



Gilles Allaire et Benoit Daviron (dir.)

Transformations agricoles et agroalimentaires Entre écologie et capitalisme

Éditions Quæ

Chapitre 8 - La bioéconomie : vers une nouvelle organisation des systèmes agricoles et industriels ?

Paul Colonna et Egizio Valceschini

Éditeur : Éditions Quæ
Lieu d'édition : Éditions Quæ
Année d'édition : 2017
Date de mise en ligne : 30 janvier 2020
Collection : Synthèses
ISBN électronique : Synthèses



<http://books.openedition.org>

Édition imprimée

Date de publication : 2 mars 2017

Référence électronique

COLONNA, Paul ; VALCESCHINI, Egizio. *Chapitre 8 - La bioéconomie : vers une nouvelle organisation des systèmes agricoles et industriels ?* In : *Transformations agricoles et agroalimentaires : Entre écologie et capitalisme* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ, 2017 (généré le 31 janvier 2020). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/quæ/21727>>.

Partie II

Les traits originaux
des agricultures
et des systèmes alimentaires
dans les sociétés
du XXI^e siècle

La bioéconomie : vers une nouvelle organisation des systèmes agricoles et industriels ?

P. COLONNA, E. VALCESCHINI

La notion de bioéconomie, promue dès 2009 par l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), est posée par la Commission européenne (2012a) comme une clé à long terme de la croissance économique. La plupart des gouvernements occidentaux ont défini leur propre stratégie industrielle et scientifique sur cette base. Le développement de la bioéconomie est présenté comme une voie vers une économie décarbonnée et une grande transformation socio-économique des systèmes de production, de transformation, et des pratiques de consommation. Toutefois, les moyens de la transition vers de tels systèmes sont encore l'objet de débats et d'expérimentations. Enfin, la confusion entre développement durable et croissance crée une ambiguïté. D'un autre point de vue tout aussi volontariste mais à l'ambition plus réduite, le soutien à la bioéconomie est motivé par la perspective de faire émerger de nouveaux débouchés (voir par exemple Sgard et Harayama, 2013), projets et emplois. Dans les deux approches, les innovations technologiques et les changements économiques se structurent autour d'usages intégrés et complémentaires de la biomasse, nous invitant ainsi à repenser progressivement, mais durablement, notre rapport à cette ressource.

Au-delà de l'importance des innovations technologiques envisagées et de l'ampleur escomptée des changements économiques en termes d'emploi et de croissance, ne sont pratiquement pas analysées les éventuelles innovations et conséquences organisationnelles de ces transformations sur les structures économiques sectorielles ou territoriales. L'hypothèse que nous explorons est celle d'une possible reconfiguration, à terme, des systèmes agricoles et industriels jusqu'ici orientés vers la fonction alimentaire des activités agricoles¹.

1. N'oublions pas toutefois que les productions actuelles de tabac, coton, hévéa, raisin de cuve, chanvre, sisal et lin représentent des usages importants des terres agricoles et répondent à des besoins d'hygiène, d'habitat et d'habillement.

► La bioéconomie : stratégies économiques et trajectoire d'innovation

Le terme de bioéconomie a pénétré récemment la sphère politique européenne, par la publication de documents à orientation stratégique pour l'industrie et d'agenda pour la recherche scientifique (voir par exemple SCAR, 2015), dans les organisations internationales (OCDE, 2009 ; Commission européenne, 2012a), ou par l'élaboration de stratégies nationales dans différents pays. Mais c'est aussi un terme qui renvoie à des projets industriels mis en œuvre depuis plusieurs années ou à des investissements en recherche avec des unités de démonstration faisant le pont entre recherche et industrie, et le développement ambitieux de bioraffineries².

Si les définitions et les instruments proposés ne se recouvrent pas toujours, les biotechnologies occupent une place centrale dans l'argumentaire des institutions européennes, ainsi que la référence à l'impératif de compétitivité pour faire face à un diagnostic partagé de quatre grands enjeux :

- répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale d'environ 9,7 milliards d'individus en 2050 (7,3 milliards en 2015), dont certaines populations régionales en situation de fort développement économique, d'où un besoin d'accroissement de 50 à 70 % de la biomasse, et, en corollaire, des besoins croissants en énergie (45 %) et en eau (30 %) (FAO, 2012) ;
- contrôler, limiter et réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère pour conduire à un développement neutre au plan carbone ; avec l'engagement³ de réduire par quatre les émissions de GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990 ;
- élaborer des produits de substitution aux synthons d'origine fossile, pour sécuriser les approvisionnements de l'industrie chimique et contrebalancer les déséquilibres d'approvisionnement créés par les gaz et les huiles de roche mère ;
- élargir la gamme des molécules disponibles pour répondre aux besoins de fonctionnalités et respecter les règles d'écotoxicologie.

Les États de l'Union européenne ont été incités à se positionner sur le sujet⁴, la bioéconomie est introduite dans les agendas politiques nationaux et oriente les agendas de recherche. Toutefois, à l'échelle européenne, ces enjeux sont à moduler par les objectifs de :

- transition nutritionnelle au profit des sources végétales⁵ et de souveraineté alimentaire en protéines (plus de la moitié des protéines pour les animaux est importée) ;
- réduction de la consommation d'énergie finale de 50 % en 2050 ;

2. Voir le projet Star-Colibri : Joint European Bio Refinery Vision for 2030, Star-Colibri. http://www.forestplatform.org/files/Star_COLIBRI/Vision_document_FINAL.pdf

3. « Facteur 4 », fixé en France par la loi Programme d'orientation de la politique énergétique.

4. À ce jour, la France n'a pas arrêté une stratégie nationale sur la bioéconomie, mais de nombreuses activités peuvent être rattachées à la bioéconomie dans le cadre de diverses politiques publiques (agriculture, forêt, déchets, agroalimentaire, santé, énergie, chimie, matériaux, etc.), qui touchent autant la recherche et l'innovation que les industries.

5. Réduction de la part des produits animaux à 500 kcal/jour contre 1 200 kcal/jour aujourd'hui, sur une ration de 3 000 kcal/jour.

- augmentation de la valeur ajoutée à la biomasse produite localement⁶ ;
- réindustrialisation des territoires.

Ces stratégies soulignent la nécessité et l'objectif de mieux valoriser les ressources propres (naturelles et territoriales, humaines, scientifiques) de chaque pays ou région. La bioéconomie repose sur une vision politique qui est par essence contextualisée en se fondant sur les ressources biologiques disponibles localement (d'où le poids de la forêt dans les pays scandinaves, des produits de la mer en Islande, des bouquets de biomasse plus équilibrés dans les autres pays) dans une logique de bioraffinerie territoriale couplant production et transformation. Le périmètre de la bioéconomie s'étend jusqu'à l'utilisation biologique du CO₂⁷.

Les pays qui ont su associer des stratégies nationales et des plans d'action sont les États-Unis (2012), l'Allemagne⁸ (2011 et 2013), les Pays-Bas (2009) et l'ensemble Suède-Finlande-Norvège-Danemark (2012). De manière générale, les stratégies nationales en matière de bioéconomie mettent en avant, comme celle de la Commission européenne⁹, les objectifs de croissance, les nouvelles opportunités économiques et la création d'emploi. L'étude des différentes feuilles de route à l'échelle mondiale révèle de nombreux points communs entre les stratégies nationales : l'accent mis sur la recherche, la place fondamentale des biotechnologies, l'encouragement des partenariats publics-privés. Cependant, certaines feuilles de route inscrivent la bioéconomie au sein des questions de développement durable, alors que d'autres n'y font aucunement référence (par exemple la stratégie des États-Unis) (Staffas *et al.*, 2013). Les États-Unis se distinguent en incluant dans la bioéconomie les biotechnologies rouges¹⁰ dédiées à la santé : ce choix reflète leur vision « *technology-push* » (par opposition à l'approche « *society-driven* »¹¹ en Europe) qui doit conduire à des impacts économiques et environnementaux. Ainsi, les définitions du terme bioéconomie peuvent différer selon le périmètre que chaque pays donne aux secteurs concernés en priorité par les stratégies industrielles et les stratégies de recherche.

6. Notamment pour les produits à base de bois (panneaux, pâte à papier, etc.).

7. Dans un système sans apport énergétique, le CO₂ est le terme ultime de l'usage énergétique de la biomasse. Avec un apport d'énergie, le CO₂ peut être recyclé dans la formation de nouvelles biomasses à l'instar de la biomasse produite par la photosynthèse à partir de l'énergie solaire. Ce mécanisme universel est connu pour être limité par la faible teneur de l'atmosphère en CO₂. Si en revanche on considère, par exemple, des sources concentrées en CO₂ en sortie de chaufferie, ou de cimenterie, la « recharge énergétique » de l'atome de carbone est envisageable dans des installations en atmosphère contrôlée, comme des cultures de micro-algues ou en électrochimie. La source énergétique est le point clé pour obtenir ce cycle. Un danger est de voir apparaître des technologies utilisant des sources énergétiques non renouvelables, renforçant les effets de serre et créant du « *green washing* ».

8. Soulignons le volontarisme de l'Allemagne qui a créé, en 2009, un conseil de la bioéconomie, indépendant des ministères et du gouvernement fédéral, et a élaboré une stratégie nationale et des feuilles de route régionales afin d'encourager le développement d'une bioéconomie allemande.

9. Pour une interprétation des stratégies européennes, on lira avec profit Levidow *et al.* (2012, 2013a).

10. Un code couleur a été adopté dans les années 2000 pour identifier les biotechnologies en fonction de leur domaine d'application, des procédés employés ou du type de biomasse utilisé : les biotechnologies vertes s'appliquent au domaine de l'agroalimentaire, à l'agriculture et à la sylviculture ; les biotechnologies rouges concernent le secteur de la santé ; les biotechnologies blanches sont liées à la production industrielle (chimie, matériaux, etc.) ; les biotechnologies bleues concernent la biodiversité marine.

11. C'est-à-dire centrée sur les demandes de la société.

Potentiellement, la bioéconomie couvre un large éventail de secteurs de production. Les débouchés impliqués par l'utilisation de la biomasse sont multiples : il s'agit tant de l'alimentation, de l'énergie (biocarburants, bois-énergie, méthanisation, etc.) que de la chimie, ou encore des produits et matériaux chimiques pour l'hygiène, le textile et l'habillement, la construction et l'habitat, le transport (automobile...). Les secteurs de la santé (thérapeutique, pharmacogénétique, etc.) ou de l'activité biotechnologique (sélection animale ou végétale, organismes génétiquement modifiés, vaccins, etc.) sont aussi cités, mais de manière moins consensuelle. Le vaste champ couvert s'étend aussi à l'approvisionnement en matières premières renouvelables, à la biomasse jusqu'à la fin de vie du produit, en passant par les procédés issus ou non de cette matière organique (bioconversion¹²). En amont, sont donc concernés les secteurs de l'agriculture, de la foresterie, de la pêche et de l'aquaculture (et plus généralement du milieu marin) en tant que secteurs pourvoyeurs d'intrants. Le recyclage et la valorisation des déchets organiques issus des collectivités, des industries agroalimentaires ou des papeteries, etc. font eux aussi partie du domaine de la bioéconomie.

Les filières les plus actives sont celles de la chimie du végétal et des nouveaux matériaux biosourcés. Une part importante de la production dépend déjà en partie de matériaux biologiques. Plusieurs exercices de prospective conduisent à estimer la part des biotechnologies jusqu'à 35 % de la production de produits chimiques et industriels, jusqu'à 80 % des produits pharmaceutiques et des diagnostics en 2030.

La bioéconomie présente ainsi plusieurs particularités marquantes qui interrogent les économistes sur la question de l'organisation industrielle d'une part, et sur celle de la croissance d'autre part. La notion de « filière », en particulier, est mise en question par des activités forcément territorialisées qui s'organisent autour d'un axe production-transformation des biomasses auxquels s'ajoutent des axes de production d'outils biotechnologiques intrinsèquement génériques.

La bioéconomie s'inscrit en partie dans l'économie circulaire. Deux concepts nouveaux modifient le paysage des filières linéaires et parallèles : les usages successifs (en cascade) ; le bouclage des cycles C (carbone), N (azote), P (phosphore) et K (potassium). Ces concepts remettent en cause la valeur nulle, voire négative, des déchets dans les chaînes de valeur, et par voie de conséquence l'adéquation entre les cahiers des charges matière des produits sortant et entrant dans des opérations successives. Les déchets sont des ressources jusqu'au CO₂, N, P et K, avec des possibilités de substitution et des usages en cascade. À ce titre, la bioéconomie permettrait de découpler croissance et consommation d'intrants N, P et K.

C'est aussi la question de la nature de la croissance que renouvelle la bioéconomie. D'abord, la bioéconomie déplace les sources de carbone au profit d'une part plus grande d'origine biologique, pour répondre aux mêmes besoins des sociétés humaines. La création d'activités nouvelles, permises par les biotechnologies, respecte une logique schumpétérienne en déplaçant les activités fondées sur du carbone fossile ou relatives aux déchets, avec les usages en cascade et le bouclage des cycles. Ensuite, la bioéconomie peut s'inscrire aussi bien dans une logique de croissance (OCDE, 2009) que de décroissance. Cependant, à la différence de Georgescu-Roegen¹³ et de

12. Transformation de la biomasse par utilisation des biotechnologies.

13. Pour un point de vue synthétique et historique sur l'analyse de Georgescu-Roegen, voir Missemmer (2013).

Passet (1979), qui mettent l'accent sur les contraintes physico-chimiques de l'environnement dans lequel s'inscrivent les activités économiques pour poser la finitude des ressources, la perspective récente de la bioéconomie se place dans un système ouvert alimenté par le flux énergétique solaire, contrebalançant la croissance de l'entropie inhérente à toute activité consommant de l'énergie.

Au plan scientifique et technologique¹⁴, la bioéconomie se fonde sur la combinaison d'une connaissance accrue sur les génomes, facilitant l'obtention d'agents de transformation plus efficaces et efficaces, d'un recours accentué aux procédés biotechnologiques et d'une plus grande utilisation de la biomasse dans les procédés industriels.

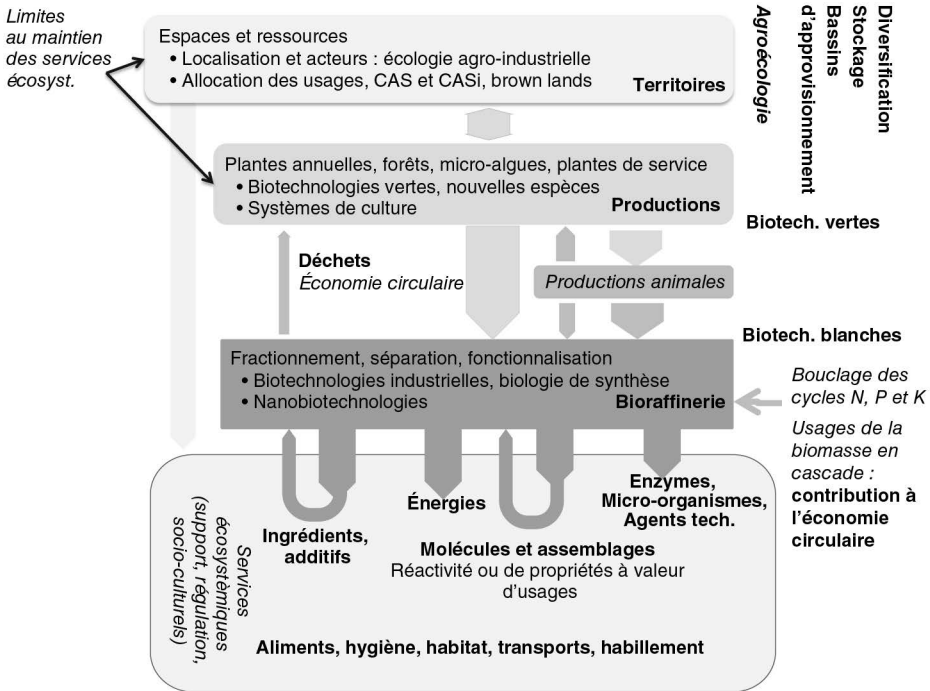


Figure 8.1. Les trois dimensions du système de la bio-économie.

Source : Colonna *et al.* (2014 : 304).

Dans l'analyse comparative des stratégies et des politiques (Staffas *et al.*, 2013), aucune définition canonique de la bioéconomie ne s'impose. Cependant, dans tous les schémas de pensée, on trouve deux points de convergence importants. Tous s'accordent d'abord sur le fort potentiel des biotechnologies vertes (plantes et micro-algues), blanches (enzymes et micro-organismes) et bleues (macro-algues), depuis la biodiversité – pour l'identification de nouvelles enzymes, d'espèces et de consortia microbiens, la biologie des systèmes – jusqu'à la biologie de synthèse. Ils mettent en avant trois capacités des biotechnologies : l'amélioration des

14. Voir en particulier le chapitre 4 « Biotechnologie et génie génétique au XXI^e siècle » du rapport prospectif de l'OCDE (1998).

performances par voie génétique, la sélectivité des mécanismes biologiques et la créativité, avec la biologie de synthèse. L'apport des savoirs et des connaissances de la biologie moderne (haut débit, post-génomique, etc.) serait un moteur du changement de paradigme technologique¹⁵ en bousculant les procédés de production classiques. La production de biomasses et des procédés de transformation adaptés aux usages des biotechnologies devraient limiter les impacts environnementaux. En effet, ces procédés génèrent moins de sous-produits et s'inscrivent dans des schémas industriels moins énergétiques.

Le second point de convergence est la prépondérance accordée à l'approche systémique (croisements de systèmes alimentaires, chimiques, énergétiques) aux dépens de la juxtaposition des filières (Colonna *et al.*, 2014) ; chaque production végétale contribue à la satisfaction de différents besoins élémentaires. Les usages en cascade de la biomasse (le CO₂ étant sa forme finale) conduisent à imaginer des combinaisons de technologies plus élaborées et diverses que celles fondées sur une logique « en silo » dans laquelle une matière première agricole ou forestière n'a qu'un usage, les autres étant des valorisations de sous-produits. L'idée que le co-produit d'une activité est la matière première d'une autre activité complexifie les chaînes de valeur et modifie les relations entre les acteurs économiques. Les productions oléagineuses en sont une illustration, avec la fraction azotée (tourteaux pour les alimentations humaine et animale) et la fraction lipidique (alimentation humaine, biocarburants, chimie). L'usage des huiles de friture usagées en biocarburants représente le stade ultime, la matière étant transformée en CO₂.

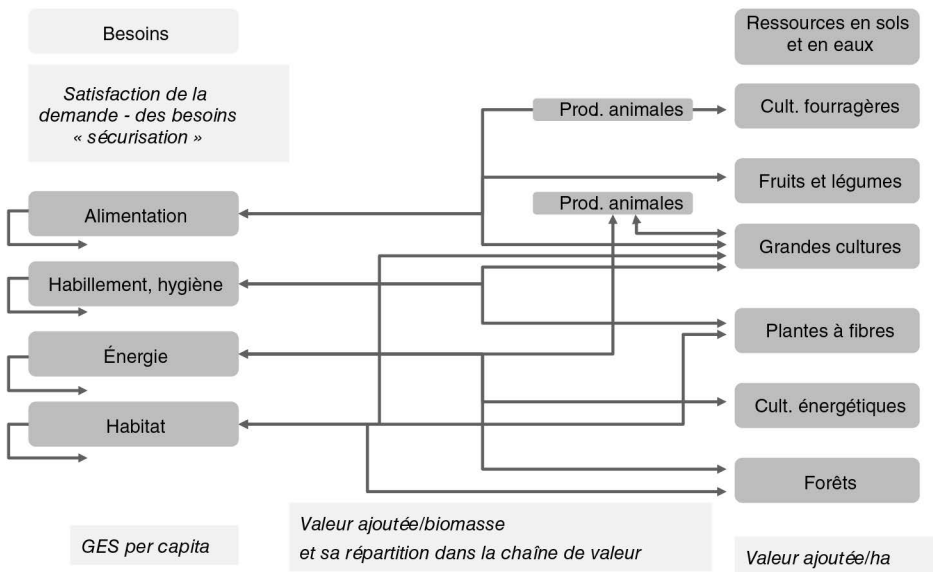


Figure 8.2. Besoins sociaux et ressources de la bioéconomie.

15. Soulignons qu'aucun changement de paradigme équivalent n'est visible pour la physique ou la chimie organique.

Par rapport à la satisfaction des besoins de la planète, deux objectifs peuvent être définis comme prioritaires (voir Levidow *et al.*, 2012), sans qu'ils soient aisément compatibles. Le premier est l'amélioration de l'efficacité (la productivité) des ressources naturelles par « injection » intensive de progrès technologiques et de capital de connaissances scientifiques (les biotechnologies au sens large). Le second est une utilisation durable (plus sobre et mieux maîtrisée) de ces ressources biologiques par des innovations scientifiques, sociales et économiques dans la gestion des agroécosystèmes aux différentes échelles géographiques. Nous nous sommes interrogés ici sur la capacité de prélèvement sur les milieux naturels, sans affecter les autres services écosystémiques (support, régulation, socio-culturels) pour assurer une solidarité intergénérationnelle¹⁶. La bioéconomie revêt ainsi au gré des définitions deux visions complémentaires :

– *BioBased Economy* : une stratégie scientifique et économique pour créer les conditions d'un passage d'une économie fondée sur les ressources fossiles (et le nucléaire dans certains pays) à une économie fondée partiellement sur les matières premières biologiques (croissance économique efficace, en harmonie avec l'environnement et adoptée par la société) ; les biotechnologies sont alors des éléments de rupture technologique dans nos socio-écosystèmes. La bioéconomie devient le prolongement opérationnel du développement durable, en synergie avec les scénarios d'évolution fondés sur la sobriété pour les sociétés dites développées.

– *BioEconomy* : une croissance durable grâce à des progrès dans le domaine des biosciences visant à la « biologisation » des procédés et des produits industriels, avec le développement des écotecnologies et la réduction des déchets.

Dans les deux cas, la définition de la bioéconomie est étroitement liée au développement des biotechnologies considérées comme des « innovations de rupture »¹⁷ amenées à assurer une part substantielle de la production économique des pays de l'OCDE. À l'horizon 2030, la bioéconomie est ainsi envisagée comme l'ensemble des nouveaux modes de production, manières de consommer et styles de vie qu'entraîneront le développement et l'application des biotechnologies.

► La biomasse : enjeux économiques et technologiques

Le déploiement de la bioéconomie repose sur la biomasse. La bioéconomie remet donc au premier rang une ressource ancienne, la biomasse, source de matière organique, produite par des organismes vivants ou par leur décomposition. Cette biomasse est constituée de la matière organique carbonée produite par des organismes vivants et ses dérivés. Elle est formée essentiellement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et à un moindre degré d'azote, provenant de divers types de ressources :

– les produits d'origine agricole, avec d'un côté les cultures traditionnelles de plantes annuelles (céréales, oléagineux) recherchées principalement pour leurs parties nobles (grains, graines et tubercules), et d'un autre côté les cultures dédiées à

16. Soulignons que les ressources minières (pétrole, charbon, gaz, minéraux) oublient, à ce titre, toute perspective de durabilité.

17. Dans les deux perspectives, la bioéconomie, avec les biotechnologies, pourrait supposer le renforcement des protections intellectuelles, agronomique (semences) et industrielle (enzymes, micro-organismes), qui doit précéder et accompagner la mise en place rapide d'une phase d'exploitation industrielle.

la bioraffinerie (*Miscanthus*, taillis à courte rotation TCR, etc.), ainsi que les résidus de cultures (pailles, tiges, feuilles) et d'élevages ;

– les produits d'origine forestière : bûches, granulés, plaquettes et résidus de l'exploitation forestière ou de cultures sylvicoles spécifiques (taillis à courte ou à très courte rotation de peuplier et d'eucalyptus) ;

– les produits d'origine aquatique : micro-algues et macro-algues, résidus de la pêche et de la pisciculture ;

– les co-produits et les effluents des industries de transformation des matières biologiques : scieries, papeteries, industries agroalimentaires, élevages industriels ;

– les autres déchets organiques : déchets urbains, boues issues des stations d'épuration, ordures ménagères, déchets verts provenant de parcs et de jardins.

Même si la biomasse disponible sur terre est limitée à chaque instant, la photosynthèse génère naturellement son renouvellement, induisant ainsi une circularité des flux biogéochimiques du carbone. Nous avons là trois éléments de différenciation de la bioéconomie par rapport à l'usage du carbone fossile :

– la diversité structurale des biomasses comparativement au carbone fossile présent sous les formes $-CH=$, $-CH_2-$, CH_4 ;

– la distribution géographique de la biomasse dans tous les espaces habités du globe donne des potentialités spécifiques à chaque territoire, sans obérer pour autant les échanges entre territoires ;

– la bioéconomie est dans une logique de flux, ce qui implique le respect des mécanismes de la biosphère pour ne pas altérer ses capacités productives.

L'alimentation est la première famille de produits issus de la biomasse. Les principaux domaines d'innovation actuels sont le mouvement « *clean label* », avec une simplification des formulations et une éviction des produits « chimiques » au profit d'ingrédients « naturels » issus par exemple de la bioraffinerie : les aliments fermentés, les protéines végétales et microbiennes.

Mais la biomasse a longtemps été l'objet d'usages non alimentaires. Par exemple, environ un million d'hectares étaient consacrés à ces usages alimentaires au XIX^e siècle en France. C'est la carbochimie fossile qui a entraîné la diminution de ce secteur. Toutefois, le haut niveau de performances atteint par ces produits pétro-sourcés ne permet pas d'appliquer des règles de substitution simples entre ces sources fossile et biologique, sans que des considérations sociales et environnementales ne soient sérieusement envisagées.

Les bioénergies et la chimie font l'objet de nombreuses études et prospectives (Colonna, 2013). À côté des scénarios strictement énergétiques comme ceux de l'Agence internationale de l'énergie, plusieurs publications traitent de projections¹⁸ en 2030-2050 pour décrire un projet de société, irriguée par les différents systèmes énergétiques, alimentaire, chimique à partir du carbone biosourcé, à l'échelle mondiale. Les scénarios sont conçus pour tenir compte du trilemme : garantir les services écosystémiques non productifs, assurer la sécurité énergétique et l'équité énergétique. Différentes options de régulation politique sont ainsi scénarisées mais aucune solution universelle

18. Ces exercices entrent dans une démarche de prospective, avec une définition et une représentation du système, une identification des forces de changement, entraînant des ruptures, à côté d'un scénario tendanciel *business as usual*.

ne se dégage, notamment parce que les différences géographiques, y compris dans les cinétiques d'évolution, empêchent d'adopter des solutions transposables.

La biomasse disponible ne permet pas, en l'état actuel des connaissances, une substitution du carbone fossile et la garantie de la sécurité alimentaire. Les usages concurrents de la biomasse sont à raisonner sur plusieurs critères :

- la satisfaction des besoins (en soulignant que le système alimentaire mondial n'est déjà plus durable et pas équitable) ;
- la sécurisation des approvisionnements ;
- la réduction des émissions de GES *per capita* ;
- la valeur ajoutée par biomasse récoltée et sa répartition entre les acteurs économiques ;
- la valeur ajoutée par ha.

Quelle que soit l'origine de la biomasse, elle ne peut pas être simplement considérée comme un puits de matières premières sans une prise en compte des conditions nécessaires à son renouvellement. La question des moyens pour garantir le respect de cette durabilité se pose, et la bioéconomie et son développement suscitent des controverses autour, notamment, des conflits d'usage et des arbitrages nécessaires. À cet égard, l'usage des terres est un point clé dans le décompte des biomasses disponibles. Une analyse, qui part des terres totales et distingue ensuite les biomasses techniquement récoltables, les biomasses rentables économiquement et les biomasses sans impact environnemental, conduira à identifier la biomasse durable, dont les usages alimentaire, énergétique et chimique sont révélés au niveau de la bioraffinerie.

Alors que le développement d'une bioéconomie repose sur la sollicitation de la biomasse, apparaît la contrainte de travailler avec le vivant. Ces intrants supposent une logistique complexe pour faire face aux contraintes d'un approvisionnement saisonnier et soumis aux aléas climatiques, qui peut ainsi différer temporairement de la demande de certains acteurs, alors qu'il est attendu de ces ressources qu'elles soient disponibles « en quantité suffisante, de façon pérenne et sous forme exploitable » (Appert et Alario, 2013). Au-delà des aspects d'innovation, *via* les biotechnologies ou la création de nouveaux produits, ainsi que des grands enjeux communs (par exemple le changement climatique), la mise en œuvre de la bioéconomie s'appuie sur le concept de bioraffinerie.

L'implantation des bioraffineries obéit à un calcul qui doit prendre en compte le fait que les ressources en biomasse sont non seulement limitées, mais également localisées. La logistique (réseau de transport, stockage de la matière première, etc.) et les coûts associés, ainsi que les prix des matières premières sont des critères essentiels pour la localisation des bioraffineries, et donc pour le développement de la bioéconomie. La grande importance des facteurs de coût liés à la localisation permet aussi de voir dans la bioéconomie une opportunité pour le développement territorial (voir par exemple Attali, 2013 ; Johnson et Altman, 2014).

L'augmentation des prélèvements en biomasse peut aussi conduire à des changements d'usage des sols, capables alors de provoquer des déstockages massifs de carbone organique des sols. Fortement décriée en raison de la faiblesse des données d'impacts environnementaux, la politique pour les biocarburants se trouve aujourd'hui confortée par des études solides (Valin *et al.*, 2015).

Encadré 8.1. La bioraffinerie.

Ce terme, construit par analogie au terme de raffinerie, désigne le fractionnement de ressources renouvelables, et non du pétrole, en molécules d'intérêt valorisées en produits alimentaires ou non. Aucun végétal ne donne une biomasse brute directement utilisable en chimie ou en fermentation sans un traitement préalable de purification et de fractionnement. Mais toutes ces molécules d'intérêt sont présentes dans des organes de réserve (les grains et les tubercules) ou de soutien (les tiges). La biomasse subit donc un prétraitement avant d'être traitée selon divers procédés (biotechnologiques, thermochimiques ou chimiques). La déconstruction des matières végétales constitue un verrou dans les usages de la biomasse. Elle a conduit à une activité particulière, la bioraffinerie, fondée sur une valorisation industrielle complète de chacune des fractions récoltées de la plante.

La bioraffinerie est en fait une technologie ancienne. Après la première génération (papeterie, meunerie, huilerie), elle a évolué, grâce à l'incorporation d'outils chimiques, vers la bioraffinerie de deuxième génération (acides gras, glycérol, polysaccharides, isolats de protéines). L'arrivée d'outils enzymatiques a permis l'approfondissement du fractionnement vers les oses et les peptides, en troisième génération. La gazéification, conduisant au gaz de synthèse (syngaz), est le stade ultime de la quatrième génération, avec un éclatement des molécules constitutives, en CO et H₂.

Les bioraffineries sont aujourd'hui des infrastructures dites intégrées. Elles permettent de transformer sur un même site une diversité d'intrants pour différents marchés (matériaux, chimie, énergie ou encore alimentation). Plusieurs types de bioraffineries peuvent être distingués :

- les bioraffineries territoriales, qui traitent des matières premières agricoles ou forestières produites dans des bassins de production (grandes cultures et forêts) connexes ;
- les bioraffineries portuaires, qui traitent principalement des matières premières importées ;
- les bioraffineries environnementales, qui traitent des déchets en périphérie des mégapoles ou des écosystèmes industriels.

L'émergence de la bioéconomie est dépendante de conditions comme la connaissance de la biomasse disponible, les prix relatifs des molécules biosourcées et fossiles, la compétitivité *via* les disparités des coûts de production, etc. Autant de freins possibles dont un est peu cité, à savoir les conditions de soutenabilité de la mobilisation de la biomasse utilisée comme intrant. La bioéconomie, au travers de sa mobilisation des ressources issues du vivant, nécessite le respect des rythmes de renouvellement conditionnant une exploitation soutenable de la biomasse. De plus, la sollicitation de la biomasse pour des usages existants et nouveaux, ainsi que la croissance des volumes mobilisés, laisse transparaître des enjeux, qu'ils soient liés aux questions de conflits d'usages, d'acceptabilité sociale ou encore d'éthique.

► L'invention d'un nouveau secteur économique ?

Les projets d'implantation de bioraffineries montrent bien que la bioéconomie réunit des acteurs aux approches très différentes autour d'un enjeu commun, mais qu'elle

déstabilise aussi la vision « traditionnelle » des chaînes de valeur organisées par filières. La notion de bioéconomie incite à dépasser une vision additive des différents secteurs d'activité s'appuyant sur la biomasse et la biologie (hors santé), pour développer une vision systémique et opérationnelle des relations entre les sociétés humaines et les écosystèmes. La bioéconomie constitue potentiellement un secteur économique nouveau, organisé autour d'activités à la fois complémentaires mais aussi mises en concurrence, activités concernant l'accès, l'exploitation et le renouvellement de la biomasse, et plus largement des ressources naturelles et, au-delà, des sols. Ce secteur transcende et remet en cause les découpages traditionnels des secteurs économiques qui, en particulier, autonomisent jusque-là le système alimentaire et le système énergétique.

La transition énergétique conduit à développer une approche globale qui analyse l'utilisation de l'énergie et des ressources (eau). Au niveau industriel, l'intégration énergétique vise notamment à utiliser, voire à stocker, l'énergie thermique pour différents usages (notion de « cascade énergétique »).

Une originalité du concept de bioéconomie est de réfléchir en considérant un ensemble d'éléments pour lesquels les interactions entre les différentes opérations (production, transformation) sont aussi importantes que chacune d'entre elles pour appréhender l'efficacité globale du système. L'idée de bioéconomie permet de reconsidérer le périmètre des activités agroalimentaires et remet même en cause le concept de système agroalimentaire organisé et hiérarchisé autour de la fonction alimentaire de l'agriculture et des ressources qu'elle consomme et produit.

La bioraffinerie déstabilise l'approche économique par filière linéaire au profit d'une approche systémique. Elle remet en cause l'enchaînement entre les différents stades d'un processus de transformation (ou « chaîne de production »). La plupart des biomasses sont interconvertibles, *via* la bioraffinerie, pour répondre aux besoins en produits finaux : par exemple, pratiquement toutes peuvent être utilisées pour produire de l'énergie. De plus, les co-produits et les produits de sortie (déchets) sont à considérer dans une logique de cascade dont les devenir ultimes sont le CO₂ et le retour des éléments carbone, azote, phosphore et potassium dans les systèmes de culture ou dans les sols. Parfois dénommée par simplification « économie circulaire », cette triple logique de fractionnement, d'interconversion et de cascade doit être envisagée comme un système global (« analyse systémique »). Étudier ces nouveaux axes de recherche suppose une approche pluridisciplinaire.

Ces concepts remettent en cause l'idée de valeur nulle, voire négative, des déchets dans les chaînes de valeur, et par voie de conséquence l'adéquation entre les cahiers des charges matière des produits sortant et entrant dans des opérations successives. À ce titre, la bioéconomie permet de découpler croissance et usage de matières premières.

Enfin, les relations entre les acteurs sont souvent déstabilisées car les options technologiques, du fait de l'innovation, conduisent à des réorganisations permanentes de l'arborescence des « filières ». Deux domaines d'innovation illustrent ces ruptures :

- l'utilisation de protéines végétales issues de tourteaux sous des formes texturées, en remplacement de produits carnés, aux dépens des usages en alimentation animale ;
- les voies fermentaires d'obtention d'acides gras poly-insaturés ciblés aux dépens des sources animales (poissons en particulier).

L'approche systémique (interactions entre systèmes alimentaires, chimiques, énergétiques) permet d'envisager d'optimiser les croisements de flux de matière, d'énergie et d'informations entre les mondes agro-industriels ou forestiers, et de la chimie classique. L'optimisation est forcément multicritères, pouvant conduire à des antagonismes entre les intérêts privés et publics. Elle renouvelle l'éco-conception dont l'approche classique par produit entraîne une incapacité à considérer l'ensemble des besoins de chaque société. Les exemples de Pomacle en France (Schieb et Philip, 2014) et de Kalundborg au Danemark (Wells et Zapata, 2012) illustrent ces approches globales « méso-économiques ».

Reste une question majeure. Sachant que les biomasses disponibles actuellement ne permettent pas une substitution complète du carbone fossile, la définition des usages prioritaires de la biomasse se fera-t-elle sur la base du *statu quo*, avec l'alimentaire en priorité, de la maximisation de la valeur ajoutée, de la durabilité, de l'efficacité ou encore de la sécurité des approvisionnements ? Les complémentarités et les concurrences des usages des sols (Griffon, 2014) détermineront la place quantitative de la bioéconomie, avec l'élargissement de la réflexion aux terres marginales (« *brown lands* ») au-delà des seules surfaces agricoles et forestières. Le choix des espèces végétales à planter, des plantes pérennes aux micro-algues, est une variable majeure affectant la durabilité et les paysages. À la différence du carbone fossile dont l'exploitation est localisée (« puits de pétrole »), la biomasse est uniformément répandue à la surface du globe, ce qui modifie les enjeux géopolitiques de souveraineté régionale ou nationale. En découlent des visions contrastées entre les bioraffineries territoriales dans des bassins de production (grandes cultures et forêts) et les bioraffineries portuaires.

Le territoire est l'élément structurant des réflexions car il associe le bassin de production(s), l'infrastructure de collecte et de stockage, les activités agro-industrielles et les infrastructures. Cette perspective, visant à utiliser tous les composants de la biomasse, constitue d'ailleurs l'un des vices de la bioéconomie, avec la tentation d'exporter toute la biomasse produite agronomiquement. Or une partie de la biomasse doit rester sur les parcelles agricoles ou forestières pour garantir un contenu organique au sol.

L'écologie industrielle est la manifestation physique que différents procédés et produits, en général d'agents économiques distincts, sont interconnectés par des flux de matières et d'énergie, ce qui permet de réduire collectivement les pertes, y compris thermiques, souvent dans un espace géographique défini (Asthon, 2009). L'économie circulaire en est l'étape la plus avancée (Mathews et Tan, 2011). La colocalisation des activités permet d'envisager la réduction des étapes séchage-hydratation, nécessaires pour les transferts entre des unités très éloignées, pour des raisons microbiologiques essentiellement.

Enfin, les relations entre les acteurs sont souvent déstabilisées car les options technologiques, du fait de l'innovation, conduisent à des réorganisations permanentes de l'arborescence des « filières » en fonction des marchés : les oscillations d'usage du sucre, entre sa capacité sucrante et les bioénergies, illustrent la compétition entre la recherche de valeur ajoutée et le souci de robustesse des approvisionnements. L'approche systémique (interactions entre systèmes alimentaires, chimiques, énergétiques) permet d'envisager d'optimiser les croisements de flux de matière,

d'énergie et d'informations entre les mondes agro-industriels ou forestiers, et celui de la chimie classique. Elle renouvelle l'éco-conception, dont l'approche classique par produit entraîne une incapacité à considérer l'ensemble des besoins de chaque société.

La bioéconomie pose la question des échelles pertinentes pour développer des approches holistiques dans des territoires, en lien avec les écosystèmes, avec les trois caractéristiques suivantes : variabilité des écosystèmes, trajectoire technologique pour les transitions chimiques, énergétiques, alimentaires, résilience-robustesse des systèmes chimiques, énergétiques et alimentaires ? La proposition de scénarios de spécialisations territoriales française, en suivant les étapes recherche, démonstration, déploiement, est à envisager en priorité. La bioéconomie est un moyen pour colocaliser les activités de production et de transformation dans un objectif de durabilité. Le choix de l'échelle de développement (territoire, nation, région, monde) mérite d'être pensé en fonction des contextes pédoclimatiques locaux et des porteurs d'enjeux mobilisables, au lieu de se projeter par la réplication de modèles importés d'autres parties du monde. L'enjeu est celui des changements d'échelle, pour passer du foisonnement des micro-projets à une vision à grande échelle. Cette perspective rejoint le concept de « *smart specialization* », qui reprend l'idée de politique industrielle à une échelle locale.

La prise en compte des considérations environnementales et des limites de la fourniture de biomasse d'un territoire conduit à dépasser les études « effet de... sur... » pour explorer les scénarios de gestion des agroécosystèmes en les maintenant dans des limites qui soient acceptables du point de vue de la durabilité des systèmes socio-écologiques. Au-delà de problèmes méthodologiques, la manière d'associer les parties prenantes est à revisiter : aucune d'entre elles ne peut prétendre prendre le pas sur les autres pour des biens communs.

►► Conclusion : la durabilité

L'histoire s'est montrée assez peu concernée par les questions bioéconomiques. L'évolution de nos rapports à l'énergie, à l'alimentation et à la chimie ne saurait se réduire à un récit linéaire des innovations techniques ayant permis d'exploiter telle ou telle ressource ou de mettre en œuvre de nouvelles technologies plus efficaces. Le système bioéconomique est toujours sous-tendu par des structures et des choix politiques, économiques et sociaux qu'il convient de mettre au jour pour en comprendre toutes les dimensions, et montrer comment, au-delà de la mobilisation de la biomasse existant dans la nature, sa conversion et ses usages ont des fondements et des effets très complexes. Les aspects sociaux, économiques, culturels, politiques et géopolitiques, avec les innovations organisationnelles attendues, sont tout aussi importants, si ce n'est plus, que les aspects proprement technologiques. Une transition sociotechnique est nécessaire pour réussir une certaine forme de durabilité, avec des changements en matière de production et de consommation.