

Le vivant **Décodé**



Jean-Nicolas Tournier

Quelle nouvelle définition donner à la vie ?



LE VIVANT DÉCODÉ

Quelle nouvelle définition donner à la vie ?

Jean-Nicolas Tournier



17, avenue du Hoggar
Parc d'Activités de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

ISBN : 2-86883-814-6

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les " copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective ", et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, " toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite " (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2005

*À ma mère, in memoriam.
À mon père, à Claire-Lise et mes enfants,
à ma famille.
Ils forment les traits d'union fragiles au sein
desquels ma vie s'insère et s'illumine.*

« La connaissance isolée qui est obtenue par un groupe de spécialistes dans un champ étroit n'a en elle-même aucune valeur d'aucune sorte ; elle n'a de valeur que dans la synthèse qui la réunit à tout le reste de la connaissance et seulement dans la mesure où elle contribue réellement, dans cette synthèse à répondre à la question : "Qui sommes-nous ?" ».

Erwin Schrödinger

SOMMAIRE

Introduction.....	9
Chapitre 1. La vie : une nouvelle définition pour quelle <i>bio-logique</i>	17
<i>Pourquoi une définition de la vie ?</i>	17
<i>La vie : dualité structure cellulaire/ état thermodynamique de la structure</i>	21
Chapitre 2. La notion de système cellulaire.....	25
<i>Les constituants fondamentaux du système</i>	26
<i>Les différents types cellulaires</i>	31
Chapitre 3. Quelques notions de thermodynamique.....	41
<i>Les principes de la thermodynamique classique :</i> <i>la thermostatique</i>	42
<i>les principes de la thermodynamique non linéaire :</i> <i>la notion de système dissipatifs</i>	47
Chapitre 4. Le vivant paradigme des systèmes dissipatifs.....	55
<i>La vie à l'état unicellulaire</i>	58
<i>Quelle vie pour un virus ?</i>	60
<i>La vie sociale : les multicellulaires</i>	63
Chapitre 5. Le temps et sa flèche : un élément fondateur du sens en biologie.....	69
Chapitre 6. Le temps, quatrième dimension du vivant : la théorie de l'évolution ou l'interaction du temps et du vivant.....	79
<i>Les péripéties de la genèse d'une théorie :</i> <i>du transformisme à la théorie synthétique de l'évolution...</i>	81

<i>Quelques aspects modernes de l'évolution : une théorie revisitée ?</i>	93
<i>De la théorie de l'évolution à la pratique</i>	101
Chapitre 7. L'origine de la vie : quelle problématique pour l'émergence ?.....	109
<i>Émergence par heureux hasard ou par nécessité physique « légale » ?</i>	111
<i>Émergence de la vie : un phénomène unique ou une ontogenèse par étapes ?</i>	116
<i>Hasard ou nécessité de l'émergence de la complexité : le modèle de la sexualité ?</i>	124
Chapitre 8. La vie est-elle réductible aux biotechnologies ?.....	137
Chapitre 9. La propriété du vivant : un concept rénové par les biotechnologies.....	149
<i>La bataille de la brevetabilité</i>	149
<i>L'épouvantail des OGM</i>	153
Chapitre 10. Les biotechnologies et l'éthique : une limite de plus en plus imprécise.....	159
<i>Le clonage reproductif humain : l'épopée de Dolly à Ève</i>	159
<i>Le transfert nucléaire à visée thérapeutique : quel futur en médecine humaine ?</i>	181
<i>Les cellules souches humaines d'origine embryonnaire</i>	185
Conclusion.....	197
Glossaire.....	199
Bibliographie.....	203

Introduction

En ce début de XXI^e siècle, quel regard l'homme peut-il porter sur la vie ? La question peut sembler éculée tant les progrès de la biologie moderne exposés à grand renfort de publicités abondent et saturent la réflexion dans une surenchère constante. Pourtant, à l'aube du troisième millénaire, une célèbre réflexion de John Locke n'a jamais paru aussi moderne : « (...) *Il n'y a point de terme plus commun que celui de vie, et il se trouverait peu de gens qui ne prissent pour un affront qu'on leur demande ce qu'ils entendent par ce mot. Cependant, (...) il est aisé de voir qu'une idée claire, distincte et déterminée n'accompagne pas toujours l'usage d'un mot aussi connu que celui de vie*. » Alors que le siècle qui se dessine semble être celui des biotechnologies, que le conflit ouvert entre la puissance envahissante de la biologie et les limitations de l'éthique devient irrémédiable, la notion même de vie semble s'être extirpée du champ de la biologie. « *On n'interroge plus la vie dans les laboratoires* » s'écriait François Jacob². Cette exclamation projette une vérité crue : le scientifique a pour objet de travail du matériel vivant, mais l'objet de son travail n'est pas la vie. La technique envahit le champ du biologiste, prenant le pas sur une réflexion plus large. La technicité l'écrase et il n'y échappe plus que rarement pour tenter d'apercevoir quels sont les contours et les singularités de l'objet qu'il examine quotidiennement. Cette évolution est d'ailleurs très marquée sémantiquement, puisque de la biologie, le glissement s'est effectué vers les bio-*techno*-logies.

Il émerge enfin une problématique nouvelle, liée à l'explosion du progrès technologique, qui permet une maîtrise chaque jour plus grande du vivant. Des possibilités inédites s'ouvrent quotidiennement, offrant des perspectives fascinantes. Elles peuvent aussi se révéler plus inquiétantes. C'est la rançon du progrès avec sa double facette, sa dualité, son ambivalence lancinante. L'avancée scientifique n'est plus associée mécaniquement à une augmentation du bien-être. De ce fait, le progrès doit-il susciter émerveillement ou suspicion ? Par ailleurs, comment ne pas être admiratif devant les prouesses

techniques et l'ingéniosité débordante dont font preuve les biologistes pour décrypter le vivant ? Maîtriser mieux le vivant, c'est aussi pouvoir plus, c'est donc augmenter ses capacités à enfreindre des lois établies par la nature. Or, toucher à la vie n'est pas sans risque. Le risque est la rançon du savoir. Mais d'un autre côté, refuser dogmatiquement l'aventure du progrès est potentiellement aussi dommageable. La connaissance ne peut progresser *ex nihilo*. Le progrès est indissociable de l'expérimentation sur le vivant. Anatomie, biologie cellulaire, puis moléculaire sont apparentées, frappées du même sceau, chacune marquant un progrès pour l'humanité dans la dissection de la grande machinerie du vivant. Dans ces conditions, à quels risques les explorateurs de la biologie nous exposent-ils ? Ils sont multiples et flous. Pourtant, objectivement les dangers tiennent davantage à l'ambiguïté des rapports que l'homme entretient avec la nature, qu'à un risque réel inhérent au progrès. Ainsi, fustiger d'emblée et sans discernement le progrès paraît un peu trivial. La génétique moderne nous fournit un exemple des dangers des mélanges et malentendus à propos de cette science honnie par certains et vénérée par d'autres. Sans le savoir, l'homme utilise cette science depuis des millénaires, et le Monsieur Jourdain de la génétique a eu du succès : les milliers d'espèces, de races utilisées couramment dans l'agriculture (maïs, blé, colza, ...) sont issues de croisements dirigés par une main humaine. Le meilleur « ami de l'homme » est aussi le plus ancien animal d'expérimentation génétique. Les races canines, qui nous entourent et nous paraissent si naturelles, sont un pur produit de l'artifice humain. Elles résultent de la sélection par l'homme de critères physiques ou purement esthétiques qui sont ensuite amplifiés jusqu'à former des « lignées pures ». Ces manipulations, en apparence si naturelles, ne sont pas objectivement pires que les terribles manipulations génétiques annoncées dans les médias... Ou plutôt, le fossé qui sépare la génétique d'élevage des dernières manipulations génétiques n'est pas si grand. Le principe ne varie pas, seuls les moyens évoluent. En effet, les outils de manipulations du vivant n'appartiennent maintenant plus à l'ordre de l'empirique mais à celui du technologique. C'est-à-dire que l'homme agit, modèle, transforme le vivant à travers des outils et par une méthode raisonnée et non plus par des procédés empiriques ancestraux de croisements et de sélections. L'échelle de production s'en trouve décuplée et surtout la finesse et la résolution des techniques permettent d'agir au niveau de la bio-molécule, à des dimensions nanométriques. L'homme utilise ainsi la connaissance du vivant qu'il a acquise, par exemple celle de l'universalité du code génétique, pour transférer des gènes de certaines espèces dans d'autres à des fins industrielles ou pharmaceutiques.

Mais un décalage sémantique est progressivement apparu entre des potentialités accrues liées aux progrès techniques et certains messages livrés crûment au grand public. Imperceptiblement, de nouveaux moyens ont

émergé dont les applications dépassent l'entendement, ou plutôt brouillent le message d'une biologie raisonnée. Ainsi, certaines informations nouvelles au sens angoissant proviennent de domaines de la biologie liés à ce qui singularise l'être, comme peut l'être l'exploration du génome et la toute nouvelle « génomique ». Le génome est l'identité propre de l'être, le soi le plus intime, l'héritage parental par excellence qui est transmis aux générations futures. Autant dire que tout ce qui touche de près ou de loin au génome est perçu comme hautement à risque.

Ce génome peut maintenant être manipulé facilement pour les bactéries, ou de manière plus lourde pour les êtres vivants eucaryotes, dont l'homme. Le démantèlement et le décryptage de l'ensemble du message par séquençage sont maintenant terminés chez de nombreuses espèces modèles ou d'intérêt industriel : des bactéries de plus en plus nombreuses, des unicellulaires (la levure et, depuis peu, l'agent du paludisme) et quelques animaux multicellulaires comme un petit ver nommé savamment *Caenorhabditis elegans*, l'homme, une mouche célèbre nommée drosophile, le moustique vecteur du paludisme et même récemment la souris, le rat et la poule ! Le premier génome de plante (*Arabidopsis thaliana*) a été mis à jour, celui du riz est désormais achevé et ceux d'autres plantes d'intérêt agronomique comme le blé devraient rapidement suivre. Cette exploration a été largement médiatisée par les scientifiques eux-mêmes parce qu'ils avaient des besoins énormes de financement : ainsi ont-ils dû promettre de changer le monde par la seule connaissance du séquençage. L'accès à la connaissance du génome humain a été associé à de très nombreuses promesses dont la notion mythique de gène-médicament en est un des paradigmes. Il a aussi probablement révélé d'autres angoisses profondes liées à la quête d'une connaissance d'essence presque divine : la recherche du code, du secret, du principe de ce qui singularise l'homme. Dans cette épopée, pour la première fois dans l'histoire, le scientifique se laissait clairement aller au fantasme du démiurge. Pourtant, à l'examiner objectivement avec un peu de recul, l'accès au génome n'a pas tenu ces promesses. Même si cette aventure représente une prouesse en soi, celle-ci ne résulte que d'une application à l'échelle du gigantisme industriel de techniques découvertes plus de vingt-cinq ans auparavant. Si la lecture de ce génome n'a été accompagnée d'aucune véritable révolution conceptuelle, ni de retombée immédiate, c'est que la prouesse est plus industrielle que scientifique. Aussi, les polémiques créées par le séquençage touchent toutes à des problèmes de propriété industrielle de séquence, ce qui est révélateur du déplacement de la problématique : il ne s'agit pas de retombées éthiques d'une avancée nouvelle mais d'un problème de concurrence industrielle. Le génome de nombreuses espèces, dont la nôtre, a été décrypté, explosé, émietté, fragmenté, recomposé, industrialisé, voire même ré-approprié. Le génome-instrument de la connaissance a progressivement glissé vers le génome-instrument de la concurrence pour le

pouvoir et l'argent. Le génome est devenu un produit financier sur lequel des paris énormes ont été effectués, mais qui est au fond davantage le reflet des problèmes de nos sociétés que des problèmes inhérents aux progrès de la biologie.

Simultanément, de nombreuses applications de l'utilisation des gènes apparaissent dans l'environnement immédiat de l'homme. Bactéries, plantes et animaux sont améliorés par la main humaine. Les critères de sélection sont choisis subjectivement en fonction d'intérêts à court terme : plus résistant, plus rentable, produisant des protéines sélectionnées ou purifiées. Le vivant devient exploitable, véritable usine microscopique à haut rendement.

À côté de techniques rudimentaires de génétique bactérienne, méthodes routinières, d'autres techniques initient leurs applications industrielles et agronomiques comme la transgénèse chez les mammifères ou les plantes. Dans ce cas, l'homme greffe un gène étranger, nommé alors « transgène », sur une plante (maïs, soja dits « transgénique ») ou un animal (souris, lapin « transgénique ») qui deviennent alors des organismes génétiquement modifiés plus connus sous leur sigle : OGM. Les applications de ces nouvelles technologies concernent principalement les plantes, domaine dont les applications dans l'agro-alimentaire recèlent une potentialité importante en termes de progrès. Toutefois, des inconnues persistent quant à la stabilité à long terme du greffon chez l'hôte et surtout à la diffusion du transgène dans la biosphère à d'autres espèces et donc sa perte de contrôle par l'homme. L'exploitation à l'échelle agro-industrielle des plantes transgéniques a cependant pu débiter aux États-Unis et en Europe. Mais les controverses sur l'utilité et l'innocuité des OGM font rage dans un climat passionnel. Aussi, le moindre décalage entre la réalité d'un progrès de la science et sa perception dans l'opinion publique peut être catastrophique. Parfois, le brouillage du message médiatique provient même de la maladresse des producteurs d'OGM. Ainsi, les semenciers ont baptisé une de leurs constructions du doux nom de « *Terminator* », ce qui n'est de nature à rassurer ni les agriculteurs, ni les consommateurs. Les biotechnologies constitueraient-elles un « danger » pour le bien de l'humanité ? L'homme est probablement plus dangereux pour lui-même que la science ne peut l'être *per se*. En tout cas, les problèmes à venir ne doivent être ni éludés ni minimisés. Ils proviendront sûrement là où ils sont le moins attendus, de techniques probablement moins décriées que les OGM, mais qui ont des conséquences potentielles qui ne sont ni maîtrisées, ni même appréhendées.

Il ne se passe pas un mois sans que les médias ne se fassent l'écho de nouvelles plus extravagantes les unes que les autres : naissance de souris sans père, clonage de cellules humaines en utilisant des ovocytes de lapines ou de vaches, tentative de clonage d'animaux ou d'êtres humains décédés... Ainsi, le très médiatique problème du clonage de mammifères transcende la raison

humaine et interpelle notre conscience. Il est évident que cette technique touche à un problème lié à l'essence même de la vie et à son corollaire, fantasme le plus profond : la recherche de l'éternité. Quel sens biologique ou éthique donner à une reproduction asexuée chez l'homme ? Ou encore, quel sens donner à la porte ouverte sur l'immortalité que nous offre la perspective du clonage humain ? Enfin, quelles conséquences en découleront pour l'humanité et pour la richesse de son patrimoine génétique liée au succès de la reproduction sexuée ?

Il devient donc de plus en plus difficile de différencier au sein de ce que le savoir autorise, ce qui est éthiquement possible de ce qui est clairement interdit. Une difficulté supplémentaire provient de l'impossibilité de prévoir ce que la science autorisera demain. Un éditorialiste d'une revue scientifique proposait récemment une recherche dont l'éthique serait volontairement non limitative, sauf pour les travaux mettant en danger la vie d'un être humain³. Les limites de la science touchent donc bien aux limites de la définition du vivant, puisque la seule limite posée à l'exploration en biologie est donnée par l'atteinte irréversible portée à une vie humaine. Mais alors qui est protégé par ce dogme ? Quel sens donner au mot vie ? L'embryon est-il « en vie » dès sa conception ? Le clone, l'autre soi, peut-il être réifié pour répondre au simple besoin de cellules souches d'une personne dont la vie est elle-même mise en péril ? Ces questions nouvelles ne sont qu'une formulation moderne de questions pérennes. La biologie ne peut se départir de la réflexion éthique sur le sens du mot dont elle semble désespérément nier l'existence, mais qui la hante constamment : la vie. La vie est bien l'ombre de la biologie. Le biologique se définit par le corpus de connaissances que l'homme a pu extraire dans le domaine de l'étude du vivant. La biologie, somme de connaissances, représente la face éclairée d'un objet vivant, alors que la vie n'est que la vision projetée, la face sombre, l'ombre de la biologie. Les contours de la vie sont donc formés par des projections géométriques de l'état de la connaissance à un instant donné. La vie, objet non défini, fluctuant dans le temps comme l'ombre du cadran solaire, prend alors des formes différentes selon l'histoire. La biologie, comme les mains peuvent animer un théâtre d'ombres chinoises, comme les ombres animent la caverne de Platon, laisse paraître des images de la vie. La vie grandit ou diminue, s'aplatit ou grossit selon la puissance et l'orientation de l'éclairage, mais elle est toujours présente, irréductible aux problèmes de la biologie.

Dans ce flot d'informations déstabilisantes, comment fonder une réflexion d'honnête homme sur le sens de la vie ? Ces questions ne peuvent rester sans réponse trop longtemps. La vacuité de la réflexion concernant l'éthique de la biologie moderne laisse la technique maîtresse du terrain. Poussée par les intérêts économiques, la machine technologique peut alors dérapier, l'homme ne contrôlant plus ce qui aurait dû rester cantonné à l'état

d'outil. Mais la dérive est dangereuse, car les conséquences d'une telle perte de contrôle ne sont pas anodines. Très souvent, les biologistes refusent de prendre part au débat et se retranchent dans leur rôle de « techniciens du progrès scientifique ». Cette dérive participe d'un processus plus général d'éclatement et de parcellisation des savoirs qui, de plus en plus pointus, demeurent aussi beaucoup plus restreints. Le travail de l'acteur de la science semble alors se limiter à la mise à la disposition de la société de connaissances et de moyens nouveaux. Une telle conception est dangereuse : « *En biologie, il pourrait être nécessaire de penser* », ironisait lucidement René Thom. La responsabilité du scientifique ne se restreint pas à la seule technique, mais embrasse l'ensemble des champs de recherche y compris celui de l'éthique. Les rapports tumultueux de l'éthique à la science sont anciens. Ainsi, les élucubrations d'Alexis Carrel auréolé par un prix Nobel de médecine ont servi de caution à certains crimes commis par une des pires des barbaries du xx^e siècle. Tout scientifique, fut-il biologiste, ne peut se dédouaner, par un revers de manche, des conséquences de ses travaux... Les premiers hommes qui ont fait basculer l'humanité dans l'ère de la reproduction par clonage ne peuvent s'être abstenus d'avoir réfléchi, tant les mises en garde ont été nombreuses. L'Histoire les jugera à son heure, les faisant entrer dans le panthéon des bien-faiteurs, en les précipitant dans les oubliettes de la médiocrité, ou encore les marquant éternellement du sceau de l'infamie.

L'analyse à laquelle nous vous convions ne se limite pas à un champ de la science. L'expérience montre que le vivant ne peut s'entendre, au regard de sa complexité, que dans une vision intégrative. Ainsi, un objet aussi simple qu'une pièce de monnaie ne peut pas être observé des deux côtés simultanément. La connaissance de la pièce ne peut se faire qu'en intégrant la face observable à des données mémorisées qui concernent la face cachée. L'intégrale des points de vue est ainsi le meilleur moyen d'avoir connaissance d'un objet simple. Dans le domaine des arts, les cubistes ont tenté une représentation picturale de plusieurs faces d'un objet sans représentation des perspectives sur la toile. Mais la compréhension de telles œuvres est difficile au premier abord pour un œil novice. Les visages des femmes peintes par Pablo Picasso peuvent rester longtemps étrangers à l'amateur avant qu'ils ne lui soient clairement expliqués. Ces visages déformés sont complexes à appréhender, parce qu'ils ne répondent à aucun réel tangible. Pourtant, l'observation de ces peintures peut procurer un plaisir jubilatoire, par l'importance de l'information, la richesse des images subtilement superposées sur une même toile. Sans avoir l'ambition de se comparer aux cubistes, ni d'égaliser leur talent, je recherche à faire mien cet état d'esprit en tentant d'approcher la vie par une vision la plus intégrative possible. Chaque face de cet objet insondable sera éclairée par plusieurs projecteurs. Aussi, mon approche, sans revendiquer l'ambition d'être celle d'un biologiste, ni celle d'un biochimiste et encore

moins celle d'un physicien, sera plutôt à la marge, à l'interface de ces trois domaines de la science profondément imbriqués. Je passerai successivement d'un domaine à l'autre afin de pouvoir montrer comment chaque domaine éclaire des aspects différents et donne du relief au monde de la vie qui nous entoure. Chacun de ces différents modes de pensée pénètrent les problèmes du vivant sous un angle opposé mais complémentaire, permettant de mieux cerner la forme de cet objet curieux et insondable qu'est la vie. C'est en effet des propriétés physiques de la matière que découlent les principes guidant l'organisation macromoléculaire du monde vivant. Comprendre la logique de construction de la biologie, c'est intégrer l'articulation de ces différentes propriétés dans un modèle cohérent. Cette démarche permet de pressentir de manière intuitive, une *Logique du vivant* pour paraphraser François Jacob. Cet essai tente de définir dans le même esprit, les fondements de la vie. Définir la vie, c'est-à-dire appréhender une véritable *bio-logique*. Ce néologisme souligne la profonde ambivalence du mot biologie, terme analogue forgé par Lamarck sur les racines grecs bios (βίος) qui désigne la manière de vivre et logos (λογος) qui désigne ce qui concerne la raison. La biologie est donc une science dont l'objet étymologique originel était d'explorer la logique de la vie. Le mot forgé au début du XIX^e siècle a donc largement divergé de son origine étymologique. La biologie, science générale des êtres vivants, est en pleine expansion et son objet d'étude est très large, mais elle est devenue incapable de donner un sens logique au mot vie. À partir des définitions qui ont été proposées pour le vivant, nous allons en bâtir une nouvelle et la confronter aux données et aux problèmes induits par les *bio-techno*-sciences. Actuellement, de nombreux contresens aboutissent à imposer à la biologie une acception purement technologiste. Le vivant est alors réifié pour devenir l'objet de manipulations techniques. De la biologie, un glissement imperceptible s'effectue vers les *bio-techno*-logies. Or ce glissement terminologique est révélateur d'un état de fait. Décomposer le terme biologie pour en retrouver finalement sa racine étymologique, la compréhension de la vie, permet de mesurer combien le chemin de la connaissance de la vie a pu s'égarer. Partis à la recherche de la logique de la vie (raison des origines), les biologistes modernes se sont arrêtés en chemin ; flattés, jouissant d'un plaisir narcissique, attirés irrésistiblement par la technologie dérivée du vivant, miroir qui les renvoie à leur puissance et à un discours stérile. « – Miroir, dis-moi que je suis le plus puissant..., jamais homme auparavant n'a pu autant que moi. – Oui, bio-technologiste, jamais homme avant toi n'avait autant violé mes lois et mes secrets ». Le narcissisme de la technologie fait finalement évanouir, évaporer les raisons premières qui ont poussé l'homme à l'expérimentation : celle de la compréhension – au sens noble des lois de la vie – ou peut-être celle de la compréhension de « l'esprit des Lois ». Il ne s'agit ni de vouer les *techno*-sciences aux géhennes, ni d'implorer ou d'imposer un arrêt des

recherches et des progrès de la science. Non, il s'agit plutôt de tenter de précéder les problèmes par une réflexion plus profonde et plus large sur le sens du mot vie afin de mieux accompagner les surprises que livre pudiquement et difficilement la nature. Cette réflexion permettra peut-être de mieux repérer les limites de la tentation démiurgique de l'homme et d'éviter que des techniques mal utilisées attentent à la vie humaine, seules limites couramment reconnues à l'utilisation d'un savoir.

Chapitre 1.

LA VIE : UNE NOUVELLE DÉFINITION POUR QUELLE *BIO-LOGIQUE* ?

Pourquoi une définition de la vie ?

Est-il réellement pertinent de vouloir définir la vie ? La question est loin de faire l'unanimité. Futilité pour certains, ineptie pour d'autres, la question est hors sujet pour beaucoup dont la majorité des biologistes. La vie et le vivant sont toujours restés dans une sorte de nappe de brouillard, de flou indéfini, qui inhibe leur caractérisation patente. Est-ce par paresse intellectuelle, ou par volonté délibérée de laisser le champ libre à la métaphysique, ou à la mystique ? La réponse n'est pas claire. Le vivant fut exclu dès le départ, du fait de sa complexité trop importante, du champ de l'expérimentation. Il n'a pas encore été réintégré à l'issue d'un processus qui tient plus d'une parcellisation des savoirs que d'une molécularisation des centres d'intérêts. Un homme singulier avait tenté de définir la vie. Cet homme n'était pas du sérail, ni biologiste, ni chimiste, ni naturaliste, ni généticien, ni physiologiste : rien ne le prédisposait à s'exprimer sur le sujet. Erwin Schrödinger était tout simplement physicien, fondateur de la mécanique quantique au début du siècle et récompensé en 1933 par le prix Nobel de physique. Il publia en 1944, au plus fort de la guerre, un petit opuscule intitulé *Qu'est ce que la vie ?*. Ce texte précurseur a permis d'exclure le démon vitaliste des sciences de la vie, sans permettre une synthèse par défaut des connaissances de l'époque en biologie qui étaient plus que rudimentaires.

Pourtant, bien que les connaissances dans le domaine du vivant aient progressé vertigineusement, la vie continue de nous faire défaut de sa définition. Nous l'observons dans de nombreux domaines de plus en plus proches du quotidien. Le questionnement sur la définition et le sens de la vie est de plus

en plus prégnant. Aujourd'hui, il ne se passe plus un seul mois sans que ne soient annoncées les découvertes les plus surprenantes des confins du vivant : réactivation d'espèces disparues, clonage de mammifères, manipulation de cellules souches, thérapie génique, création *ex nihilo* de nouvelles formes de vie. Toutes n'ont pas la même portée, les mêmes conséquences, mais en chacune résonne un questionnement profond sur l'interaction entre les outils que l'homme forge jour après jour et l'éthique de leur utilisation dans le quotidien. Il n'est pas besoin de se tourner bien loin dans notre passé pour comprendre combien ces questions sont cruciales. Le xx^e siècle a souffert avec l'eugénisme et le lyssenkisme de deux formes d'utilisation des connaissances biologiques par des systèmes totalitaires.

Donner une explication formelle d'une notion intuitive n'est pas chose aisée. La vie a-t-elle une définition autre que surnaturelle ? Il s'agit là d'une conviction intime, c'est pourquoi nous allons tenter de montrer que la vie peut très bien se concevoir dans le champ de la science moderne par un modèle rationnel. De nombreuses tentatives d'explication de la vie émaillent l'histoire de la biologie ; il suffit, pour s'en persuader, de lire la volumineuse *Histoire de la notion de vie* d'André Pichot². Pour certains, la logique de la vie se situe en dehors de la science car au-delà du monde des molécules. Claude Bernard, déjà, réfutait toute entrée de la notion de vie dans le domaine des sciences : « *Il suffit que l'on s'entende sur le mot vie, pour l'employer ; mais il faut surtout que nous sachions qu'il est illusoire et chimérique, contraire à l'esprit même de la science d'en chercher une définition absolue.*³ » Plus proche de nous, une conception tranchée se résume dans le titre d'un ouvrage, maintenant ancien, d'Ernest Kahane mais aux concepts ciselés dans le manichéisme : *La Vie n'existe pas !*⁴. Le matérialisme exprimé sous la forme de ce titre provocateur s'explique historiquement par la volonté de faire entrer la biologie de la deuxième moitié du xx^e siècle dans le carcan marxiste. La biologie d'alors, et notamment la génétique, étaient en prise avec des luttes âpres issues de l'affrontement des deux grands systèmes de l'époque : capitalisme et marxisme. Du côté soviétique, un idéologue délirant à l'habillage scientifique d'ingénieur agronome dénommé Trofim Lyssenko ravit les faveurs de Staline, il fit déporter ou éliminer les quelques biologistes soviétiques qui s'opposaient à lui, critiqua la « génétique bourgeoise » et tenta de montrer que la biologie est une « science marxiste ». Il prétendait « éduquer » les plantes à la façon dont l'éducation marxiste pouvait donner naissance à l'homme nouveau. La suite fut un naufrage de l'agronomie soviétique, une catastrophe pour son agriculture et son économie. En occident, la science fut aussi l'objet de critiques attentives voire de luttes d'inspirations dogmatiques entre un matérialisme marxiste, et une science dont les acteurs dominants appartenaient à la société capitaliste (sans que ceux-ci n'en fussent nécessairement les thuriféraires). Les interférences entre biologie et

dogmes politiques furent alors très nombreuses et éminemment puissantes, avant que celles-ci ne s'estompent dans le temps où les grands antagonismes économique-politiques s'effondraient avec la fin du régime soviétique.

De nombreux biologistes modernes restent tout autant radicaux, mais pour des raisons entièrement différentes : pour Henri Atlan la vie n'est pas un concept opérant. La logique du vivant s'évanouit dans le fatras des lois moléculaires : « *Les malentendus concernent la signification nouvelle, ou l'absence de signification, que reçoit maintenant la notion de vie. (...) La démarche que je propose consiste à enfoncer le clou. Et à reconnaître en effet que la vie n'existe pas en tant que telle comme objet d'investigation scientifique, puisque ses mécanismes se réduisent à des interactions chimiques*⁵ ». Pour Ernst Mayr la tentative de réduire le vivant à des lois physiques est caduque : « (...) *La démarche analytique visant à comprendre les systèmes est une méthode de grand intérêt, mais (...) les essais de "réduire" les phénomènes ou les concepts biologiques aux lois de la physique ont rarement, voire jamais, conduit à quelques progrès que ce soit dans les connaissances. Le réductionnisme, dans ce sens, est, au mieux une approche creuse, et plus sûrement, trompeuse et futile*⁶ ». Pour tous ces biologistes, la vie n'est pas un concept dont l'approche est expérimentalement possible ; elle n'est pas donc pas un concept interrogeable par des outils scientifiques et se retrouve *ipso facto* hors du champ de la science. L'objet d'étude de la biologie ne ferait donc l'objet d'aucune définition. Cet état de fait a de quoi surprendre. Ainsi s'en étonne Gérard Amzallag : « *La vie, dans ses manifestations les plus spécifiques, serait-elle exclue du champ de scientificité ? On est en droit de le penser du fait qu'il n'existe jusqu'aujourd'hui aucune définition scientifique de la vie (...). Il s'agit là d'une situation plutôt étonnante. En effet, la biologie peut difficilement prétendre à une scientificité calquée sur le modèle de la physique classique avant même d'avoir défini l'objet de son investigation.*⁷ » Les critiques sont donc nombreuses, pourtant nous avons la conviction que la vie n'est pas une question étrangère à la science. Un premier faisceau d'arguments provient de la communauté scientifique avec le renouveau récent de l'intérêt d'une partie des astrophysiciens pour les recherches de traces lointaines de vie dans d'autres planètes du système solaire, ou de recherches d'exo-planètes autour d'étoiles très éloignées. Les succès de ce domaine de la science pose un problème nouveau (qui n'est que la re-formulation d'une question ancienne). Chercher la vie ailleurs revient à poser la question centrale : qu'est ce que la vie ? En effet, que recherchent les robots propulsés par l'homme sur Mars ? La réponse est une lapalissade : des traces de vie. Mais alors, qu'est ce que les astrophysiciens aux commandes de leur engin à distance pourront considérer comme un succès dans la découverte de la vie ? Les physiciens se sont alors tournés vers leurs collègues biologistes dont la vacuité de réflexion dans ce domaine peut surprendre. Ainsi, le renouveau de

la préoccupation de certains biologistes pour cette question longtemps méprisée car trop littéraire, trop métaphysique, trop liée aux risques d'une réflexion complexe vient donc des sciences « dures ». La physique a donc inséminé un champ entièrement nouveau du savoir, parallèle à la biologie. Comme souvent, le loup chassé par la fenêtre revient par la porte, mais ici il ne s'agit pas d'une porte de service mais de la porte d'honneur. Poussés par des physiciens, des biologistes se sont enfin mis à se risquer à exposer un certain nombre de définitions de la vie dans des revues scientifiques prestigieuses^{8,9}.

Le deuxième type d'arguments est lié aux relations qu'entretient la science avec la société moderne. Il n'est plus en effet tenable d'observer que les problèmes de bioéthiques modernes fassent tous référence à la vie, alors que les scientifiques énoncent péremptoirement que celle-ci n'existe pas. La science en tant que structure sociale au fonctionnement et au dessein imperméables aux problèmes de la société engendre une rupture profonde entre citoyens et scientifiques. Cet isolement ne peut que favoriser des comportements irrationnels, des préjugés anti-scientifiques hâtifs et aveugles, voire des actions violentes comme les arrachages de plantations expérimentales transgéniques par des commandos médiatisés. Il est donc devenu un devoir de citoyen de tenter d'expliquer comment la science comprend le sens du mot vie, afin de pouvoir répondre avec plus de discernement à d'autres questions plus larges touchant à la génétique, aux OGM, aux cellules souches, au clonage, ou encore à la fin de vie. La vie doit donc être un concept descriptible « en la science », avec des termes propres à ce champ de connaissance. Ce point de vue n'est pas isolé. Michel Morange dans un ouvrage paru pour le cinquante-naire de la découverte de la structure de l'acide désoxyribonucléique (ADN) portait le titre : *La Vie expliquée ?*¹⁰. Il tentait alors de rapprocher les concepts de la biologie et ceux de la tradition philosophique. S'interrogeant sur le refus de la majorité des biologistes d'aborder le problème de la vie, il regrette : « *Une telle absence apparente de curiosité de la part de la majorité des biologistes (...) est la marque d'une certaine paupérisation intellectuelle du milieu scientifique, préjudiciable à sa créativité. Elle signifie une coupure entre la connaissance scientifique et la culture.* » Sans vouloir porter de jugement sur la volonté de la communauté scientifique de vouloir rallier les problèmes philosophiques posés par l'avancée du savoir, je voudrais poser le problème dans des termes proches de ceux de Michel Morange. Mon ambition est de donner une définition à la vie qui puisse faire sens dans le champ de la science, et d'évaluer ensuite sa portée dans le champ de l'éthique. La vie est un concept « d'interface » au sein de la science, à l'intersection entre les domaines de la physique et de la biologie. En effet, le vivant comme objet d'étude de la biologie, n'échappe pas à un autre champ de la physique des échanges d'énergie qu'est la thermodynamique. Ce modèle fait donc appel à des notions simples de biologie et de physique thermodynamique sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement. Cette conception originale et

moderne de la vie se détermine totalement par des lois physiques simples et universelles. Elle éradique donc définitivement toute tentation vitaliste et permet par ailleurs de comprendre certaines propriétés de la vie et d'appréhender son émergence.

L'approche proposée n'est pas expérimentale au sens de la biologie classique qui est produite par analyse d'expérience pratiquée sur le vivant. En ce sens, elle diffère complètement de la conception classique de la biologie et des biotechnologies. Il ne s'agit ni de résultats expérimentaux, ni d'une découverte de mécanismes nouveaux. Il s'agira, pour certains, d'un handicap rédhibitoire ; c'est là une critique que nous admettons d'emblée et facilement. En effet, la définition de la vie est indispensable pour le plein épanouissement de sa face complémentaire : la biologie. La biologie moderne « *a été essentiellement – sinon exclusivement – analytique* » rappelle François Jacob. J'ai choisi délibérément une approche complémentaire synthétique. Il ne s'agit donc pas de la découverte matérielle d'un nouveau constituant moléculaire du vivant mais plus modestement d'une tentative d'intégration des mécanismes biologiques fondamentaux dans un cadre conceptuel plus large. L'objectif final est de donner à la vie un cadre, une définition, dans laquelle puissent se reconnaître les lois à la fois de la biologie et de la physique, notamment un des développements récents de la physique thermodynamique.

La vie : dualité structure cellulaire/état thermodynamique de la structure

La vie n'est pas définissable en l'état, nous l'avons déjà dit. Le modèle du vivant proposé entraîne une nouvelle définition. La vie se conçoit comme une entité duale : un système biologique *et* son état thermodynamique.

La vie est donc une dualité ! C'est à la fois un système, au sens physico-chimique, qui doit présenter certaines strictes caractéristiques structurales *et* la caractérisation de son état thermodynamique qui doit remplir d'autres conditions non moins strictes. Concernant le système, il s'agit d'une structure stéréotypée représentée par la cellule formant la base de tous les systèmes biologiques vivants. Concernant l'état thermodynamique, le système cellulaire doit être ouvert et auto-entretenu en dehors de l'équilibre thermodynamique. En d'autres termes, il s'agit thermodynamiquement d'un système dissipatif selon l'expression célèbre forgée par Prigogine.

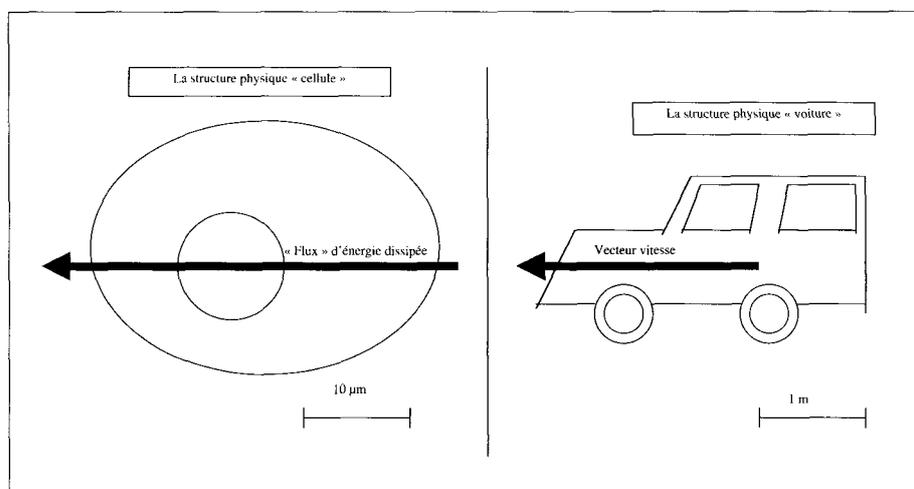
Cette dualité n'est pas virtuelle, elle est à la base du paradigme. La vie est à la fois l'un et l'autre terme de cette équation du vivant : cellule *et* état dissipatif auto-entretenu du système cellule.

En effet, d'une part sans cellule, la notion de vie n'a pas de sens, puisque les systèmes dissipatifs ne sont pas l'apanage de la biologie, bien au

contraire. Il existe de très nombreux modèles de systèmes dissipatifs des plus simples aux plus complexes. D'autre part, la cellule bien que physiquement objectivable n'est pas suffisante puisque celle-ci peut être conservée bien longtemps après l'arrêt de tout échange thermodynamique (donc après sa mort). Les anatomopathologistes fixent et examinent des cellules bien après leur mort. Il est possible de conserver des cellules mortes, pendant de nombreuses années. Ainsi les deux facettes de la définition sont indissociables : sans la cellule, pas plus de vie que sans le maintien de celle-ci dans un état dissipatif. Pour autant, les deux versants du paradigme ne sont pas deux entités indépendantes. Les deux éléments sont même profondément intriqués. Par exemple, l'intégrité physique de la cellule est nécessaire pour maintenir sa capacité à contrôler son métabolisme, et donc son état thermodynamique hors de l'équilibre.

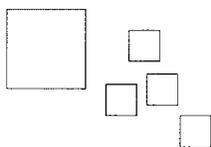
Cette notion *princeps* n'a rien d'une tautologie. Nous allons maintenant illustrer notre paradigme par un exemple nécessairement un peu simplificateur, mais dont l'analogie est forte : comprendre si une cellule (ou un organisme) est en vie, revient à tenter de comprendre si une voiture se déplace à une certaine vitesse (Figure 1). L'analogie peut paraître surprenante. Mais la voiture forme un système (relativement) facile à appréhender et à modéliser pour l'esprit.

Figure 1 : Le paradigme du vivant et l'analogie avec la vitesse d'une voiture. La vie peut être définie par l'existence d'une cellule dont l'état thermodynamique est caractérisé par la dissipation d'un flux d'énergie (état hors de l'équilibre), comme une voiture qui roule est caractérisée par un système physique (roue + carrosserie + moteur) dont l'état physique est caractérisé par un vecteur vitesse.



Achévé d'imprimer sur les presses de
l'Imprimerie France Quercy - Cahors
N° d'impression : 51573
Dépôt légal : septembre 2005

Imprimé en France



Jean-Nicolas Tournier

En ce début de XXI^e siècle, quel regard l'homme porte-t-il sur la vie ? Alors que le siècle qui se dessine semble être celui des biotechnologies, que le conflit ouvert entre la puissance envahissante de la biologie et les limites de l'éthique devient irrémédiable, la notion même de vie semble s'être extirpée du champ de la biologie. Or, les frontières de la science touchent pourtant bien celles de la définition du vivant.

Mais alors quel sens donner au mot vie ? L'embryon est-il en vie dès sa conception ? Le clone, l'autre soi peut-il être réifié pour répondre au simple besoin de cellules souches d'une personne, dont la vie est elle-même mise en péril ? Ces questions nouvelles, ne sont qu'une formulation moderne de questions pérennes. Elles permettent aussi de comprendre que la biologie ne peut se départir d'une réflexion éthique.

Le présent ouvrage propose une définition nouvelle, simple et opérante de la vie qui exclut l'appel au vitalisme, et qui permet ensuite de revisiter certaines énigmes de la biologie moderne comme les origines de la vie et son évolution, et de s'interroger sur les problèmes éthiques de la biologie contemporaine : Quid des OGM, du clonage reproductif et thérapeutique, des cellules souches au regard de la vie ?

Il ne s'agit ici ni de vouer les techno-sciences aux géhennes, ni de déplorer les progrès de la science. L'objectif est plutôt d'anticiper l'émergence des problèmes éthiques futurs par une réflexion plus profonde et plus large sur le sens du mot vie, afin de mieux accompagner les surprises que livre pudiquement la nature aux êtres curieux de savoir.

JEAN-NICOLAS TOURNIER est docteur en médecine et docteur ès sciences, chercheur au Centre de Recherches du Service de Santé des Armées (CRSSA) à Grenoble. Il travaille dans le domaine de l'immunologie et s'intéresse notamment aux interactions hôte-pathogènes.

Graphisme : Béatrice Couëdel



ISBN : 2-86883-814-6

19 euros

