



Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC UVED « Ingénierie écologique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

Ingénierie écologique et biologie de synthèse

Bernadette Bensaude-Vincent,
Professeur émérite, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

L'ingénierie écologique et la biologie de synthèse font toutes les deux partie du secteur en plein essor, qui est la bio-ingénierie. Et ce secteur qui s'est développé depuis une quarantaine d'années a commencé par le génie génétique, c'est-à-dire la manipulation des gènes, puis se transmet par ce qu'on appelle la transgénèse. Puis, ça s'est développé dans la génomique, qui permet de séquencer les gènes avec des plateformes à haut débit, notamment depuis le fameux projet génome humain. Depuis les années 2000, on a maintenant le secteur de la biologie de synthèse qui va un pas plus loin, c'est-à-dire qu'après avoir lu les séquences de gènes, il s'agit maintenant de les réécrire, ce qu'on appelle l'édition de gènes, en particulier avec la fameuse technique très performante, qu'on appelle CRISPR-Cas9. Il s'agit donc de reprogrammer les vivants.

Quelle est la place de l'ingénierie écologique dans ce champ en plein essor de la biologie et de la bio-ingénierie ? Je commencerai par les caractères communs à toutes ces bio-ingénieries. Le premier caractère commun, c'est que le vivant n'est plus considéré comme une donnée immuable, ça n'est plus quelque chose avec lequel on doit compter, un destin. Au contraire, le vivant se laisse manipuler, se laisse reprogrammer et il n'y a plus de distinction très nette entre la nature et l'artifice. Deuxièmement, le vivant est défini par ce qu'il fait, par ses fonctions, par ses performances, beaucoup plus que par ce qu'il est, sa nature ou son essence.

Le vivant est désormais un fournisseur de service au service de la société, ou au service du climat. Le projet commun à toutes ces formes de bio-ingénierie, c'est le design du vivant. Le design du vivant se traduit dans la biologie de synthèse par la volonté d'éliminer le hasard de l'évolution pour produire des effets biologiques intentionnels, tout est dans l'intentionnalité.

Le design dans l'ingénierie écologique se traduit par le design d'écosystèmes durables, qui intègrent les sociétés humaines dans leur environnement naturel, au bénéfice des humains, comme des environnements. Dans les deux cas, le design repose sur des connaissances de base, sur la science, et en même temps, il est producteur de connaissances, ce qu'on appelle le fameux *knowing through making*, c'est-à-dire que le design est un moyen, comme la synthèse en chimie, de produire des connaissances et d'aller plus loin dans notre connaissance du milieu. Le deuxième point commun, c'est l'ambition commune de toutes les formes de bio-ingénierie, de dépasser la chimie, d'aller au-delà de la chimie. Produire des biocarburants à partir de matières agricoles ou à partir d'algues et de levures pour épargner les surfaces agricoles. Produire des bio-médicaments avec des bactéries-usines à médicaments, de manière à surmonter la crise de l'innovation dans la pharmacie. Surtout produire des produits chimiques avec des procédés moins polluants, utilisant moins de solvants et moins coûteux en énergie. Et surtout, produire des produits recyclables qui évitent de polluer les océans avec des matières plastiques.

Les pratiques sont, elles, tout à fait divergentes. En effet, dans la biologie de synthèse, on a une approche du vivant à l'échelle moléculaire. On focalise sur les gènes et sur l'expression des gènes à l'intérieur de la cellule. En revanche, dans l'ingénierie écologique, on a une approche systémique avec des relations inter-organismes qui utilisent justement les relations, soit de symbiose, soit de parasitage, soit de mutualisme entre les organismes. La biologie de synthèse ne considère pas l'organisme comme autre chose que comme un réceptacle passif d'un programme, et elle ne s'intéresse absolument pas aux relations entre organismes et milieux. En revanche, dans l'ingénierie écologique, on fait attention non seulement aux relations entre les organismes, mais aux relations entre organismes et milieux. On a donc affaire ici à deux paradigmes bien distincts d'ingénieurs. Du côté de la biologie de synthèse, c'est l'ingénieur-fabricateur. Pour lui, le design consiste à concrétiser un plan dans une matière passive et docile. La métaphore favorite des biologistes de synthèse, c'est celle du châssis, c'est-à-dire un génome minimal de cellules sur lequel on branche des fonctionnalités pour le faire fonctionner.

Au contraire, du côté de l'ingénierie biologique, l'ingénieur-pilote c'est celui qui travaille avec les cellules vivantes, ou avec les écosystèmes. Il fait faire au vivant, il profite de l'énergie propre au vivant et de l'activité propre au vivant. Le design consiste donc à faire faire ou à faire avec les molécules, les cellules, les plantes et avec l'évolution. Le modèle de l'ingénieur-fabricateur, c'est le champion de la biologie de synthèse, Drew ANDY, qui a énoncé trois principes fondamentaux de la biologie de synthèse. Ces trois principes sont la standardisation des briques du vivant, le découplage de ces briques et enfin l'abstraction, c'est-à-dire que

chaque niveau de complexité doit être traité séparément. Autrement dit, l'objectif fondamental, c'est de réduire la complexité du vivant pour fabriquer des briques qu'on agence ensuite en modules, puis ensuite en systèmes. Au contraire, le modèle de l'ingénieur-pilote à l'œuvre dans l'ingénierie biologique, tel que le définissent MITSCH et JORGENSEN, repose sur cinq principes fondamentaux. Le principe, c'est essentiellement de travailler avec la capacité de self-design ou d'auto-organisation des organismes et des écosystèmes. Il s'agit alors de tester les théories écologiques, de les mettre à l'épreuve pour les enrichir, et cette approche systémique vise essentiellement la conservation des énergies renouvelables, la conservation biologique, c'est-à-dire la conservation de la biodiversité. Et donc, c'est à l'opposé de la volonté de dépasser la vie telle qu'elle existe, qui est à l'œuvre dans la biologie de synthèse.

On a donc finalement affaire à des visions totalement opposées de la nature. Du côté de la biologie de synthèse, une vision très anthropocentrée, dans laquelle l'homme se pose comme maître et possesseur de la nature et même du vivant. Dans l'ingénierie écologique, au contraire, les humains sont intégrés à la nature. Dans la biologie de synthèse, les vivants sont fabriqués, ils sont sans histoire et l'ennemi, c'est précisément l'évolution. Il faut essayer d'empêcher l'évolution de modifier les vivants fabriqués. Au contraire, dans l'ingénierie écologique, on mise sur l'évolution des différentes échelles de temps et on essaye de profiter justement des différentes échelles de temps, pour améliorer les écosystèmes, ou au moins les conserver