

Ces molécules et ces intelligences qui ne meurent pas : comment sortir de ces langages sans sens ni vie

Giuseppe Longo

Article repris à partir de la transcription de l'exposé donné au colloque

"Plus d'une discipline : actualité de La vie la mort", Paris, 8 et 9 octobre 2021, à paraître chez Hermann (De Michele et al. Cur.), 2023.

Mauvais commentateur, je me considère avant tout scientifique, mathématicien. L'activité typique du philosophe est la lecture originale de textes, anciens si possible, et de déployer une pensée qui part de l'histoire. J'avoue avoir lu très tardivement aussi bien les textes fondateurs de ma discipline, en général ignorés, dans leurs versions originales, par les mathématiciens du domaine, contrairement aux philosophes qui y réfléchissent. A partir de ce constat, j'essayerai d'introduire au cours de ce développement quelques éléments de réflexion croisée entre ces deux univers. Je m'attacherai à une très belle remarque de Derrida que j'ai relevée dans le séminaire *La vie la mort* : « Les interprétations ne sont pas des herméneutiques de lecture mais des interventions politiques dans la réécriture politique du texte¹. » Je vais m'y exercer ici : interpréter, non seulement pour marquer ma lecture d'un pli politique, mais aussi, incontestablement épistémologique. En suivant l'exemple de Derrida sans prétendre expliquer le fond de sa pensée, je découperai de façon arbitraire des phrases de son texte qui me conviennent et qui entrent en résonance avec ma perspective, et cela, de façon politique, comme il le dit. Ces éléments que je découpe sont pour moi des enjeux de réflexion très importants.

Dire que l'héritité biologique relève d'une communication d'information est, en un certain sens, un retour à l'aristotélisme : on admet qu'il y a un logos inscrit dans le vivant. Or, la vie fut depuis toujours sans écriture, bien avant l'écriture et sans rapport avec l'écriture : des suites de molécules ne sont pas une « écriture ». Cette remarque est pour moi fondamentale pour me positionner contre un tournant linguistique qui trouve son origine en mathématiques chez Hilbert. Pour ce grand mathématicien du début du XXe siècle qui partage une philosophie positiviste, et presque scientifique, les mathématiques elles-mêmes ne seraient qu'une écriture alphabétique. Et ce tournant aura marqué deux disciplines qui auront joué un rôle fondamental : d'une part, l'informatique avec ses machines numériques (arithmétiques), celles-ci n'étant que des systèmes d'écriture et de *réécriture* (le programme contenant des instructions sur la façon de réécrire des suites de signes, voire des suites alphabétiques codées par des 0 et 1) ; d'autre part, la biologie moléculaire contemporaine, en particulier lorsque François Jacob la conceptualise à travers la même approche en venant à affirmer

¹ J. Derrida, *La vie la mort 1975-1976*. Paris, Seuil, 2019, p. 256.

que l'ADN est écrit avec un alphabet et non pas avec des idiogrammes (« quelle chance », dit-il), comme nous y reviendrons. Nous avons réinventé, en particulier en biologie moléculaire, l'homunculus aristotélicien, mais, bien entendu, comme nous sommes modernes, nous savons/croyons qu'il est *codé* comme tout programme dans une machine.

Le problème qui se pose tout d'abord dans ce passage de la vie à l'écriture, à l'alphabet, est de savoir quel est le sens de cette transformation. Pourquoi la trace physico-chimique de l'histoire de l'évolution incorporée dans chaque cellule se trouverait-elle transformée en suite alphabétique ? Or, Derrida se pose le problème de l'information transmise et élaborée avec et par des signes, saisissant très bien qu'en génétique, l'écriture non phonétique aurait dû impliquer une déconstruction de la machine logocentrique plutôt que d'entraîner un retour à Aristote.

Si je souscris à sa lecture, je me demande également ce qui a pu se passer. Il y a une hégémonie *de facto* du modèle de l'information qui a trouvé une réalisation concrète avec l'informatique et l'intelligence artificielle, et elle aura profondément affecté l'économie et la biologie. La bourse, en particulier. Hayek, au début des années quarante, le dit explicitement : « ce qui compte dans l'échange marchand et, en particulier, ce qui est au cœur de l'échange en bourse, c'est l'information. » Une information, en bourse, se trouve détachée de tout « sens » économique (valeur-travail, valeur d'échange...) : c'est un « concours de beauté », disait Keynes, basé sur les évaluations des attentes des attentes, des dérivées de dérivées dont les gains sont majoritairement produits par la gestion informatique des oscillations rapides des prix, indépendamment de toute *tendance*. L'information acquiert alors ce rôle souverain qui se transfère à tous les champs et conduit, au lieu de déconstruire, à la construction de modèles logocentriques au point que n'importe quel « gradient de flux » est traduit aujourd'hui en un flux d'information. Expliquons-nous. Nous, humains, transmettons « de l'information » par des gradients (des *variations*) de flux d'énergie ou de matière : de la fumée comme les indiens, des modulations de fréquence, des signaux électriques, de la lumière. Ces « signaux » sont tous des variations de flux, des changements de 0 en 1 ou vice-versa (une transition critique d'un flux électronique). Et voici le point crucial : peu importe la nature matérielle du flux (fumée, électricité, lumière, etc), l'information, elle, *n'en dépend pas*. Or, il est aberrant de dire que, si dans un échange entre cellules, entre matière en général, ce qui compte est le gradient ou la variation du flux plutôt que le flux de matière en tant que tel, ce qui ferait qu'on aurait de la sorte *de l'information...* Mais non ! Quel anthropocentrisme que de projeter cette lecture propre à notre usage des flux et de leurs gradients sur ce qui a lieu dans la nature : non, il y a un gradient et celui-ci concerne une matière/énergie bien précise dont il dépend strictement en général. Les conséquences de cette approche sont désastreuses, non seulement dans le domaine de la biologie, mais aussi en ce

qu'elle s'est transférée par une multitude de voies au monde entier. Et je crois que Derrida saisit bien ce problème, notamment dans le champ de la biologie.

En effet, ce qui est a priori formidable, c'est qu'on puisse penser la transmission de la même information avec des signaux lumineux, des modulations de fréquence, ou des signaux de fumée. Bref, indépendamment de la structure matérielle du flux. Pour autant, chaque fois qu'il y a un échange intercellulaire entre organismes ou un échange biologique d'un flux de matière, la structure matérielle du flux reste essentielle. Si des molécules similaires peuvent avoir des effets voisins (c'est souvent le cas des perturbateurs endocriniens), il faut y lire une non-spécificité de l'interaction macromoléculaire plutôt qu'une indépendance de la structure matérielle en tant que telle. Confondre non-spécificité avec indépendance de la matière est catastrophique et tout à fait commun dans la biologie moléculaire *mainstream* – et les biologistes hétérodoxes ont été décimés. Cela est à l'origine d'un détournement gravissime : ce qui compte devrait être l'attention à la matière, la compréhension de la généricité ou de la non-spécificité, parfois statistique, c'est-à-dire, le fait que certains flux moléculaires, comme certaines cascades hormonales par exemple, agissent en probabilité sur des récepteurs moléculaires, sur une cellule, selon le contexte. Il s'agit de différences en probabilité, et j'insiste là-dessus. Quand on change de flux et de cellule, de contexte tissulaire ou organismique, il y aura des probabilités d'interactions différentes, mais cette généricité probabiliste n'a rien à voir avec l'indépendance de la structure. Toute une discipline est détournée quand on commet cette confusion².

Derrida le comprend très bien en usant d'un langage fort différent du mien. Cet alphabet qui serait là dans le vivant, comme je le mentionnais plus haut avec Jacob qui, en 1965, dit la « chance que l'ADN soit écrit comme un alphabet et non avec des idiogrammes comme en chinois ». J'ai raconté cette anecdote en Chine avant de me sauver par un compromis : je leur ai dit que leur ADN était, quant à lui, écrit en idiogramme (les Chinois pouvant être très nationalistes, il faut faire attention).

Mais qu'est-ce qui est le plus catastrophique dans cette importation de la notion d'information sous la forme d'une écriture alphabétique en biologie ? C'est que ces théories entraînent une structure de détermination *implicite*, la pire faute que l'on puisse commettre en science. Or, « qui détermine quoi ? »

Revenons aux deux grandes théories de l'information : l'une peut être rapporté à Turing dans les années trente et à l'élaboration de l'information en tant que théorie de la calculabilité qui entraînera le développement des machines à calculer, les ordinateurs ; l'autre concerne la transmission de l'information, et arrive dix ans plus tard avec Shannon. Si ces deux théories sont très différentes et comportent différentes propriétés, elles sont pour autant toutes les deux laplaciennes, dirait un

² On typiquement vit dans le déni de nombreux perturbateurs endocriniens et de leur rôle dans l'étiologie du cancer par exemple, car, pour la plupart, ils ne seraient pas stéréospécifiques (pour l'interaction hormones/récepteurs cellulaires) – les travaux de ma collègue Ana Soto sont très importants à cet égard.

physicien. Autrement dit, dans chacune d'elle, la détermination implique la prédictibilité. Dans la première, on doit pouvoir prédire ce que fait la machine et cela fonctionne : on prédit, et le programme suit, il fait ce qu'il a à faire. S'il ne le fait pas, il n'est pas « correct ». Et s'il le fait, il le fait toujours de la même façon. La situation se complique, bien évidemment, avec les réseaux - internet, par exemple -, mais on arrive à la gérer, ils font ce pour quoi ils sont programmés, s'exécutant de façon normalement « correcte ». De même, dans la seconde théorie, celle de la transmission de l'information, on doit savoir ce qui se passe, ce qui détermine quoi. On doit donc savoir prédire quelle transmission est faite. Évidemment, les probabilités entrent en jeu, puisque l'analyse des fréquences d'un signe est ce qui donne l'importance informationnelle de ce signe, mais la transmission n'est pas stochastique ! Il ne s'agit pas d'une probabilité dans la transmission. Cette détermination qui implique la prédictibilité selon la logique laplacienne est reconnue explicitement par les pères fondateurs : Turing, Schrödinger (voir son texte « What is life? »). Évidemment dans un réseau d'ordinateurs, il y a de l'aléatoire, et là, les choses se compliquent. Mes collègues sont très doués et arrivent à l'éliminer. On ne s'aperçoit pas *de facto* du bruit des réseaux. On refuse même d'accepter que ces réseaux, qui doivent être déterministes et prédictibles selon une logique laplacienne, ne le soient pas de temps en temps (chose rare, grâce à beaucoup de travail scientifique) en raison de l'espace-temps, des fluctuations, des queues qui varient stochastiquement dans chaque nœud. Ce principe de la stabilité des machines en chaque nœud entretient alors la pensée d'une structure déterministe et prédictible globale, même dans des réseaux qui couvrent la surface de la Terre.

Alors, qu'y a-t-il derrière cette vision alphabétique à laquelle Derrida, si je comprends bien, s'en prend ? C'est, qu'au lieu de déconstruire, celle-ci impose une structure de la détermination laplacienne. Or, ces lectures sont en réalité des théories de la mort : la mort de la pensée, du geste, du sens. Et tout démarre avec la vision formaliste des mathématiques au début du XXe siècle venue de Hilbert. En 1900, on pose que l'arithmétique, les théories formelles, voire l'axiomatique mathématique, permettent la déduction des théorèmes de façon potentiellement mécanisable, comme le répètera Hilbert plusieurs fois. Celui-ci exclut ce qui compte en mathématique : l'invention du concept, de structures nouvelles, le geste qui fait saisir la ligne continue. On sait tous ce qu'est le continu mathématique puisqu'on a tous vu le geste de notre premier maître d'école qui trace une ligne continue sur le tableau noir en nous faisant saisir ce qu'est une trajectoire. C'est ce même geste inventif qui constitue les mathématiques, lorsqu'en Grèce on ose affirmer que cette ligne tracée sur le sable, sur le tableau, est en fait « sans épaisseur ». Cette ligne est un bord, le bord de toutes les figures de la géométrie grecque. Or, lorsqu'on l'explique dans le langage, on tue ce geste fait avec le corps. L'origine du formalisme va contre la vie même des mathématiques.

En un siècle, on a prétendu trouver la certitude de la déduction dans sa potentielle mécanicibilité, c'est-à-dire dans la mort. La réduction à des signes, à une écriture alphabétique-axiomatique sans sens, ni gestes, s'est transférée tel quel en intelligence artificielle. Avec la machine à

0-1, du moins la première, l'intelligence artificielle classique et ses pures manipulations de signes, on a affaire à une machine morte. Celle-ci porte le fantasme de reproduire le corps vivant et le cerveau qui ne fonctionne, quant à lui, que dans son milieu favori : le crâne d'un homme ou d'un animal vivant dans un écosystème avec toute une histoire. Le même modèle formaliste est ensuite passé en biologie moléculaire : cette structure morte, inerte, qu'est la molécule, aurait du tout régler, tout programmer, tout contrôler chez le vivant.

Un autre aspect de cette mort qui aura pénétré les sciences vient du rôle du contrôle. Celui-ci passe par deux biais. D'abord, celui de la règle formelle, potentiellement mécanisable déjà évoquée où la vie, l'intelligence artificielle, et la biologie moléculaire du programme se contrôlent par la règle déductive. C'est le programme génétique et la théorie aujourd'hui encore dominante. J'y reviendrai en faisant référence au livre de la récente prix Nobel de biologie en 2020, Jennifer Doudna. Il y a un second aspect du contrôle, celui du parcours optimal, dont, je crois, Derrida n'a pas conscience. C'est l'affaire d'une autre déconstruction, celle d'une logique qui vient de la physique, le principe géodésique. Pour n'importe quelle théorie physique, l'analyse se fait en termes hamiltoniens et lagrangiens desquels on dérive un parcours unique qui se décline des dynamiques classiques/relativistes aux dynamiques quantiques. Évidemment, il s'agit de cadres équationnels et conceptuels très différents, mais ce principe d'optimalité colle parfaitement pour penser l'inerte : des dés qui roulent, une pierre qui tombe, une rivière s'écoule en suivant à chaque fois une géodésique selon un parcours optimal. Nietzsche le dit très bien : « l'inerte ne se trompe jamais et le vivant presque toujours. ». Au niveau quantique, c'est plus délicat, mais la logique hamiltonienne s'applique aussi, malgré des espaces très abstraits (ceux de l'équation de Schrödinger). Tous parcourent une géodésique, même si l'on est incapable de voir toutes les forces en jeu, de connaître toutes les frictions, qu'on ne peut avoir que des mesures avoisinantes, bref qu'on ne peut prédire, ce qui est notre problème.

Cette approche est pour moi équivalente à la mort, et Derrida dit bien que « le corps vivant de la langue est lui aussi sacrifié à ses études anatomiques. »³ À quoi se réfère-t-il ? Aux grammairiens, à la grammaire chomskyenne, un autre transfert du mythe hilbertien : les mathématiques sont des règles potentiellement mécanisables, une grammaire déductive, tout comme la langue est dérivable par des grammaires universelles qui n'ont pas besoin du sens. C'est une étude anatomique de la langue morte, de la langue écrite. Et quelle langue écrite ? Je me souviens que Culioli, un illustre linguiste de l'ENS, retraité depuis longtemps, avec lequel j'ai eu de nombreux échanges. Celui-ci me disait : « la règle chomskyenne universelle de l'article est la suivante : l'article peut être à gauche du mot, à droite du mot, sur le mot, en dessous du mot et peut ne pas y être du tout. » D'après moi, cette analyse est la mort d'une langue qui en réalité relève de l'espace, du sens, et s'inscrit dans une histoire. Chez Derrida, la langue se révolte : « le vivant et la structure productive et reproductive du vivant est

³ J. Derrida, *La vie la mort 1975-1976*. Paris, Seuil, 2019, p. 45.

maintenant analysée comme texte, sa constitution est celle d'un texte. La science et la connaissance n'est plus la production d'un texte sujet d'un objet, qui en lui-même n'y serait plus, comme référence à cette connaissance méta-textuelle, mais lui-même textuel dans sa structure. »⁴

Ces règles grammairiennes, qui engendreraient la langue, ont été transférées aussi à l'embryogenèse sous la forme du « programme génétique ». On ne parle que de ça. Jennyfer Doudna reçoit le prix Nobel en biologie avec Emmanuelle Charpentier en 2020. On peut faire l'*editing* du livre de la vie, ce n'est que du logiciel, et on pourra bientôt programmer l'évolution, écrit-elle en 2017. Là, encore, reprise du vieux projet des mathématiques formelles, sans vie, sans invention de structure : celui de pouvoir programmer toute preuve mathématique. On retrouve ces deux approches hégémoniques en l'intelligence artificielle et en biologie. Encore une fois, les formes aujourd'hui ont peu changé, et je parlerais de biologie moléculaire en référence au livre de Doudna. On y néglige totalement le rôle du contexte et de l'interaction corporelle, matérielle, dans la spécificité matérielle du vivant qui agit dans un écosystème riche d'histoire. Même en mathématique, l'invention historique d'un concept ou d'une structure est omniprésente ; il n'y a aucun théorème d'importance qui ne demande l'invention d'une structure, d'un concept nouveau, même d'un énoncé déjà donné comme le dernier théorème de Fermat. Wiles a dû inventer un parcours et des structures mathématiques tout à fait originales pour arriver à prouver un énoncé qui était déjà là. Ce sont des gestes constitutifs de toutes déduction, riches de sens, géométriques, structurels. En les oubliant, on tombe dans ce formalisme mortifère, ces suites de signes sans sens.

Passons à l'interprétation politique en nous intéressant au livre de Monod, *Le hasard et la nécessité*⁵. C'est un livre politique bien plus que celui de Jacob. S'en prenant à Hegel et Marx, il y est deux fois affirmé que le vivant n'est pas dialectique. Et il insiste : la cellule est un mécanisme cartésien, un engrenage exact de macromolécules stéréospécifiques. Voici l'autre catastrophe théorique qui dérive de cette vision grammaticale de la règle biologique : au cours des années soixante et soixante-dix, on a inventé une propriété des interactions macromoléculaires contre la physique statistique qui les traitait du point de vue stochastique. C'est-à-dire qu'on a affirmé que pour la transmission et l'élaboration de l'information – c'est dans le texte de ces grands biologistes, Monod, Jacob –, il « est nécessaire » que les interactions macromoléculaires soient exactes, comme des engrenages, comme une algèbre booléenne, comme nos ordinateurs. Et de là, dérive toute une vision de ce pilotage possible par l'ADN de l'organisme. Les OGM sont les enfants directs de cette vision du vivant, du dogme central affirmant que l'information complète de l'ADN pilote l'embryogenèse⁶.

⁴ Ibidem, p. 110

⁵ Monod J., *Le Hasard et la Nécessité*, Éd. du Seuil, 1971

⁶ Longo G. (2021a). Programming Evolution: a Crack in Science. A Review of the book by Nobel winner, Jennifer A. Doudna, and Samuel H. Sternberg "A Crack in Creation: Gene Editing and the Unthinkable Power to Control Evolution" 2017, in *Organisms. J. Bio Sci.*, Vol. 5, No. 1. (En français : <https://www.di.ens.fr/users/longo/files/%20Longo-compte-rendu-Doudna.pdf>)

Pour reprendre mon compte rendu de neuf pages du livre de Doudna, je souligne comment ces scientifiques se permettent de dire qu'ils font de l'*editing*. De l'*editing* d'un texte, ce livre de la vie fait de fragments, des mots et de phrases qui se chevauchent, ce qu'on nomme « overlapping genes » (gènes chevauchants) : de prétendus « gènes », voire des segments d'ADN, produisent des protéines par superposition (chevauchement) au-delà de toute limite, d'un fragment du dit segment conjointement à d'autres segments de l'ADN. Drôle de texte où des parties se lisent à travers différentes superpositions, sans limites entre les mots, ni entre les phrases : on découpe de toutes les manières possibles. Il y a aussi des fragments de ce texte qui se transposent dynamiquement, se déplacent d'un endroit à l'autre (les « transposons »). C'est un texte fort difficile à lire, encore plus à éditer. Et ceux qui firent ses remarques, voire qui inventèrent l'épigénétique – comme Barbara McClintock – ont été marginalisés durant vingt ans. Piattelli-Palmarini, biologiste aux USA, faisant son post-doc dans les années '70, écrit qu'on lui interdisait de citer McClintock et d'aller voir Waddington en Angleterre.

Quant au problème du finalisme, Derrida touche là un point crucial : l'être vivant organisé est la manifestation temporairement perpétuée d'une idée directrice de son évolution. C'est un enjeu difficile, mais cette terminologie finaliste qui est immanente dans la définition du programme doit être remplacée de façon radicale par le rôle de la « contrainte » exercée sur le futur par le passé. Ce sont les contraintes construites dans une histoire évolutive qui canalisent la production de la nouveauté. Il faut changer totalement de regard comme je le proposais ailleurs : « le vivant est l'itération jamais identique d'un processus morphogénétique. » Je dirais plutôt aujourd'hui : « le vivant est l'itération jamais identique d'un processus *hétéro*-génétique sous contraintes », les contraintes données dans l'histoire, et en particulier l'ADN. L'ADN est une contrainte interne à la cellule. C'est ce qu'il y a d'époustouflant. Il n'y a pas que les contraintes externes, par exemple, venues au cours de l'embryogénèse, mais le processus est soumis à une énorme, immense, fondamentale contrainte interne.

Derrida cite Nietzsche : « à quoi a-t-il été aveugle, Darwin ? »⁷ Justement à cette transgression par la vie de sa propre loi, à cette étrange logique de la volonté de puissance qui sélectionne au profit des plus *faibles*, à cette transgression de la loi par elle-même, cette transgression de la loi étant la loi et faisant loi. C'est absolument central. Que Darwin ait eu un point de vue erroné, n'est pas correct. On peut le lire en y trouvant aussi cette sensibilité à la normativité du vivant, c'est-à-dire, au fait qu'il établit sa propre norme. Cette normativité est un point central sur lequel certains d'entre nous insistent depuis longtemps : la co-constitution par la trajectoire phylogénétique de son propre espace des possibles. Ce point crucial nous démarque non seulement d'une vision grammaticale morte, inerte du vivant, mais aussi de ce qui domine en physique : le fait qu'on puisse se donner a priori dans toutes les approches théoriques de la physique l'espace des possibles. René Thom, dans son immense lucidité et

⁷ J. Derrida, *La vie la mort 1975-1976*. Paris, Seuil, 2019, p. 01.

sa vision physicaliste du vivant, le dit très clairement : la théorie darwinienne n'est pas scientifique puisqu'on ne peut pas se donner l'espace des possibles a priori⁸. Il est parfaitement conscient que l'enjeu de la physique théorique et mathématique – le défi du théoricien en physique – c'était tout d'abord de se donner un espace des phases, un bon espace des possibles à l'intérieur duquel écrire les équations. Les espaces seront différents d'une théorie à l'autre, leurs différences étant l'un des problèmes de l'unification des différentes théories. Il y a un cadre unifiant qui passe par les grands principes de conservation qui sont des principes de symétrie, mais cette diversité théorique a comme unité de méthode le fait qu'on se donne *a priori* l'espace des possibles. Et Thom se rend compte très lucidement et avec courage que cela n'est pas vrai dans la théorie de l'évolution, et il en conclue qu'elle n'est pas scientifique. Cette fois, il a tort, évidemment, mais étant un très grand penseur, même quand il a tort il a raison, il met le doigt sur un enjeu crucial.

Quelqu'un comme Vincent Fleury en France, par exemple, travaille beaucoup sur la morphogenèse en suivant Turing et Thom, mais sans la lucidité de ce-dernier. Il propose des étalages de toutes les formes possibles, parmi lesquelles, dit-il, l'ADN va faire un choix. Ses excellentes mathématiques lui offrent de penser la morphogenèse, mais, encore une fois, il ne s'agit que de physique mathématique dans des espaces de formes possibles déjà donnés – Maël Montévil a très bien expliqué les limites de cette approche dans différents articles techniques. Le défi, au contraire, et là, Derrida cite Nietzsche en saisissant le point fondamental, c'est justement cette absence d'un espace a priori des possibles dans le jeu entre forme et *fonction*. Mais comment traiter de cet enjeu ?

La difficulté est importante puisqu'il faut réinventer le rôle de la détermination en y ajoutant la problématique de l'aléatoire. Une structure de la détermination en physique-mathématique, en physique théorique, concerne l'ensemble des conditions de possibilité du processus. Elle inclut le choix de l'espace des phases, des observables et des paramètres pertinents, donc des possibles, et elle inclut aussi le choix des principes de conservation pertinents, l'ajout d'éventuels nouveaux observables, comme, par exemple, l'entropie en thermodynamique ou l'incompréhensibilité en hydrodynamique des fluides. Toutes ces disciplines sont incompatibles entre elles. Il n'y a pas d'unité non plus entre ces deux dernières puisqu'il n'y a pas d'analyse de l'hydrodynamique des fluides incompréhensibles en termes d'équations de Boltzmann (thermodynamique) ni de Schrödinger (physique quantique) – au mieux, il y a des ponts, des passerelles conceptuelles très intéressantes et difficiles. Tant pis pour ceux qui rêvent de « réduction au quantique ».

Mais c'est une idée de *méthode* qui empêche de saisir ce que c'est que cette normativité de la co-constitution de l'espace des possibles en biologie par la trajectoire elle-même. Pour René Thom – qui dans son débat avec Prigogine insiste sur ces a priori des mathématiques en physique –, « la

⁸ Thom R. (1993) *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, Paris.

bifurcation préexiste à la fluctuation »⁹, une fluctuation qui pousse à choisir un côté ou l'autre. Or, en biologie c'est faux : la bifurcation est co-constituée par la fluctuation, un phénomène de ceux que Jacob décrit très bien par la notion de bricolage. Plus tard on appellera cela l'« ex-aptation » (Gould).

Qu'est-ce que l'« ex-aptation » en biologie ? L'exemple de Jacob est tout à fait pertinent. Il dira, au sujet de ce qu'il nomme le « bricolage évolutif » que : « ce qui se passe, dans l'évolution, c'est qu'on se met à faire un poste de radio avec un vieux tabouret »¹⁰. Évidemment, j'ajoute que ce tabouret n'est pas optimal en tant que poste de radio, mais il est très commode : on peut s'asseoir dessus pour l'écouter. Et tout fonctionne de la sorte en biologie. Il y a cette notion, au-delà de l'« ex-aptation » que j'appelle « overloading », la surcharge, ou il s'agit de faire plusieurs choses avec un seul organe. Par exemple, la main est surchargée de fonctions. Elle permet de s'accrocher à une branche, même si les pouces ne s'opposent pas totalement, ce qui ne rend pas le geste optimal, mais pour cette même raison, elle peut aussi aplatir et écraser de la farine, caresser un autre mammifère, ce qui est très commode. Cette non-optimalité est essentielle à la plasticité du vivant en vue de passer historiquement d'un espace des possibles à un autre. Dès qu'un organe ou un organisme atteint l'optimalité dans un espace des possibles, par exemple, dès qu'un poumon a une dimension fractale exacte et uniforme de 2.6, qu'on peut calculer exactement comme un cristal, cet organe ou cet organisme est mort. Le changement de contexte, de la situation atmosphérique fait qu'un poumon parfait équivaut à la mort – la diversité des alvéoles est fonctionnelle suivant la résilience de l'organe et de l'organisme. En effet, la contrainte physique, le flux qui force la structure fractale *canalise* son parcours ontogénétique où les cellules se reproduisent, ce qui engendre une diversité sous contraintes. L'optimalité physique n'existe pas chez le vivant, seulement dans la chose inerte qui est morte.

Aussi, nous pensons et travaillons dans d'autres directions. Je fais souvent référence aux travaux d'Alessandro Sarti sur ce qu'il appelle l'hétérogénéité différentielle. Sa référence principale est Deleuze et donc, Bergson. L'idée sur laquelle nous travaillons (et je m'éloigne du commentaire de Derrida, encore une fois, je ne suis pas un bon commentateur) se base sur le fait qu'il faut saisir que le rôle de l'imprédictible, dans ce cas, diffère de celui propre à l'aléatoire. D'une façon synthétique mais qu'on peut analyser très soigneusement dans les différentes théories physiques, on se donne différentes formes d'aléatoires. Par exemple, les mathématiques proposent des différences entre les aléatoires quantique et classique. Dans tous les cas, toutefois, celles-ci peuvent être comprises comme ce qui est imprédictible par la théorie. D'une façon unifiée, l'aléatoire est ce qui est imprédictible dans la théorie en question, donc cet imprédictible est aléatoire et, encore une fois, cela change d'une théorie à l'autre, mais ce type de regard les unifie¹¹.

⁹ Thom R. 1990. Halte au hasard, silence au bruit. En guise de conclusion et Postface. Dans Amsterdamski S. et al. (eds) *La querelle du déterminisme*, Gallimard, Paris.

¹⁰ Jacob, F. (1970). *La Logique du vivant. Une histoire de l'hérédité* (Gallimard).

¹¹ J'ai beaucoup écrit à ce sujet (voir ma page web : <https://www.di.ens.fr/~longo/>).

Le défi de la biologie, c'est qu'il y a de l'imprédictible qu'on ne peut pas, qu'on ne doit pas classer comme aléatoire. Peut-être qu'il faut relire une idée de Spinoza reprise par Cournot par la suite. Spinoza est l'un des premiers à tenter d'exprimer ce qu'est l'aléatoire. Paccioli, Cardano, Galileo, jusqu'à Pascal et Laplace tous traitent l'aléatoire en termes de probabilité. Pour eux, l'aléatoire est ce qui se mesure par des probabilités, ils ne savent pas en dire plus. Mais c'est une attitude courante en physique : le temps est ce qui est mesuré par l'horloge, d'Aristote à Einstein. Pour Aristote, le temps est le mouvement qui se mesure. L'attitude d'Einstein est exactement la même. Et de ce fait, on arrive à dire que l'irréversibilité du temps, ce sont des horloges dont les probabilités d'aller en sens inverse sont très basses. C'est-à-dire, en conjuguant ces pensées, on arrive à l'irréversibilité temporelle de la thermodynamique : les probabilités d'une inversion de l'entropie sont très basses, mais ne sont pas nulles.

Encore une fois, il y a des identifications légitimes en physique entre l'objet de connaissance et la mesure de cet objet. Mais cela n'aide pas à comprendre ce que c'est que l'aléatoire en tant que tel. Spinoza, comme Cournot, a l'idée selon laquelle ce sont deux trajectoires déterministes et prédictibles en elles-mêmes qui se rencontrent : un homme marche dans la rue, et une pierre lui tombe sur la tête. Chaque objet suit sa propre trajectoire, en principe indépendante de celle de l'autre. Évidemment, ce n'est pas très intéressant d'un point de vue physique. Après Poincaré on dira qu'il n'y a pas de problème : s'ils sont dans un même espace de phases, on a deux systèmes d'équations qu'on met ensemble pour faire un système plus grand. De la sorte, la détermination peut être parfaitement prédictible. Quoique, pas nécessairement. Si elle est non-linéaire, cela pose des problèmes. Toutefois, cette forme de contingence, la rencontre de trajectoires indépendantes, devient très intéressante dans l'hypothèse qu'on puisse avoir des espaces de phases, des possibles, voire des espaces des observables et des paramètres pertinents qui ne sont ni unifiés, ni unifiables, car « non pré-donnés ». Voici le défi en biologie. Et justement, il y a des phénomènes qui ont ces caractéristiques de rencontres de trajectoires phylogénétiques différentes et qui ne doivent pas être classées comme aléatoires, mais qui toutefois relèvent de l'imprédictible. Typiquement, on sait désormais depuis quarante ans que les mitochondries, le chloroplaste, sont d'anciennes bactéries. Autrement dit, que la cellule eucaryote qui a un noyau, les mitochondries chez les animaux et les chloroplastes chez les plantes, sont le résultat d'une symbiose. Il y a donc eu deux parcours différents : des bactéries qui ont des phylogénèses différentes se sont rencontrées – un peu comme Spinoza le décrit – et ont donné quelque chose de tout à fait imprédictible, qui n'était pas là, qui n'était pas impossible, mais qui est rendu possible dans une rencontre. De même, depuis désormais une vingtaine d'années, on dit que le noyau des cellules eucaryotes est un ancien virus. Encore une fois, il s'agit d'un parcours constitutif dû à une rencontre de trajectoires produisant une nouveauté radicale, un type de cellule qui n'existait pas, imprédictible si l'on se place dans un monde où il n'y a que des bactéries.

On ne peut pas dire que c'est de l'ordre de l'aléatoire, puisque cela est rendu possible dans un vaste contexte évolutionniste. C'est-à-dire qu'il y a un moment de l'évolution où cela est rendu possible probablement par une énorme quantité d'épisodes, et non par un seul. Maintes fois, des phénomènes se perdent dans des contextes similaires au cours de l'évolution avec des conséquences différentes. Je crois que nous avons dans ces cas une imprédictibilité qu'il serait erroné d'appeler aléatoire et qui mérite une attention particulière. C'est un enjeu qui déconstruit totalement toute vision d'une détermination grammaticale a priori par la règle, ce contre quoi Derrida s'inscrit très fortement avec beaucoup de lucidité. Et c'est pour moi ce grand défi de l'historicité et de la matérialité du vivant sur lequel, je crois, nous partageons un discours commun.