

# Les contours d'une bioéconomie soutenable

ENJEUX ÉCONOMIQUES,  
STRATÉGIQUES ET NOUVELLES  
FRONTIÈRES SOCIÉTALES

Les matériaux et processus dits « biosourcés » suscitent un énorme intérêt au plan mondial, tant chez les acteurs privés que publics. En effet, ces matériaux, théoriquement renouvelables, sont susceptibles de remplacer des ressources épuisables ou confiscables, tandis que les processus pourraient être moins nocifs que leurs prédécesseurs conventionnels pour la santé et l'environnement, que ce soit dans l'industrie ou l'agriculture.

Certes, mais se précipiter dans la bioéconomie (c'est-à-dire dans l'économie du vivant) en ayant cette seule vision réductrice et en conservant les raisonnements de l'économie du minéral, nous exposerait non seulement à de rapides déconvenues, mais encore à des dommages supplémentaires sérieux. Il s'agit donc non seulement de science, mais aussi de culture.

Par **Dominique DRON\***

« **L**oin d'avoir échappé à la pesanteur, nous sommes toujours soumis aux lois écologiques qui régissent toute forme de vie. Selon la moins révoicable de ces lois, une espèce ne peut occuper une niche écologique et s'emparer de toutes ses ressources : un certain partage est nécessaire. Toute espèce qui ignore cette loi finit par détruire sa communauté pour nourrir sa propre expansion », Janine Benyus, *Biomimétisme*, 1998.

« La preuve que les biens naturels sont inépuisables, c'est que nous pouvons les obtenir gratuitement », Jean-Baptiste Say.

\* Mission Financement de la transition écologique. Précédemment Commissaire générale et Déléguée interministérielle au Développement durable.

## LA BIOÉCONOMIE, UNE STRATÉGIE ANTI-CRISES ?

Le 13 février 2012, la Commission européenne publiait une stratégie intitulée « Innover pour une croissance soutenable : une bioéconomie pour l'Europe ». Cette réflexion se fondait sur la finitude des ressources terrestres face aux plus de 9 milliards d'êtres humains attendus pour 2050, alors que la population actuelle, qui est de 7 milliards d'habitants, laisse déjà se profiler des impasses redoutables : mise à mal des régulations planétaires fondamentales, telles que le climat et les écosystèmes ; tensions (dans certains cas à l'échéance de quelques années seulement) sur des ressources minérales indispensables aux nou-

velles technologies ; perspectives proches de manque d'eau pour deux, puis trois milliards de Terriens (en particulier autour du bassin méditerranéen, dans le sud des Etats-Unis et sur la ceinture tropicale asiatique) ; destructions rapides de sols fertiles et de leur source première que sont les zones humides et les forêts ; disparition des espèces vivantes par surexploitation ; pollution et destruction des habitats naturels... Malgré les progrès technologiques et en dépit des difficultés économiques récentes, les consommations et pollutions anthropiques se sont amplifiées de façon accélérée. Il reste utile de rappeler, par exemple, à l'instar de l'OCDE et de la FAO, que les pollutions azotées mondiales ont crû de 30 % ces trente dernières années, que les trois quarts des espèces pêchées sont en voie d'extinction ou en limite d'exploitabilité, et que, depuis 1970, les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté de 80 %, alors que dans le même temps l'intensité énergétique de la croissance diminuait de 30 %.

Le tableau est connu, les processus sont observés et mesurés. La pression globale sur l'espèce humaine est réelle (1). Pour répondre à la menace émanant des rejets de CO<sub>2</sub>, des déchets, des polluants non recyclables et de l'épuisement des ressources minérales, la matière vivante apparaît comme un recours : élaborée à partir des substances les plus répandues, *a priori* renouvelable, censée être recyclable et non génératrice de rejets toxiques, capable de remplacer des composés organiques et minéraux épuisables, soulageant des dépendances géopolitiques accentuées, d'une diversité inouïe de structures et de propriétés, la matière organique et ses processus naturels de fabrication offrent toutes les caractéristiques d'un alambic ayant bénéficié de millions d'années de perfectionnements, d'adaptation, de spécialisation et de... durée.

Il s'agit pour la Commission européenne d'assurer la sécurité alimentaire européenne, de gérer durablement les ressources renouvelables ou non, de réduire la dépendance de l'Union vis-à-vis des matières non renouvelables, de lutter contre le changement climatique et de s'y adapter, de créer des emplois et de préserver la compétitivité européenne. En commençant, bien sûr, par le remplacement des hydrocarbures – charbon, pétrole et gaz – par des produits dont l'origine planctonique ou végétale rend leurs chaînes aromatiques et aliphatiques proches de celles du vivant. La capacité des plantes à repousser fait des végétaux, au regard du protocole de Kyoto, une source d'énergie conventionnellement neutre du point de vue climatique. Certains ont déjà eu l'occasion de discuter ce point, qui, s'il était avéré, rendraient neutres les incendies de forêts, alors que ceux-ci sont responsables d'une partie des 18 à 20% des émissions mondiales de gaz à effet de serre liées aux activités agricoles et forestières (2). La Commission européenne entend introduire le recours aux matières organiques rudérales, terrestres et marines, aussi bien pour l'énergie, la

chimie et les produits industriels, que pour la nourriture animale et humaine. Elle estime qu'un euro engagé aujourd'hui dans cette direction lèverait 10 euros de valeur ajoutée en 2025. Les marchés, annoncés à brève échéance, sont colossaux.

Les liens de la bioéconomie sont étroits avec la politique agricole commune, la politique de cohésion et la politique marine de l'Union européenne, mais aussi avec sa Stratégie 2020 et son programme de recherche Horizon 2020, ainsi qu'avec la capacité de l'Union européenne à tenir son rang dans le monde en matière d'innovation et d'activités. Le plan de la Commission européenne en matière de bioéconomie comporte trois volets : a) recherche et innovation, pour lesquelles les fonds publics et privés sont sollicités, b) développement des marchés et de filières de production adaptées à partir d'une « intensification soutenable » de la production agricole et forestière et d'un recyclage plus systématique des déchets organiques et, enfin, c) soutien politique et réglementaire (on pense notamment au rôle structurant que jouent la réglementation et les marchés publics pour tout développement techno-économique) et facilitation des regroupements d'acteurs.

Plusieurs milliards sont proposés, dans le cadre d'Horizon 2020, pour soutenir ces développements. Les secteurs ciblés comportent toutes les activités à base biologique directe (agriculture, pêche, foresterie), ainsi que la papeterie, la chimie, l'alimentation, les biotechnologies et l'énergie. Non seulement l'Europe, mais aussi les Etats-Unis, la Chine, le Brésil, l'Afrique du Sud, la Corée du Sud..., se sont engouffrés dans l'utilisation accrue de la matière organique à des fins civiles ou militaires (en particulier les « carburants aériens »).

## LE MEILLEUR, OU LE PIRE ?

Cette attention soudain généralisée tournée vers la matière vivante porte, en elle, le meilleur comme le pire. Le meilleur, au sens où mieux vaut, bien sûr, se tourner vers des procédés moins destructeurs, moins polluants, et, pour beaucoup d'entre nous, découvrir l'ingéniosité infinie des fonctionnements et des régulations des espèces et des écosystèmes affinés par des milliers d'années d'essais-erreurs. Le pire, au sens où la renouvelabilité, sans que les conditions du ménage-ment qui la rendent possible soient réunies, n'est que

(1) L'OCDE parle de "global survival strategy" dans son *Environmental Outlook 2012*. A lire également : *Effondrement : comment les civilisations choisissent de survivre ou de disparaître*, de Jared Diamond, 2006.

(2) RABL (A.), BENOIST (A.), DRON (D.), PEUPORTIER (B.), SPADARO (J.) & ZOUGHAIB (A.), *How to account for CO<sub>2</sub> emissions from biomass in an LCA*, Int J LCA 12 (5) 281, juin 2007.

théorique, et où considérer « la biomasse » comme un gisement inerte à exploiter en se livrant à nouveau à un pillage aveugle ne conduirait qu'à aggraver des dégâts que l'on cherche à atténuer.

En effet, qui dit « bio » ne dit pas forcément soutenable. Ainsi, au pire, les cultures conventionnelles de plantes-carburants accélèrent l'appauvrissement des sols et la disparition des espèces vivantes (comme lorsque l'extension du palmier à huile est source de déforestation en Indonésie) et, au mieux, prolongent les pratiques culturales érosives et polluantes classiques, sans se soustraire non plus au risque d'épuisement des phosphates minéraux ni aux tensions sur l'eau disponible. Doubler ou tripler les usages industriels de la matière organique dans le monde ne peut s'envisager de façon raisonnable sans systématiser une méthode d'obtention qui préserve et renouvelle les sols, et n'excède pas les ressources en eau véritablement disponibles. Cela d'autant plus que, pour diverses raisons, le rythme d'élévation des rendements agricoles, en moyennes mondiales glissantes sur 10 ans, ne cesse de ralentir, passant de 3,5 % en 1971 à 1,3 % en 2007, pendant que le taux de croissance de la population glisse seulement de 2 % à 1,3 %, entre 1994 et 1999. Une étude de la FAO de 2010 (étude réalisée sur la période 1994-1999) montre qu'en Chine, au Vietnam, en Thaïlande, en Inde, en Indonésie, la montée des températures minimales journalières a déjà réduit les rendements agricoles de 10 à 20 % durant le dernier quart du XX<sup>e</sup> siècle.

Il serait trop long d'aborder ici les vraies et les fausses promesses des biotechnologies végétales en la matière, qui exigent de mettre en regard non seulement les conditions socio-économiques et les techniques d'obtention des produits, mais également les stratégies des différents acteurs et les ordres de grandeur en cause entre les approches agronomiques, d'une part, et les gains publiés et les questions soulevées, d'autre part. En tout état de cause, nulle issue n'est à attendre de la bioéconomie, qui repose sur le vivant, sans une prise en compte des conditions nécessaires à ce dernier pour se renouveler. Cet apparent truisme n'est pas aussi répandu dans les esprits qu'il serait logique de le penser.

Enfin, qu'il s'agisse de bioéconomie ou juste de l'augmentation des besoins d'une humanité en croissance se voulant, en moyenne, de plus en plus mobile et de plus en plus carnivore, l'intérêt des terres cultivables, des forêts (source de régulations et de productions diverses) ou simplement des écosystèmes encore capables d'assurer ce renouvellement du vivant, à commencer par les habitats des pollinisateurs indispensables à toutes les plantes à fleurs, cultivées ou non, n'a pas échappé aux entreprises, ni aux Etats : ainsi, entre 2006 et 2009, ce sont de 15 à 20 millions d'hectares agricoles que les pays pauvres ont cédés à des acteurs publics ou privés originaires de pays tiers. Le rythme de ces cessions s'est intensifié depuis, et

elles se sont généralisées à l'ensemble des pays du monde qui acceptent de louer ou de vendre leurs terres, ce qui se reflète dans l'évolution des prix des terrains : ainsi, en France, la valeur de l'hectare de pré ou de terre libre a grimpé de 42 % depuis 1997, et celle de l'hectare de terre déjà loué de 25 %. Dans le monde, selon la Fédération Nationale des SAFER (société d'aménagement foncier et d'établissement rural), ce serait quelque 71 milliards d'hectares (correspondant à 1 200 transactions) qui, depuis 2000, auraient changé de mains.

## MIMER LA NATURE POUR DURER

Non directement visée par la Commission européenne, et néanmoins prometteuse, l'approche biomimétique ou éco-mimétique consiste à s'inspirer des processus et matériaux naturels pour en reproduire le plus possible les caractéristiques conjointes de performance et de soutenabilité (3).

En quelques exemples, le biomimétisme, aujourd'hui, c'est déjà :

- fabriquer du verre en tirant parti du processus de synthèse de fibres de silice mis au point par les éponges des fonds marins ;
- améliorer la régulation thermique des bâtiments en s'inspirant du système de ventilation des termitières ;
- développer des revêtements autonettoyants à partir de l'étude de la microstructure des feuilles de lotus ;
- concevoir des structures légères et durables en « copiant » certains réseaux tridimensionnels naturels ;
- constituer, à l'échelle du bâtiment ou de l'îlot, des systèmes d'échange circulaire de matière et d'énergie, où les « rejets » des uns servent de « matière première » à d'autres, en s'appuyant sur les modes d'organisation des écosystèmes.

Cela pourrait aussi être de savoir fabriquer, à pression et à température ambiantes, à partir de substances courantes et sans rejets toxiques l'équivalent du fil d'araignée, qui est composé d'une seule macromolécule géante aux propriétés de résistance et d'élasticité bien plus étendues que celles des matériaux connus fabriqués à grand renfort d'énergie. Cela pourrait être aussi de savoir élaborer, plutôt que des céramiques exigeant des acides agressifs et de hautes températures, des matériaux d'une résistance équivalente en s'inspirant de la structure des coquilles d'ormeaux décrite par Janine Benyus. Le principe directeur, capable de renouveler fortement l'innovation en matière de procédés, en serait non plus « de combien puis-je améliorer la performance ou la sobriété de ce procédé industriel existant ? », mais « de combien, en termes de

(3) Janine BENYUS, *Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durables*, 1998.



© Pascal Goetgheluck/BIOSPOTO

« *Le biomimétisme, aujourd'hui, c'est déjà... développer des revêtements autonettoyants à partir de l'étude de la microstructure des feuilles de lotus* », tissus hydrophobe inspiré de la feuille de lotus.

soutenabilité, suffit-il de dégrader le processus naturel parfaitement soutenable qui conduit aux caractéristiques souhaitées pour en faire un système industrialisable ? »

En matière agricole, l'écomimétisme consiste également à partir de la capacité d'un écosystème donné à produire énormément de matière organique tous les ans sans intrants, et à se poser la question non pas de ce qu'il faut apporter à un terrain débarrassé de tout pour y faire pousser quelque chose, mais de ce qu'il suffit de déplacer, ou de modifier, dans les fonctionnements de l'écosystème observé, pour obtenir une quantité suffisante de cultures utiles. C'est ainsi que plusieurs universités (notamment américaines) ont travaillé depuis les années 1980. Avec beaucoup de retard sur le plan académique, et ce malgré l'existence de quelques chercheurs et groupes de praticiens depuis longtemps passionnés, la France s'intéresse, à nouveau, aux successions et aux associations de plantes capables de renouveler les sols et de réduire les dommages des ravageurs, ainsi qu'aux interactions encore mésestimées entre les arbres et les cultures (4). Les rendements obtenus sont intéressants, parfois

supérieurs à l'hectare par rapport à ceux des pratiques conventionnelles, notamment par l'association de cultures. Bien entendu, la mécanisation doit être adaptée, la technicité et les connaissances exigées sont plus pointues et plus diverses, et le travail humain est plus important à l'hectare, mais pas à la journée. Mais l'humanité manque-t-elle vraiment de bras et de compétences ?

#### LA FRANCE, À LA FOIS SUIVEUSE ET PIONNIÈRE

La France, qui est un pays d'agriculteurs et d'ingénieurs, a d'abord regardé avec intérêt et méfiance, à la faveur des chocs pétroliers, puis dans les années 1990, les perspectives offertes par les énergies à base végéta-

(4) Voir les travaux de l'Association Française d'Agroforesterie et les résultats du programme européen SAFE (*Silvoarable Agroforestry for Europe*), RDT Info n°43, novembre 2004, pp. 36-39, coordonnés par l'INRA. Des travaux qui étonnamment n'ont été redécouverts qu'en 2012, mais qui n'ont pas eu d'effets apparents sur les négociations PAC.





© Martin Jehnichen/LAIF-REA

« Le biomimétisme pourrait aussi être de savoir fabriquer, à pression et à température ambiantes, à partir de substances courantes et sans rejets toxiques l'équivalent du fil d'araignée, qui est composé d'une seule macromolécule géante aux propriétés de résistance et d'élasticité bien plus étendues que celles des matériaux connus fabriqués à grand renfort d'énergie. », production de fil d'araignée synthétique, Faculté d'ingénierie et des sciences de Bayreuth (Allemagne), novembre 2009.

le, déchets ou matière première : « biomasse » des réseaux de chaleur et des poêles à bois, agrocarburants de première génération, combustibles industriels de substitution. Sans refaire l'histoire, observons que les agrocarburants ont été contestés sur la base de leur concurrence surfacique avec les cultures alimentaires, et des analyses de leurs cycles de vie, dont les résultats varient beaucoup selon le périmètre et le type des cultures analysées (5).

Les projets industriels de carburants de deuxième génération (utilisant des cultures ou des ressources lignocellulosiques non alimentaires) ont été très présents dans les premiers choix des Investissements d'Avenir ainsi que dans les programmes de recherche d'institutions, comme l'IFPEN, l'INRA ou le CEA. Les molécules tirées des cultures algales y sont aussi très présentes, ainsi que les biotechnologies.

Comme Commissaire générale au Développement durable, j'ai fait établir, en 2011, sous l'égide du Commissariat, un panorama du biomimétisme en France (6), lequel a été suivi le 10 décembre 2012, d'un colloque sur les recherches bio-inspirées qui a réuni chercheurs, praticiens, sociologues et philo-

sophes. Cela montre que, si la France possède quelques groupes fertiles de chercheurs sur ces sujets (7), les interfaces interdisciplinaires qu'ils exigent restent de fait mésestimées par les institutions de la recherche, alors que l'Allemagne investit annuellement plusieurs millions d'euros publics depuis dix ans et dispose d'une feuille de route complète sur ces sujets, que la Chine s'en dote également, que les États-Unis et le Royaume-Uni s'y sont lancés depuis longtemps... Ignorer ou minorer plus longtemps ces champs d'investigation serait plus que dommageable.

(5) BENOIST (A.), DRON (D.) & ZOUGHAIB (A.), "Origins of the debate on the life-cycle greenhouse gas emissions and energy consumption of first generation - A sensitivity analysis approach", *Biomass and Bioenergy*, février 2012. À titre d'exemple, la Beauce a perdu plus du tiers de sa matière organique en quarante ans.

(6) Hermine DURAND, *Etude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiels, leviers*, 12 février 2012.

(7) À paraître, les actes du colloque du 10 décembre 2012, *Recherches bio-inspirées, une opportunité pour la transition écologique ?*, CGDD/MNHN.

Trois exemples remarquables de biomimétisme ayant donné lieu à dépôts de brevets montrent ce que peuvent réussir des laboratoires français n'ayant pas craint l'interdisciplinarité, ni parfois la marginalisation. L'institut Hubert Curien, dirigé par Yvon Le Maho, a découvert (à partir de l'observation éthologique des manchots de Terre Adélie) des peptides permettant à ces oiseaux marins de conserver dans leur estomac, à la température corporelle, le poisson frais pendant une dizaine de jours : des molécules qui pourraient révolutionner la chaîne du froid. À l'Université Montpellier 2, le laboratoire de Claude Grison a montré que les molécules organiques permettant à des plantes de stocker abondamment des métaux toxiques (arsenic, cuivre, zinc...) présents dans des terrains pollués s'avéraient également des catalyseurs de réactions inédites, voire des molécules anticancéreuses. Au laboratoire de Vincent Artero (CEA), les hydrogénases Fe-Ni des processus de photosynthèse se sont révélées être d'aussi bons catalyseurs des transformations de l'hydrogène ( $H^+/H_2$ ) que le platine, un métal cher et épuisable (8). Malheureusement, pour des raisons semble-t-il culturelles, ces sujets d'interface entre éco-

logie, biologie et physico-chimie n'intéressent que peu, dans l'ensemble, les institutions françaises.

### LES GRANDS OUBLIÉS DE LA BIOÉCONOMIE : LES ÉCOSYSTÈMES !

Retranchés dans leurs univers urbains, les hommes oublient volontiers leur dépendance vis-à-vis des écosystèmes et des services que ceux-ci leur rendent (9). À titre d'exemple, le service économique du Commissariat général au Développement durable a réévalué en 2010-2012 l'ensemble des fonctions assurées par les zones humides, que le drainage, les mises en culture et l'urbanisation réduisent rapidement : protection anti-inondations, stockage important de carbone, épuration des eaux, alimentation des

(8) *Ibidem.*

(9) *Biodiversité, services compris*, Conseil scientifique du patrimoine naturel et de la biodiversité, 2012.



© BIOSPHOTO-BJORN RORSLETT-SCIENCE PHOTO LIBRARY

« À l'Université Montpellier 2, le laboratoire de Claude Grison a montré que les molécules organiques permettant à des plantes de stocker abondamment des métaux toxiques (arsenic, cuivre, zinc...) présents dans des terrains pollués s'avéraient également des catalyseurs de réactions inédites, voire des molécules anticancéreuses. », *Nocca caerulea*, plante « hyper accumulatrice » de métaux lourds.

nappes phréatiques, entretien d'espèces pêchables et chassables, ressources génétiques... La méthode actualisée reconnue par l'OCDE les estime à entre 2 400 et 4 400 euros par hectare et par an (10) (les tourbières du Cézallier pouvant dépasser 22 000 euros par hectare, selon l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne).

Quelles que soient les promesses des processus tirés du vivant, les ressources de ce dernier ne sont pas inépuisables, contrairement à une perception encore trop répandue. Parmi d'autres, les exemples de la pêche et des sols rendus phytotoxiques ou stériles montrent que l'humanité sait très bien épuiser des ressources *a priori* renouvelables ! La demande d'eau douce devrait, quant à elle, augmenter de 55 % entre 2012 et 2050 (OCDE, 2012) pour pouvoir répondre aux besoins croissants des industries manufacturières, de la production d'électricité thermique et des ménages, et les quantités d'eau consacrées à l'agriculture devraient croître de 25 à 50 % à l'horizon 2050 pour pouvoir nourrir une population toujours plus nombreuse menaçant très sérieusement non seulement l'équilibre des aquifères, mais aussi les écosystèmes correspondants et les autres régulations et ressources qu'ils représentent.

Avec 9 à 10 milliards d'habitants d'ici à moins de quarante ans, la sobriété des processus, même « biosourcés », et le ménagement des écosystèmes restent donc des exigences générales et vitales. Jusqu'ici, curieusement, l'entretien des conditions du vivant – ou, pour le dire plus techniquement, la maintenance des services écosystémiques (sols, eau, pollinisations, renouvellement des chaînes trophiques...) – n'est pas encore apparu comme un volet à part entière de la *bioéconomie* : tout ne se fera pourtant pas en cuves fermées...

En outre, se reposer davantage sur des ressources biologiques, en dehors de ce qui peut se pratiquer en réacteurs avec des microorganismes, cela demande d'articuler un schéma industriel classique, où sont recherchées permanence et standardisation, avec des sources de production qui dépendent des « éco-

logiques », par exemple des saisons, des variations climatiques et de l'état des écosystèmes avoisinants.

Dans un univers où la ressource n'était pas limitante, l'aval pouvait exiger de l'amont qu'il se plie à sa propre standardisation et passe par pertes et profits variations et dégâts éventuels. Dans le monde dans lequel nous sommes entrés, nous pourrions bien être contraints d'inverser ce raisonnement en faisant preuve de pragmatisme.

Enfin, la bioéconomie intensifie les intrusions dans les fonctionnements des êtres vivants, notamment dans ceux du corps et du cerveau humain, parfois en suivant des logiques dangereusement réductionnistes, la tentation de l'action conduisant parfois à négliger les complexités réelles (11).

C'est dire que la société doit aussi avoir son mot à dire sur l'expansion et les usages effectifs des technologies qui en émergent, au-delà du fait qu'une économie fondée sur l'exploitation du vivant doit d'abord se soucier d'en entretenir les conditions de ... vie !

Ainsi, la bioéconomie constitue non seulement un beau défi à relever pour les scientifiques, les ingénieurs et les économistes, mais aussi une véritable révolution culturelle.

(10) Quelques parutions du Commissariat général au Développement durable (SEEIDD/ERNR) :

- *Évaluation économique des services rendus par les zones humides - Enseignements méthodologiques de monétarisation* (Études et Documents, 2011).
- *Les méthodes et les valeurs de référence pour la valorisation des services rendus par les zones humides* (Le Point Sur, 2011).
- *Évaluation économique des services rendus par les zones humides - Complémentarité des méthodes de monétarisation* (Études et Documents, 2011).
- *Actes du séminaire « Monétarisation des biens et services environnementaux »* (Études et Documents, 2011).
- *Spatialisation des valeurs monétaires des services rendus par les forêts en France* (Études et Documents, 2011).
- *Évaluation des fonctions écologiques des milieux en France* (Études et Documents, 2010).

(11) À lire absolument : *La réforme du vrai*, de Gérard NISSIM AMZALLAG, Editions de la Fondation pour le Progrès de l'Homme, 2010.