

Le vivant comme source d'inspiration pour refonder l'innovation, l'économie et la cohérence démocratique

Dorothee Browaeys

Coordinatrice volet français du programme européen Synenergene, coordinatrice du Forum NanoRESP, Rédactrice en chef adjointe d'UP'Magazine

Résumé : L'innovation dans le domaine du vivant revêt un caractère stratégique à plusieurs titres. La recherche de solutions durables, d'une moindre empreinte carbone, d'une valorisation des déchets et d'un fonctionnement circulaire de l'économie (écologie industrielle) oriente vers un recours massif aux biomasses quelles soient animales ou végétales. Cette bioéconomie qui remplace le « pétrosourcé » par du « biosourcé » porte en germe le meilleur comme le pire. Si les ressources naturelles, certes renouvelables, sont considérées comme un stock (néanmoins épuisable) elles risquent d'être progressivement éteintes. Inversement, le capital naturel peut être reconnu comme un potentiel, source de toute régénération. Amorces de cette reconnaissance, des pratiques nouvelles s'inspirent de l'organique, des tensions internes du vivant, et manifestent d'autres manières d'innover. On voit des chercheurs ou des ingénieurs explorer les stratégies écosystémiques (les symbioses par exemple) ou le biomimétisme et expérimenter des approches frugales, agiles, en prenant appui sur les usagers ou les amateurs. Ces pratiques « branchées sur le vivant » se heurtent aujourd'hui à des postures anciennes gouvernées par l'idée d'une maîtrise des phénomènes ou d'un dépassement du vivant vers le posthumain. La bioéconomie nous place exactement face à nos dilemmes les plus profonds : penser le progrès comme une sortie de la condition biologique ou bien nourrir un autre imaginaire en misant sur la puissance symbolique du vivant.

The living as inspiration to rebuild innovation, economy and democratic consistency

Abstract. Innovation with living organisms is strategic for several reasons. The search for sustainable solutions (with lower carbon footprint, waste recycling, circular economy, industrial ecology) leads to a massive use of biomass (animal or vegetal). This biobased economy, replacing "materials from oil" by "biobased material" contains the seeds of the best and the worst. If the natural resources, albeit renewable, are considered as stocks (however exhaustible) they may be gradually destroyed. Conversely, the natural capital can be recognized as a potential source of all regeneration. Primers of this recognition, new practices are inspired by organic life with internal tensions and show alternative ways to innovate. Researchers or engineers explore ecosystem strategies (symbioses for example) or biomimetics and test frugal or agile approaches building on users or makers. These practices "connected to the living" are now facing old postures focused on mastering processes or exceeding the living toward the posthuman. The biobased economy confronts us our deepest dilemmas: think progress as an exit from the biological condition or feed a new technical imaginary leveraging the symbolic power of the living.

*« Les primevères et les paysages ont un défaut grave : ils sont gratuits.
L'amour de la nature ne fournit de travail à nulle usine. »*

Aldous Huxley

Introduction : la bioéconomie en question

La nature dans sa diversité et ses matériaux renouvelables est une mine d'ingrédients dans lesquels les hommes ont puisé de tous temps. Pour manger, tracter, transformer (faire du vin, de la bière ou du fromage) se vêtir, se soigner, construire des habitats... Toute l'économie est ainsi sortie de la biosphère (si l'on y inclut les ressources géologiques). Avec la chimie et le recours aux carburants fossiles (charbon, gaz, pétrole), les produits synthétiques sont venus remplacer quantité de matières naturelles, cantonnant la production vivante à l'agroalimentaire et quelques usages de santé ou de cosmétique... Ainsi l'industrie s'est-elle déployée, hors sol, dans une logique d'affranchissement des contingences biologiques.

Ce n'est que récemment, avec les crises pétrolières d'une part et le sommet de Rio en 1992, posant l'urgence d'un développement soutenable, que l'« émancipation du monde vivant » a vu sa limite... Aujourd'hui les arbres, les plantes, les algues, les bêtes, les microorganismes... sont à nouveau sollicités comme sources d'énergie (biocarburants), de matériaux, de produits chimiques en remplacement des matières issues du pétrole (pétrosourcées). La recherche de solutions durables, d'une moindre empreinte carbone, d'une valorisation des déchets et d'un fonctionnement circulaire de l'économie (écologie industrielle) oriente nos sociétés vers un recours massif aux biomasses, quelles soient microbiennes, végétales ou animales. Ainsi se développe la bioéconomie, terme qui désigne ces activités basées sur le vivant (biobased economy).

Ce mouvement porte en germe le meilleur comme le pire. Il peut organiser une économie de prédation redoutable - en considérant l'environnement comme un bien économique quelconque - ou bien constituer l'opportunité de penser « *l'économique avec le vivant* » selon la proposition de René Passet (1979) [1]. En bref le choix est simple : soit nous forçons la nature à intégrer la logique économique et la configuration marchande, soit nous acceptons de penser que la crise environnementale est « le symptôme d'un seuil franchi, d'une nouvelle époque de la rareté », selon les termes de l'économiste Franck-Dominique Vivien (2007) [2].

De ce choix dépend la réponse que nous pourrions donner aux trois défis majeurs de la bioéconomie. En premier lieu, il faudra être en mesure d'opérer sereinement un arbitrage concernant l'affectation des terres. Avec une population mondiale frôlant les 9 milliards en 2040, la demande alimentaire va faire surenchéris les tensions entre usages alimentaires et usages industriels des surfaces agricoles. En second lieu, la préservation des capacités de régénération des écosystèmes va se poser de manière accrue. Car si les organismes vivants sont « renouvelables », leur utilisation exige le ménagement (non un management) de limites à respecter. En troisième lieu, les nouvelles techniques de modifications des organismes (transgénèse, CRISPR, nucléase dirigée, mutagenèse dirigée...), ainsi que la biologie de synthèse, proposent « la réingénierie des organismes vivants » pour optimiser les rendements, résister à la sécheresse, aux nuisibles ou aux maladies, ou les transformer en usines à biocarburants ou à molécules à haute valeur ajoutée. Un potentiel aussi puissant que risqué puisque susceptible de transformer des équilibres.

La bioéconomie constitue donc un noyau stratégique pour les transitions industrielles en cours. Nous analyserons ici les visions différentes de la bioéconomie qui se sont structurées depuis les années 60 et la possibilité de revenir à une « économie » (en phase avec le monde réel et vivant). Puis nous examinerons le mouvement technique, duquel nous héritons, inscrit dans un mythe, celui des ressources illimitées. Nous expliciterons comment le vivant réduit à ses composants informationnels est sommé de se décomposer en biobriques porteuses de fonctions brevetables. Dès lors, nous verrons que l'industrialisation du vivant par son réagencement ou « design » soutenu par la biologie de synthèse, permet de produire des services qui s'étendent de la réanimation d'espèces éteintes ou au ré-ensauvagement de la planète. Nous découvrirons combien ces perspectives de fabriques d'organismes ne peuvent se concevoir hors de leurs milieux de vies biologiques et sociales,

sous peine d'effondrement d'un système technique désajusté. Cette « résistance du vivant » qui impose des contraintes et met en rapport les êtres et les artefacts semble capable d'inspirer de nouvelles formes d'innovation. Nous décrirons comment le métier d'ingénieur du vivant en devenant agile, collaboratif, intégratif et frugal est en train de générer une créativité foisonnante et opportuniste comparable à celle de l'évolution biologique. Notre conclusion s'ouvrira sur les questions de participation des citoyens aux choix de société, à propos du vivant, avec d'importants enjeux de survie.

1 Deux représentations du capital naturel

1.1 Economie de l'environnement versus économie écologique

« Le vrai capital naturel, ce n'est pas un stock de matières premières mais le système de régulation naturel qui permet de reproduire les ressources », souligne l'économiste Christian de Perthuis (2015) [3]. Cette compréhension est déterminante. Elle est clivante même puisqu'elle révèle des visions diamétralement opposées à propos de la bioéconomie. Celle-ci repose en effet sur deux grandes conceptions des relations entre économie et environnement théorisées depuis les années 1960, et encore très présentes, que l'on qualifie, l'une, d'économie de l'environnement ou des ressources naturelles, l'autre, d'économie écologique.

La première, à la suite des économistes américains William Baumol et Wallace Oates, puis de Robert Costanza, considère l'environnement comme un ensemble de biens dont on peut estimer la valeur monétaire et dont la durabilité est assurée par la régulation marchande du niveau des ressources et le recours à de nouvelles technologies capables de pallier leur raréfaction. L'économie de l'environnement prend la nature comme une mine dont on use sans se soucier de la régénération.

L'économie écologique impose une conversion de notre modèle économique pour intégrer les externalités et l'ajuster au fonctionnement circulaire des métabolismes. Elle s'est structurée autour du mathématicien roumain Nicholas Georgescu-Roegen, de l'écologiste américain Howard Odum, et des économistes américain et français Herman Daly et René Passet. Elle conteste le modèle libéral, jugé insoutenable car moteur de la raréfaction des ressources. Elle lui substitue un autre modèle économique, conçu comme sous-ensemble intégré de la biosphère, au sein duquel le « capital naturel » a une valeur intrinsèque découlant des « services écosystémiques » qui le rendent possible. Dans ce système, la durabilité est intégrée par des indicateurs non monétaires, tels que la notion d'empreinte écologique.

1.2 Des feuilles de route aux logiques différentes

Ces deux approches fort différentes ont permis aux acteurs de l'innovation de « faire leur marché » afin de structurer les feuilles de route les plus conformes à leurs logiques propres. Ainsi au lieu d'être une occasion de refondation de l'économie, comme l'ont préconisé René Passet ou Nicholas Georgescu-Roegen, apôtre de la décroissance, la bioéconomie recouvre actuellement trois sens sensiblement identiques. Pour la Commission européenne, la bioéconomie est un état de l'économie déjà existant et en devenir qui comprend la production de ressources biologiques renouvelables et leur conversion en aliments en énergie et en « bioproduits », soit des produits « obtenus, totalement ou en partie, à partir de matières premières d'origine biologique, à l'exception des matières premières enfouies dans des formations géologiques et/ou fossilisées ». Dans cette conception, la bioéconomie inclut l'agriculture, la sylviculture, la pêche, l'industrie agroalimentaire et papetière, et des sous-domaines de l'industrie chimique, de l'industrie biotechnologique et de l'industrie de l'énergie. Son potentiel innovant repose sur une diversité de disciplines scientifiques (sciences du vivant, agronomie, écologie, sciences de l'alimentation, sciences sociales) et sur plusieurs technologies (biotechnologies, nanotechnologies, TIC, ingénierie).

L'OCDE adopte une définition plus restreinte et technologique de la bioéconomie. Pour elle, il s'agit d'un système en devenir dans lequel les biotechnologies assurent une part substantielle de la

production économique via leur application à la production végétale, à la santé et à l'industrie : « À l'horizon 2030, la bioéconomie s'appuiera probablement sur trois piliers : une connaissance approfondie des gènes et des processus cellulaires complexes, la biomasse renouvelable et l'intégration sectorielle des applications biotechnologiques »¹.

Pour le monde académique comme l'INRA, il s'agit d'une « stratégie scientifique, technologique et économique qui va assurer la transition de l'économie actuelle, fondée sur les ressources fossiles, à une économie fondée sur les ressources biologiques – la biomasse – et produisant aussi bien des produits alimentaires, des ingrédients chimiques destinés à des usages variés, des matériaux (bois, fibres...) que de l'énergie »². En prenant le vivant comme inspiration, la bioéconomie envisage une industrie sans déchets, basée sur des flux circulaires et des usages optimisés des matières. Les feuilles de route dans ce champ stratégique sont déjà établies au sein de l'OCDE, aux Etats Unis, et en Europe (voir la création de l'Observatoire européen de la bioéconomie³).

2 Mouvement technique et impératif industriel

2.1 L'information comme un équivalent du vivant

La proposition d'une économie en dépendance de la biosphère est véritablement subversive. En effet, l'économie, comme l'innovation se sont pensées « hors sol », dans un arraisonnement de la nature aux fins industrielles et productivistes. Cet « impératif industriel, » selon le titre du livre de l'économiste Lionel Stoléru paru en 1969 [4] a entretenu le mythe de l'illimité. L'instrument de cette approche utilitariste a été l'information, saisie comme le principe d'organisation du vivant. Dès lors que l'on a pu matérialiser en 1953 son support, la double hélice d'ADN, la généralisation de son usage était engagée.

Le contexte est favorable juste après guerre : la cybernétique, permet de penser la gouvernance des machines et des hommes (Lafontaine, 2004) [5]. Elle promeut, selon son fondateur Robert Wiener une vision unifiée des domaines naissants de l'[automatique](#), de l'[électronique](#) et de la [théorie mathématique de l'information](#), en tant que « théorie entière de la commande et de la communication, aussi bien chez l'animal que dans la machine » (Wiener, 2014, p.70) [6].

2.2 Des organismes modulaires aux fonctions brevetables

Dans le monde de la recherche en biologie, c'est donc le code, porté par la molécule d'ADN, qui structure les investissements et l'innovation. Avec le génie génétique et la biologie moléculaire, le projet de fabriquer du vivant artificiel se déploie, arrimé à une logique économique de fragmentation en biobriques ou gènes stratégiques, garantissant une valeur d'échange. Dès lors en effet, qu'une fonction peut être encapsulée dans un gène, l'appropriation par brevet de ce dernier devient une arme marchande efficace.

Se développent ainsi des perspectives productives inédites par reprogrammation des organismes pour leur faire fabriquer des biocarburants, des médicaments, des molécules à valeur ajoutée. Cet eldorado séduit d'autant plus aujourd'hui, qu'il nous faut sortir de l'économie pétrosourcée dont le carburant s'épuise... Le vivant est conçu ici comme un lego dans lequel l'ingénieur plaque ses standards, ses cahiers des charges et ses modèles prédictifs sur les corps, les animaux ou les plantes désormais programmés, gérés et conditionnés.

¹ <http://www.oecd.org/prospective/bioeconomie/2030>

² *La bio-économie, une stratégie d'avenir ?* Conférence IFPEN/Inra, Salon international de l'agriculture, 1er mars 2013

³ http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index_en.htm

2.3 Technomimétisme

La convergence NBIC - connectant nanotechnologies, biotechnologies, technologies de l'information et science cognitive - a été structurée politiquement et promue aux Etats Unis, dans un rapport publié en 2002 (M. Roco & W. Bainbridge) [7]. Elle conforte la dynamique générale du mouvement technique basé sur la valeur centrale donnée à l'information. Des opérations peuvent désormais se propager depuis le code jusque dans les matériaux (nanotechs), les organismes vivants (biotechs) et les cerveaux (neurotechs). Si ces leviers fonctionnent, il n'en est pas moins vrai qu'ils ne rendent pas compte d'un vivant intégral. Ils opèrent une sorte de remplacement du monde par un équivalent simplifié où les phénomènes sont réduits à des processus logiques pouvant être manipulés par des opérations automatiques.

Ce programme qu'on peut qualifier de « technomimétique » - qui accumule des performances non pas organiques mais greffées - expulse la vie. Car celle-ci est tâtonnante, imprévisible, et faillible. Elle tire même sa force de ses vulnérabilités et de ses pertes. On cite souvent à ce sujet Paul Valéry :

« Artificiel veut dire qui tend vers un but défini. Et s'oppose par là au vivant. Artificiel ou humain ou anthropomorphe se distingue de ce qui est seulement vivant ou vital. Tout ce qui parvient à apparaître sous forme d'un but net et fini devient artificiel (...) Si la vie avait un but, elle ne serait plus la vie » (1971, p.117) [8].

2.4 La confrontation aux logiques biomimétiques

Le développement technique se trouve donc aujourd'hui en tension entre deux manières de voir et d'agir, deux engagements ontologiques différents. Le premier courant dominant dit technomimétique procède d'une volonté de maîtrise : elle prend les commandes de la matière, en l'optimisant par des greffes de fonctions (OGM, nanotechnologies...). Il adopte une posture « hors sol » en pensant le progrès comme un affranchissement des contraintes biologiques. Et la biologie de synthèse incarne de manière paradoxale cet horizon. Ainsi le biologiste François Képès considère que la « condition de mise en œuvre de la biologie de synthèse est l'indifférence au contexte »⁴. Le second est dit « biomimétique » et tente d'imiter les systèmes vivants et de s'inscrire dans les dynamiques écosystémiques. Il consiste en une adhésion aux logiques de la nature en acceptant l'interdépendance et les limites de la maîtrise.

3 Biologie de synthèse : ingénierie pour « designer » la nature

3.1 Ruptures et sortie de l'errance darwinienne

La biologie de synthèse née dans les années 2000 s'inscrit dans la logique des décryptages des génomes et du génie génétique. Elle profite des progrès de la bioinformatique qui permet de fabriquer rapidement et à coût décroissant des morceaux de codes à façon. Elle introduit la possibilité de ruptures comme l'explique l'éditorial d'un numéro de *Nature Biotechnology* consacré à la biologie de synthèse :

« En appliquant les principes de l'ingénierie aux systèmes vivants, en nous permettant de nous éloigner du mimétisme ou de l'optimisation des cellules naturelles, la biologie de synthèse nous ouvre la possibilité de design dans des systèmes totalement artificiels. [...] Au tournant du siècle dernier, les frères Wright ont accompli des vols humains non pas en imitant les systèmes naturels mais en appliquant les principes de l'ingénierie et de l'aérodynamique. De la même manière, la biologie de synthèse permet de se dispenser du mimétisme biologique et de concevoir des formes de vie sur mesure adaptées à nos besoins ». (2009, p1059) [9].

⁴ Propos recueillis lors de l'école doctorale C'Nano Ile-de-France, 27 juin 2012

L'imagination va bon train dès lors que l'on envisage de sortir des canons et contraintes des écosystèmes. La biologie de synthèse se constitue comme apte à piloter une évolution utile en opposition à l'évolution darwinienne tâtonnante. Ainsi le biologiste Philippe Marlière, cofondateur des start ups Isthmus et Global Bioénergies, déclare-t-il:

« La vie est loin d'être parfaite, nous pouvons l'optimiser. L'industrie demande une biodiversité artificielle qui déborde l'offre génétique des espèces naturelles [...]. Je propose une démarche post-biotique en utilisant les organismes existants comme plates-formes, pour faire bifurquer de la création. Le Rubicon de la biologie de synthèse c'est d'engendrer des êtres que l'évolution n'a pas produits ; nous aurons, de plus, l'avantage de mieux comprendre ce que nous aurons fabriqué». (2009) [10]

3.2 Du vivant artificiel, programmé et hors sol

Les propos de Philippe Marlière sont une allusion implicite au mot de Feynman « *what I cannot create, I do not understand* ». Ils sont une invitation à en découdre avec la nature, toujours opaque, irrationnelle, pour refaçonner le vivant à notre guise. Le vivant n'est même plus un ensemble de rouages assemblés en une machine comme dans la théorie cartésienne. Il est repensé comme une collection de machines moléculaires aux performances intéressantes. D'abord analysé en modules, eux mêmes composés de dispositifs fonctionnels séparés, le vivant est dépouillé de toute finalité intrinsèque et ré-orienté vers des finalités pratiques. S'il est mis en valeur, c'est uniquement pour ses performances techniques, au service des projets humains, ce qui est typiquement la posture que Canguilhem désignait comme « anthropomorphisme technique ». D'où l'insistance des promoteurs de la biologie de synthèse - Drew Endy par exemple - sur les « besoins humains » qu'il s'agit de satisfaire. Maîtriser la nature pour servir l'humanité, l'idéal fondateur de la science moderne, des Bacon, Descartes, et Boyle, est vaillamment claironné. En l'occurrence, les projets se révèlent être des fabriques d'une sorte d'équivalent du monde. « Nous avons perdu le monde, souligne Michel Serres dans *Le contrat naturel*. Nous avons transformé les choses en fétiches ou en marchandises » (2009) [11].

3.3 Standardisation, découplage, abstraction

Pour répondre à des objectifs sociaux ou humains, les machines moléculaires, fournies par le vivant, doivent être abstraites de leur environnement naturel, et considérées uniquement comme des dispositifs fonctionnels susceptibles d'effectuer une opération ou une suite d'opérations. Une fois arrachées à leur milieu, à leur contexte d'origine, elles deviennent une force de travail parmi d'autres. Leur fonctionnement se doit de répondre au cahier des charges des fabrications de type industriel : production homogène, standardisée, si possible automatisée... ce qui justifie le *re-engineering* des organismes vivants. Les justifications que fournit le bioinformaticien du MIT, Drew Endy pour les trois principes fondateurs de la biologie de synthèse que sont la standardisation, le découplage, et l'abstraction relèvent clairement d'un ethos d'ingénieur. La standardisation est une condition essentielle de fiabilité; le découplage est une condition d'efficacité ; enfin l'abstraction est une condition de prévisibilité. Toutes trois engagent la responsabilité de l'ingénieur.

En transformant les vivants en objets techniques, les synthèses technomimétiques réactivent l'idéal cartésien de nous « rendre comme maîtres et possesseurs de la nature ». Pour tenir ce cap et s'approcher de l'idéal classique d'ingénieur, les biologistes de synthèse doivent abstraire le vivant de son milieu et le « *retravailler* » en éliminant « les scories et redondances, tout ce qui procède du bricolage de l'évolution et qui le distingue des productions de l'art humain » (B. Bensaude-Vincent & D. Benoit Browaeys, 2012) [12]. Mieux, en reconfigurant les vivants comme des usines conformes aux règles de la production industrielle, cette biologie de synthèse va jusqu'à remettre en question un caractère essentiel du vivant : sa finalité intrinsèque qui se traduit par la spontanéité. La volonté d'artifice chez certains biologistes de synthèse peut aller jusqu'aux efforts pour fabriquer des formes de vie inédites, purs produits du design des ingénieurs, matérialisation d'un projet technique ou social,

économique ou militaire.

4. Quand le vivant résiste

4.1 Dynamiques des bricolages et ajustements aux écosystèmes

Si les mentors de la biologie de synthèse comme John Church (professeur de génétique à Harvard et au MIT) qui annonce la résurrection prochaine des mammoths, ou Craig Venter (président du Center for the Advancement of Genomics) qui veut générer des cellules « ayant pour parents un ordinateur » entretiennent la perspective d'un design rationnel nourrissant une économie de la promesse, il faut se garder de limiter la biologie de synthèse à leurs seules activités. En effet, d'autres approches pragmatiques révèlent des créativité différentes, à l'écoute des métabolismes. On peut repérer ainsi des biologistes comme Miroslav Radman (Professeur à la faculté de médecine de l'université René Descartes à Paris, Directeur de l'unité Inserm 571 « Génétique moléculaire, évolutive et médicale ») qui convoque les processus aléatoires des mutations pour générer de la biodiversité. D'autres comme Pamela Silver (Harvard Medical School) s'appliquent à saisir les logiques du vivant pour réparer ou amplifier des atouts. D'autres enfin se focalisent sur les relations entre organismes et interviennent sur les écosystèmes que sont les microbiomes intestinaux ou épidermiques (par exemple) pour traiter certaines pathologies. Ainsi, ces approches témoignent que la biologie de synthèse est diverse et qu'elle peut « déborder » la science programmatique.

Elles manifestent que nous sortons du réductionnisme génétique des années 1970 en ne considérant plus seulement les structures et fonctions individuelles mais aussi les relations qui étayent le vivant. L'épigénétique, qui étudie les mécanismes moléculaires qui modulent l'[expression](#) du [patrimoine génétique](#) en fonction du contexte, renforce cette vision d'un vivant malléable en constant ajustement à son milieu. Notre époque s'ouvre à ses dimensions comme le manifeste d'engouement pour l'agroécologie centrée sur les symbioses végétales ainsi que l'agroforesterie, prônant la cohabitation des organismes animaux et végétaux. Ces pratiques valorisent les écosystèmes, non pas comme support mais comme condition de toute régénération. L'attention aux sols vivants et les semis sous couvert, procèdent aussi de ce mouvement écosystémique qui affirme qu'il n'y a pas de vie sans relation.

4.2 Atouts et paradoxes du vivant

Deux figures pionnières ont posé les jalons de cette « écobiologie » : Antoine Danchin avec sa proposition d'une biologie symplectique⁵ et le biomathématicien Robert Rosen avec dont les travaux ont esquissé les bases d'une biologie relationnelle (1958) issue de la théorie des systèmes. Pour le premier, le complexe et l'entrelacement des entités dynamiques du vivant (actualisation permanente) oblige à changer de focale, au delà de la biologie moléculaire centrée sur les briques constituant le vivant. Antoine Danchin propose une biologie symplectique qui s'intéresse aux relations entre objets, plus qu'aux objets eux-mêmes. Cette approche lui semble incontournable puisque les formes vivantes sont les seules stabilités si l'on considère le renouvellement permanent des constitutants biologiques (voir la métaphore de « la barque de Delphes » d'Antoine Danchin). On peut dire ici que l'information revient en force non plus pour coder des agencements moléculaires mais pour organiser les relations macroscopiques.

Pour Robert Rosen, le vivant se caractérise, pas seulement par son métabolisme, mais par son activité de réparation de certaines parties de son système. La faille est ici bienfaitrice... car sa réparation est à la source de l'évolution et de la durabilité face aux phénomènes hostiles.

Le processus évolutif nourri par une stabilité organique relationnelle compte aussi sur un autre avantage du vivant : la mort ! Pour Jean-Claude Ameisen, président du Comité consultatif national d'éthique et auteur de *La sculpture du vivant* (1999) le moteur créatif du vivant procède par

⁵ <http://www.symplecticbiology.org/> mais surtout http://www.normalesup.org/~adanchin/science/vision_fr.html

croissance et par apoptose, phénomène de suicide cellulaire [13]. Il y a donc dans les logiques du vivant une manière de « broder » en cultivant les contraires⁶. Ce que Miguel Benasayag, philosophe et psychanalyste argentin résume en disant que « l'unité du vivant est donnée par la faille et la perte » (2013) [14].

Il faut prendre au sérieux les propos de Georges Canguilhem « La vie est expérience, c'est à dire improvisation, utilisation des occurrences. Elle est tentative dans tous les sens » (1952) [15]. Ce constat est le fruit de trois caractéristiques des organismes vivants : leur interdépendance - avec une plasticité qui permet de construire un cerveau ou un système immunitaire – leur régénération c'est-à-dire le renouvellement permanent des constituants et leur inachèvement qui les définit comme êtres en devenir. Ce dernier trait s'apparente à la néoténie, chère au philosophe Dany Robert Dufour. « L'espèce humaine se caractérise non pas par sa supériorité sur le reste de la création mais par sa forme inachevée, sa faiblesse « naturelle ». Un manque de nature donc, que seule peut compenser la culture avec ses discours, récits, ses sciences et ses techniques » (1989 p. 45) [16]. On peut parler ici d'une capacité d'autopoïèse, concept fondé par Francisco Varela en 1972. Il s'agit d'une propriété de « production de soi, en permanence et en interaction avec son environnement » (p.45) [17].

5 Quand les ingénieurs s'inspirent du vivant

5.1 La nature « top-modèle »

Les qualités propres des organismes vivants fascinent de plus en plus les ingénieurs et leur donnent des idées. Kim-Eric Drexler dans son livre *Engines of creation* se réfère aux réalisations naturelles pour affirmer la possibilité de faire vivre des biorobots (1986) [18]. Il exprime que tout ce que la nature a pu inventer, l'ingénieur peut le faire...

Pour l'heure, de nombreux succès ont été obtenus en exploitant les atouts du vivant. Avec la bionique, les inventeurs ont pris les structures naturelles pour modèles. Avec le biomimétisme, ce sont les propriétés et processus métaboliques qui deviennent inspirants. Les chimistes notamment, développent des biomatériaux - les feuilles de lotus que l'eau ne mouille pas, les pattes de gecko qui défient la gravité en adhérant aux parois, la soie d'araignée qui allie finesse et résistance, les ailes de papillon. La nature joue ici le rôle de « top-modèle » capables de fabriquer des structures hiérarchiques complexes et multifonctionnelles comme le bois, l'os, la peau ... Ce qui frappe les chimistes c'est qu'elle y parvient par des procédés « tout en douceur » sans haute-pression ni haute-température. Ces performances inspirent Jacques Livage au Collège de France, qui fut un des pionniers de la chimie douce et de la polymérisation à température ambiante.

5.2 Une révision profonde des procédures d'innovation

Au lieu de procéder comme les humains qui fabriquent d'abord les pièces, puis procèdent à leur assemblage, les vivants font tout en même temps : élaborent des composants qui se mettent en forme et s'auto-assemblent. La chimie de synthèse tente d'imiter ces prouesses du vivant, d'obtenir l'auto-assemblage des composants et de contrôler la morphogenèse. Ces démarches se situent dans le prolongement des travaux de Stéphane Leduc, biologiste et chimiste à l'origine du terme « biologie de synthèse » (voir son livre intitulé *La biologie de synthèse* publié en 1912). Ce dernier réalisait des « jardins chimiques » avec des solutions colloïdales pour donner à voir des mouvements, des croissances de forme. Une sorte d'imitation du vivant, mais sans les instructions, sans le programme.

Il faut bien prendre de la mesure de la mutation du processus créatif : le design biomimétique consiste moins à imprimer un projet humain dans la matière qu'à tenter de reproduire les formes actuelles du vivant par le jeu des forces physico-chimiques inhérentes à la matière. Le chimiste biomimétique tente de tirer parti de la dynamique interne aux molécules et de leurs interactions pour inventer une structure fonctionnelle. Il déclenche un processus spontané en réunissant les conditions

⁶ <http://www.unicaen.fr/recherche/mrsh/forge/2917>

favorables. Contrairement au fabricant d'une montre, il n'a pas conçu puis fabriqué une machine pièce à pièce. Il oriente des processus accomplis par des molécules qui suivent leur propre chemin au gré de leurs interactions.

5.3 Opportunités et transition

Ainsi, les processus vivants en tant que tels révolutionnent les manières mêmes d'innover. Formes, interactions, stratégies, architectures des organismes inspirent pour optimiser le design, la capture d'information (vision des drones), le calcul (réseaux de neurones de l'intelligence artificielle). La robotique évolue tant que l'apprentissage et l'intégration des émotions permet de réaliser des machines évolutives car apprenantes. On parle de « machines molles » en référence au livre de Richard A.L. Jones⁷ qui connecte nanotechnologies et biotechnologies.

L'impression 3D est aussi aspirée par le rêve de fabriquer des organes vivants : pour l'heure on dépose des cellules sur des matrices pour faire de la peau (voir l'accord récent de L'Oréal US avec Organovo), et des constructions étonnantes de bourgeons organiques de foie ont été réalisées notamment au Japon⁸.

« Scrute la nature, c'est là qu'est ton futur » prônait Léonard de Vinci. Dans ce moment de transition, où il nous faut à la fois réduire nos émissions carbone, ainsi que nos consommations de matières premières et nos pollutions, la conversion de notre industrie vers le biosourcé semble incontournable. La biologiste pionnière du biomimétisme, Janine M. Benyuls, a démontré – en présentant de multiples initiatives de par le monde - le potentiel d'économie dès lors que l'on imite la nature (2011) [19]. De même, recourir à la biomasse pour produire du butadiène pour faire du caoutchouc synthétique, du propylène vert pour fabriquer des parechocs ou des tableaux de bord, de l'isosorbide, en remplacement des plastifiants polluants... permet de faire baisser les empreintes carbone donc les « externalités négatives ».

De nouveaux modèles d'affaires basés sur l'écoconception et l'économie de la fonctionnalité se manifestent. On ne compte plus les initiatives qui incarnent la fin d'une posture (extraire-fabriquer-consommer-jeter) pour s'affranchir du gâchis et de l'obsolescence des produits.

5.4 Frugalité et open source

Le métier d'ingénieur lui-même est en train de se refonder. De plus en plus de jeunes ingénieurs, se réclamant d'une « innovation frugale, participative ou low tech », conçoivent les projets avec les usagers et dans leurs écosystèmes (Philippe Bihouix, 2014) [20]. Ce mode d'invention n'impose pas une norme du dehors comme on imprime une forme sur une matière passive et docile. Comme l'éleveur, il mise sur la spontanéité du vivant et il « fait avec ». Il s'immisce dans des processus naturels.

« Le modèle de l'ingénieur ingénieux implique un renoncement aux idéaux de maîtrise et de contrôle. Et du coup pose autrement le problème de la propriété », lit-on dans *Fabriquer la vie* (B. Bensaude-Vincent & D. Benoit Browaeys, 2012) [12]. La machinerie vivante greffée ou parasitée relève-t-elle de la nature ou de l'invention humaine? On s'achemine vers des situations complexes où la distinction entre souches naturelles et artéfacts va être de plus en plus ardue à faire. Les techniques nouvelles de « chirurgie moléculaire » comme CRISPR-Cas9 inventée voici deux ans⁹, va avoir des effets redoutables à la fois pour identifier les auteurs des modifications et d'autre part pour la traçabilité de ces « organismes liftés ». La question de la propriété intellectuelle va se complexifier aussi puisque les promoteurs de ces constructions poussent pour quitter la législation des OGM, basée sur la remise aux pouvoirs publics des amorces constitutives des organismes modifiés.

⁷ <http://www.softmachines.org/wordpress/>

⁸ <http://www.up-magazine.info/index.php/decryptages/conversations/4845-professeur-franco-on-peut-reconstruire-le-vivant>

⁹ <https://www.neb.com/tools-and-resources/feature-articles/crispr-cas9-and-targeted-genome-editing-a-new-era-in-molecular-biology>

De leur côté, les milieux alternatifs incarnés par les biohackers – qui utilisent le vivant comme ressource pour des projets pragmatiques indépendants des grands laboratoires de recherche - proposent de rallier les approches open-source développées par les communautés de logiciels libres. Un idéal s'est développé dans ce sens au sein de la communauté iGEM, qui permet à des équipes d'étudiants d'inventer des constructions vivantes « à façon » et de venir les présenter chaque année à Boston. Cette compétition annuelle organisée à l'origine par le MIT, génère un partage des « recettes moléculaires » en tout genre. La Fondation Biobricks met ainsi en partage les constructions des contributeurs iGEM.

5.5 Responsabilités

Ces nouveaux outils et états d'esprit nous confrontent aussi à des responsabilités d'un genre inédit. Le nouvel ingénieur, qui n'est plus ni fabricant ni pilote ne pourra pas rendre compte du comportement de sa machine, dès lors qu'il compose avec les mécanismes sur lesquels il se greffe, et qu'il n'est pas totalement maître à bord. Un fabricant responsable a obligation de résultats. Un éleveur, composant avec la spontanéité de la nature, a obligation de moyens à l'égard du vivant qu'il instrumentalise mais peut difficilement garantir un résultat. Sa responsabilité est engagée d'une manière nouvelle...

Il s'agit de « *répondre du vivant* » pour reprendre le titre du livre du philosophe Roland Schaer dans une conscience des interdépendances (2013) [21]. Pour Michel Serres, il faut envisager et construire une « physiopolitique » signalant que « les institutions vont dépendre désormais des contrats explicites que les hommes passeront avec le monde naturel, jamais plus notre bien, ni privé, ni commun, mais désormais notre symbiote ». Michel Serres en appelle à une reconnexion profonde avec nos milieux de vie. « Désormais le gouvernement doit sortir des sciences humaines, des rues et des murs de la cité, se faire physicien ; émerger du contrat social, inventer un nouveau contrat naturel en redonnant au mot nature son sens originel des conditions dans lesquelles nous naissons – ou devrons demain renaître » (2009) [11]. Cette aspiration rejoint les conceptions défendues par l'école physiocratique, première grande école économique du XVIII^e siècle. Celle-ci a pensé l'économie en dépendance de la biosphère, avec pour maître à penser, François Quesnay (1694-1774). « Nous découvrons un ordre essentiel, un ordre dont les sociétés humaines ne peuvent s'écarter, sans trahir leurs véritables intérêts, sans cesser d'être des sociétés », indique un de ses disciples, Le Mercier de la Rivière (1767, p19) [22].

6. Gouvernance de l'innovation : une nouvelle vision du progrès

6.1 Tensions

Les conversions pour ramener l'économie au coeur du vivant sont lentes et difficiles. La perte de résilience des écosystèmes (par effondrement de la biodiversité), la surconsommation et les prises de pouvoir des automates par l'économie digitale (trading algorithmique) manifestent que le système hors sol est à bout de souffle. Inquiet dès les années 1960, le mathématicien Alexandre Grothendieck qualifiait de « mortifère » l'orientation du mouvement technoscientifique, et fondait alors le mouvement *Survivre et vivre* (C. Pessis, 2014) [23]. Il s'agissait bien de revisiter les priorités technoscientifiques en tenant compte des limites de la planète. Cinquante ans plus tard, la question du vivant reste clivante.

D'un côté, l'approche réductionniste adoptée par les politiques de recherche *mainstream* soutenue par la convergence nano-bio-info-cognisciences (NBIC) vise la performance des organismes en les dopant. *Exit* le contexte et la question de la cohabitation. C'est ici le point d'achoppement des tous les conflits sur les OGM : Les essais vont-ils contaminer nos champs ? Quelle protection des cultures « bio » à proximité des cultures transgéniques ? Les brevets sur les semences vont-ils laisser libre l'accès à des semences alternatives ?

De l'autre côté, cohabitation et réversibilité sont revendiquées comme indicateurs de résilience et de sécurité. A cet égard, le philosophe et mathématicien Nicolas Bouleau pose un diagnostic très catégorique :

« L'aventure qu'il faut maintenant appeler bionanotechnologique est fondée sur l'hypothèse implicite d'une résilience de la biosphère au delà de ce que la nature expérimente aujourd'hui dans le contexte qu'elle a engendré (...) Tout ce qui ressemble aux OGM propagés dans l'espace terrestre est une voie dangereuse selon un registre philosophique nouveau à laquelle ne s'appliquent pas les idées optimistes du progrès baconien, fondamentalement fondées sur une vision providentielle de l'environnement » (2014) [24].

6.2 Reconnaissance et contrat social

A ce stade, il n'est plus possible d'ignorer ce que la nature fournit à nos systèmes de production. Robert Costanza, un des pionniers de l'économie écologique évalue à quelque 33 000 milliards de dollars par an la totalité des services rendus à l'humanité par les écosystèmes de la planète (1997) [25]. Cette estimation démontre que la valeur du capital naturel est supérieure au PIB mondial annuel (évalué à 18 000 milliards de dollars à l'époque). Divisé par six milliards d'individus, ces 33 000 milliards offrent environ 5 500 dollars par personne et par an de services vitaux « rendus » par les écosystèmes (cycle de l'eau, formation des sols, recyclages, pollinisation, habitats...).

Reconnaître cette réalité permet d'envisager un nouveau contrat social apte à tisser les bases d'une gouvernance mondiale. La proposition de Michel Serres dans son livre sur le Contrat naturel est inspirante: « J'entends désormais par contrat naturel d'abord la reconnaissance, exactement métaphysique, par chaque collectivité, qu'elle vit et travaille dans le même monde global que toutes les autres (...) Le droit de symbiose se définit par réciprocité : autant la nature donne à l'homme, autant celui-ci doit rendre à celle-là, devenue sujet de droit ». Et d'interroger : « Que rendons-nous par exemple, aux objets de notre science, à qui nous prenons la connaissance ? Que devons-nous rendre au monde ? Qu'écrire dans le programme des restitutions ? ».

Ces constats nécessitent des changements éthiques profonds. Le dernier ouvrage de Corine Pelluchon peut soutenir cet apprentissage d'une responsabilité quotidienne à saisir nos interdépendances (2015) [26]. Ici, l'échelle locale féconde l'échelle globale où la connexion au réel est essentielle. Les investigations scientifiques pluridisciplinaires deviennent incontournables. Rien n'aurait été possible dans la reconnaissance du risque de réchauffement climatique sans le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ce dernier constitue d'ailleurs un modèle pour la biodiversité (voir la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), créée en avril 2012. D'autres défis émergents (géoingénierie, partage des ressources comme l'eau, l'air, les sols...) vont nous contraindre de plus en plus à structurer une gouvernance mondiale.

Il faudra aussi compter sur la reconfiguration des catégories pertinentes pour penser le vivant comme le propose Gilbert Simondon avec son Encyclopédisme génétique (2005) [27]. Sortir des simplifications basées sur les structures (hylémorphisme) pour adopter une compréhension dynamique et énergétique des phénomènes vivants. Cette approche subtile est l'enjeu de conversion majeur. C'est à partir de cette refondation que pourra s'envisager une compréhension réelle des rythmes biologiques, des cancers, des maladies autoimmunes, des perturbations endocriniennes.

7 Faire des choix biotechniques une affaire publique

7.1 Trois défis pour une démocratie mature

Poser les projets biotechniques comme cohérents avec nos écosystèmes, implique une posture politique de négociation, pour explorer les « compossibles » en société. Or, nos outils de concertation patinent à traiter les enjeux aussi considérables que la cohabitation des organismes vivants, la maîtrise des risques, la réversibilité des choix, la question des brevets... Pourtant aujourd'hui, une

démocratie mature se doit de relever trois défis : rendre lisibles les projets d'innovation, politiser leurs enjeux, responsabiliser durablement les parties prenantes vis-à-vis de l'intérêt général (D. Browaeys, 2014) [28].

Les outils et institutions prévus pour ces débats complexes sont insuffisants. La France est un des rares pays européens à ne pas disposer d'organe de mise en débats des choix technologiques. Au sein du réseau européen d'évaluation des technologies (EPTA), l'Office parlementaire français (OPECST) ne dispose pas d'instance de concertation, contrairement à tous ses homologues européens : Le Danemark s'appuie sur son *Institut Rathenau*, le Danemark sur le *Danish Board of Technologies*... De ce fait, les débats organisés ces dernières années sont pris en charge de manière inadaptée par la Commission nationale du débat public (CNDP) dont le mandat a été élargi aux concertations sur les « options générales » en 2002¹⁰. Les expériences menées dans ce cadre (sur les nanotechnologies et sur l'enfouissement des déchets nucléaires ont été malheureux¹¹. Car la méthode CNDP ne convient pas à de telles procédures¹². La durée très courte (trois mois), le mélange des phases d'information et de concertation, l'absence d'élaboration des problématiques clés avec les parties prenantes... font échouer les débats sur de tels sujets polémiques.

Néanmoins, le Haut Conseil des Biotechnologies joue un rôle prédominant pour rendre lisibles les enjeux grâce à son Comité économique éthique et social. Toutefois, sa mission d'instance indépendante chargée d'éclairer la décision publique ne permet pas de soutenir une instruction collective récurrente et dédramatisée des choix biotechniques.

7.2 Rêves et état d'esprit

Le débat public à propos des interventions sur le vivant est passé d'un « débat d'élevage à un « débat sauvage » selon l'expression de Laurent Mermet (Engref)¹³. Les citoyens s'emparent de toute sorte d'occasion pour louer, questionner, ou remettre en cause des projets. Ainsi a-t-on vu le projet *Glowing Plant* porté par la plateforme d'initiative Kickstarter, bloqué par des ONG, après une belle opération de crowdsourcing. Les confrontations de ce type vont se multiplier dès lors que vont fleurir les projets : tamagoshis vivants, aminimal-drône, manipulation de la mémoire, action sur les odeurs, puces RFID incarnées...

Alors que les biotechs ont pu faire peur dans les années 80, on assiste aujourd'hui à une certaine fascination pour les solutions durables : levures mangeuses de carbone, bactéries digérant les déchets ou fixant des polluants, algues productrices de biocarburants... D'autres projets comme la production de bioencres par des bactéries ou la possibilité de produire des drogues comme la morphine (annoncée dans *Nature* en mai 2015) génèrent de l'engouement notamment dans les milieux de la biologie de garage « DoYbio » (*Do it yourself*, faites le vous même) ou de la communauté iGEM (déjà évoquée). Le paysage des biotechs est devenu en quelques années « easy, cool and fun » du fait de la culture des « amateurs » qui s'approprient les objectifs dans des modalités « open, free and sharable ». Cet état d'esprit – issu du numérique et des communautés de logiciels libres – valorise le partage et la non-propriété. Cet aspect est très impactant pour la mutation qui est la nôtre si l'on rejoint l'analyse de Michel Serres qui explique la pollution comme le corollaire de tout d'acte d'appropriation (2009) [11]. Il serait le signe d'une déconnexion entre performance et domination...

¹⁰ Loi sur la démocratie de proximité : L'article L.121-10 du code de l'environnement permet au ministre de l'Ecologie et du Développement durable conjointement avec le ministre intéressé, de saisir la CNDP en vue de l'organisation d'un débat public sur des options générales en matière d'environnement ou d'aménagement.

¹¹ Les débats n'ont pu se tenir du fait d'opposants hostiles contestant la méthode.

¹² Nouvellement nommé à la tête de la CNDP, Christian Leyrit a ouvert vingt-et-un chantiers, notamment celui de l'évaluation continue des modalités de débats.

¹³ <https://www.cairn.info/le-debat-public-une-experience-francaise--9782707153418-p-368.htm>

7.3 Paradoxes et ruptures

Cette évolution ludique et joyeuse va de pair avec les discours optimistes d'une économie de la promesse. Car la biologie de synthèse apparaît pour certains comme le levier pour éviter le pire. George Church développe un programme pour ressusciter le mammoth tandis que Edward O. Wilson, propose un ré-ensauvagement de la moitié de notre globe¹⁴. Dans cet esprit de « fuite en avant technique », le transhumanisme, promeut une augmentation des capacités humaines et entend en finir avec la mort. Cette aspiration à l'immortalité soutenue par Ray Kurzweil irrigue les milieux high tech de la Silicon Valley où les quatre géants dénommés « GAFA » (Google, Amazone, Facebook et Apple) sont dynamisés par cette utopie.

En Europe, de nombreux auteurs mettent en garde vis-à-vis de ces ruptures culturelles qui réduisent à nouveau l'homme et le vivant à leurs fonctions. Ainsi s'exprime le philosophe Jean Michel Besnier : « Cette servitude volontaire appelle une révolte d'un nouveau style, celle de l'homme revendiquant sa complexité et son intériorité comme le signe de sa liberté » (2013) [29]. Mais nos modes de vies pourraient bien être en train de nous déconnecter du souci du monde, comme l'indique le spécialiste de philosophie morale de Louvain, Mark Hunyadi (2015) [30]. Les automatismes, les machines, les écrans, l'habitat urbain... sont devenus des intermédiaires. « 90% de nos captations du monde sont faits par les outils numériques », souligne Miguel Benasayag¹⁵. « Nous sommes contraints de nous hybrider mais nous devons refuser tout ce qui décompose les rapports : il nous faut générer des connexions organiques avec le monde digital ».

Conclusion

On l'a vu, la vie comme phénomène matériel, social et historique (avec ses failles et ses errances fait aujourd'hui résistance (M. Benasayag & P. Gouyon, 2013) [14]. Les organismes vivants ont des compétences uniques (interdépendance, plasticité, résilience) qui peuvent inspirer les processus d'innovation : agilité, frugalité, coopération, circularité des flux. Les nouvelles démarches d'agriculture alternatives (permaculture, biodynamie, agroforesterie) ou de pratiques alimentaires (slow food), corporelles, ou sociales (villes en transition, coopératives énergétiques) témoignent de ce renouveau. Il s'agit dans ces approches non plus d'optimiser les performances des organismes isolés, mais de penser des services de manière intégrée et en synergie. Cette approche pose le vivant comme relation. Le progrès consiste alors à miser sur les interactions plutôt que sur le métabolisme propre des individus.

Une telle mutation a trois conséquences. Elle amène à revoir tout d'abord les rapports entre organismes et artefacts, en considérant les phénomènes d'individuation comme partie intégrée des entités. En second lieu, elle permet de sortir des polarisations stériles entre vitalisme et matérialisme. Une ouverture résumée par la proposition de Michel Onfray (2015) [31] : il faut désormais « naviguer entre deux écueils : d'une part le mépris de la vie et du vivant ; d'autre part, le culte de la vie et du vivant ». En dernier lieu, elle déplace la valeur du vivant vers le potentiel de régénération plutôt que sur les « mines naturelles ». Cette posture qui protège les métabolismes dans le temps, entre héritage et générations futures, donne un bel avenir à la bioéconomie. « En quoi ce retour des possibles peut-il constituer une force de résistance. La résistance de la biologie à la biopolitique ? Répondre à ces questions nécessite l'élaboration d'un nouveau matérialisme, qui affirme la coïncidence du symbolique et du biologique. Il n'y a qu'une seule vie » interroge Catherine Malabou (2015) [32]. On comprend ainsi pourquoi la bioéconomie qui se construit aujourd'hui aurait tout intérêt à se présenter comme une bio-économie, en référence à ce vieux mot français (oéconomie) qui désigne le

¹⁴ <http://www.up-magazine.info/index.php/planete/biodiversite/5001-reensauvager-la-moitie-de-la-terre-la-dimension-ethique-d-un-projet-spectaculaire>

¹⁵ http://www.up-magazine.info/index.php?option=com_content&view=article&id=5009:hybridations-homme-machine-sous-conditions&catid=103:analyses&Itemid=542&utm_source=newsletter_129&utm_medium=email&utm_campaign=up-nl-vnew-quot

« ménagement prudent de son bien ou du bien d'autrui ». Dans son livre *Essai sur l'oeconomie*, Pierre Calame précisait le nouvel état d'esprit à promouvoir, « dans un souci constant de préservation et d'enrichissement de la biosphère, de conservation des intérêts, des droits et des capacités d'initiative des générations futures et dans des conditions de responsabilité et d'équité suscitant l'adhésion de tous. » (2009) [33]. En sortant des postures de prédation, il est possible que nous soyons en mesure de réajuster nos sphères relationnelles, celles que le décrit Félix Guattari dans *Les trois écologies* (1989) [34]. Pour enfin penser l'écologie environnementale avec l'écologie sociale et l'écologie mentale. Ce nouveau rapport à la ressource et aux modes de production est en train d'émerger. Fragile, il mérite d'être reconnu car il constitue notre seul avenir pour la planète.

Références

1. R. Passet, *L'Economie et le vivant* (Economica, Paris, 1979).
2. F.-D. Vivien, *Economie de l'environnement ou économie écologique, Responsabilité et environnement*, **48** (2007).
3. C. de Perthuis, *Le Climat à quel prix ?* (Odile Jacob, Paris, 2015).
4. L. Stoléru, *L'impératif industriel* (Le Seuil, Paris, 1969).
5. C. Lafontaine, *L'empire cybernétique* (Le Seuil, Paris, 2004).
6. N. Wiener, *La cybernétique : Information et régulation dans le vivant et la machine, Introduction* (Le Seuil, Paris, 2014).
7. M. Roco, W. Bainbridge. *Programme NBIC pour l'amélioration des performances humaines* (NSF/DOC-sponsored report, Arlington, 2002).
8. P. Valéry, *Cahier B*, 1910, cité par Canguilhem, *Machine et organisme*, 1947, In *La connaissance de la vie* (Vrin, Paris, 1971).
9. (anonyme) *Unbottling genes, Nature Biotechnology*, **27**(12), 1059 (2009).
10. P. Marlière, *Pourquoi et comment faire des formes de vie nouvelles*, Conférence à l'Université de tous les savoirs, Paris, 7 juillet 2008.
11. M. Serres, *Le contrat naturel* (Champs Flammarion, Paris, 2009).
12. B. Bensaude-Vincent, D. Benoit Browaeys, *Fabriquer la vie* (Le Seuil, Paris, 2012).
13. J.-C. Ameisen, *La sculpture du vivant* (Le Seuil, Paris, 1999).
14. M. Benasayag, P.-H. Gouyon, *Fabriquer le vivant* (Le Seuil, Paris, 2013).
15. G. Canguilhem, *Machine et organisme*, In *La connaissance de la vie* (Vrin, Paris, 1952).
16. D.-R. Dufour, *Il était une fois le dernier homme* (Denoël, Paris, 2012).
17. F. Varela, *Autonomie et connaissance* (Le Seuil, Paris, 1989).
18. K. E. Drexler, *Engines of creation, the coming era of nanotechnology* (Doubleday, 1986).
19. J. M. Benyuls, *Biomimetisme* (Rue de l'échiquier, Paris, 2011).
20. P. Bihouix, *L'âge des low-tech : Vers une civilisation techniquement soutenable* (Le Seuil, Paris, 2014).
21. R. Schaer, *Répondre du vivant* (Le Pommier, Paris, 2013).
22. Le Mercier de la Rivière, *L'ordre Naturel et essentiel des sociétés politiques*, 1767, (Hachette livre, France, édition 1910).
23. C. Pessis, *Survivre et vivre, Critique de la science, naissance de l'écologie* (L'échappée, Paris, 2014).
24. N. Bouleau, *Le vivant contient des combinatoires chimiques indécidables, qu'est-ce que cela signifie ?* Novembre 2014, *Epistémologie du risque*, Site GIET, disponible à <http://www.giet-info.org/wp-content/.../épistémologie-du-risque-OGM-1.pdf>
25. R. Costanza *et al.*, *The value of the World's Ecosystem Services and natural capital, Nature*, **387** (1997).
26. C. Pelluchon, *Les Nourritures* (Le Seuil, Paris, 2015).
27. G. Simondon, *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information* (Éditions Jérôme Millon, Grenoble, 2005).

28. D. Benoit Browaeys, Faire des choix techniques, écologiques et sanitaires une affaire publique, *Revue Etudes*, Septembre (2014).
29. J. M. Besnier, *L'homme Simplifié* (Fayard, Paris, 2013).
30. M. Hunyadi, *La tyrannie des modes de vie* (Le Bord de l'eau, Lormont, 2015).
31. M. Onfray, *Cosmos* (Flammarion, Paris, 2015).
32. C. Malabou, Une seule vie, résistance biologique, résistance politique, *Esprit*, Janvier (2015).
33. P. Calame, *Essai sur l'œconomie* (Charles Léopold, Mayer, Paris, 2009).
34. F. Guattari, *Les trois écologies* (Galilée, Paris, 1989).

