

futuribles

INTERNATIONAL

47 rue de Babylone • 75007 Paris • France
Tél. : 33 (0)1 53 63 37 70 • Fax : 33 (0)1 42 22 65 54
forum@futuribles.com • www.futuribles.com

« Et l'homme créa la vie. La folle aventure des architectes et des bricoleurs du vivant »

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE DU 17 NOVEMBRE 2010

Joël de Rosnay est docteur *ès sciences*, conseiller de la présidente d'Universcience, ancien chercheur et enseignant au Massachusetts Institute of Technology (MIT) dans le domaine de la biologie et de l'informatique. Il a été directeur des Applications de la recherche à l'Institut Pasteur et est l'auteur de nombreux *best-sellers* depuis *Le Macroscop*e (1975, Grand Prix de la littérature micro-informatique grand public) jusqu'au *Cerveau planétaire* (Paris : Orban et Seuil, 1986), à *L'Aventure du vivant* (Paris : Seuil, 1988) et *L'Homme symbiotique* (Paris : Seuil, 1995). Il a publié cette année *Et l'homme créa la vie. La folle aventure des architectes et des bricoleurs du vivant* (Paris : Les liens qui libèrent, 2010).

Le dernier ouvrage de Joël de Rosnay raconte la naissance d'une nouvelle discipline scientifique à l'avenir prometteur, au croisement de plusieurs disciplines — la biologie, la chimie, l'informatique, la cybernétique, les nanotechnologies... — et qui échappe largement aux laboratoires officiels : la « biologie de synthèse » ou « biologie systémique ».

On peut la définir comme une science « visant à améliorer les systèmes biologiques existants, mais aussi à en concevoir et à en fabriquer de nouveaux, artificiels, pour aboutir à des applications industrielles¹ ».

Pour ce faire, la biologie de synthèse entreprend de reprogrammer des ensembles de gènes en utilisant un langage voisin du langage informatique, raison pour laquelle on parle aussi de « bio-tique ». Ce langage est composé des quatre lettres symbolisant les

quatre constituants chimiques principaux de la molécule d'ADN — A (adénine), C (cytosine), G (guanine) et T (thymine) — disposées en ordres variés, ainsi que de codons² signifiant *start*, *stop*, *if then* ou *go to*... La reprogrammation des organismes s'effectue en transférant des modules de programmation biologique disponibles en format numérique sur Internet en instructions biologiques (appelées *DNA Cassettes* ou *BioBricks*), elles-mêmes traduites en matériaux chimiques au moyen d'une machine à synthétiser les gènes, (« sorte d'imprimante à ADN³ » constituée de quatre flacons contenant les quatre constituants chimiques A, C, G et T).

L'expression « biologie de synthèse » date de 1982, mais la reprogrammation concernait alors seulement des gènes isolés, non des ensembles de gènes. Il s'agissait alors plutôt

¹ DUCRUET Catherine. « Les promesses de la biologie de synthèse ». *Les Échos*, 10 juin 2010, site Internet http://www.markusschmidt.eu/pdf/10-05-Les_Echos-fr.pdf

² Dans un acide nucléique, triplet de nucléotides désigné par les initiales des noms des trois bases respectives, et dont l'ordre séquentiel constitue l'information qui commande et spécifie la synthèse cellulaire des acides aminés.

³ Expression de Joël de Rosnay.

de génie génétique⁴ dans le cadre de la biologie moléculaire. La véritable rupture est intervenue tout récemment, lorsque le biologiste américain Craig Venter a déclaré avec fracas dans la revue *Science* du 20 mai 2010 que son équipe avait « synthétisé la vie ». Il annonçait alors la création du premier organisme autoreproducteur dont le génome avait été téléchargé sur Internet, synthétisé dans une machine, puis transplanté dans une bactérie préalablement débarrassée de son propre génome.

Joël de Rosnay salue cette performance, mais refuse tout parallèle avec la « création » de la vie. Dans une interview donnée pour France2.fr le 10 juin 2010, il déclare que Craig Venter « n'a pas créé la vie », mais une sorte de « biologiciciel » : « comme si on retirait le disque dur d'un portable, laissant une coque vide, et qu'on le remplaçait par un autre disque dur⁵ ».

À côté des grands noms, pour la plupart américains, de cette nouvelle discipline que sont les Américains Craig Venter et George Church, les principaux acteurs en sont les *bio-hackers*, ces jeunes diplômés qui échangent sur Internet, utilisent des logiciels collaboratifs et achètent sur ebay des machines à synthétiser les gènes. Certaines des innovations de ces jeunes *nerds*⁶ ont ainsi pu échapper au cadre académique et industriel, telles une bactérie capable de détecter la mélamine ou encore une bactérie fabriquant un nouvel édulcorant, la « miraculine ».

Leur créativité est aussi fédérée depuis 2003 dans le cadre du concours international étudiant de biologie de synthèse IGEM⁷ organisé par le Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Boston, concours auquel l'équipe

⁴ Ensemble des outils et des techniques de la biologie moléculaire permettant, de manière contrôlée, l'étude de la modification des gènes dans un but de recherche fondamentale ou appliquée.

⁵ Voir HERRERO LUCAS Angel. « L'homme a-t-il créé la vie ». *France2.fr*, site Internet <http://info.france2.fr/sciences-tech/l-homme-a-t-il-cree-la-vie--63216965.html>.

⁶ Férus d'informatique.

⁷ International Genetically Engineered Machine Competition, site Internet <http://ung.igem.org/About>.

interdisciplinaire française a régulièrement été primée depuis 2007.

Les applications de la biologie de synthèse sont déjà nombreuses et promettent de s'étendre à court terme. Elles concernent aujourd'hui principalement les domaines de la santé, de l'environnement, de l'agriculture et de l'énergie, ainsi que les nanotechnologies et la microélectronique. Dans le domaine médical, la biologie de synthèse permet la production de nouveaux médicaments, par exemple l'artémisine, contre la malaria, ainsi que celle de biomatériaux destinés à améliorer ou à remplacer les fonctions biologiques du corps humain. On espère aussi bientôt produire des vaccins intelligents, capables de déjouer les mutations des pathogènes, ou encore des médicaments intelligents, adaptés au métabolisme d'un individu donné.

Les recherches en cours, dans le domaine environnemental, portent sur l'élaboration de « capteurs biologiques capables de détecter les pollutions biologiques, chimiques ou minérales, couplés à des procédés de purification (pour l'eau), ou sur la reprogrammation de micro-organismes capables de digérer le dioxyde de carbone⁸ ».

La recherche agricole s'efforce de mettre au point une nouvelle génération de semences génétiquement modifiées aux plus grandes qualités nutritives ainsi que de pesticides plus facilement biodégradables.

Le secteur énergétique est l'un des plus porteurs d'espoirs puisqu'il s'agit de trouver une alternative aux actuels biocarburants, dont la production est jugée peu efficace et concurrente avec la production alimentaire. Des expériences sont en cours pour produire de l'hydrogène et de l'éthanol, et convertir des déchets en énergie. La société de Craig Venter, notamment, Synthetic Genomics, a reçu 600 millions de dollars US d'Exxon Mobil pour mener à bien un programme destiné à fabriquer de l'hydrogène pour les piles à combustible et du bioéthanol grâce à la photosynthèse d'algues obtenues par biologie de synthèse.

⁸ DUCRUET Catherine. *Op. cit.*

Au-delà de l'enthousiasme que peuvent susciter de telles expérimentations, se pose la question de leurs limites et de leur contrôle. En effet, à partir du moment où le souhait de tout créateur est que sa créature, en l'occurrence, sa « biomachine », lui échappe pour gagner en autonomie, les risques de perte de contrôle ou de détournement à des fins terroristes sont grands. Joël de Rosnay a évoqué à titre d'exemples deux scénarios catastrophes qu'il imagine dans son ouvrage : celui d'« hypertermite » conçus pour « hyperdégrader » le bois dans un cadre strict, qui pourraient s'en échapper et causer des dégâts jusque dans les chais de Bordeaux, et celui d'une « toxine furtive » détruisant les défenses immunitaires des hommes, qui pourrait être utilisée comme arme biologique.

Une réflexion bioéthique approfondie deviendra d'autant plus nécessaire que la biologie de synthèse évolue, d'après Joël de Rosnay, vers une « macrobiologie de synthèse » et la création du macro-organisme planétaire (MOP) ou « cybionte⁹ » qu'il évoquait déjà dans son ouvrage de 1995, *L'Homme symbiotique*. Il entend par là l'émergence « d'une sorte de tissu vivant hybride, créé à la fois d'humains, de machines, de réseaux, d'électronique et de mécanique¹⁰ » dont Internet serait le système nerveux. Ce macro-organisme animé d'une « néovie intraterrestre », plus étonnante encore que la vie extraterrestre », ne manquera pas de poser de sérieuses questions d'ordre religieux et philosophique. De plus en plus puissant, il pourrait devenir incontrôlable et se retourner contre les humains, tel un golem¹¹ ou une sorte de Big Brother.

⁹ Mot formé de « cyb » : cybernétique et *bios* : vie.

¹⁰ Interview de Joël de Rosnay par Gilbert Ahnee. *L'express-ID*, 8 février 2010, site Internet www.lexpress.mu/news/224-interview-joel-de-rosnay-notre-ile-doit-avoir-une-approche-multidimensionnelle-de-la-production-d-energie.html.

¹¹ Personnage issu de la tradition juive d'Europe orientale, symbolisant la matière que l'on peut animer de manière artificielle.

Extrait des débats

Y a-t-il déjà eu des débats avec le Vatican ou les représentants d'autres religions sur les récentes avancées de la biologie de synthèse ?

La réaction du Vatican à la conférence de presse de Craig Venter a été immédiate : dès le 21 mai, *L'Osservatore Romano*, le quotidien du Vatican, déclarait que la cellule vivante dotée d'un génome artificiel créée par Craig Venter était « un très bon moteur, mais [...] pas la vie¹² ». La réaction des Indiens et des Chinois a été plus ouverte ; je n'ai pas observé de réaction de la part des musulmans jusqu'à présent.

Quelles mesures de régulation ont déjà été prises au niveau international ?

La conférence internationale d'Asilomar (en Californie) sur la recombinaison de l'ADN, organisée en février 1975 par Paul Berg¹³, appelait à un moratoire sur les manipulations génétiques afin d'éviter que des bactéries génétiquement modifiées ne se dispersent dans l'environnement. La communauté scientifique mondiale s'est alors accordée sur des principes de sécurité, notamment la neutralisation de bactéries, incapables de survivre hors du laboratoire, et des comités de bioéthique ont été créés partout dans le monde sur le modèle du Comité consultatif national d'éthique français, pionnier en 1983. Les lois sont maintenant plus ou moins strictes selon les pays : par exemple, alors que les États-Unis ont récemment autorisé la recherche sur les cellules souches embryonnaires, celle-ci est interdite en France par la loi de bioéthique de 1994.

Que peuvent réellement les comités d'éthique ?

Ils ont des moyens (humains, financiers...) sérieux, mais doivent choisir judicieusement

¹² Voir « La cellule synthétique "n'est pas la vie", estime le Vatican ». *Le NouvelObs.com*, site Internet <http://tempsreel.nouvelobs.com/actualite/planete/20100521.OBS4299/la-cellule-synthetique-n-est-pas-la-vie-estime-le-vatican.html>.

¹³ Spécialiste de biologie moléculaire à l'université de Stanford.

leurs cibles, sous peine de dilapider ces moyens dans des causes perdues d'avance : lutter contre le piratage informatique, par exemple, coûte très cher et n'est pas efficace.

Comment les pouvoirs publics pourront-ils à l'avenir protéger de tentatives de vol les informations ADN des citoyens stockées sur Internet ?

Ils devront innover à leur tour en créant des logiciels contre-espions pour lutter contre les logiciels espions.

Comment deux systèmes — celui des « biohackers », hors de contrôle, et celui de l'industrie, qui nécessite un encadrement juridique — peuvent-ils coexister ?

Ces deux systèmes coexistent pourtant, même si leurs frontières sont poreuses. L'industrie investit des sommes importantes dans la recherche et des débats passionnés ont cours à propos de l'opportunité ou non de breveter ces découvertes.

Comment la biologie de synthèse va-t-elle se mondialiser ?

Elle va se diffuser de la même façon qu'Internet, le téléphone portable ou la télévision par satellite, déjà très présents en Afrique. Il est vrai que les politiques ont du mal à réguler ces développements, ayant une visée à court terme et une organisation pyramidale, alors que ces nouvelles technologies se développent de manière systémique et en réseau.

Peut-on imaginer un scénario catastrophe pour l'humanité, menacée par des « méga-hackers » ?

Un tel scénario est peu probable, les biohackers étant de petits groupes d'individus facilement localisables.

L'humanité pourrait-elle être menacée de destruction par le macro-organisme planétaire ? De quelle manière ?

Plusieurs scénarios ont déjà été envisagés par les auteurs de science-fiction : certains imaginent des cyborgs défiant les hommes, mais il ne me semble pas que l'intelligence artificielle à elle seule représente un réel danger pour l'homme. D'autres redoutent qu'une création de l'homme devenue autopoïétique (capable de se produire et de s'entretenir elle-même), par exemple un virus créé à partir de gènes de synthèse, lui échappe, se reproduise et se diffuse rapidement dans le monde. Tel est le scénario imaginé par Michaël Crichton dans son roman *La Proie* (Paris : Robert Laffont, 2003). Ce dernier scénario a plus de chances de se produire, mais il n'est pas sûr que cette néovie hostile se développe de manière aussi furtive, rapide et massive que les scénarios catastrophes l'imaginent, ce qui permettrait à l'homme de la voir émerger et d'inventer les moyens de lutter contre. On peut raisonnablement imaginer une réaction co-évolutive de l'homme, qui apprendrait à cohabiter avec cette nouvelle forme de vie, comme il le fait déjà avec les virus et les bactéries.

Lucie de Villepin