

Avant-propos

Par Jean-Luc PUJOL

Haut Conseil des biotechnologies (HCB)

et Françoise ROURE

Conseil général de l'économie (CGE)

Nous allons vers un monde dans lequel les activités de production, de plus en plus confrontées à des impératifs de durabilité voire de redistribution, trouveront dans les mécanismes issus du monde vivant les supports de nombreuses activités et innovations. Le développement économique correspondant est désigné comme étant la bioéconomie. Un mot dont les sens sont divers : sur le plan académique, ce peut être un cadre théorique nouveau (par rapport aux théories classiques) d'analyse d'une économie supportée par des mécanismes analogues à ceux du monde vivant ; plus prosaïquement, ce terme de bioéconomie recouvre l'ensemble des activités qui mobilisent des fonctionnements liés au vivant, et tout particulièrement la biologie industrielle. Comment comprendre quels en sont les apports et quels en sont les besoins ?

Que savons-nous réellement de la biologie industrielle ? Comparons nos connaissances en la matière avec nos connaissances en automobile, par exemple.

Chacun sait à peu près repérer les composantes de cette dernière activité (la recherche sur les moteurs, sur les matériaux, l'ingénierie, le *design*, la normalisation, la sécurité...) ou encore mesurer les évolutions des disciplines qui contribuent aux innovations en la matière (si les anciennes voitures étaient peu ou prou constituées d'une carcasse, d'un moteur et de roues ainsi que d'un système électrique basique, les plus récentes ont tout d'un ordinateur sur roues, avec leurs centaines de mètres de câbles, leurs dizaines de moteurs électriques, leur gestion continue de l'information sur leur environnement et leur aptitude prochaine à l'autonomie). Et l'histoire de l'industrie automobile ne se limite pas à la seule production de véhicules. Ce sont aussi des valeurs, des inventions, des innovations notamment en termes de management (l'invention du fordisme), ainsi que des utilisateurs qu'il a fallu former, des infrastructures qu'il a fallu bâtir pour pouvoir circuler, et de la sécurité en tant que nécessité partagée, etc.

Maintenant, rapprochons-nous d'une autre industrie en cours d'évolution : la biologie industrielle. Un secteur certes nouveau, mais pas tant que cela : il y a longtemps que les hommes ont industrialisé quelques levures et autres processus biologiques. Sous le coup des avancées de la science, de la recherche de l'optimisation des rendements ou encore de l'urgence de trouver des voies de développement compatibles avec la préservation du système Terre, le domaine de la biologie industrielle est à la fois en expansion et en évolution.

Qu'est-ce que la biologie industrielle ? C'est l'application des techniques de l'ingénieur au monde du vivant en vue de produire de manière optimisée des éléments socialement désirables à un prix abordable. Les progrès ont permis d'accroître les connaissances et d'interpréter des données éparses en les rassemblant pour prédire et pour produire. Les techniques de séquençage de l'ADN sont devenues de plus en plus efficaces. L'intelligence artificielle permet la fusion massive de données qui deviennent progressivement interoperables et facilement utilisables, sans limite autre que celles de l'imagination, de la vitesse de développement des codes logiciels et de la puissance de calcul disponible. Elle se fonde sur un cœur de connaissances en évolution rapide, sur de nouveaux outils du monde de la biologie, d'une part, mais aussi sur des activités que la convergence des technologies stimule : l'accumulation et le traitement des données, la mesure, l'information et sa circulation généralisée, les échanges et les normalisations nécessaires.

L'homme cueilleur tirant parti des fonctionnements biologiques de certaines levures est devenu cultivateur, sélectionneur et chasseur... d'informations, de méthodes et de données.

Nous le verrons dans la première partie de ce numéro de *Réalités Industrielles* : que ce soit pour la mobilisation de phages, de matériaux nouveaux ou d'organismes vivants, c'est notamment grâce au concours de sciences non biologiques que les potentiels scientifiques, techniques et d'innovation de la biologie industrielle se déploient. À cet égard, rappelons-nous que les imprimantes 3D sont déjà capables de produire des tissus destinés à être greffés !

La collecte et l'organisation de données extraites des organismes vivants ouvrent en effet des perspectives inouïes dans de nombreux domaines à forte utilité sociale, tels que la médecine personnalisée, l'agriculture raisonnée (avec une alimentation à la fois traçable et de qualité), l'ingénierie des sols et leur potentiel de capture des gaz à effet de serre, la sélection des cheptels et la conservation de la biodiversité, l'usage de la biomasse non alimentaire pour la production de carburants, la chimie végétale (qui figure dans l'Agenda 21), les systèmes de surveillance et d'alerte en cas d'accident ou d'actes malveillants affectant, par exemple, des réseaux de distribution d'eau potable.

Ainsi, l'exploitation de fonctions biologiques productives implique de nouvelles compétences et de nouveaux cadres de création de la valeur. Faire s'exprimer des systèmes plus ou moins naturels, éventuellement stimulés, dans un taylorisme biologique (les bactéries « mises à la chaîne », dans des fermenteurs et stimulées pour servir non pas leur propre intérêt, mais le nôtre) ... est remplacé par l'instrumentalisation du pilotage génétique du vivant pour créer de nouveaux serviteurs n'ayant d'autre rôle que celui pour lequel ils auront été conçus.

La typologie et les frontières des biotechnologies (blanches, vertes, rouges – selon les domaines traditionnels d'application) s'effacent au profit d'une segmentation fondée sur les technologies plateformes, avec leurs marchés et leurs acteurs. La combinaison des technologies numériques, des nanotechnologies et des connaissances scientifiques dans le domaine de la biologie s'accélère partout dans le monde, du Brésil à l'Indonésie, de la Chine à la Californie, de la Finlande à l'Afrique du Sud, avec des champs d'application de plus en plus larges. Une nouvelle division internationale du travail résulte de modes d'organisation en réseau plus agiles et plus efficaces que ceux issus de l'ère des grandes manufactures.

Pour que l'industrie bénéficie pleinement de la révolution numérique appliquée à la biologie, de nouvelles techniques d'optimisation – la métrologie et la normalisation – devront être développées en prenant en compte l'économie des procédés de production et de leur contrôle qualité, ainsi que les qualifications requises.

Dans la seconde partie de ce numéro de *Réalités Industrielles*, c'est une esquisse de l'essor économique de la biologie industrielle qui sera proposée.

Dans la biologie industrielle, les marchés pertinents et leur segmentation ainsi que la source de la valeur ajoutée relèvent plus de la valeur du capital humain, de la robotisation, des données et des algorithmes que des économies d'échelle et d'envergure ou des avantages comparatifs naturels sur lesquels reposait la théorie économique internationale des avantages comparatifs. Les avantages restants relèveront de la technologie de pointe, des avancées cognitives interdisciplinaires et de la faculté de les combiner pour satisfaire les besoins économiques, sociaux et environnementaux. Les références de succès des entreprises pourraient reposer bien plus sur la recherche et l'innovation responsables que sur le lobby de quelques producteurs mondiaux recherchant des débouchés partout et une rentabilité maximale de court terme.

In fine, il faut aussi constater que la biologie sort des laboratoires pour investir de plus en plus la société. Les avancées de la biologie sont relayées par les médias à maintes occasions : lutte contre les pandémies, conflits sur la propriété du vivant ou interrogations en matière de thérapies humaines. Le CRISPR en héros d'une série policière (c'est prévu, aux États-Unis) ne peut pas être la seule perception offerte à la société : il faut de bonnes conditions d'analyse de fond. Des questions se poseront aussi aux hommes et aux femmes qui avanceront dans ce domaine : les questions de responsabilité et d'éthique portées par la biologie et la médecine sont continuellement sollicitées. Il en va de même en ce qui concerne la circulation de l'information : aussi ces univers sauront-ils poser les fondements d'une responsabilité pour cette activité résolument hybride que sera la biologie industrielle de demain ? Ce sera l'objet de la troisième partie de ce numéro de *Réalités Industrielles*.

Partout dans le monde, les organisations, les gouvernements, les professionnels s'interrogent : les techniques classiques de négociation des grands traités commerciaux ne risquent-elles pas d'être rejetées par les populations, sur fond de défiance à l'égard des biotechnologies. Dès lors, comment aller vers une biologie industrielle responsable, utile, éthique ? Que peuvent apporter les nouvelles techniques de biologie en agriculture, et quelles en sont les limites ? Comment la biologie peut-elle contribuer aux objectifs du développement durable ? Et parce que les dangers ne viennent pas forcément des risques, mais aussi des intentions, comment identifier et empêcher d'éventuels usages malveillants dans le monde ?

Une culture de la biologie industrielle devra être développée en France non seulement par des organismes de formation, par la dissémination de la culture scientifique et technique et par des médias spécialisés, mais aussi par l'usage des réseaux sociaux... Cette culture devra intégrer des référentiels éthiques, juridiques, de biosûreté et de biosécurité afin de contribuer à la résilience globale de la société face à la vitesse et à l'ampleur des conséquences de l'innovation dans le domaine émergent de la biologie industrielle.