

Biologie de synthèse : les affres d'un chercheur

François Graner, biophysicien, s'intéresse à la biologie de synthèse. Nous en étions restés à ses études sur les méga bulles de savon¹. Nos enquêtes sur l'origine du Covid et les gains de fonction raniment nos discussions sur « science et conscience ». Nous lui suggérons de travailler sa « dissonance cognitive » avec un papier nourri de son expérience et de témoignages recueillis dans les labos.

Voici douze ans de cela, en avril 2013, nous avons perturbé, avec quelques Chimpanzés du futur, le « Forum sur la biologie de synthèse » au Conservatoire national des Arts et métiers de Paris. Notre tract résumait nos enquêtes publiées depuis plusieurs mois : « C'est au socle de l'équilibre biologique sur Terre, à ce bien commun du vivant, que s'attaquent les chercheurs pour en tirer profit et puissance² ».

Bien sûr, nos alertes n'ont pas freiné la recherche et la biologie synthétique a comme de juste progressé. Songez aux prouesses des « gains de fonction » sur les virus, auxquelles le succès planétaire du SARS-CoV2 a donné une large *visibilité*. La compétition internationale stimule également la création de cellules artificielles – en France avec le projet « Frontiers of Life » du CNRS à Bordeaux par exemple. Ces temps-ci, les bactéries-miroirs font la une, au motif qu'elles pourraient « éliminer la vie sur Terre³ ». Pas d'affolement, l'Institut Pasteur organise les 12 et 13 juin 2025 un « symposium international sur la "biologie miroir" (...) pour une discussion inclusive afin de développer une gouvernance appropriée⁴ ».

Non, rien n'a changé depuis avril 2013. Voici ce que les organisateurs débordés nous avaient laissé dire au micro et au pseudo forum du CNAM :

« Vous, chercheurs, qui prétendez délibérer sur la biologie de synthèse, vous devez vos carrières, vos revenus, votre position sociale à la recherche. Vous êtes juges et parties ; vous êtes en conflit d'intérêt ; vous devriez être les derniers à vous exprimer sur le sujet. Votre participation à ce débat est illégitime. Autant consulter les marchands d'armes sur l'opportunité de déclarer la guerre. Nous, chimpanzés du futur, nous ne défendons aucun avantage ni privilège. Nous défendons juste la possibilité de choisir ce qui va nous arriver⁵. »

Non, rien n'a changé en 2025. Les chercheurs font ce qui leur plaît, ou ce qui plaît à leurs financeurs, sans se soucier de leurs contributions à une guerre au vivant plus efficace que jamais. Mais lisez plutôt.

Pièces et main d'œuvre

¹ Cf. François Graner, « A quoi sert le prix Arts & Science de Minatec, par l'un de ses lauréats », janv. 2011, sur www.piecesetmaindoeuvre.com

² Pièces et main d'œuvre, « Alerte à la biologie de synthèse et aux aliens de demain », avril 2013, sur www.piecesetmaindoeuvre.com

³ Cf. « L'inquiétant spectre des bactéries miroirs », *Le Monde*, 19/03/25

⁴ <https://www.pasteur.fr/fr/journal-recherche/actualites/institut-pasteur-accueil-symposium-international-biologie-miroir>

⁵ Voir « Enfin sur vos écrans : *La révolte des Chimpanzés du futur* », sur www.piecesetmaindoeuvre.com

Biologie de synthèse : les affres d'un chercheur

Ruminations de François Graner, biophysicien⁶

Propos recueillis par Claude, biologiste

Peux-tu définir ce qu'est la biologie de synthèse ?

La biologie de synthèse combine la biologie et l'ingénierie, en construisant soit l'identique du vivant existant ; soit quelque chose qui n'existe plus, comme un fossile ou un virus éradiqué ; soit quelque chose d'analogue au vivant et qui n'a jamais existé. Les recherches font converger génétique, informatique, physique et chimie, en assemblant soit des composants inertes, soit des composants vivants. Elles associent la démarche du chercheur, avec essais et erreurs, à la conception de l'ingénieur, en vue du contrôle et de la standardisation.

Mes collègues ont du mal à se mettre d'accord sur une définition précise et univoque, comme en témoignent les programmes des congrès sur le sujet, qui regroupent des activités disparates : ingénierie génétique, cellule artificielle, impression 3D de tissus... Leur point commun est d'utiliser des techniques de pointe pour la manipulation du vivant.

A quand remontent ces recherches ?

On peut faire remonter ce projet au *Frankenstein* de Mary Shelley, qui avait des inspirations antérieures. Mais le terme « biologie synthétique » semble dater de Stéphane Leduc, vers 1910. Celui-ci manipule des produits physiques ou chimiques qui réagissent, se colorent, grandissent, créant des formes ressemblant à des arbres ou à des champignons.

Plus concrètement, Etienne Wolff montre dans les années 1930 qu'en détériorant certaines zones d'un embryon de poulet, il peut fabriquer des monstres à volonté. Son élève Nicole Le Douarin fait la première chimère en laboratoire en 1969, avec des greffes mutuelles entre des cailles et des poulets.

Puis vers 1972, une étape est franchie avec la dissociation des cellules de l'hydre d'eau douce. Cet animal est un petit tube d'un centimètre de long sur un millimètre de diamètre avec quelques tentacules, qui a un système nerveux et peut capturer des proies. Pour se reproduire, il fait un bourgeon sur le côté, qui grandit, pousse une tête et se détache. L'hydre adulte garde assez de cellules-souches (capables de se redifférencier et de refaire une évolution comme des cellules d'embryon) pour engendrer son système nerveux. Si on la coupe en deux, les deux parties sont capables de se régénérer. La dissociation consiste à séparer toutes les cellules de l'hydre. On les mélange dans le désordre et on les réagrège comme un mini steak haché. Elles sont capables de se trier, revenir en place ; de s'auto-organiser pour reformer une structure complexe.

Ces expériences ont plus tard des retombées sur l'ingénierie des tissus et leur impression en 3D.

⁶ Ce texte a bénéficié d'informations, de discussions, d'idées, de textes et de relectures venant de huit biologistes, cinq biophysiciens-ne-s, deux sociologues, un journaliste et un vulgarisateur, que je remercie chaleureusement. Les opinions indiquées ici ne les engagent pas, et elles n'engagent pas non plus mes tutelles. J'en prends la responsabilité, de même que celle d'éventuelles erreurs. Je remercie PMO pour l'idée initiale, les stimulations et le travail d'édition. Déclaration d'intérêt : je perçois un salaire pour travailler sur les sujets de recherche indiqués dans ce texte.

Une rupture intervient au même moment, avec la technique de modification du génome (la partie génétique de l'information contenue dans les cellules). Les chercheurs réalisent en 1971-72 les premières insertions d'un génome d'une espèce dans celui d'une autre espèce.

On célèbre cette année le cinquantième anniversaire de la conférence d'Asilomar, organisée par deux biologistes américains en Californie le 24 février 1975, qui lancent le débat sur la biologie de synthèse et ses risques. Réunis à huis-clos, 150 scientifiques - généticiens états-uniens et représentants d'autres nations, ex-physiciens du projet Manhattan (la bombe atomique américaine) – s'inquiètent des effets des manipulations génétiques. J'y reviendrai.

Au tournant des années 1980 arrivent la procréation artificielle et les premiers essais d'interfaces neurone-machine. Puis le clonage et la brebis Dolly en 1996. En 2000, un groupe de trois gènes est organisé pour se réprimer mutuellement et fluctuer périodiquement chacun à son tour, pour comprendre comment apparaissent les fonctions cellulaires qui oscillent dans le temps. Les techniques de manipulation connaissent un développement notable.

On commence à parler de biologie « in silico » (sur silicium) avec les progrès de l'interfaçage entre des neurones et des plaques de silicium, mais aussi les simulations numériques qui se substituent à des expériences difficiles à réaliser. L'ordinateur démultiplie les moyens, et la bio-informatique permet la manipulation de quantités croissantes de données.

En 2010, Craig Venter annonce qu'il a séquencé avec son équipe le génome d'une bactérie et créé la première « bactérie artificielle ». Il prétend « rendre possible d'optimiser certaines fonctions dans des organismes, qui seraient bénéfiques pour la société », sous le regard de tous les comités d'éthique et de biosécurité imaginables.

Que recouvre la biologie de synthèse actuelle ?

2012 marque le début d'une croissance exponentielle avec la percée du CRISPR (les « ciseaux génétiques »), qui rend rapide et pas chère la manipulation du génome. Depuis que je me concentre sur la bibliographie, je constate la vitesse à laquelle tout avance, rien qu'en un an.

C'est aussi en 2012 que je lis l'article publié par Pièces et main d'œuvre, « Innovation scientifique : la biologie de synthèse⁷ », qui m'alerte sur les enjeux. Tout ce qu'on discute aujourd'hui est déjà largement présent ou en germe à l'époque, et commenté dans cet article. Beaucoup de promesses sont devenues des réalités.

La biologie de synthèse sert à la fabrication de biocarburants, de médicaments, de teintures. On produit aussi des outils de diagnostic, de stockage d'information sur l'ADN, d'impression 3D de tissus pour des muscles. Le plus frappant, ce sont les organoïdes. On assemble des cellules et on laisse l'assemblage s'auto-organiser pour créer ce qui ressemble à des organes (cœur, cerveau, yeux, reins), utilisés comme modèles pour tester les médicaments.

Deux annonces ont récemment défrayé la chronique, concernant l'assemblage synthétique de cellules qui visent à imiter le plus possible l'embryon humain. L'équipe de Nicolas Rivron en Autriche mime les débuts de l'embryon, de 5 à 7 jours. Elle prétend traiter l'infertilité, améliorer la fécondation *in vitro*, concevoir de nouveaux contraceptifs (et résoudre le problème de la

⁷ Cf. Pièces et main d'œuvre, *Sous le soleil de l'innovation, rien que du nouveau !*, L'Echappée, 2013

famine et de la pauvreté), prévenir des maladies, et créer des organes. Bref, des solutions techniques à des problèmes plus complexes. Il y a par ailleurs une compétition entre une équipe du Caltech et de Cambridge et une autre de l'institut Weizmann en Israël, pour mimer l'embryon jusqu'à 14 jours. L'ambition est de recréer et de contrôler une préparation d'embryon sans ovocytes ni spermatozoïdes.

L'ambition est quasiment illimitée et porte sur tout ce qu'on peut changer, des bactéries, des plantes, des animaux, l'humain. Objectifs : le contrôle complet de la gestation (de la fécondation à la naissance), la création d'organes ou la co-création de plusieurs organes pour des greffes, la conservation de ses cellules-souches embryonnaires pour se soigner plus tard sans risques de rejet. Et en ligne de mire l'humain augmenté (mythe transhumaniste) par le remplacement ou l'adjonction d'organes. Voir l'assemblage d'un être humain à partir de pièces détachées (mythe de Frankenstein).

Pour l'instant, l'effort porte surtout sur l'assemblage d'une cellule artificielle à partir de ses constituants. On cherche à identifier les mécanismes permettant à cette construction de se nourrir, respirer, exercer des forces, déplacer en son sein ses propres constituants, communiquer avec ses voisines, bref fonctionner comme une cellule. Puis s'auto-entretenir, se modifier, être à la fois dynamique et robuste. Et enfin se propager, se multiplier, et transmettre des informations qui perdureront au-delà de son temps de vie. Si l'on en croit Craig Venter, « cela nous permettra de faire exécuter à des cellules ou des organismes des tâches (...) cette science a le potentiel pour être un moteur de croissance majeur ».

Les réductionnistes apprécient l'analogie avec la construction d'une voiture : il faut fabriquer le moteur, le volant, les pneus. En revanche, et c'est la limite du réductionnisme, ce n'est pas parce qu'on sait faire chacune des pièces que ça suffit à faire rouler la voiture tout de suite. On constate que l'approche réductionniste de l'ingénieur « marche » dans une certaine mesure. On ne comprend pas ce qu'on fait, cette approche se heurte à beaucoup d'obstacles pratiques, peut engendrer parfois des catastrophes phénoménales ou déstabiliser nos rapports sociaux ; mais elle avance. Dans ce domaine, en ce moment l'expérience progresse plus vite que la théorie et que notre compréhension en écologie ou en physiologie. Ce n'est pas parce que les scientifiques ne comprennent pas ce qu'ils font, qu'ils ne vont pas le faire.

Qu'est-ce qui te paraît le plus inquiétant, dans ce qui est dans les cartons ?

Le forçage génétique. La technique, promue notamment par Kevin Esvelt, est prête en laboratoire depuis dix ans, mais pas assez mûre et contrôlée pour une application à grande échelle. Ce projet écocidaire vise à manipuler ou éradiquer des populations d'animaux sauvages, en introduisant un gène qui se transmet à tous les descendants. Il ne va plus rester grand-chose de ce qu'on appelle la nature. On ne saura pas vraiment comment revenir en arrière une fois qu'on aura largué ça hors des labos. Sans parler du risque pour les humains, lié à un accident ou à un acte malveillant : l'agence de recherche militaire états-unienne (la DARPA) finance depuis 2017 le développement de contre-mesures défensives, en cas d'attaque biologique.

Or dans les congrès ou dans l'enseignement, le forçage génétique est généralement présenté comme une expérience comme les autres ; peu de chercheurs le soumettent au débat.

Parmi les autres travaux inquiétants, des scientifiques chinois ont essayé d'ajouter des gènes humains dans les cerveaux de macaques adultes pour tester « l'amélioration » de la mémoire et de l'inventivité. On peut appeler ça « échange de gènes » ou « chimère génétique », cela montre l'ambivalence structurelle du sujet.

En novembre 2018, le chercheur chinois He Jiankui annonce qu'il a édité le génome de deux bébés humains pour les rendre résistants au virus du sida ; il est sanctionné, mais parce qu'il a pris le risque de rendre la société rétive à cette technique. Il est probable que ça continue discrètement en Chine ou ailleurs ; tant que les règles diffèrent d'un pays à l'autre c'est évidemment la règle la plus souple qui s'applique en pratique.

Les « embryons de synthèse » sont inquiétants en raison des possibilités eugénistes qu'ils ouvrent. D'une manière générale, il y a le risque d'uniformisation du vivant.

Certaines recherches sont intrinsèquement dangereuses, comme les gains de fonction en virologie, qui renforcent la dangerosité de virus. Des chercheurs les ont testés en 2011 sur le virus de la grippe aviaire. Puis en 2019, à Wuhan, sur le virus Nipah. En 2022 à Boston, sur le SARS-CoV-2, en pleine pandémie de Covid, des chercheurs ont combiné le virus initial de Wuhan, fortement létal, avec le variant Omicron, le plus contagieux. C'est inquiétant. La promesse de vaccins ne semble pas suffisante pour justifier le risque pris. Il est plausible (mais non démontré) que des expériences de ce type sur les virus de chauve-souris aient été menées en 2019 dans des laboratoires de Wuhan, alimentant l'hypothèse que là soit l'origine du SARS-CoV-2. Si on avait pris des vraies mesures d'interdiction, et non le pâle moratoire d'Obama entre 2014 et 2017, on aurait peut-être évité le Covid-19.

Hormis ces risques inquiétants, ces recherches posent des problèmes structurels. En premier lieu, le fait d'agir sur un phénomène sans connaître les inconvénients par ailleurs.

L'autre écueil, ce sont les lois et limites physiques. On prétend faire des biocarburants à partir d'algues, mais il faudra beaucoup d'énergie pour faire ces biocarburants – sans parler du stockage de l'énergie. Est-ce intéressant ?

Il y a aussi l'effet rebond. Si on prétend lutter contre la déforestation en plantant dans le désert des palmiers à huile qui résistent à l'aridité, on aura les deux à la fois : la déforestation continuera, et en plus on asséchera les nappes d'eau souterraines du désert.

Quant aux espèces éteintes comme le mammouth ou le loup de Tasmanie, voire l'humain de Neanderthal, dont George Church promet fièrement la "dés-extinction" à la façon de *Jurassic Park*, c'est un autre exemple d'annonce trompeuse. D'ailleurs pour le mammouth, il s'agit plutôt de coller le « gène des poils laineux » à un éléphant. Même si on reconstituait un vrai mammouth, le problème resterait entier. Les espèces s'éteignent parce qu'on pollue ou détruit leur habitat et leurs écosystèmes, qu'on est en compétition avec elles, que le climat change. Si on ne modifie pas les raisons des extinctions, on pourrait tout au plus avoir quelques spécimens à exhiber dans un zoo ou, plus probablement, sous une bulle stérile. Ce n'est pas « faire revivre » une espèce éteinte.

D'un point de vue plus général, la biologie de synthèse va si vite qu'on court-circuite les mécanismes de correction possibles. On avance sans se donner le temps d'observer et d'évaluer les conséquences. On crée une situation problématique, tout en alimentant le techno-

solutionnisme. La convergence entre la biologie de synthèse et « l'intelligence artificielle », qui démultiplie les moyens, offre aux machines une puissance qui nous dépasse déjà. Je pense qu'on devrait englober dans la même réflexion, pour les contester ensemble, l'IA et la biologie de synthèse.

Jusqu'où la recherche peut-elle aller ?

Je n'ai pas vu de limites aux ambitions affichées. Il n'y a pas de limite *de principe* aux objectifs de la biologie de synthèse. J'en veux pour preuve la xénobiologie, ou « biologie étrangère ». C'est une branche qui vise à concevoir des systèmes vivants (en général, des bactéries), qui n'existent pas dans la nature. Les xénobiologistes modifient l'alphabet du code génétique, composé de quatre bases (A, C, G, T). Ils utilisent d'autres bases, soit à la place de celles-ci, soit en plus. C'est en cours, notamment pour tenter d'améliorer l'efficacité ou la sélectivité de l'ADN.

L'autre projet de xénobiologie est la fabrication de vie « miroir », déjà évoquée par Louis Pasteur il y a plus d'un siècle. Beaucoup de molécules du vivant, notamment l'ADN, en forme d'hélice, et les protéines, sont non symétriques, non identiques à leur reflet dans un miroir (on dit qu'elles sont « chirales »). Certaines sont « droites », d'autres « gauches ». L'ADN est toujours « droit ». Les xénobiologistes veulent créer l'image inversée. Une bactérie ainsi transformée pourrait interagir avec ses descendants, mais pas avec les bactéries classiques. L'objectif serait de comprendre l'évolution du code génétique, et de déterminer si une évolution différente serait possible. C'est aussi pour faire des expériences de laboratoire où d'éventuelles contaminations pourraient être tracées plus facilement. Surtout, ça viserait à fabriquer à meilleur marché des molécules ayant un intérêt.

Le risque est énorme. En cas de dissémination de bactéries-miroirs robustes et dangereuses pour des plantes, des animaux ou des humains, les virus qui infectent les bactéries ne sauraient pas les combattre. On ne peut pas exclure une prolifération d'une espèce dangereuse invasive sur une échelle si grande qu'on ne pourrait pas exercer de moyen de contrôle.

Le 12 décembre 2024 a paru un rapport intitulé « Technical Report on Mirror Bacteria: Feasibility and Risks », accompagné d'un article dans la revue *Science*, sur les dangers de la « vie en miroir », avec un appel à arrêter toute recherche.

Ce texte pose de nombreux problèmes. Il est notamment signé par Kevin Esvelt, expert du forçage génétique, Craig Venter, auteur du génome synthétique, ou George Church, promoteur de la « re-création » des mammoths et auteur d'anciens plaidoyers en faveur de la vie-miroir. Parmi les signataires il y a aussi Richard Lenski, dont le labo fait évoluer des bactéries depuis des dizaines d'années, qui connaît très bien les processus de mutation, sélection et compétition, et qui s'intéresse aux risques associés. On peut douter de la sincérité et du désintéressement de ces pseudo « lanceurs d'alerte ». Leur appel à concerter internationalement pour construire des garde-fous tant qu'il est encore temps est celui de pyromanes pompiers. Il se situe dans la veine de la conférence d'Asilomar, qui demande juste le respect de règles de sécurité, en passant sous silence la marchandisation et la militarisation de ces techniques. Les chercheurs disent en substance : « Nous, les scientifiques, sommes conscients, avons la légitimité, et nous allons prendre en main notre propre régulation ».

Ils ne disent d'ailleurs pas un mot des autres variantes de la xénobiologie, ni de la biologie de synthèse en général. En privé, des chercheurs états-uniens qui travaillent sur la cellule synthétique, dont certains ont co-signé cet article, préconisent d'ailleurs de ne pas en faire la publicité, de crainte de tarir leurs sources de financement.

Mieux vaut relire l'article de Bill Joy, fondateur de Sun Microsystems, en 2000 : « Pourquoi le futur n'a pas besoin de nous », mettant en garde contre la robotique, l'ingénierie génétique et les nanotechnologies, qui menaceraient de prendre une « autonomie » (avec une auto-réplication) de nature à mettre en danger l'espèce humaine. Avant lui, dans « Paradoxe de la science homicide », écrit en 1922, Jules Isaac comparait la science à des parents inconscients qui laisseraient à la portée de leur gamin un revolver chargé.

Existe-t-il des barrières infranchissables d'un point de vue technique ?

La barrière entre espèces n'en est pas vraiment une. La notion d'espèce est conventionnelle, très différente pour les mammifères et pour les insectes par exemple. Le critère de l'infertilité pour distinguer deux espèces différentes n'est pas toujours vérifié, il existe des situations variées d'interfertilité partielle. Et bien sûr, quand on nomme une nouvelle espèce, on n'a pas tenté au préalable de la croiser avec toutes les espèces existantes. Donc cette barrière pourrait être franchie.

Une autre barrière, entre vivant et non vivant (entre naturel et artificiel), est elle aussi franchissable. Sans entrer dans les détails de la définition du vivant, disons que des critères qui définissent des organismes vivants peuvent être imités, au point de semer une confusion. On peut débattre pour savoir s'il y a une frontière entre le vivant et l'artificiel, mais l'essentiel est que la recherche développe les moyens de la franchir.

Enfin une troisième barrière fondamentale soulève le même genre d'interrogations, c'est la distinction entre conscient et non-conscient. La conscience est particulièrement délicate à définir, sa frontière aussi. Peut-être qu'on créera, ou qu'on a déjà créé, un organisme ou une machine où sont réunies les conditions pour l'émergence de la conscience.

Que pensent tes collègues chercheurs des problèmes que tu soulèves ?

Les gens que j'interroge ont des lignes rouges variables, chacun se considère du bon côté de la ligne rouge, et situe celle-ci entre ses propres recherches et celles de ses concurrents. Parmi les arguments le plus souvent avancés, on trouve la compréhension. On cite souvent la phrase de Feynman : « ce que je ne sais pas construire, je ne le comprends pas ».

Dans la pratique les chercheurs ne se mettent pas réellement de limites. Comme disait le physicien hongrois Denis Gabor, la loi fondamentale de la société technicienne, c'est que « ce qui peut être fait techniquement le sera nécessairement ». Je le constate couramment autour de moi.

La conférence d'Asilomar a contribué à rendre relativement acceptable, voir banale, la fréquentation quotidienne des risques, et à dépolitiser les enjeux. D'ailleurs, la conférence organisée pour le cinquantième anniversaire, intitulée « L'esprit d'Asilomar », est plus préoccupée de la promotion de la biotechnologie que de la sécurité publique. La phrase courante, c'est : « oui ce genre de domaine, ça pose des questions d'éthique », sans dire lesquelles, et sans dire ce qu'il faut en tirer comme conséquence pratique.

J'entends beaucoup de gens, autant parmi mes collègues que dans le grand public, qui affirment « le vivant, c'est ceci, c'est cela, on n'arrive pas à l'imiter parce que ça a telle ou telle caractéristique », ou alors « l'humain c'est fondamentalement différent de l'animal, on ne peut pas refaire un humain », ou encore « on ne comprend pas ce qu'on fait, on ne comprend pas assez bien », ou « c'est trop réductionniste, ça n'implique que des gènes, alors qu'un organisme c'est plus compliqué » : tout ceci est vrai. Pour l'instant. Ce qui ne veut pas dire qu'on n'y arrivera jamais dans le futur.

A chaque nouvelle avancée, les scientifiques essaient de se protéger psychologiquement. Ceux qui travaillent sur l'embryon humain cherchent des échappatoires. Mon impression est qu'il y a un malaise certain, qui se traduit dans le vocabulaire. On annonce que c'est un embryon humain pour faire la couverture de la revue *Nature* ; et *en même temps* on annonce que ce n'est *pas* un embryon humain, comme ça on peut continuer à le manipuler sans état d'âme ni s'encombrer de règles d'éthique. Les chercheurs adaptent ce double langage en fonction de leurs interlocuteurs. Quand ils cherchent des financements, ils appuient sur l'utilité de leurs travaux, ils disent au public : « vous voyez ça va être super, on est en train de s'approcher de plus en plus d'applications humaines », ils mettent en avant des choses acceptables socialement, comme des retombées médicales.

Il y a aussi l'argument de la sécurité, des contrôles, de la certification, de la normalisation, de la standardisation : on va travailler de façon propre. Les cellules et leurs assemblages ont des comportements très variables. « In vitro », on espère être plus reproductible qu'« in vivo ». Et on espère remplacer l'expérimentation animale.

Il n'y a aucune auto-limitation chez les chercheurs, on trouve ça fascinant et stimulant, avec un côté *fun*, comme des joueurs qui font une compétition. On fonctionne à la reconnaissance, à l'ego. Puis les chercheurs sont censés produire de la nouveauté : ça attire des financements, des invitations dans les colloques et une renommée accrue : une récompense sociale. Ils demandent qu'on leur fasse confiance et je pense que c'est difficile parce que nous sommes mus, entre autres, par la compétition, on nous entraîne à minimiser ou nier les effets négatifs de notre travail. Comme l'a dit quelqu'un dans un débat : « l'éthique nous emmerde ».

Les simples débats n'ont pas d'impacts concrets sur la recherche. Leur statut consultatif rend leur rôle simplement décoratif ; ils ne remettent pas en cause le rôle de la recherche comme source de puissance et moteur de croissance.

Et toi, sur quoi tes recherches portent-elles ? Avais-tu réfléchi à leurs implications quand tu as commencé ?

J'ai travaillé sur l'hydre entre 1990 et 1992, et j'aimais bien le fait de pouvoir en parler à mes amis, à ma famille, qui comprenaient et que ça faisait marrer, bien mieux que ma thèse en physique quantique. Rapidement un de mes proches, homme d'affaires, m'a demandé si on pouvait l'utiliser pour faire des médicaments, vendre des élixirs de jeunesse, bref, gagner de l'argent. Ça m'a fait rigoler parce que je trouvais ça farfelu, et en même temps ça m'a un peu alerté. Il y a vraiment une demande du public pour les applications. On ne peut pas l'ignorer.

De toute façon, quelles que soient les motivations d'une recherche, une fois son résultat publié on ne peut plus dire s'il est fondamental ou appliqué. Il est les deux à la fois, car il est disponible pour tout le monde. Même si j'essaie de faire plutôt des recherches pour comprendre, dès qu'on comprend c'est pour agir ; en aval de mon travail, des gens agissent. C'est absolument lié.

Beaucoup d'outils que j'ai développés avec l'hydre ont pu être utilisés pour des études de biologie de synthèse. J'ai travaillé sur la quantification : comment on mesure le développement d'un organisme, comment on le transforme en chiffres. J'ai étudié la manière dont les cellules communiquent et s'auto-organisent pour former un tissu ou un organe. J'ai travaillé sur les migrations : comment les cellules se positionnent, se déplacent. Certaines de mes simulations numériques concernent le comportement collectif des cellules, et les propriétés globales qui en émergent. Un étudiant m'a dit : « ça, c'est le Minecraft des cellules ». On peut construire et simuler ce qu'on veut, comme dans le jeu, avec des pixels. Cet outil n'est pas, en soi, de la biologie de synthèse (ou alors ce serait « in silico »). Mais mes résultats ont été utilisés pour en faire, notamment par mes ex-étudiants ou des collègues proches.

Quelle est ta position ? Penses-tu arrêter ?

Au collège, certains élèves refusent de disséquer une grenouille. Je pense qu'en acceptant de le faire, j'ai accepté de considérer le vivant comme un objet d'étude au même titre que les objets matériels. Je suis passé sur le versant « j'accepte de faire des manipulations sur des hydres ou sur des mouches, et de les jeter ».

Actuellement j'accepte les organismes génétiquement modifiés en laboratoire mais je suis contre leur utilisation en plein champ, en agriculture. Ou encore, je fais des modélisations quantitatives du vivant mais j'ai refusé du travail sur l'embryon humain ; sur le militaire ; sur la marchandisation de mes recherches.

J'ai essayé d'avoir une pratique de recherche au fil des années, d'abord de façon inconsciente, puis de façon plus ou moins consciente, en me fixant des limites. Je retarde un peu les applications marchandisables de ma recherche. J'essaie de lever le nez du guidon, de réfléchir un peu plus sur le rôle sociétal et la finalité de la recherche, notamment suite aux débats sur l'origine du Covid-19 et les expériences de virologie. Je co-organise un cours universitaire « Biologie et société » pour inviter les étudiants à exercer leur esprit critique. Je me dis qu'on peut se poser, admirer le vivant, respecter sa dignité, en tirer une inspiration pour aller vers la décroissance.

J'essaie tant bien que mal d'adapter mes recherches à ma ligne rouge. Plus je réfléchis et plus je m'aperçois que c'est illusoire. Même si j'essaie d'être plus collaboratif que compétitif, de ne pas chercher une volonté de puissance à tout prix, d'être vigilant, c'est impossible sur le fond de respecter une ligne rouge correcte. En prenant du recul, je me rends bien compte que la recherche biophysique ou médicale est un cheval de Troie pour faire avancer la biologie de synthèse.

Or la recherche médicale et la solution technique à tout prix posent de gros problèmes au niveau collectif. Ainsi, la recherche médicale de pointe et la robotisation de la chirurgie assèchent les finances des hôpitaux. Les chercheurs mettent en avant le progrès des traitements pour des

maladies rares ou difficiles à soigner, mais on peut aussi raisonner globalement, par exemple poser la question de l'accès aux soins de tous alors que progressent les déserts médicaux. Pour les maladies rares autant que pour le handicap, l'acceptation dans la société est au moins aussi importante que le soin. La recherche n'est pas la seule solution à mettre en avant ; mais on la promeut parce qu'elle permet des applications profitables.

Dans *Nemesis médicale*, Ivan Illich explique que l'essentiel est d'accepter les limites physiques, la limitation de l'énergie, la faim, le handicap, la maladie, la vieillesse et la mort. Depuis deux cents ans, la petite frange riche de l'humanité essaie de s'en affranchir, et se berce de l'illusion de santé parfaite. Le refus des limites amène à la démesure. Je préfère la nuance et je m'oppose à la démesure, comme déjà des philosophes de l'Antiquité grecque. Augmenter la durée de vie, franchement pour beaucoup de cas, ce n'est pas un but en soi.

Il faut définir clairement ce qu'on considère comme inacceptable. Le transhumanisme et l'eugénisme, les problèmes que posent le capitalisme et la volonté de puissance - renforcement des inégalités et de la domination, perte de l'autonomie.

Renforcer la recherche française et la compétitivité française (qui est le rôle que les financeurs français nous assignent) fait partie d'un système de prédation. Même si les humains cessaient de se battre entre eux, il resterait un vrai problème s'ils continuaient à se battre contre le reste du vivant, contre l'environnement en général. A quoi bon remplacer la compétition par la collaboration, si c'est pour ravager la planète, asseoir la domination de l'espèce humaine aux dépens des autres espèces.

L'idéologie du progrès et de la croissance est un problème en soi ; or la recherche est l'un des moteurs de cette croissance. Il faut aller au-delà de la sortie du capitalisme, s'attaquer à la volonté de puissance, à la volonté de nier la mort ; réaliser un travail de fond plutôt vers la décroissance, la solidarité, la chaleur humaine et l'autolimitation.

Vais-je arrêter ? Je ne sais pas. En restant, je peux avoir cette réflexion en interne, accéder aux informations, avoir des discussions intéressantes sur ce sujet, parler avec des collègues, peut-être même en toucher quelques-uns. Réorienter ma recherche, typiquement en travaillant sur l'origine du Covid : on a un article en préparation, du travail scientifique sur la question. Je ne sais pas si c'est utile ou non. C'est plus en phase avec mes opinions.

Je suis conscient de mes contradictions. Et je pense que tout le monde est légitime pour mener cette réflexion, parce que ce sont des questions politiques et sociologiques.

François Graner *et alii*
Juin 2025