconnaissance d'invariants automatiques.

Je voudrais conclure avec une référence à l'actualité et à la pandémie qui nous accable. Dans un organisme qui s'appelle *European network of scientists for social and environmental responsibility*, j'ai l'occasion de discuter beaucoup avec des collègues qui dénoncent un phénomène gravissime, qui sont les zoonoses qui naissent surtout à l'interface avec la déforestation et qui provoquent une évolution remarquable d'épidémies de maladies infectieuses. Je fais référence à un étude de 2015 (Morand, Figuié), qui retrace la plupart de ces zoonoses en Amérique Latine, Afrique, Indonésie, c'est-à-dire des régions du monde où des phénomènes massifs de déforestation ont mis en contact des animaux d'élevage avec des animaux sauvage, ont cassé des clusters, des niches écosystémiques où il y avait des particularité virales ou bactériennes qui ont provoqué des sauts d'espèce avec une fréquence qui a augmenté de façon époustouflante. Et on ne doit pas mettre ces données en relation avec une amélioration de la mesure, puisque les puissances impériales de la fin du 19ème siècle, après Pasteur, ont toujours mesuré les épidémies avec très grande attention surtout dans les colonies. Depuis 150 ans il y a une attention énorme aux épidémies au niveau globale, et les mesures sont faites encore mieux depuis la deuxième guerre mondiale : l'alerte pour cette situation était donné depuis 1993. Cette crise écosystémique est à associer à une vision que nous avons hérité de la

révolution scientifique avec Descartes, Francis Bacon..., ce dernier étant le vrai pionnier de l'idée selon laquelle on doit considérer la nature comme une machine, qu'on doit utiliser les animaux et les plantes comme des machines à notre service avec des réservoirs infinies d'énergie et de matière qu'on peut transformer comme on veut. On retrouve exactement la même approche mécaniste dans l'idée contemporaine d'un eugénisme radicale, qui prétend de piloter l'homme et la nature avec des techniques : une vision machinale qui fait référence au dogme centrale de la biologie moléculaire. On va piloter la nature par l'ADN comme si c'était un ordinateur à reprogrammer pour nos fins supérieures.

Il y a toutefois une autre possibilité, car il n'est pas clair si la pandémie d'aujourd'hui est une zoonose ou plutôt dérive d'une fuite de laboratoire. De ce point de vue on fait référence aux expériences moléculaires de gains of functions, des modifications désormais faciles à faire de l'ADN des virus et des bactéries, sans en connaître les conséquences. En 2014 l'administration Obama a interdit les financements de ces expériences parce qu'il y avait eu plusieurs fuites de laboratoire : plus précisément, son gouvernement a imposé un moratoire au financement d'une vingtaine d'expériences d'utilisation des techniques de "gene editing" et "gain of function". Trump en 2017 a suspendu cette moratoire et les laboratoires ont repris à faire ces expériences. Or, les observations originaires sur comment les virus interviennent dans la cellule, qui ont inspiré ces techniques, sont très intéressantes, mais introduire des techniques pour modifier l'ADN est tout autre chose, parce qu'on ne sait rien des conséquences dans une cellule, dans un organisme, dans un écosystème. C'est totalement faux que quand on fait gene editing on maîtrise l'intervention qu'on fait sur l'ADN. Il y a toujours des effets collatéraux, il y a toujours des modifications qui sont faites ailleurs, parce que l'ADN est une grosse structure qui oscille et qui se modifie dans ses ouvertures, interagît dynamiquement avec et selon le contexte, et, pire encore, on ne connaît pas les conséquences quand ces changements sont situés dans un organisme ou dans un écosystème. Donc, si l'origine de ce virus est une zoonose, c'est dû à un rapport machinal avec la nature depuis Bacon jusqu'aux biotechnologie qui nous accable aujourd'hui. Si, en revanche, il s'agit d'une fuite du laboratoire l'interprétation ne change pas, car dans les deux cas, à l'origine de ces problèmes que nous vivons, il y a cette vision alpha-numérique implicite au monde dans l'ADN comme structure discrète pilote, programme, information discrète, exacte de l'ontogenèse et de la phylogenèse, comme dans nos machines les plus récentes, les ordinateurs.

Comment réagit la nature face à la manipulation génétique ? parmi les effets qu'on connaît très bien, par exemple les OGM dans le nord du Mexique, il y a eu une grande réduction des variétés du maïs ; elles deviennent alors très fragiles face aux fluctuations climatiques. En Europe, où l'Espagne, le Portugal et la Roumanie sont les seuls pays autorisés à avoir 20% des OGM, on est en train de voir un processus incroyable. En Europe il y avait déjà du maïs avant la découverte de l'Amérique, mais il n'était pas comestible : quand est arrivé le maïs des Amériques, le vieux maïs a pratiquement disparu. Dans les cultures OGM, en Espagne, le vieux maïs a réapparu et on ne sait pas comment.

On évoque souvent comme grand succès de ces techniques de génie génétique, la production de l'insuline. En effet, on prend des bactéries, on les met dans un réacteur biochimique bien fermé et on produit l'insuline, inerte, et ça c'est un grand succès ; maintenant quand on place les OGM dans la nature, on utilise la nature même comme réacteur expérimental biochimique et ça génère des désastres. Par exemple, les dégâts faits sur le microbiote par les OGM produisant une toxine qui va s'attaquer à presque tous ce qui fait partie de l'humus, sont énormes. Comme avec les OGM résistant au roundup, un poison généraliste (il tue tout sauf l'OGM qui lui résiste), l'humus se transforme très rapidement en sable. Pendant quelques années, ça peut être compensé en mettant des fertilisants, par exemple ceux produits par Bayer. Ce qui crée aussi des alliances économiques. Le fait de penser une gouvernance de la nature grâce à ces outils se base sur une perte totale de sens, une perte de sens de l'histoire, de l'humain, du vivant. Encore une fois, cette vision machinale de la nature, qui fait référence aujourd'hui à la machine à états discrets, n'a rien à voir avec une analyse des informations, des données qu'on puisse faire, en sachant quelles données on choisit, comment on les manipule du point de vue mathématique et pratique : on propose une objectivité de la mesure et de l'action programmable de l'homme sur la nature qui cache la richesse du processus de connaissance scientifique, ainsi que la complexité de l'action de l'homme sur la nature.

En revenant à Pythagore et ce qui l'a suivi, si on pense à un enseignement minimal de la géométrie on voit que la grande invention d'Euclide (à ajouter à la méthode axiomatique) c'est l'invention de la ligne sans épaisseur, celle qui est explicitée dans la définition bêta. La géométrie euclidienne invente par cela la notion de bord qui est une notion mathématiquement très difficile et qui est "première" car le point est l'intersection de deux lignes ou l'extrême

d'un segment (définition gamma). Cette notion peut être expliquée par un geste accompagné du langage. L'enseignante peut montrer une ligne continue par le geste, le trait, le mouvement continu de sa main et en même temps il doit dire avec le langage qu'il faut imaginer une trace physique, dessinée, mais sans épaisseur. Il y a un mélange d'une intelligibilité du geste humain qui doit passer par le corps qui donne la continuité du mouvement, et par le langage, qui précise : seulement dans le langage on peut dire que le ligne n'a pas d'épaisseur. C'est un enseignement qui passe par un mélange d'un geste corporelle qui est compris en tant que tel qui implique un mouvement et puis l'usage du langage. Dans la transmission des connaissances il y a donc un rôle essentiel du mouvement du corps dans l'espace. Poincaré le dit très bien : évaluer la distance d'un objet c'est imaginer le geste le mouvement pour le saisir. A ce propos il y a un travail très intéressant de Marie-Claude Bossière sur ces bébés qui mangent, vivent... face à un écran : les données ont montré, surtout aux États-Unis, que vers trois ou quatre ans ils manifestent des problèmes à apprécier la profondeur de l'espace. Ces enfants ne comprennent pas la profondeur dans le sens de Poincaré. Poincaré dit aussi qu'un être immobile pourrait considérer le mouvement des objets autour de lui comme des changements d'états : c'est le mouvement propre qui fait juger du mouvement des autres. Et en fait sur un écran il y a des changements d'états de pixels qui font voir une imitation du mouvement à l'enfant immobile : c'est un rapport au monde qui change radicalement. Par les excès du numérique on risque de donner une image du monde qui écrase notre animalité fondamentale, celle du mouvement, du geste.