

Bioéconomie : enjeux d'un concept émergent

Élise DELGOULET

Centre d'études et de prospective

Jeanne PAHUN

Doctorante université de Montpellier, CNRS-CIRAD

Jusqu'alors réservé au milieu académique, le terme « bioéconomie » s'est diffusé depuis quelques années dans différentes sphères. Il est par exemple apparu dans des publications institutionnelles, en particulier celle de l'OCDE en 2009. Outre la Commission européenne, une douzaine de pays se sont emparés de la bioéconomie, publiant des stratégies nationales et définissant des orientations techniques ou politiques. Le terme est également de plus en plus utilisé par les acteurs économiques et industriels.

Caractérisée par un recours à la biomasse comme matière première pour la fabrication d'une multitude de produits (énergie, chimie, matériaux, alimentation), la bioéconomie ne fait pourtant pas l'objet d'une définition consensuelle. Néanmoins cette incertitude conceptuelle n'empêche pas le développement d'un nombre croissant de projets ou de réalisations, à l'instar des bioraffineries.

Si ses fondements restent encore assez flous, la bioéconomie suscite de nombreux espoirs, par ses perspectives de développement économique et le rôle qu'elle peut jouer dans la transition vers une moindre dépendance aux hydrocarbures. Elle fait aussi l'objet de controverses, en lien entre autres avec le caractère plus ou moins renouvelable de la ressource mobilisée.

Mots clés : bioéconomie, biomasse, biotechnologies, politiques publiques, stratégies nationales, Union européenne, développement durable, agriculture, forêt

Ce document de travail ne représente pas nécessairement les positions officielles du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF). Il n'engage que ses auteurs. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques.

SOMMAIRE

Introduction	3
1 - L'inscription de la bioéconomie à l'agenda politique européen : définitions, orientations et ambitions	3
1.1 - La bioéconomie à Bruxelles : définition, instruments et débats	4
1.1.1 - La bioéconomie, nouvel enjeu économique et social à la Commission européenne	4
1.1.2 - Horizon 2020 : une part importante des financements réservée à la bioéconomie	5
1.1.3 - Une bioéconomie qui s'institutionnalise au sein de la Commission européenne	6
1.1.4 - Des ambiguïtés demeurent sur les définitions	6
1.2 - Les stratégies nationales	7
1.2.1 - Stratégies nationales en Europe et au-delà	7
1.2.2 - La bioéconomie en France	8
2 - Vers une opérationnalisation de la bioéconomie ? Réalités, promesses, défis	9
2.1 - Secteurs économiques et perspectives offertes par la bioéconomie	9
2.1.1 - D'une approche par filières à une vision par systèmes	9
2.1.2 - Des promesses de fort développement pour les secteurs concernés par la bioéconomie	11
2.2 - Quelques défis et enjeux pour une opérationnalisation « à grande échelle » de la bioéconomie ..	13
3 - La bioéconomie dans les sciences économiques	15
3.1 - Les « modèles bioéconomiques » ou l'intégration des dynamiques de prélèvement et de renouvellement des ressources dans les modèles économiques	15
3.2 - La bioéconomie de Georgescu-Roegen et Passet : changement de paradigme économique	16
3.2.1 - La révolution bioéconomique de Georgescu-Roegen	16
3.2.2 - La sphère économique comme sous-ensemble de la biosphère : les travaux de René Passet ...	17
4 - Évaluer des gisements de biomasse présents et futurs : incertitudes et prépondérance du débouché énergétique	18
4.1 - Quantifier la biomasse : un exemple français	18
4.2 - Potentiel de production, perspectives et projections	21
5 - La mobilisation durable de la biomasse pour la bioéconomie, une problématique émergente et un enjeu pour l'agriculture et la forêt	23
5.1 - Bioéconomie : quelle prise en compte de la « soutenabilité » ?	23
5.1.1 - Bioéconomie et développement durable	23
5.1.2 - Les cas particuliers de l'agriculture et de la forêt : pourvoyeurs de biomasse mais pas seulement	25
5.2 - De la mobilisation durable de la biomasse au déploiement de la bioéconomie : multiplication des enjeux et mise au débat	25
Conclusion	29
Bibliographie	30

Introduction

Depuis une quinzaine d'années, le terme « bioéconomie », jusqu'alors réservé au milieu académique, s'est rapidement diffusé dans différentes sphères, institutions internationales ou nationales mais aussi acteurs économiques et industriels. Si son appropriation s'est faite rapidement, il recouvre encore des visions différentes et peu consensuelles. La juxtaposition du préfixe « bio », évoquant le vivant, au terme « économie », laisse néanmoins penser que l'intégration du vivant au processus économique constitue le dénominateur commun de ces multiples visions.

Comment la bioéconomie est-elle définie et appréhendée selon les acteurs qui s'en saisissent ? Quelles raisons permettent d'expliquer son succès dans les sphères institutionnelles, scientifiques et entrepreneuriales ? Quels sont les fondements théoriques qui la sous-tendent ? Quels bénéfices la bioéconomie pourrait-elle apporter à la société ? Quels en sont les principaux enjeux, et les risques éventuellement associés ? Voici quelques-unes des questions auxquelles ce document entend apporter des éléments de réponse.

L'analyse des publications issues d'organes internationaux (OCDE et Commission européenne), développant un programme stratégique autour de la bioéconomie, constitue notre point de départ. La bioéconomie renvoie aussi à une multitude de projets industriels, de recherches et d'initiatives régionales, qui s'appuient sur des promesses de développement économique et défis, présentés dans un deuxième temps. La troisième partie s'intéresse aux fondements scientifiques et théoriques de la bioéconomie, puis la quatrième traite d'un sujet clé, à savoir la quantification de la biomasse pour le développement des usages non-alimentaires. Enfin, la cinquième partie fait un tour d'horizon des controverses, actuelles ou émergentes, entourant la mise en œuvre de la bioéconomie.

1 - L'inscription de la bioéconomie à l'agenda politique européen : définitions, orientations et ambitions

Au cours du XX^e siècle, le terme « bioéconomie » était principalement utilisé dans la sphère académique, en biologie, en économie ou en gestion des ressources naturelles. Mais à partir de la fin des années 1990, et sous l'impulsion de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), le terme s'est diffusé progressivement dans les programmes de recherche et les appels à projets, ainsi que dans les discours institutionnels européens.

Inscrite sur l'agenda interne de l'OCDE, suite au rapport *21st Century Technologies* (OCDE, 1998), la bioéconomie n'est réellement définie par l'institution qu'à partir de 2009 dans sa publication *La bioéconomie à l'horizon 2030 : quel programme d'action ?* (OCDE, 2009). Elle y est présentée comme la combinaison i) d'une connaissance accrue sur les génomes, ii) d'une plus grande utilisation de la biomasse dans les procédés industriels et iii) d'un recours accentué aux biotechnologies. Dans cette publication, la définition de la bioéconomie est donc très liée au développement des biotechnologies, décrites comme des « innovations de rupture » amenées à assurer une part substantielle de la production économique des pays de l'OCDE. À l'horizon 2030, la bioéconomie est envisagée comme l'ensemble des nouveaux modes de production, des manières de consommer et styles de vie qu'entraîneront le développement des biotechnologies. Ces dernières s'appliquent à différents domaines, tels que la production primaire, le secteur de la santé ou de l'industrie. Suite à ce rapport de 2009, les institutions européennes et les États membres de l'UE vont à leur tour se saisir du terme.

1.1 - La bioéconomie à Bruxelles : définition, instruments et débats

Si la bioéconomie apparaît d'abord dans plusieurs publications de l'OCDE, la Commission européenne est la première institution, en Europe, à lui attribuer une place privilégiée dans sa stratégie de recherche pour 2020 (Horizon 2020), avec un budget opérationnel et un grand nombre de partenariats public-privé. Aussi, au cours des dix dernières années, la bioéconomie a occupé une part croissante dans les débats à la Commission.

1.1.1 - La bioéconomie, nouvel enjeu économique et social à la Commission européenne

C'est avec la « stratégie de Lisbonne », au début des années 2000, qu'on trouve les prémices du programme bio-économique de l'Union européenne, sous le concept de *knowledge-based economy*¹. Ce concept se transforme peu à peu en *knowledge-based bio-economy* (KBBE)², définissant une recherche qui entend chapeauter la profusion des connaissances sur les animaux, les plantes, les micro-organismes et les insectes, en valorisant ces connaissances et en particulier celles développées par les biotechnologies (voir encadré n° 1).

Progressivement, seul le terme « bio-économie » ou « bioéconomie » est conservé, comme en témoigne la Communication de 2012 de la Commission européenne intitulée *L'innovation au service d'une croissance durable : une bioéconomie pour l'Europe* (Commission européenne, 2012). La bioéconomie y est définie comme une économie fondée sur l'exploitation des ressources biologiques renouvelables (production et transformation de la biomasse³) à travers la mobilisation de diverses sciences, le recours aux technologies et à l'ingénierie. Cette communication offre de la bioéconomie une vision très large, supposant un changement radical de nos manières de produire, de consommer, de stocker, de recycler, etc. Ce changement réside dans le remplacement d'une partie des hydrocarbures, au stade de la production, par des ressources renouvelables issues de la biomasse. Présentée comme une alternative aux économies du « tout pétrole » et à l'épuisement des ressources naturelles, cette bioéconomie serait en mesure de produire des équivalents ou substituts tels que les biocarburants, les bioplastiques ou les biodétergents. Elle répondrait ainsi à la demande actuelle des consommateurs, tout en minimisant l'impact environnemental de la production de ces biens et en contribuant à la lutte contre le changement climatique.

Un des objectifs de cette nouvelle économie est de réduire la dépendance de l'Union européenne aux énergies fossiles, tout en répondant aux besoins d'une population mondiale estimée en 2050 à environ 9 milliards d'habitants. Elle permettrait aussi, par sa nature intersectorielle, d'assurer la cohérence entre diverses politiques, et de rapprocher sous une même bannière des activités économiques parfois séparées. Enfin, le texte de la Commission fait explicitement référence aux potentiels de croissance économique et de création d'emplois portés par la bioéconomie en Europe. Il occulte cependant quelques questions clés : comment et où produire la biomasse requise ? Quels types de biotechnologies seront mobilisés ? Ces questions sont en débat au sein des Directions Générales de la Commission, mais n'apparaissent pas dans les textes officiels relatifs à la bioéconomie.

Si la communication de 2012 de la Commission européenne présente la bioéconomie comme un vaste programme de transition énergétique, économique et sociale, vers une meilleure prise en compte de l'environnement, elle ancre avant tout cette bioéconomie dans une perspective concrète d'innovation, de croissance et de compétitivité.

1. Soit une économie tirant sa force et sa compétitivité de la connaissance, ou plus simplement « économie de la connaissance ».

2. Conférence de Bruxelles, *New perspectives on the Knowledge-based bio-economy. Transforming life sciences knowledge into new, sustainable, eco-efficient and competitive products*, 15 et 16 septembre 2005.

3. La biomasse fait l'objet de différentes définitions, qui mettent en avant son origine organique, qu'elle soit végétale ou animale. À titre d'exemple, la directive européenne 2009/28/CE la présente comme une « fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ». Le terme de « bioressource » est aussi employé.

Encadré 1 - Les différents types de biotechnologies

L'OCDE définit les biotechnologies de façon large : « l'application de la science et de la technologie à des organismes vivants, de même qu'à ses composantes, produits et modélisations, pour modifier des matériaux vivants ou non-vivants aux fins de la production de connaissances, de biens et de services ». D'autres définitions présentent quant à elles les biotechnologies comme l'ensemble des applications de techniques visant à synthétiser, modifier ou dégrader des molécules en utilisant le vivant et dans le but de fabriquer industriellement des composés biologiques ou chimiques (médicaments, matières premières industrielles) ou d'améliorer de la production agricole.

Les biotechnologies sont souvent associées à une couleur qui permet de différencier leur domaine d'application, les procédés qu'elles emploient ou encore le type de biomasse qu'elles mobilisent. Ce code couleur n'est pas unanimement repris, mais on retrouve souvent cette classification.

- Les **biotechnologies vertes** s'appliquent au domaine de l'agroalimentaire, de l'agriculture et de la sylviculture. Elles « reposent sur un vaste ensemble de techniques de recherche en biologie végétale, techniques de culture *in vitro* ou techniques moléculaires »⁴. Les débouchés sont l'amélioration et la santé des plantes (ex : OGM), et la production de molécules (ex : biomatériaux, biocarburants).
- Les **biotechnologies rouges** interviennent dans le secteur de la santé, en particulier de l'industrie pharmaceutique. Elles concernent la recherche sur le génome humain ou la production de molécules complexes à usage curatif (exemples d'applications : médicaments, vaccins, aide au diagnostic médical).
- Les **biotechnologies blanches** sont relatives aux techniques industrielles reproduisant des procédés naturels, alternatifs aux procédés chimiques classiques, comme la biocatalyse ou la fermentation via des organismes vivants (champignons, levures, etc.). Exemples d'applications : colorants, enduits, bio-détergents, dissolvants.
- Les **biotechnologies bleues** sont liées à l'utilisation de la biodiversité marine. L'exploitation d'organismes marins, tels que les algues, permet d'élaborer des enzymes industrielles, des bio-énergies ainsi que de nouveaux produits pharmaceutiques et cosmétiques.

Une autre catégorie de biotechnologies est plus rarement citée, les biotechnologies grises, solutions technologiques dont le but est la préservation de l'environnement.

1.1.2 - Horizon 2020 : une part importante des financements réservée à la bioéconomie

La communication de la Commission a été débattue au sein de plusieurs Directions Générales, telles celles de l'Agriculture et du Développement Rural, de l'Environnement ou des Entreprises et de l'Industrie. Mais le texte a surtout été porté par celle de la Recherche et de l'Innovation. C'est donc principalement par le biais des plans de recherche septennaux de l'UE (Programme-cadre 6, Programme-cadre 7 et désormais Horizon 2020 - H2020) que la bioéconomie est financée en Europe.

Le nouveau programme de recherche de l'UE (2014-2020) comporte un budget total de 77 milliards d'euros et repose sur 3 piliers : l'excellence scientifique, la primauté industrielle et des défis sociétaux, au nombre de 7. La bioéconomie occupe une place importante au sein du deuxième de ces défis : « Sécurité alimentaire, agriculture et sylviculture durables, recherche marine, maritime et dans le domaine des eaux intérieures et bioéconomie ». Cet axe est souvent présenté (lors des réunions H2020 ou sur les pages Internet de la Commission) comme le « défi bioéconomie », ce qui montre l'importance accordée à ce domaine. Il bénéficie d'un budget de 3,8 milliards d'euros, auxquels peuvent être ajoutés les 500 millions attribués aux biotechnologies à l'intérieur du pilier sur la primauté industrielle. La bioéconomie capte donc, dans cette acception, environ 5 % des ressources totales du plan H2020⁵.

À l'intérieur du défi 2, une particularité notable est la part de financement orientée vers l'innovation technique, notamment à travers le financement de la recherche et de l'application des biotechnologies blanches. Il s'agit de partenariats public-privé (PPP) avec les bioraffineries européennes (cf. encadré 3), qui mobiliseront sur les sept années à venir 975 millions d'euros de fonds publics européens, venant en surplus des 2,7 milliards apportés par

4. Source : <http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Biotechnologies/Tous-les-dossiers/biotechnologies-vertes>

5. Vidéo de présentation du défi sociétal n° 2 du programme H2020 disponible à cette adresse : <http://www.horizon2020.gouv.fr/cid75410/video-session-nationale-securite-alimentaire-bioeconomie-dans-horizon-2020.html>

l'industrie (Commission européenne, 2014). Parmi les autres appels à projets du défi 2, l'un comporte explicitement le terme « bioéconomie » : il s'agit de « Bioéconomie innovante, durable et inclusive ». De fait, si la bioéconomie s'étend de la production de biomasse à la consommation de produits issus de matières renouvelables (biocarburants, bioplastiques, etc.), son plan de financement au sein du programme de recherche H2020 montre un attachement à l'étape de la production de produits biosourcés, au développement des biotechnologies qui l'accompagne, et à la création de nouvelles chaînes de valeur.

1.1.3 - Une bioéconomie qui s'institutionnalise au sein de la Commission européenne

Outre le budget qui lui est réservé dans le programme H2020, la bioéconomie, telle que définie dans la communication de 2012, tend à s'institutionnaliser dans les instances de l'Union européenne.

En février 2013, dans le cadre de la stratégie européenne pour la bioéconomie, un « Observatoire de la bioéconomie⁶ » a été créé. La Commission en a confié la gestion au JRC (Joint Research Centre). L'observatoire mobilise une équipe d'une dizaine de chercheurs et met en avant trois priorités : recherche (investissement, innovation et savoir-faire), politiques publiques (interactions, mobilisation des parties prenantes) et marché (création, compétitivité). L'un des objectifs de l'Observatoire est la création d'une base de données sur l'usage actuel des biotechnologies dans les bioraffineries (cf. encadré n° 3) de l'Union, afin d'en comprendre l'impact sur son économie et d'en anticiper l'évolution. Des études sont aussi menées sur les pays de l'UE, afin d'élaborer le « profil bioéconomique » de chacun.

Le panel de réflexion inter-Directions Générales⁷, créé lui aussi en 2013, est une autre forme d'institutionnalisation de la bioéconomie à Bruxelles. Il réunit deux fois par an fonctionnaires, industriels et représentants d'ONG européens, dans le but de croiser les points de vue et de développer des synergies entre initiatives nationales. Pour appuyer la stratégie bioéconomique de la Commission européenne, ce panel encourage la création de semblables groupes de réflexion aux niveaux nationaux et régionaux. Du côté des directions générales, la DG Entreprises s'est dotée d'une *task force* sur les produits biosourcés⁸.

Enfin, le Standing Committee on Agricultural Research (SCAR)⁹ travaille également sur la bioéconomie à l'échelle européenne. Coordonnant les efforts de recherche sur l'agriculture (Joint Programming Initiatives, H2020, European Innovation Partnership, Knowledge and Innovation Communities), le SCAR est présidé par un représentant de la Commission et se compose de représentants des États membres et de pays partenaires. Parmi ses groupes de recherche, deux se réfèrent à la bioéconomie : le premier traite du caractère durable de la biomasse (« *Strategic Working Group on Sustainable Bio-Resources for a Growing Bioeconomy* »), le second des bioraffineries intégrées (« *Collaborative Working Group on Integrated Biorefineries* »). De plus, le SCAR conduit régulièrement des exercices de prospective, le dernier de ses rapports étant consacré à la bioéconomie¹⁰.

1.1.4 - Des ambiguïtés demeurent sur les définitions

Il existe un certain flou quant à la définition des concepts au cœur de la bioéconomie. Levidow et ses coauteurs ont étudié en détails plusieurs ensembles de textes européens (Commission européenne, Plateformes technologiques européennes et leurs précurseurs, associations d'agriculteurs COPA et IFOAM, SCAR). De leur analyse (Levidow *et al.*, 2012), il ressort que deux visions cohabitent. La première perception, qui domine, est celle des sciences biologiques, visant à augmenter la productivité européenne à travers les chaînes globales de valeur ;

6 Pour plus d'informations : <https://biobs.jrc.ec.europa.eu/>

7. Liste des membres du panel disponible à cette adresse : <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=2859&Lang=FR>

8. http://ec.europa.eu/growth/industry/policy/task-forces/index_en.htm

9. http://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/index_en.html

10. Pour plus d'informations : <https://ec.europa.eu/research/scar/index.cfm?pg=foresight4th>

la seconde, qualifiée « d'agro-écologique » par les auteurs, est centrée sur le développement des circuits courts, au sens général du terme (exemples : distribution ou encore méthanisation à la ferme).

Les différents textes de la Commission européenne emploient ainsi un terme similaire, *bioéconomie*, mais proposent des définitions se rattachant à des discours différents. Les auteurs en fournissent un bon exemple avec le défi « *solution in sustainable agriculture* ». Selon la première approche, il renvoie à des industries transformant la biomasse de manière plus efficace pour produire une diversité de bioproduits pouvant se substituer aux produits issus des hydrocarbures. Selon la seconde vision, il s'agit de réduire la dépendance de l'agriculteur à des ressources externes en privilégiant des méthodes agro-écologiques.

Si les textes de la Commission européenne n'en restent qu'aux grandes lignes en matière de développement des projets bioéconomiques, l'étude des mécanismes de financement permet, elle, de se faire une idée plus précise de ce qu'est la bioéconomie pour la Commission, avec des spécificités autour des biotechnologies et des nouveaux marchés (bioproduits). Mais comment ces textes européens sont-ils interprétés par les États membres ? Quelles sont les stratégies nationales en termes de bioéconomie ? La partie suivante répondra à ces questions en accordant une attention particulière au cas français.

1.2 - Les stratégies nationales

1.2.1 - Stratégies nationales en Europe et au-delà

La promotion de la bioéconomie au sein de l'OCDE et de la Commission européenne (discours, financements, institutions) oriente les agendas de recherche nationaux et pousse les États membres à se positionner sur le sujet. L'Allemagne, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, l'Autriche, la Belgique (Flandres), la Suède, le Danemark et la Finlande se sont dotés de stratégies nationales. L'Allemagne a fait office de précurseur en créant en 2009 un Conseil de la bioéconomie¹¹, indépendant des ministères et du gouvernement fédéral. Ce conseil a premièrement œuvré à la formulation d'une stratégie nationale et de feuilles de route régionales. Aujourd'hui, ses recommandations servent à orienter les politiques publiques relatives aux questions d'utilisation des ressources, d'acceptation publique, de compétitivité ou de communication sur la bioéconomie. Un autre exemple intéressant est la stratégie de la Finlande, datant de mai 2014, principalement centrée sur la filière forêt-bois (80 % du territoire). La bioéconomie n'y bénéficie pas de budget propre, mais elle est incluse en tant que ligne directrice et prioritaire dans tous les financements. Cette stratégie a mobilisé différents ministères, instituts de recherche et groupes d'intérêts. Le grand public a également été consulté à travers un site internet¹².

À l'extérieur de l'Union européenne, une douzaine de pays se sont dotés de stratégies nationales en bioéconomie (États-Unis, Canada, Russie, Brésil, Norvège, Australie, etc.). Par exemple, le *National bioeconomy blueprint*¹³ des États-Unis, sorti en 2011, est un plan de développement se concentrant sur la promotion de certaines biotechnologies telles que le génie génétique ou l'utilisation de micro-organismes et enzymes dans le secteur industriel.

L'étude des stratégies nationales révèle de nombreux points communs, tels que l'accent mis sur la recherche, la place fondamentale des biotechnologies, l'encouragement des partenariats publics-privés. De manière générale, les stratégies nationales s'articulent, à l'image de la communication de l'UE, autour des idées de croissance, de nouvelles opportunités économiques et de création d'emplois, et font peu référence aux questions de production et d'accès à la biomasse. Certaines inscrivent la bioéconomie dans les questions de développement durable (ex : Finlande), alors que d'autres n'y font pas référence (Staffas *et al.*, 2013).

11. <http://www.bioekonomierat.de/en/>

12. <http://www.chambres-agriculture.fr/outils-et-modules/actualites/article/bioeconomie-comment-peut-el/>

13. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf

1.2.2 - La bioéconomie en France

La France ne s'est pas dotée, à ce jour, d'une stratégie nationale sur la bioéconomie même si une réflexion conjointe entre les principaux ministères concernés (ministères en charge de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, de l'Environnement, du Logement, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ainsi que des Entreprises) a été engagée en 2014 afin de définir une telle stratégie¹⁴. Pour autant, de nombreuses initiatives et politiques publiques depuis le milieu des années 2000 ont visé à orienter la recherche et l'innovation, de même que les projets industriels vers des domaines d'activités dans le champ de la « bioéconomie ». Cette multiplicité d'initiatives, plutôt à caractère sectoriel, pose la question de leur articulation et de la transversalité associée à la bioéconomie dans les textes.

Le Grenelle de l'environnement de 2007 a ainsi eu un rôle structurant pour le développement des énergies renouvelables. Parmi les plans d'action publics comportant des actions s'inscrivant dans le champ de la bioéconomie, peuvent, entre autres, être cités le plan biocarburants (2004), le plan stratégique chimie du végétal et biomatériaux (2007), le plan national d'action pour les énergies renouvelables (2010), le plan d'actions déchets (2009-2012), le plan énergie méthanisation autonomie azote (2013), le plan national d'action pour l'avenir des industries de transformation du bois (2013) et le plan national pour la prévention des déchets pour 2014-2020. Les initiatives lancées dans le cadre de la Nouvelle France industrielle (34 plans de reconquête industrielle lancés en septembre 2013 puis regroupés en mai 2015 autour de « 9 solutions pour des marchés d'avenir »)¹⁵ intègrent également la dimension bioéconomie (solution « nouvelles ressources » notamment). De même, le rapport d'Anne Lauvergeon *Un principe et sept ambitions pour l'innovation*, publié en octobre 2013, retient au titre de ses ambitions le développement des protéines végétales et de la chimie du végétal. Divers programmes publics de financement soutiennent aussi des actions liées à la bioéconomie (Investissements d'avenir, fonds unique interministériel, BpiFrance, ANR, ADEME, etc.), de même que des financements d'initiative privée, à l'image de la société de capital-risques CapAgro¹⁶.

Le secteur des biotechnologies connaît également une vraie dynamique, comme en témoignent plusieurs projets de recherche (Futurol, BioTfuel, etc.) Et un grand nombre de pôles de compétitivité sont associés à la bioéconomie, autour de sujets comme la disponibilité de la biomasse, sa valorisation alimentaire, l'énergie ou d'autres produits biosourcés (Agri Sud-Ouest innovation ; Capenergies ; Céréales Vallée ; Dream eau et milieux ; Industries et Agroressources ; Nutrition, Santé, Longévité ; PASS ; Pôles Fibres ; Xylofutur ; Végépolis ; Valorial ; etc.).

Alors que les initiatives se multiplient, le terme « bioéconomie » est de plus en plus utilisé pour fédérer la réflexion ou les plans d'actions. On peut citer :

- la Stratégie nationale de recherche France Europe 2020, publiée en mars 2015, mentionne l'enjeu du développement de la bioéconomie dans l'un de ses 10 défis « Sécurité alimentaire et défi démographique (orientation 21 « De la production aux usages diversifiés de la biomasse ») et dans l'un de ses 5 programmes d'action intitulé « Biologie des systèmes et applications »¹⁷ ;
- un rapport de mission commun aux inspections générales de trois ministères (MEDDE, MAAF et MRPR), qui traite de l'émergence de la bioéconomie, en particulier en lien avec la valorisation de la biomasse pour des usages non alimentaires (Alexandre *et al.*, 2012) ;
- un numéro de la revue *Réalités industrielles* (2013) qui promeut la bioéconomie comme un « élément clé des transitions énergétique et écologique » ;
- l'ouvrage du Club des bio-économistes Les « triples A » de la bioéconomie, qui discute du rôle futur de la biomasse dans un monde aux ressources limitées.

14. Par exemple, le message vidéo du ministre de l'agriculture Stéphane Le Foll lors du Plant Based Summit le 9 avril 2015 (Towards a French Bioeconomy Strategy) et les déclarations des services du MAAF lors de ce même événement : <http://plantbasedsummit.com/program-2015,44.html>

15. <http://www.economie.gouv.fr/nouvelle-france-industrielle>

16. Antoine Landrot, *Bpifrance veut soutenir l'innovation dans la filière agro-industrielle*, AGEFI, 10/09/2014

17. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid86688/strategie-nationale-de-recherche-france-europe-2020.html>

Cette dernière publication témoigne que des initiatives privées s'organisent en France. Des associations (Chimie du végétal, Club des bio-économistes) tentent d'obtenir des ministères une feuille de route, à l'image de ce qui s'est fait en Allemagne, notamment en vue d'un soutien politique et financier de leurs actions¹⁸. Enfin, plusieurs acteurs de la sphère de la recherche organisent des rencontres et colloques ou lancent des plateformes de réflexion sur le thème de la « bioéconomie » (INRA, IFPEN, CIRAD¹⁹).

* *
*

À partir de la fin des années 1990, l'OCDE et la Commission européenne ont donc mis en avant le « nouveau » concept de bioéconomie, nouveau dans le sens où ces institutions ne lui attribuaient pas le même sens que celui donné auparavant dans la sphère académique. Si elles proposaient des définitions et des instruments qui ne se recouvraient pas parfaitement, le rôle central de la biomasse comme substitut au pétrole, l'innovation à travers les biotechnologies, ainsi que le développement de marchés pour les produits biosourcés occupaient pour ces deux institutions une place centrale. Parallèlement, la bioéconomie est apparue sur les agendas politiques et dans les programmes de recherche nationaux avec, selon Colonna *et al.* (2014), des points communs évidents, tels la place faite aux biotechnologies et à l'approche systémique (croisement entre systèmes énergétiques, alimentaires et chimiques).

2 - Vers une opérationnalisation de la bioéconomie ? Réalités, promesses, défis

Au-delà de la sphère institutionnelle, la bioéconomie s'affirme de plus en plus à travers des projets menés par le monde de la recherche et le milieu entrepreneurial. Cette « opérationnalisation » de la bioéconomie, qui concerne de nombreux secteurs, est à relier aux nouvelles opportunités économiques et aux perspectives de créations d'emplois évoquées dans les stratégies nationales.

2.1 - Secteurs économiques et perspectives offertes par la bioéconomie

2.1.1 - D'une approche par filières à une vision par systèmes

Le champ couvert par la bioéconomie, tel qu'il ressort des textes institutionnels (OCDE, 2009 ; Commission européenne, 2012), des stratégies nationales (Staffas *et al.*, 2013), ou d'autres ouvrages (Club des bio-économistes, 2012 ; Colonna *et al.*, 2014 ; *Réalités industrielles*, 2013 ; etc.) s'étend de l'approvisionnement en matières premières renouvelables (la biomasse), jusqu'à la fin de vie du produit, en passant par la production et les procédés²⁰ (cf. figure n° 1).

En amont, sont concernés agriculture, sylviculture, aquaculture et milieu marin (ces deux derniers volets sont peu abordés dans ce document de travail), en tant que secteurs pourvoyeurs d'intrants. Sans oublier les déchets organiques issus des collectivités, des industries agroalimentaires ou des papeteries, etc., qui peuvent être recyclés et valorisés.

En aval, les débouchés impliqués par l'utilisation de la biomasse sont multiples mais avec un périmètre variable selon les publications. Si l'énergie (biocarburants, bois-énergie, méthanisation, etc.), la chimie et les matériaux (construction, textiles, automobile, etc.) sont généralement inclus dans le périmètre, les secteurs de la santé

18. Source : <http://www.industrie.com/chimie/1-association-chimie-du-vegetal-reclame-une-feuille-de-route,60054>

19. Référence INRA disponible à : <https://www6.inra.fr/rencontresia/Archives-2013/Bioeconomie>,
<http://www6.inra.fr/bioeconomie>,
<https://colloque.inra.fr/bioeconomie2015>

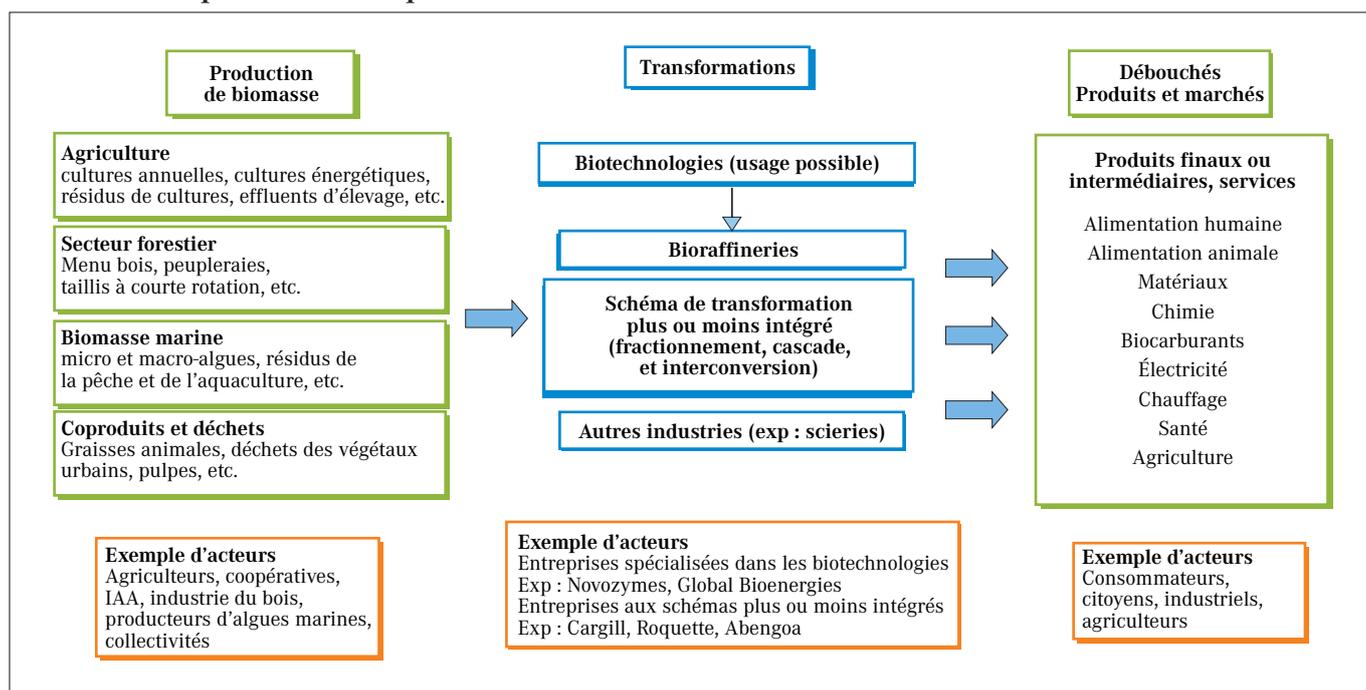
Référence CIRAD disponible à : <http://www.cirad.fr/actualites/toutes-les-actualites/articles/2011/science/plateforme-bioeconomie-alcue-kbbe>

20. Les procédés peuvent être de natures physique, chimique ou être des bioconversions (recours aux biotechnologies pour transformer la biomasse).

(thérapeutique, pharmacopée, etc.), de l'alimentation ou de l'activité agricole (sélection animale et végétale, organismes génétiquement modifiés, vaccins, etc.) sont diversement pris en compte. Par exemple, la stratégie de la Commission européenne inclut les industries agroalimentaires mais exclut la santé.

Sur la scène institutionnelle, les filières les plus actives sont celles de la chimie du végétal et des nouveaux matériaux bio-sourcés, à travers « *un lobbying soutenu, notamment en Europe de la part d'acteurs industriels de la chimie et de l'industrie agroalimentaire* » (Alexandre *et al.*, 2012).

Figure 1 - Schéma synthétisant les secteurs et acteurs économiques concernés par la bioéconomie, de la production aux produits finis



Cette figure ne vise pas à définir le périmètre de la bioéconomie, mais résume diverses lectures.
Source : auteures

Le grand nombre d'acteurs, ainsi que la multiplicité des intrants et des débouchés questionnent les approches traditionnelles par filières. Réfléchir en termes de « systèmes » paraît alors plus cohérent. En effet, les interactions entre les chaînes de valorisation de la biomasse peuvent être nombreuses, et ce à différents stades. Ces interactions visent à accroître l'efficacité des opérations de production et de transformation. Par exemple, par le fractionnement, une même matière première sert d'intrants à plusieurs chaînes de valeur et, par effet de cascade, les produits ou coproduits d'une filière peuvent servir d'intrants à une autre filière. Selon Colonna *et al.*, c'est la triple logique *fractionnement*, *interconversion* (exemple : entre différents types de biomasse pour un même débouché) et *cascade* qui fonde cette vision systémique, assez proche de celle de l'écologie industrielle (cf. encadré n° 2).

Encadré 2 - Bioéconomie et écologie industrielle

Le concept d'écologie industrielle s'inspire du fonctionnement d'un écosystème et propose une vision intégrée d'un « système industriel » (Diemer et Labrune, 2007). Il s'agit d'une gestion optimisée des flux et stocks de matières, d'énergies et d'informations, sur un site de production (par exemple, le recyclage en électricité, par une centrale, des émissions de gaz sidérurgiques d'une usine présente sur un même site).

La connaissance et l'optimisation des composantes et flux cités ci-dessus sont autant d'éléments communs avec la bioéconomie, tout comme l'usage de nouvelles technologies. Cependant, la bioéconomie couvre un spectre plus vaste que l'écologie industrielle, dans la mesure où elle entend se positionner depuis la production jusqu'à la consommation. Bien que l'écologie industrielle soit confinée à un site industriel, elle pourrait aussi être un exemple opérationnel de la bioéconomie, à condition que l'intrant mobilisé pour la production soit la biomasse. Associée à cette triple logique, la notion montante de « bioraffinerie » (encadré n° 3) apparaît comme un concept clé.

Encadré 3 - Le concept de bioraffinerie

Ce concept est construit par analogie avec le terme de raffinerie : fractionnement de ressources renouvelables, et non du pétrole, en molécules d'intérêt valorisées en produits alimentaires ou non. La biomasse y subit un prétraitement puis est traitée selon divers procédés (biotechnologiques, thermochimiques ou chimiques)²¹.

Ces infrastructures permettent de transformer une diversité d'intrants pour différents marchés (matériaux, chimie, énergie ou encore alimentation). Elles sont parfois dites « intégrées », c'est-à-dire qu'un ensemble d'acteurs industriels, mais aussi du monde de la recherche, est localisé sur un même site. Plusieurs types de bioraffineries peuvent être distingués : territoriales, à proximité des bassins de production des matières premières mobilisées (déchets, résidus agricoles, etc.) ou portuaires, quand la matière première est importée²². P. Colonna *et al.* référencent aussi plusieurs générations de bioraffineries :

- la première fait référence à la papeterie, la meunerie et l'huilerie ;
- la deuxième est marquée par le recours aux outils chimiques (production d'acides gras, glycérol, polysaccharides, isolats de protéines) ;
- la troisième repose sur l'utilisation d'enzymes pour produire de nouveaux composés ;
- la quatrième inclut la synthèse de biogaz (*e.g.* méthane).

L'exemple souvent cité est celui de la plateforme d'innovation Bioraffinerie Recherche Innovation (BRI) qui valorise les matières premières agricoles pour des usages non alimentaires. Elle réunit, sur le site de Pomacle-Bazancourt (Schieb et Philip, 2014) :

- un centre de recherche privé en biotechnologies blanches Agro-industrie Recherches et Développement (ARD) ;
- des écoles d'ingénieurs et de commerce ou leurs antennes (École Centrale de Paris, AgroParisTech, NEOMA Business School) ;
- un complexe industriel (sucrierie, productions de glucose, amidon, éthanol, biocarburants à partir de lignocellulose), réunissant des acteurs tels Cristal Union, Cristanol ou Chamtor, et une unité de démonstration industrielle (BIODEMO).

À noter que ARD fait partie du pôle de compétitivité Industrie et Agro-ressources (IAR²³).

2.1.2 - Des promesses de fort développement pour les secteurs concernés par la bioéconomie

Comme dans le document phare de l'OCDE (OCDE, 2009) ou dans la stratégie européenne (Commission européenne, 2012), la bioéconomie est présentée, par les entreprises ou la recherche, comme un élément de réponse aux enjeux globaux que sont la croissance démographique, le changement climatique, le caractère fini des ressources, etc. Du fait de sa renouvelabilité, par opposition aux ressources fossiles, la biomasse est présentée comme un recours. Il ne s'agit pas de concevoir un système concurrent, ou parallèle, à ceux qui existent déjà, mais de jouer sur leur complémentarité et leurs interactions. Aussi selon certains auteurs « *concevoir des systèmes parallèles à ceux de la chimie du carbone fossile serait une erreur* »²⁴. De plus, la bioéconomie n'a pas pour but de remplacer les ressources fossiles, ne serait-ce que parce que les activités bioéconomiques dépendent actuellement de cette ressource (carburant pour le transport, gaz pour le fonctionnement des machines).

21. Présentation de Pierre Porot, 2014, *Biomasse pour l'énergie et la chimie*, Panorama IFPEN.

22. D'après Colonna *et al.*, 2014, avec modifications des auteurs.

23. Source : <http://www.iar-pole.com/>

24. Colonna P., Valceschini E., 2014, *La biomasse à la rescousse de la croissance, M3 - Société urbaine et action publique*, n° 7.

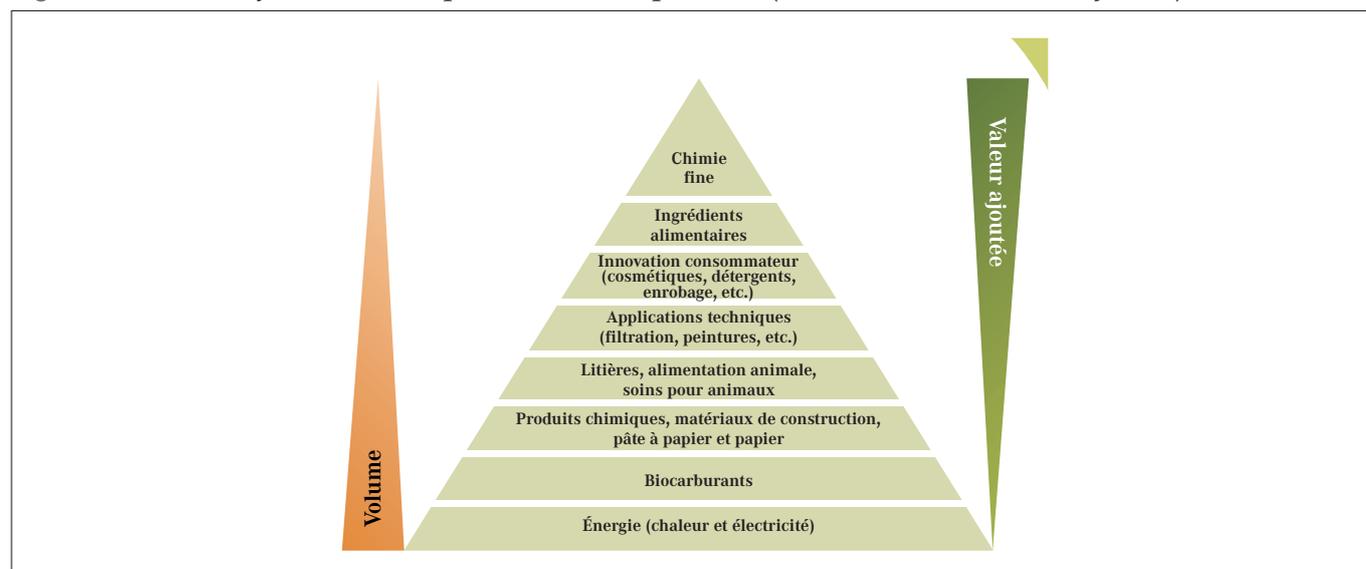
D'un point de vue technique, il s'agit de reproduire, à partir de la matière organique, des molécules aux propriétés similaires à celles actuellement utilisées. À noter que deux approches se distinguent : celle dite « structurale » où la molécule biosourcée est identique à celle issue de ressources fossiles, et celle dite « fonctionnelle », qui consiste en la reproduction de la fonctionnalité recherchée, et non de la molécule (Colonna *et al.*, 2014).

La bioéconomie est aussi perçue comme une source d'innovations de rupture afin d'anticiper les besoins : création de nouveaux produits, de nouvelles molécules et de nouveaux procédés. Autrement dit, c'est la valeur future qui oriente les systèmes de production actuels vers de nouveaux schémas industriels.

Sur le plan économique, dans sa communication de 2012, l'Union européenne évoque un premier ordre de grandeur : « dans l'UE, les secteurs de la bioéconomie représentent 2 000 milliards d'euros de chiffre d'affaires annuel, plus de 22 millions d'emplois et environ 9 % de la main-d'œuvre » (Commission européenne, 2012). Avec les investissements adéquats, la Commission pronostique la création d'environ 130 000 emplois, ainsi que 45 milliards d'euros en valeur ajoutée à l'horizon 2025.

Du fait de la diversité des secteurs concernés, les volumes nécessaires et la valeur ajoutée varient fortement en fonction du débouché, comme en témoigne la figure n° 2. Par exemple, pour la chimie fine, il est attendu que les volumes demandés soient faibles pour une forte valeur ajoutée par unité de produit créée, alors que pour le secteur énergétique, les volumes seraient plus importants pour une valeur ajoutée moindre²⁵.

Figure 2 - Schéma synthétisant le portfolio des bioproduits (en volume et en valeur ajoutée)



Source : <http://www.biocore-europe.org/news7d5e.html?optimurl=Findings-from-case-studies-performed-in-the-framework-of-the-FP7-project-BIOCORE>

Certaines études sectorielles tentent d'estimer le potentiel de la bioéconomie, notamment la perspective de développement des marchés de produits biosourcés. À titre d'exemple, l'encadré n° 4 est consacré au secteur de la chimie.

Présentée comme « *un des secteurs de croissance les plus prometteurs du XXI^e siècle* » (Sgard et Harayama dans *Réalités industrielles*, 2013), il n'est pas étonnant que la bioéconomie soit à l'origine d'un fort engouement, principalement pour les usages non alimentaires. Elle est présentée comme un moyen d'amorcer la reconception des schémas de production actuels. Cette vision nous rapproche de la définition donnée par l'OCDE, et donc d'une grande place accordée aux biotechnologies, avec cependant un intérêt nouveau pour la durabilité de la production et la transformation de la biomasse.

25. Source : <http://www.biocore-europe.org/news7d5e.html?optimurl=Findings-from-case-studies-performed-in-the-framework-of-the-FP7-project-BIOCORE>

Encadré 4 - Bioéconomie et secteur de la chimie, quel potentiel ?

Une étude financée par le Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME, 2010) a exploré la contribution des matières premières renouvelables, pour les secteurs de la chimie et des transports, à l'échelle mondiale. Cette dernière pourrait doubler, voire quadrupler entre 2007 et 2030 (estimation faite hors concurrence alimentaire et en tenant compte du renouvellement du carbone du sol). On notera que les besoins en carbone de la chimie seraient multipliés par deux sur la même période. L'étude reprend notamment les travaux du United States Department of Agriculture (USDA), qui a estimé que la pénétration de la chimie biosourcée dans le marché mondial de la chimie serait comprise, selon les segments, entre 6 % (pour les produits chimiques de base) et 50 % (pour la chimie fine et de spécialité) à l'horizon 2025, ce qui correspondrait à une contribution totale en valeur entre 483 et 614 milliards, soit entre 22 et 28 % de la production mondiale.

L'ADEME a évalué le potentiel de la filière chimie du végétal pour la France en termes d'emplois. D'ici 2020, le nombre d'ETP pourrait passer de 23 500 ETP directs à 36 400 selon un scénario « moyen » ou à 42 500 dans une version optimiste. « *Le moteur principal de cette croissance sera l'industrie de transformation/formulation, en particulier la plasturgie avec une croissance moyenne de plus de 10 % par an* » (ADEME, 2012).

Adoptant une autre approche, FranceAgriMer (2012) a regardé la transition du secteur chimique (pour 4 molécules) vers la chimie du végétal, dite biosourcée. L'acide succinique illustre ce potentiel à travers un marché en expansion (volumes en jeu multipliés par environ 7 d'ici 2020), pour lequel la molécule biosourcée pourrait représenter une alternative à moindre coût et ouvrir de nouveaux débouchés.

2.2 - Quelques défis et enjeux pour une opérationnalisation « à grande échelle » de la bioéconomie

Si les études se multiplient pour tracer des perspectives prometteuses à la bioéconomie, le déploiement de ce potentiel suppose de regarder les freins à son développement. Ces obstacles peuvent être :

- technologiques : rendements insuffisants de certains procédés au stade de la recherche ou adaptations nécessaires des infrastructures existantes pour un nouvel usage ;
- économiques : coûts de production au regard des prix relatifs entre ressources fossiles et de la biomasse ou développement de marchés dédiés ;
- temporels : caractère chronophage du travail lié aux biotechnologies ; ajustements du calendrier entre développement technologique, déploiements industriels et usages commerciaux ;
- liés à la biomasse : disponibilité et donc évaluation de la ressource disponible (cf. partie 4) ; hétérogénéité de la ressource ;
- liés à un objectif de durabilité ou de performances environnementales à atteindre, et à leurs mesures (exemple : moindres émissions de gaz à effet de serre) ;
- liés à la gestion des données, comme les bases volumineuses et complexes inhérentes au développement de la biologie de synthèse ;
- liés à la difficulté de communiquer et d'informer autour de la bioéconomie (cf. la référence à l'acceptabilité sociale dans la stratégie de la Commission européenne) ;
- liés au cadre politique, réglementaire et normatif (exemple : propriété intellectuelle, etc.).

Sur ce dernier point, certains acteurs, comme le Nova Institute (Carus *et al.*, 2014), critiquent le cadre actuel, considérant que les signaux donnés sont insuffisants (exemple : signal du marché) pour impulser le développement de la bioéconomie. Ils pointent aussi une autre faiblesse : la prédominance des politiques énergétiques, jugeant que

les secteurs des biomatériaux et de la chimie du végétal sont seulement pris en compte dans les politiques de recherche.

L'échelle : passer du stade de la recherche à l'industrialisation

Une des particularités de la bioéconomie, à l'échelle européenne, réside dans son financement, assuré par le programme de recherche H2020. Un des obstacles au développement de la bioéconomie est le changement d'échelle, autrement dit le passage du laboratoire à la production industrielle, véritable enjeu pour les PME qui se lancent dans les produits biosourcés (Schieb et Philip, 2014). H2020, dans la lignée des programmes précédents, tente de rapprocher science fondamentale et développement industriel, par des projets mêlant recherche et démonstrateur (Aguilar *et al.*, 2012). De plus, le partenariat public-privé (PPP) pour les bio-industries se nommait initialement « Bridge2020 », en référence au pont permettant de passer du laboratoire au démonstrateur, afin d'éviter la « death valley » (une recherche qui ne trouverait pas d'application hors laboratoire).

La multidisciplinarité

Un enjeu pour la recherche et l'industrie est l'interdisciplinarité des savoirs mobilisés par la bioéconomie. L'ADEME, dans son étude sur le potentiel d'emplois dans le domaine de la chimie du végétal, souligne bien que cette filière possède de nombreuses compétences clés, mais le manque d'interdisciplinarité est présenté comme un frein à son développement. Il s'agit d'articuler des disciplines (agronomie, science des matériaux, etc.), mais aussi des filières professionnelles différentes, par exemple par des partenariats industriels pour la création de nouvelles chaînes de valorisation s'insérant ou non dans les schémas classiques. Le partenariat récent entre l'Inra et l'IFPEN illustre ce type de rapprochements²⁶.

Travailler avec le vivant

Le développement de la bioéconomie repose sur la sollicitation de la biomasse, avec toutes les contraintes qu'impose le fait de travailler sur le vivant. Ces intrants supposent une logistique complexe pour faire face aux difficultés d'un approvisionnement saisonnier, soumis aux aléas climatiques, alors qu'il est attendu que ces ressources soient disponibles en « *quantité pérenne et sous forme exploitable* » (Appert et Alario, dans Réalités industrielles, 2013).

Les ressources en biomasse sont limitées et localisées, obligeant les industriels à choisir avec soin l'emplacement de leurs bioraffineries. En témoignent les qualificatifs de « territoriales » ou « portuaires », employés pour caractériser celles-ci (cf. encadré n° 3). Ce problème est aussi identifié dans le projet Biocore²⁷, où la logistique (réseaux de transport, stockage de la matière première, etc.) et les coûts associés, ainsi que les prix des matières premières, sont présentés comme des critères essentiels au développement des bioraffineries. Cette localisation conduit de nombreux auteurs à voir dans la bioéconomie une opportunité pour le développement territorial²⁸.

La bioéconomie, au travers de la mobilisation des ressources issues du vivant, nécessite un changement de culture : « [...] *se précipiter dans la bioéconomie (c'est-à-dire dans l'économie du vivant) [...] en ayant cette seule vision réductrice (soit la substitution de matières renouvelables et processus moins nocifs) et en conservant les raisonnements de l'économie minérale, nous exposerait à de rapides déconvenues, mais encore à des dommages supplémentaires*

26. <http://presse.inra.fr/Ressources/Communiqués-de-presse/IFP-EN-et-Inra-s-allient-pour-engager-une-dynamique-de-recherches-pour-et-sur-la-bioéconomie-en-France>

27. Source : <http://www.biocore-europe.org/news7d5e.html?optimurl=Findings-from-case-studies-performed-in-the-framework-of-the-FP7-project-BIOCORE>

28. Ce point est évoqué dans le numéro de la revue *Réalités industrielles* « La bioéconomie, élément clé des transitions énergétiques et écologiques » (article de Christophe Attali), dans des colloques (par exemple L'économie verte au service de la croissance), dans des articles scientifiques (par exemple Johnson T. G., Altman I., 2014, Rural development opportunities in the bioeconomy, Biomass and energy, vol. 63, p. 341-344)

sérieux. » (Dron dans *Réalités industrielles*, 2013). Le respect des rythmes de renouvellement conditionne une exploitation soutenable de la biomasse. Kirch *et al.* (2010) discutent de l'amalgame entre « renouvelable » et « durable » dans les discours sur la bioéconomie : utiliser du carbone renouvelable ne signifie pas pour autant que sa production sera durable. Plus largement, la sollicitation de la biomasse pour des usages existants et nouveaux, ainsi que la croissance des volumes mobilisés, laissent transparaître des questions sensibles : conflits d'usages, acceptabilité sociale, choix éthiques, etc., sur lesquels nous reviendrons dans la partie 5.

* *
*

Au-delà des aspects d'innovation, à travers les biotechnologies ou la création de nouveaux produits, l'essor de la bioéconomie met en avant le concept de « bioraffineries » et permet d'aborder la question de la durabilité en termes de production et de transformation de la biomasse. De plus, la bioéconomie est un moyen de réunir autour d'un enjeu commun des acteurs aux approches différentes, même si elle déstabilise la vision des chaînes de valeur organisées par filières, pour passer à une approche plus systémique. La bioéconomie, demain, dépendra de conditions imbriquées : connaissance de la biomasse disponible, prix relatifs des molécules biosourcées et fossiles, compétitivité à travers les disparités des coûts de production, conditions de soutenabilité de la mobilisation de la biomasse utilisée comme intrants, etc.

3 - La bioéconomie dans les sciences économiques

Dans les textes de référence de l'OCDE, de la Commission européenne, et dans les stratégies nationales, la bioéconomie est présentée comme un grand bouleversement des systèmes de production, de transformation et des pratiques de consommation. Mais ces textes institutionnels font peu de cas des débats scientifiques et conceptuels. L'engouement autour de la bioéconomie invite pourtant à sonder les fondements théoriques d'une telle transformation.

L'étude des productions scientifiques du XX^e siècle révèle que différentes sphères académiques (biologie, économie, gestion des ressources naturelles) ont défini la bioéconomie. En sciences économiques, le terme est employé par les travaux de modélisation (rapprochement de modèles biophysique et économique), ainsi que dans les ouvrages de René Passet et Nicholas Georgescu-Roegen.

3.1 - Les « modèles bioéconomiques » ou l'intégration des dynamiques de prélèvement et de renouvellement des ressources dans les modèles économiques

Si les caractéristiques des ressources naturelles n'étaient pas bien prises en compte dans les théories économiques classiques, une question s'est affirmée au cours de la seconde moitié du XX^e siècle : comment intégrer les variables liées au vivant (approvisionnement, renouvellement, épuisement, etc.) dans les modèles économiques ? Cette interrogation est au cœur du développement des modèles dits « bioéconomiques ».

Les modèles bioéconomiques sont des modèles microéconomiques de gestion des ressources naturelles. Développés en particulier par le mathématicien Gordon Clark (Clark, 1976, 1985) dans les années 1970, ils jettent des ponts entre mathématiques appliquées, biologie et économie, dans le but de gérer les ressources d'un écosystème ciblé. Au cœur de ces modèles se trouve la transcription mathématique de variables à la fois biologiques (stock, vitesse de reproduction et d'extinction de la ressource étudiée) et économiques (nombre d'agents exploitant la ressource,

état de la demande et de l'offre, technologie de prélèvement disponible). Ces variables sont combinées au sein d'équations qui visent notamment à la détermination d'un seuil d'exploitation maximale de la ressource : au-delà de ce seuil, le renouvellement de la ressource est considéré comme mis en péril. Particulièrement utilisés en halieutique pour la gestion des stocks de poissons, ces modèles ont grandement influencé les décisions en matière de quotas de pêche, comme ce fut le cas pour la Politique Commune de la Pêche (PCP) initiée en 1983 par l'Union européenne. Cependant, dès la fin des années 1990, les modèles bioéconomiques ont suscité de fortes critiques : comportements peu crédibles des agents, manque de réalisme biologique (dont la difficulté d'évaluer le stock initial de ressources conditionnant le rythme d'exploitation), représentation insuffisante des interactions de la ressource étudiée avec son écosystème et les autres espèces qui le peuplent (Cury et Pauly, 2013).

Cette approche montre la difficulté de modéliser de manière intégrée les ressources naturelles et leurs conditions de renouvelabilité (notamment les dynamiques des populations et leurs interactions avec l'écosystème), dans le cadre de prélèvements à des fins de valorisation économique²⁹.

3.2 - La bioéconomie de Georgescu-Roegen et Passet : changement de paradigme économique

Si les modèles bioéconomiques visent à concilier ressources biologiques et exploitation de celles-ci, les programmes bioéconomiques de Nicholas Georgescu-Roegen ou de René Passet sont tout autres. Leur approche consiste à penser les lois économiques comme assujetties aux principes du vivant (cycles, stocks disponibles, conditions de renouvellement de la biomasse, lois biologiques et thermodynamiques, etc.). Pour eux, l'économie est au cœur d'une sphère qui l'englobe et la dépasse : celle de l'environnement.

3.2.1 - La révolution bioéconomique de Georgescu-Roegen³⁰

Formé initialement aux mathématiques, Georgescu-Roegen a proposé une nouvelle manière de repenser les processus économiques, à l'aide de la théorie darwinienne de l'évolution en biologie et de la physique thermodynamique (en particulier la notion d'entropie). Pour lui, la théorie néoclassique (à la base des modèles bioéconomiques cités au 3.1) traduit une approche mécaniste, newtonnienne, qui ne tient pas compte des contraintes de l'environnement.

Le terme « bioéconomie » lui permet de caractériser ce changement de paradigme, dont l'enjeu est, selon le philosophe J. Zeman, « *une extension de la théorie biologique dans le champ de l'économie, à travers l'étude de l'évolution exosomatique*³¹ ». Cet élargissement doit permettre une meilleure prise en compte des contraintes physico-chimiques de l'environnement dans lequel s'inscrivent nos activités économiques. Il doit aussi aider à dépasser l'analyse statique, pour rendre compte de processus dynamiques : émergence et diffusion des innovations, irréversibilité dans les choix de production et de consommation, etc. Son approche, qui combine formalisation et dialectique, vise à « rendre le monde plus intelligible en étant plus fidèle à la réalité » et à être plus attentifs aux contraintes de la biosphère.

Ne s'arrêtant pas à la critique de la théorie économique néoclassique, Georgescu-Roegen développe un programme d'actions. Il propose le développement de technologies « *suffisamment efficaces pour être autonomes et suffisamment économes et propres pour s'intégrer dans le système écologique global* », soit un saut technologique qu'il illustre par le recours à l'énergie solaire. Cette bioéconomie tient aussi compte du rôle joué par les politiques publiques dans l'orientation des dépenses et la régulation de l'activité économique, ainsi que du changement des comportements des populations vers une plus grande sobriété et une plus forte équité intergénérationnelle. Georgescu-Roegen

29. La question de la capacité de régénération de la biomasse, base du développement de la bioéconomie au sens de l'Union européenne, sera abordée plus loin dans le document.

30. Cette partie repose sur l'ouvrage d'Antoine Missemer (2013).

31. Exosomatique : fait référence à l'ensemble des outils qui ne sont pas des constituants biologiques directs des individus, comme la science économique ; instruments qui seront amenés à évoluer au fur et à mesure de l'émergence et de la diffusion des innovations.

soutient l'agriculture biologique, il critique la mécanisation et la consommation de fertilisants ne tenant pas compte de la rareté des énergies terrestres, et insiste sur l'abondance de l'énergie solaire.

Georgescu-Roegen critique le concept de développement durable « *derrière [lequel] ne se cacherait qu'une forme renouvelée de croissance à l'ancienne* ». Ce point de vue critique se comprend du fait de la place que le développement durable accorde à l'environnement, mis sur un pied d'égalité avec les aspects économiques et sociaux. Or, toute la thèse de Georgescu-Roegen réside dans l'intégration des processus économiques dans la dynamique écologique. Ajoutons que ses travaux ont aussi servi à alimenter les discussions sur la substituabilité parfaite ou incomplète des facteurs de production (remplacement du capital naturel par une autre forme de capital comme la technologie), autrement dit sur la soutenabilité faible ou forte.

Les liens entre ses travaux et les courants de pensée actuels ne sont pas faciles à appréhender, qu'il s'agisse de l'économie de l'environnement (qui semble loin de s'être appropriée l'ensemble de cette théorie bioéconomique), des « objecteurs de croissance » (dont l'affiliation est présentée comme réductrice par Antoine Missemer), ou encore de l'économie écologique, qui « *apparaît comme l'héritière la plus conforme aux enseignements originels* ». Une de ses figures notables fut Herman Daly, cofondateur de la revue scientifique *Ecological Economics* et ancien *senior economist* du département Environnement de la Banque mondiale, qui défendit la théorie bioéconomique dans la sphère institutionnelle, malgré certains désaccords avec Georgescu-Roegen.

3.2.2 - La sphère économique comme sous-ensemble de la biosphère : les travaux de René Passet

Pour René Passet, l'internalisation des externalités environnementales générées par le système économique que se propose d'effectuer l'économie de l'environnement revient à « *nier la spécificité de ces phénomènes pour les réduire à une pure quantification de type économique* » (Passet, 1984). Autrement dit, l'économie de l'environnement ne permet pas de penser les enjeux écologiques autrement qu'à la marge, comme le signale le terme « externalité ». Selon Passet, pour les marxistes et les libéraux, l'environnement est isolé des activités économiques. C'est donc en termes d'accidents, de dérèglements passagers ou d'épuisements ponctuels des ressources qu'ils vont interpréter les situations écologiques problématiques. La composante « environnement » est comme « ajoutée » en fin d'étude, par « l'internalisation » d'effets « externes ». Pour Passet, cette opposition externe/interne ne saurait faire sens, car l'activité humaine et son environnement forment un système. La sphère économique appartient à la sphère des activités humaines, elle-même appartenant au système englobant de la biosphère. En tant que sous-système de cette biosphère, l'économique ne pourrait se soustraire à ses règles sans compromettre le fonctionnement général de l'ensemble.

Pour comprendre cet ensemble, René Passet opte pour une démarche holistique et pluridisciplinaire, principalement inspirée de la théorie générale des systèmes développée par Ludwig von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1968). Cette approche systémique comprend la logique, les langages et les instruments de chacune des sphères dépendantes les unes des autres³².

* *
*

Pour les économistes s'inspirant de Georgescu-Roegen ou de Passet, l'environnement est donc ce qui *englobe* et gouverne l'activité économique, et non ce qui *entoure* et peut être intégré à la marge (internalisation d'effets externes). Les problèmes écologiques sont pensés comme le dysfonctionnement d'un système tout entier soumis à la sphère des ressources naturelles, mais n'en respectant ni les cycles ni les lois. Cette approche s'éloigne des modèles bioéconomiques au sens de Gordon Clark, qui tente à l'inverse d'appliquer des principes économiques au champ des ressources naturelles. Ces dernières sont alors conçues en termes quantitatifs et à partir de valeurs marchandes.

32. Pour plus de détails sur l'étude du « contexte écologique global » par la théorie des systèmes, on peut se reporter à l'ouvrage de René Passet de 1979, *L'économie et le vivant*.

Si les discours actuels sur la bioéconomie semblent reprendre l'ambition holistique et intégrale de Georgescu-Roegen et Passet, ils ne s'inscrivent toutefois pas dans leur filiation sur le plan théorique, faisant plutôt appel aux disciplines telles que l'ingénierie des procédés, l'économie industrielle ou la biochimie moléculaire. Ces dernières ne sont pas mobilisées pour penser un projet de transformation global (ce qui n'est du reste pas leur ambition) mais principalement dans la perspective de développement d'outils, projets ou secteurs nouveaux.

4 - Évaluer des gisements de biomasse présents et futurs : incertitudes et prépondérance du débouché énergétique

La bioéconomie a pour ambition de concilier le vivant et la production économique, ce qui pose la question de la quantification de la biomasse disponible, en vue de nouveaux usages et d'une demande potentiellement plus importante dans les prochaines années.

À noter que d'autres sources de matières premières, en particulier la biomasse marine, ne sont pas discutées ici, mais mériteraient d'être pareillement étudiées.

4.1 - Quantifier la biomasse : un exemple français

Comment quantifier la biomasse potentiellement mobilisable pour la bioéconomie et les secteurs associés, tels la chimie du végétal ? Les travaux de l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB)³³ apportent des informations pour répondre à cette question. Les ressources étudiées par l'observatoire sont diverses, mais leur liste n'est pas exhaustive ; par exemple les productions végétales dédiées à la production de biocarburants de première génération (colza, tournesol, soja, blé, maïs, autres céréales, betterave) sont exclues. Les ressources sont soit des matières premières, soit les produits d'un processus de transformation (coproduits, sous-produits, déchets). Leur origine est variée : agriculture, forêts, industries du bois et de l'agroalimentaire, ainsi que déchets végétaux urbains (FranceAgriMer, 2012b).

33. L'observatoire national des ressources en biomasse, créé dans le cadre du plan d'action national en faveur des énergies renouvelables, a pour objectif principal le suivi de la disponibilité de la ressource et à terme, d'assister les « cellules biomasse » dans leurs missions d'expertise, d'instruction des dossiers d'aide au développement d'énergies renouvelables à partir de biomasse et de prévention des conflits d'usage..

Encadré 5 - Un regard historique sur la mobilisation de la biomasse

Un article de Fridolin Krausmann (2011) explore l'histoire de l'utilisation de la biomasse destinée à satisfaire les besoins humains : énergie, habillement, alimentation, etc. Son analyse repose sur l'évolution des profils socio-métaboliques des sociétés humaines.

Le régime de chasse-collecte et le régime agraire dépendaient tous deux du processus de photosynthèse, donc de l'énergie stockée par les plantes. Ils se distinguaient cependant, dans le second cas, par l'invention de l'agriculture, système permettant de contrôler l'énergie solaire. La biomasse était fortement mobilisée pour l'énergie, mais aussi dans les matériaux (cf. tableau n° 1). Dans le régime des sociétés industrielles, alors que la part de la biomasse dans la consommation énergétique diminue (10-30 %), remplacée par la ressource fossile, son utilisation en valeur absolue augmente. L'auteur cite ainsi le passage à une agriculture consommatrice d'énergie à travers la mécanisation, alors qu'elle était auparavant un puits d'énergie à travers la photosynthèse.

Cet article de Krausmann rappelle le rôle crucial de la biomasse, dont la mobilisation varie selon les profils historiques et décrit, en un sens, des formes anciennes de « bioéconomie », dont le poids n'aurait fait que s'amenuiser suite à l'emploi croissant des ressources fossiles à partir de la « révolution industrielle ». Aujourd'hui, la diversification des usages de la biomasse constitue un des axes de la « nouvelle bioéconomie ».

Tableau 1 : Profils des régimes socio-métaboliques

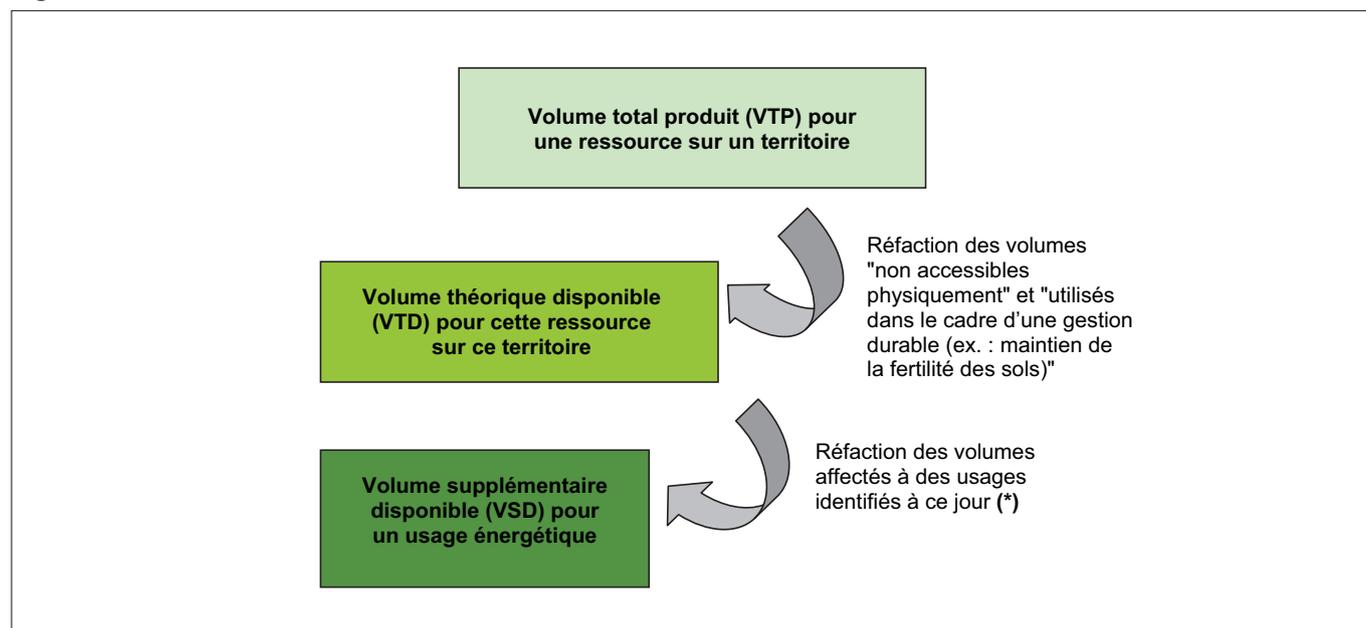
Ces résultats sont agrégés et ne reflètent pas les disparités géographiques

Régime	Consommation énergétique (CE) par personne (GJ/cap/an)	Densité de la CE (GJ/ha/an)	Part de biomasse dans CE (%)
Chasseurs-cueilleurs	10 - 20	< 0,01	> 99
Société agraire	40 - 70	< 30	>95
Industriels	150 - 400	< 600	10 - 30

Source : choix des auteures, d'après Krausmann, 2011

Quantifier la ressource *a priori* disponible pour de nouveaux usages permet d'évaluer indirectement le potentiel de développement de ces débouchés et les éventuels conflits d'usage. La méthodologie adoptée est synthétisée dans la figure n° 3.

Figure 3 - Méthode d'estimation des ressources



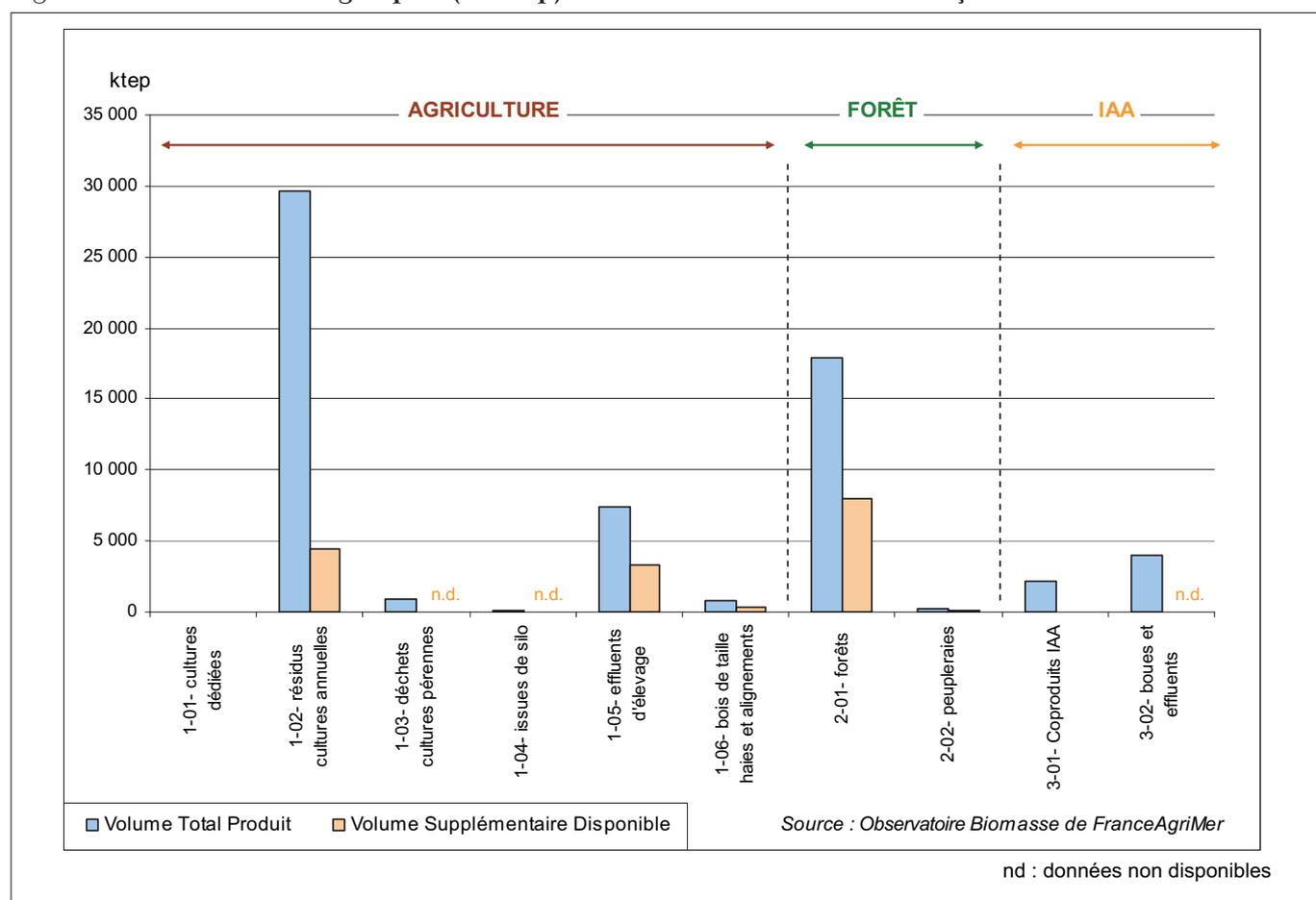
Source : FAM, 2012b

Comme le montre la figure 3, dans un premier temps est estimé le volume total produit sur un territoire auquel sont soustraits les volumes physiquement non accessibles (*e.g.* contraintes naturelles d'accès à la ressource ou d'infrastructures) et ceux associés à des contraintes environnementales ou de renouvellement (*e.g.* maintien du taux de matière organique des sols). De ce nouveau volume sont retranchés les usages actuels identifiés par les auteurs (consommation humaine, alimentation animale, valorisation agronomique, production d'énergie). On en déduit alors le volume restant de biomasse mobilisable pour de nouveaux emplois, dit « volume supplémentaire ».

Les résultats sont assez variables selon les hypothèses formulées à chacune des étapes, que ce soit dans les méthodes de calcul employées ou encore dans les règles d'allocation des volumes restants de biomasse.

Pour l'agriculture et la forêt, les estimations du volume supplémentaire disponible oscillent entre 0,5 % et 80 % du volume total produit selon les ressources, hors cultures énergétiques. La figure ci-dessous présente une estimation des ressources supplémentaires, d'environ 16 Mtep. À titre de comparaison, la production primaire d'énergies renouvelables en 2011 est de 19,5 Mtep (CGDD, 2013).

Figure 4 - Évaluations énergétiques (en ktep) des différentes ressources françaises en biomasse



Source : FranceAgriMer, 2012b

La figure n° 4 révèle un point intéressant : les auteurs font le choix de présenter les résultats sur une base de mesure commune, le « potentiel énergétique ». L'énergie n'est cependant qu'un des débouchés possibles des usages de la bioéconomie. D'autres secteurs s'intéressent à d'autres propriétés de la biomasse (ex : propriété des matériaux). Se pose alors la question de l'unité commune à ces différents usages.

Ce travail de l'ONRB apporte un éclairage sur les volumes de biomasse potentiellement disponibles. Cependant, il n'est pas exempt de limites.

- Un des obstacles identifiés par les auteurs tient aux modalités d'estimation de certaines ressources, des usages et des flux entre régions françaises ou à l'échelle mondiale (ex : doubles comptes, taille des flux entrants/sortants, etc.)
- Cette approche a aussi l'inconvénient de donner une photographie des volumes supplémentaires disponibles à un instant donné. Or les changements globaux (démographie, évolution des régimes alimentaires, changement climatique, etc.) pourraient fortement impacter les volumes produits comme les volumes supplémentaires disponibles.
- Une autre limite est la dimension économique (prix de l'intrant, des produits, du pétrole, tarif de rachat, etc.), non prise en compte dans cette approche « biophysique ». En effet, les volumes supplémentaires estimés ne seront valorisés que sous condition de rentabilité. Il conviendrait donc de distinguer un potentiel économique de valorisation et un potentiel purement physique de disponibilité. De même, les volumes supplémentaires sont dépendants de l'évolution des techniques.
- D'autres considérations sont à prendre en compte (Lorne, 2010). Par exemple, en Europe, la mobilisation de la biomasse, potentiellement importante, dépend du consentement des propriétaires forestiers à mobiliser leurs ressources ou de celui des agriculteurs pour investir dans des cultures pérennes.

Encadré 6 - Estimations de la biomasse utilisée par la bioéconomie aux échelles mondiale et européenne

Piotrowski *et al.* (2015)³⁴ estiment que pour l'année 2011, l'offre en biomasse à l'échelle mondiale est de 11,4 milliards de tonnes de matière sèche, calcul qui comprend la production agricole et les résidus prélevés au champ, la biomasse associée au pâturage ainsi que celle issue des forêts. Les auteurs ont parallèlement évalué la demande globale en biomasse. Cette dernière serait de l'ordre de 12,1 Mt de matière sèche, dont 58 % associée à l'alimentation animale, 17 % à l'énergie (comprenant 1 % pour les biocarburants), 14 % pour l'alimentation (« plant-based food ») et 10 % pour les matériaux. Les écarts entre offre et demande sont dus aux incertitudes dans les jeux de données.

Dans une autre étude, Scarlat *et al.* estiment qu'au niveau de l'Union européenne, la biomasse utilisée en 2011 est d'environ 2 milliards de tonnes. Le périmètre est différent de l'étude précédemment citée : les ressources agricoles, forestières, marines et les produits animaux sont inclus (déchets non pris en compte). De ces 2 Mt, 21 % seraient liés à l'alimentation, 44 % à l'alimentation animale, 19 % au « processing » et 12 % à l'énergie. Leur estimation à l'échelle mondiale est d'environ 15 milliards de tonnes de biomasse consommée cette même année, ce qui représenterait respectivement pour chacun des secteurs 4,2 milliards de tonnes, 3,7 Mt, 3,4 Mt et 2,1 Mt.

4.2 - Potentiel de production, prospectives et projections

Au-delà d'une quantification déjà délicate de la biomasse mobilisable, certains ont tenté d'évaluer les gisements futurs à travers des travaux de prospective et des projections. Le tableau 2 présente quelques études, sans viser à l'exhaustivité. Il témoigne des nombreux travaux réalisés sur ce sujet, variables selon les échelles choisies (France, Europe, Monde) ou le type de biomasse considéré (agricole, forêt, déchets). Le plus souvent, comme on l'a vu, le débouché étudié est celui de l'énergie. Peu de travaux, à l'instar de celui de l'Atelier de Réflexion Prospective VégA, considèrent la valorisation non-alimentaire de la biomasse dans son ensemble.

Cette approche prospective permet d'analyser, voire de quantifier, le développement attendu de certains secteurs de la bioéconomie, comme la chimie du végétal (cf. encadré n° 4), ou l'atteinte d'objectifs fixés aux niveaux européens ou nationaux (exemple : 23 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale en France d'ici 2020³⁵).

34. Cette publication propose aussi des scénarios prospectifs à l'horizon 2050 sur les usages et la production de biomasse, qui ne sont pas repris ici.

35. Pour plus d'informations : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Politique-de-developpement-des,13554.html>

Tableau 2 - Quelques études sur le potentiel de la biomasse (en fonction des échelles)

Échelle	Titre des exercices ou auteurs	Horizon	Secteur visé	Méthodologie et résultats
France	Forsell <i>et al.</i> (2014)	2050	Énergie : biocarburants	Méthodologie : modèle économique d'équilibre partiel et scénarios normatifs selon le Grenelle de l'environnement Résultats : production de bioénergie à partir de la ressource locale équivalente à 35 millions de tep/an ³⁶ , les autres usages étant maintenus (alimentation, production forestière)
France	ANCRE (2013) ³⁷	2050 (2030)	Énergie	Méthodologie : scénarios normatifs (atteinte du facteur 4) Résultats : ressources agricoles et forestières mobilisées par rapport à 2010 (environ 32 Mt) - « sobriété renforcée » : - 25 % - « décarbonation par l'électricité » : + 6 % - « vecteurs diversifiés » : + 122 % et besoin de 2,2 Mha supplémentaires
France	Étude ADEME IFN FCBA SOLAGRO (2009) ³⁸	2020	Énergie (bois pour chaleur et électricité)	Méthodologie : estimation biophysique de la ressource en bois disponible, puis estimation de la disponibilité technico-économique nette, volume auquel sont retranchés les prélèvements actuels Résultats : gisement additionnel estimé à + 4,3 Mtep/an (soit 19 Mm ³ /an), et environ + 8,9 Mtep/an (soit environ 38 Mm ³ /an) si les prix doublent par rapport au prix dit « actuel » dans l'étude (cas précédent)
Europe	Panoutsou <i>et al.</i> (2009)	2020	Usages non précisés	Méthodologie : évaluation de la biomasse disponible à partir de la littérature Résultats : - résidus agricoles et effluents d'élevage : environ 60 Mtep/an - co-produits forestiers, pellets, briquettes et autres : environ 50 Mtep/an - déchets d'industries : environ 31 Mtep/an - déchets autres : environ 43 Mtep/an
Europe	Verkerk <i>et al.</i> (2011)	2030	Usages non précisés (bois)	Méthodologie : recours à un modèle biophysique Résultats : potentiel de la biomasse forestière (tronc, résidus, souche et autres ressources) sous quelques contraintes environnementales, techniques et socio-économiques estimé à 744 millions de m ³ par an en 2010 623 à 895 millions de m ³ en 2030 selon les scénarios de mobilisation soit 50 à 71 % du potentiel théorique (1 277 m ³ par an)
Monde	Lauri <i>et al.</i> (2014)	2050	Énergie (bois)	Méthodologie : recours à un modèle d'équilibre partiel GLOBIOM Résultats : potentiel estimé entre 0 et 23 Gm ³ avec une variation de prix entre 0 et 216 \$/m ³ (excluant des usages autres comme les matériaux) Satisfaction par la biomasse forestière de la demande en énergie primaire mondiale à 18 % (ou 14 % si les forêts primaires sont exclues)
Monde	ARP VEGA (2010)	2050	Électricité, biocarburants, chimie verte	Méthodologie : exercice de prospective exploratoire Résultats : - Scénario 1 « fuite en avant – le fossile perdure, la biomasse en complément » : 50 Mtep (chimie verte) + 600 Mtep (bioélectricité) + 70 Mtep (biocarburants) - Scénario 2 « la biomasse dans la néo-modernisation verte » : 250 Mtep (chimie verte) + 800 Mtep (bioélectricité) + 70 Mtep (biocarburants) - Scénario 3 « course à la biomasse dans un contexte de crise énergétique » : 600 Mtep (bioélectricité) + 400 Mtep (biocarburants) - Scénario 4 « des territoires métropolitains et ruraux qui mobilisent la biomasse pour une diversité d'usages » : 50 Mtep (chimie verte) + 700 Mtep (bioélectricité) + 400 Mtep (biocarburants)

Source : Compilation des auteures

36. Les auteurs indiquent une capacité de 1470Pj/an, soit 35 millions de tep/an (1 tep = 42GJ, <http://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/>)

37. Source : <http://www.allianceenergie.fr/>

38. Source : <http://www.dispo-boisenergie.fr/>

Le travail de Slade *et al.*, publié en 2011, compare de nombreux travaux sur la production de biomasse à usage énergétique, et ce à des horizons plus ou moins lointains (2030, 2050 et 2100). Les auteurs concluent que les variations du potentiel global de la biomasse à l'échelle mondiale découlent principalement des hypothèses initiales : les différents scénarios varient de moins de 100 ExaJoules, pour ceux où les cultures énergétiques se développent peu, à plus de 600 EJ pour les scénarios qualifiés « d'extrêmes » par les auteurs. Rappelons que l'offre en énergie primaire³⁹ en 2008 se situait autour de 550 EJ selon ce document. Les principales hypothèses expliquant la variabilité de ces résultats portent sur :

- la nature de la biomasse considérée (prise en compte ou non des cultures énergétiques, des résidus, etc.) ;
- les sols considérés comme mobilisables, en particulier au regard des hypothèses sur les régimes alimentaires plus ou moins carnés ;
- les rendements des cultures ;
- la prise en compte de contraintes environnementales (protection de la qualité de l'eau, etc.) ;
- l'intégration du contexte économique (estimation des volumes économiquement disponibles, prise en compte ou non des échanges internationaux, etc.) ;
- l'évolution ou non du contexte technologique (hypothèses sur les rendements de conversion, prise en compte des technologies de rupture, etc.) ;
- la prise en compte du changement climatique ;
- l'évolution de la démographie ;
- etc.

* *
*

Les études répertoriées montrent la grande incertitude en matière de biomasse disponible et mobilisable. Focalisant le plus souvent l'attention sur le débouché énergétique, les synergies entre les différents usages sont peu ou pas considérées, preuve de la difficulté de penser la bioéconomie dans sa globalité. Plus encore que pour la quantification de la biomasse mobilisable, l'évaluation des impacts du développement des secteurs liés à la bioéconomie n'est pas aisée.

5 - La mobilisation durable de la biomasse pour la bioéconomie, une problématique émergente et un enjeu pour l'agriculture et la forêt

L'utilisation de la biomasse est une des clés du développement de la bioéconomie. Au-delà de l'enjeu de quantification du gisement, développé dans la partie précédente, cette dernière partie explore les conditions de cette mobilisation.

5.1 - Bioéconomie : quelle prise en compte de la « soutenabilité » ?

5.1.1 - Bioéconomie et développement durable

Poser la question de la mobilisation de la biomasse suppose de préciser les sous-jacents de la « pérennité » d'un tel système, ce qui fait écho au concept de « développement durable ». La bioéconomie étant au croisement de considérations économiques, environnementales et sociales, elle représenterait un « *prolongement opérationnel du développement durable* » (Colonna *et al.*, 2014).

39. Énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés.
Source : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/energie-primaire.htm>

Encadré 7 - Économie circulaire, économie verte, biomimétisme et bioéconomie : entre similitudes et différences

De nombreux concepts ont émergé ces dernières décennies, qui sont autant de propositions de déclinaison du développement durable. Cet encadré explore les différences et similitudes entre ces derniers et la bioéconomie.

Économie circulaire⁴⁰

Ce terme désigne « un système de production et d'échanges prenant en compte, dès leur conception, la durabilité et le recyclage des produits ou de leurs composants de sorte qu'ils puissent redevenir soit des objets réutilisables soit des matières premières nouvelles, dans un objectif d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources. L'optimisation du cycle de la matière prend aussi en compte les besoins en énergie et en eau nécessaires dans le cycle de vie du produit. »

Alors que la bioéconomie n'est *a priori* pas directement connectée au concept d'économie circulaire, elle peut être pensée en termes de circularité, si les produits biosourcés sont conçus selon des critères de durabilité, de recyclage et d'optimisation de l'usage des ressources. Il existe donc des synergies évidentes entre bioéconomie et économie circulaire.

Économie verte

Cette expression désigne les productions de biens et de services « favorables à la protection de l'environnement ou à la gestion des ressources naturelles. » (Greffet *et al.*, 2012) Le périmètre des activités économiques concernées est plus large que celui de la bioéconomie. En effet, cette dernière se restreint à l'usage de la biomasse renouvelable, excluant par exemple des secteurs comme l'éolien.

Biomimétisme

Il s'agit « d'imiter des propriétés remarquables du vivant (forme, procédés ou ensemble d'interactions, « écomimétisme » dans ce dernier cas), pour développer de nouvelles technologies, de nouvelles pratiques agricoles ou de nouveaux schémas d'organisation » (Durand, 2012).

Un recoupement est possible entre biomimétisme et bioéconomie à travers les biotechnologies ou quand les produits issus du biomimétisme sont créés à partir de biomasse. En revanche, l'écomimétisme, soit l'étude du fonctionnement des écosystèmes pour en reproduire les conditions, est plutôt à rapprocher de l'écologie industrielle (*cf.* encadré n° 2).

Dans la littérature scientifique, le lien entre bioéconomie et « soutenabilité » n'est pas toujours clairement établi. Pfau *et al.* ont sélectionné 87 articles, par recherche des mots clés « bioeconomy » ou synonymes, et « sustaina* », dans 5 bases de données représentatives de différentes disciplines (Thomas Reuters Web of Science, Scirus, ScienceDirect, EconLit, International Bibliography of the Social Sciences). Ils en concluent que les visions des chercheurs divergent, avec un dégradé d'opinions et souvent des oppositions franches. Ce sont principalement des questions environnementales qui sont au cœur de ces oppositions, et que nous explorons plus en avant par la suite.

Le secteur des bioplastiques fournit une illustration du caractère non systématique du lien entre bioéconomie et « soutenabilité ». Il s'agit d'un secteur à fort potentiel, dont la production mondiale est estimée à 5,8 millions de tonnes en 2016 contre 1,2 en 2011⁴¹. Parallèlement à ce développement, un débat a émergé autour de la biodégradabilité de ces produits. En effet, le polyéthylène peut être biosourcé mais sans toujours répondre au critère de biodégradabilité. Le caractère biosourcé d'un produit ne suffit donc pas à assurer sa durabilité.

40. Source : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Conf_envi_2013_Fiche_Table-Ronde_No1.pdf

41. Les biopolymères ont des efforts à faire », *Réussir grandes cultures*, avril 2013, n° 268. Notons que « biodégradabilité » n'est pas synonyme de « durabilité », les produits de dégradation devant être compatibles avec l'environnement.

Pour préciser le lien entre bioéconomie et développement durable, des méthodes d'évaluation des impacts environnementaux ont été utilisées. Parmi celles-ci peuvent être citées les évaluations des critères de durabilité des biocarburants (directive 2009/28/CE du 28 avril 2009⁴², en termes d'émissions de gaz à effet de serre, de mobilisation de terres riches en carbone ou en biodiversité), ainsi que les analyses de cycle de vie (ACV) pour d'autres ressources comme l'eau, l'énergie. Ce type d'approches correspond à une recherche d'efficacité environnementale d'un produit, depuis la conception jusqu'à sa fin de vie, en passant par les procédés de production et de transformation.

Ces méthodes montrent qu'il est difficile de prendre en compte simultanément l'ensemble des conditions qui sous-tendent le caractère renouvelable de la biomasse, certaines de ces conditions étant même jamais ou très peu évoquées : disponibilité des terres arables, qualité des sols, disponibilité de certains intrants essentiels tels que l'eau, bon fonctionnement des écosystèmes, etc. Ces méthodes n'en restent pas moins utiles pour évaluer les impacts environnementaux des activités humaines.

5.1.2 Les cas particuliers de l'agriculture et de la forêt : pourvoyeurs de biomasse mais pas seulement

La bioéconomie est un enjeu pour les secteurs agricole et forestier, susceptibles d'être à la fois fournisseurs de matières premières pour alimenter les bioraffineries, mais aussi clients des produits des (bio)technologies mis au point pour leur propre production (OGM, bio-pesticides, etc.)

Une des critiques faites à la bioéconomie, dans sa définition centrée sur l'exploitation de la biomasse, tient à ce que l'agriculture y est souvent réduite à un rôle de pourvoyeur d'intrants de l'industrie de transformation (Brunori, 2013). Ce constat peut être étendu à la forêt. Une telle approche ne permet pas de prendre en compte la multifonctionnalité des activités agricoles et forestières. L'article de Schmid *et al.* (2012) reprend cette critique en citant les services rendus par l'agriculture autres que la production d'intrants : gestionnaire d'écosystèmes et de paysages, contributrice au développement rural et pourvoyeuse d'aliments de qualité. Ces auteurs insistent sur la nécessité d'un usage réfléchi de la biomasse, du fait des interactions avec le sol, l'eau et la biodiversité. Tenir compte de la « soutenabilité » doit être fait au stade de la production de la biomasse (agriculture), mais aussi au-delà.

5.2 - De la mobilisation durable de la biomasse au déploiement de la bioéconomie : multiplication des enjeux et mise en débat⁴³

Certains acteurs présentent le recours à la biomasse comme une sécurité d'approvisionnement par rapport aux énergies fossiles. Or, cette ressource comporte ses propres incertitudes, en particulier celles associées à ses conditions de renouvellement (fertilité du sol, surfaces mobilisables, biodiversité et services écosystémiques, etc.), aux processus de transformation (eau prélevée, etc.), aux impacts des activités de production et de transformation (GES, etc.), et enfin à la hiérarchisation des usages. L'étude VégA (2010) souligne que « *le développement des bioproduits est imbriqué dans de multiples dynamiques de controverses [...]. Au vu de ce constat, on peut supposer que la dynamique à venir des controverses scientifiques et des débats publics aura un rôle majeur dans le développement futur de ces filières* ». Certains de ces débats sont présentés ci-dessous.

Usage et qualité des sols

Un des points souvent évoqués est la mobilisation des sols cultivables ou cultivés pour des productions destinées, en totalité (cultures dédiées à l'énergie) ou en partie, à des usages non alimentaires.

42. Source : http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/sustainability_criteria_fr.htm

43. Dans cette section sont citées de nombreuses études dont les limites des méthodes employées ne sont pas toujours rappelées.

Dans la prospective VégA, les auteurs ont regardé l'impact des prélèvements de biomasse nécessaires pour différents usages (électricité, chaleur, biocarburants, biomolécules) sur l'occupation des sols. Les surfaces théoriques mobilisées à ces fins sont comprises entre 270 et 925 Mha, tous scénarios confondus. Ces résultats ont été par la suite comparés au scénario 1 d'Agrimonde⁴⁴, scénario que l'on pourrait qualifier de « sobriété alimentaire », dans lequel seuls 220 Mha dédiés à des usages non alimentaires sont mobilisables de façon soutenable avec les technologies et les modes de production actuels.

Une autre étude (De Schutter *et al.*, 2014), réalisée par des chercheurs de l'université de Vienne pour l'association « Les Amis de la Terre », estime que pour atteindre les objectifs européens, les surfaces dédiées à la bioénergie devraient augmenter de 27 % à l'horizon 2030 et de 57 % à l'horizon 2050 par rapport à l'année 2010 (surface estimée par les auteurs à 44,5 Mha en 2010). Les parts des surfaces cultivées et des forêts consacrées au débouché énergie passeraient respectivement, à l'horizon 2030, de 4,6 % à 12,4 % et de 29,2 % à 39 %.

Ces deux études entendent montrer que les questions de surfaces dédiées et d'arbitrage des usages sont d'une importance cruciale pour la « soutenabilité » de la bioéconomie.

Un autre débat, à propos des sols, concerne le maintien de leur fertilité. L'étude sur les prélèvements de rémanents (Landmann et Nivet, 2014)⁴⁵ montre que le menu bois sera le principal gisement additionnel pour l'usage énergie. Les auteurs rappellent que ce gisement fait l'objet de débats scientifiques quant aux impacts des prélèvements sur la fertilité des sols (modification des communautés microbiennes et de l'activité biologique des sols, baisse de matière organique, et donc de carbone et des stocks de nutriments des sols). L'étude conclut que les effets de ces prélèvements sur le statut nutritif des arbres et leurs performances de croissance sont nuancés. Concernant les sols, d'autres éléments peuvent être évoqués, à savoir l'érosion ou les impacts sur leur structure (par exemple pour le maintien de la réserve utile en eau).

La biodiversité et les services écosystémiques

L'étude ADEME sur les prélèvements de rémanents questionne aussi la vulnérabilité de la biodiversité forestière, dont les rémanents constituent des habitats et/ou des ressources pour de nombreuses espèces, potentiellement impactées par les niveaux et par les techniques de prélèvements (mobilisation d'un seul type de rémanent, passage accru, stocks de rémanents voués à la destruction attirant les espèces, etc.).

Parmi les critiques adressées à la bioéconomie, celle du Corporate Europe Observatory est intéressante (2012). Selon cette association, la Commission européenne a une approche principalement industrielle de la bioéconomie, considérant la biomasse comme un intrant plutôt que comme un tissu vivant ayant ses dynamiques propres.

De son côté, dans l'article « Les contours d'une bioéconomie soutenable » (*Réalités industrielles*, 2013), Dominique Dron parle des « *grands oubliés* » que sont les écosystèmes et les services écosystémiques – services non marchands tels que stockage de carbone, aménités paysagères, épuration de l'eau –, sur lesquels reposent nos modes de production, et dont le maintien constitue une condition nécessaire à la gestion durable de la biomasse. Notons que certaines stratégies ont cependant intégré cet enjeu, à l'instar des stratégies finlandaise et suédoise.

D'autres ressources nécessaires au développement de la bioéconomie

Staffas *et al.* (2013) soulignent, dans leur analyse des stratégies nationales, que l'attention portée à la biomasse masque les questions de dépendance et d'utilisation des autres ressources, comme l'usage des sols ou de l'eau.

44. « Scénario normatif décrivant une transition vers une demande alimentaire et une production durables », selon Even M.-A., Vert J., 2011, *La production agricole mondiale à l'horizon 2050 : comparaison de quatre prospectives*, MAAPRAT-Centre d'études et de prospective, Analyse n° 28.

45. Les rémanents sont l'ensemble des éléments qui restent sur le parterre de coupe, après exploitation (menu bois, branches de diamètre supérieur à 7 cm non valorisées, chutes, rebus, etc.).

Cette dernière est une ressource clé souvent manquante dans les stratégies en matière de bioéconomie. Une prospective du CLIP à l'horizon 2030 analyse les impacts de plusieurs scénarios de développement des biocarburants (Lorne, 2011). Les pressions sur la quantité d'eau ont été estimées à travers un bilan hydrique de cultures-types des deux bassins versants étudiés : Adour-Garonne et Seine-Normandie. L'essor de la première génération (à partir de céréales, oléagineux, etc.) intensifie les pressions (prélèvements en eau, déficit d'étiage accrus), mais de façon moindre que le développement de cultures lignocellulosiques, si celles-ci sont irriguées pour obtenir de meilleurs rendements (Lorne, 2011). De même, la qualité de l'eau doit être prise en compte en fonction des pratiques agricoles employées (phytosanitaires, etc.).

Ce recours aux intrants concerne l'étape du prélèvement de la biomasse, mais aussi les stades de la transformation en bioproduits (réactifs, eau, énergie, etc.). L'eau est par exemple nécessaire à la production de chaleur et au refroidissement pour la synthèse de biocarburants (Lorne, 2011). La filière éthanol est la plus consommatrice en eau au niveau des process, avec des usines implantées dans les bassins de productions agricoles, parfois sujets à des tensions sur la ressource. Quant au biodiesel, il génère d'importants prélèvements par les systèmes de refroidissement à circuit ouvert utilisés. Parmi les recherches visant à rendre les process plus efficaces, l'Inra a développé un procédé de fractionnement de la biomasse lignocellulosique (pailles de riz et de blé) par voie sèche, permettant de réduire les consommations en eau, en énergie et en réactifs⁴⁶.

Émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont un sujet de débats sur les biocarburants. À titre d'illustration, une méta-analyse compilant 485 références a été conduite par des chercheurs de l'Inra, sur les émissions de GES et les changements d'usages des sols directs et indirects (CAS⁴⁷) (De Cara et al. 2012). Les auteurs soulignent que « *la prise en compte des CAS dus au développement des biocarburants est susceptible d'alourdir le bilan net en émissions de GES des biocarburants* », et ce pour 90 % des travaux étudiés. Ces travaux montrent la grande variabilité des résultats selon la méthode utilisée (modèles économiques ou ACV consécutives) et la filière étudiée (bioéthanol ou biodiesel).

Hiérarchisation des besoins

La question des conflits d'usages est centrale pour une gestion durable de la biomasse, et ce dans un contexte de diversité accrue des débouchés et d'augmentation probable des volumes mobilisés. L'observatoire national des ressources en biomasse met la prévention de ces conflits au cœur de ses travaux, ce qui confirme l'importance du sujet. L'ONRB hiérarchise les usages selon trois catégories : usages alimentaires, industriels (y compris matériaux), et en dernier lieu énergétiques. Le rapport d'Alexandre *et al.* (2012) propose, lui, une autre hiérarchisation, en se référant au Grenelle de l'environnement et à la Stratégie Nationale du Développement Durable : alimentaire, bio-fertilisants, matériaux, molécules, carburants liquides, gaz, chaleur, électricité. Cette même publication indique que les définitions actuelles de la biomasse, principalement européennes, laissent apparaître une notion « *toute formelle* » de hiérarchisation. D'autres auteurs (Colonna *et al.*, 2014) évoquent le « *critère d'arbitrage* » entre usages partiellement concurrents : « *la priorisation des procédés se fera-t-elle sur des hiérarchies d'usages, avec l'alimentation en priorité, ou de maximisation de la valeur ajoutée, de durabilité, d'efficacité ou encore de sécurité des approvisionnements ?* » La question est de savoir si une analyse multicritère serait pertinente pour résoudre une telle équation. Il faut aussi s'interroger sur l'échelle d'analyse pertinente pour envisager une telle hiérarchie (possibilité ou non de recourir aux importations, etc.).

⁴⁶ Source : <http://presse.inra.fr/Ressources/Communiqués-de-presse/Un-nouveau-procédé-Inra-pour-le-bio-raffinage-du-vegetal>

⁴⁷ L'acronyme CAS indirects correspond en anglais à ILUC (indirect land use change).

Appropriation du vivant et interrogations éthiques

Dans le cas des biotechnologies rouges (mises en avant par la définition de l'OCDE), des auteurs alertent à propos de la marchandisation du corps qui s'opère à travers le développement de la bioéconomie, notamment dans le secteur biomédical. Lafontaine (2014) rappelle les dangers liés au fait de considérer les corps (tissus, organes, ventre) comme une source de matière première avec une capitalisation sur « *la plasticité intrinsèque aux processus vitaux* » à travers une « *véritable logique d'ingénierie* ».

Dans le cas de la recherche sur les biotechnologies vertes (présentes notamment dans la stratégie nationale des États-Unis), « *on assiste [...] à une multiplication des demandes de brevets sur des gènes naturellement présents dans les végétaux (gènes dits « natifs »)* », ce qui suscite une inquiétude en France et en Europe (Ducos *et al.*, 2013).

Hans Van Meijl⁴⁸, économiste à LEI Wageningen UR, estime que par comparaison avec les États-Unis, les décideurs européens sont plus attentifs aux impacts sociaux à long terme de la bioéconomie. Il met en avant la crainte, pour ces décideurs, de retomber dans un scénario similaire à celui des organismes génétiquement modifiés. McCormick et Kautto (2013) citent d'ailleurs les OGM comme un sujet possible de tensions en lien avec le développement de la bioéconomie, surtout en Europe. Ils soulignent également la place limitée de cette question dans la stratégie européenne. De fait, nombre de sujets sont déjà des controverses avérées ou en germe, qui nécessitent d'être décortiquées et comprises.

De la nécessité d'anticiper et de structurer les débats sur la bioéconomie

Le développement rapide de la bioéconomie suscite des débats. Par exemple, une controverse oppose les associations bruxelloises EuropaBio et Corporate Europe Observatory (CEO). EuropaBio représente les intérêts de l'industrie des biotechnologies, en particulier les biotechnologies blanches, en organisant entre autres tous les ans le forum EFIB (European forum for industrial Biotechnology & the Biobased Economy), qui réunit industriels et fonctionnaires bruxellois. L'influence d'EuropaBio sur l'agenda politique européen a été critiquée, notamment par l'association CEO. Cette dernière enquête sur l'influence des lobbies à la Commission et sur le poids des intérêts privés dans les politiques européennes. Elle a proposé une définition polémique de la bioéconomie : « *approche qui repose sur la vision développée par les mêmes multinationales de l'agrobusiness dont les produits ont été la cause des problèmes* » (CEO, 2012).

La bioéconomie est aussi l'objet de critiques au sein d'ONG environnementales, telles l'ONG canadienne ETC Group, qui effectue un travail de veille sur les nouvelles technologies liées aux questions socio-économiques ou écologiques, et qui pourraient avoir un impact sur les populations les plus vulnérables. Leur publication *Biomassacre* est un réquisitoire contre la bioéconomie défendue par les États et les multinationales. Ce qui est présenté comme un remplacement, prétendument écologique, des carburants fossiles par des produits dérivés des plantes, n'est en fait selon cette publication qu'une mainmise agressive sur les terres, les modes de subsistance, les savoirs et les ressources des populations des pays du Sud.

Souvent présentée sous forme de promesses, la bioéconomie soulève nombre de critiques et controverses. Face à ces dernières, est évoquée la nécessité de créer des lieux de gouvernance participative pour faciliter le dialogue entre les parties prenantes et les citoyens (McCormick et Kautto, 2013).

48. Source : <https://www.wageningenur.nl/en/newsarticle/Europe-focuses-on-social-acceptance-of-the-Biobased-Economy.htm>

Conclusion

La bioéconomie est un terme qui a pénétré depuis peu la sphère institutionnelle, à différentes échelles, que ce soit par la publication de documents stratégiques par des organisations internationales comme l'OCDE ou l'Union européenne, ou par l'élaboration de stratégies nationales dans différents pays. Cette bioéconomie se concrétise à travers le développement de bioraffineries et de démonstrateurs faisant le pont entre recherche et industrie. Le tout est motivé par des perspectives économiques prometteuses, dans un contexte de transition énergétique où la moindre dépendance au carbone fossile est mise en avant.

Des différentes sphères qui portent la bioéconomie émergent des définitions contrastées, avec néanmoins des similitudes notables concernant les défis auxquels elle entend répondre (changement climatique, évolution démographique, raréfaction des ressources fossiles, etc.), l'approche systémique et transdisciplinaire, l'importance accordée aux ressources naturelles renouvelables dans les systèmes de production et de transformation. Malgré ces similitudes, les définitions divergent quant aux biotechnologies et quant aux secteurs économiques couverts. Les rôles joués par l'agriculture et la forêt diffèrent aussi, puisqu'elles peuvent être perçues comme pourvoyeuses d'intrants, fournisseuses de biomasse, secteurs clients des produits développés, etc. Un certain flou sémantique subsiste donc.

Notre détour par la théorie économique a exploré certains des fondements de la bioéconomie (Georgescu-Roegen, Passet), non repris dans les discours actuels, probablement à cause de l'hétérodoxie de ces auteurs. Tous les deux montrent, à leur manière, que la biomasse ne peut pas être considérée comme un puits de matières premières, sans une prise en compte des conditions nécessaires à son renouvellement. En l'absence d'ancrage théorique partagé, permettant de fonder la « révolution bioéconomique » qu'esquissent les discours institutionnels, la bioéconomie est traversée par des controverses, par exemple sur la question des conflits d'usages.

Ces considérations amènent à s'interroger sur ce que pourrait être la bioéconomie à l'avenir. Dans un scénario pessimiste, l'emploi de ce terme pourrait tenir de l'effet de mode : il s'agirait d'une façon de mobiliser temporairement des acteurs de différentes disciplines, de différentes sphères, ainsi que des moyens financiers. Dans cette perspective, la bioéconomie répondrait bien peu aux objectifs qu'elle se fixe.

Dans un scénario optimiste, il s'agirait au contraire de refonder entièrement notre modèle économique sur cette « bioéconomie », en donnant une place prépondérante au vivant dans nos processus de production et de transformation, et dans nos pratiques de consommation. Un tel bouleversement ne peut se réaliser à court ou moyen terme. Sans même questionner le réalisme d'un tel changement, le cadre d'analyse permettant de penser cette transformation dans toutes ses composantes fait actuellement défaut.

Entre ces deux extrêmes (mot d'ordre éphémère d'un côté, révolution socio-économique de l'autre), une vision plus pragmatique consisterait à favoriser de nouveaux débouchés, projets et emplois, tout en structurant ces changements autour d'une nouvelle forme d'exploitation de la biomasse.

La bioéconomie est une opportunité pour des secteurs économiques et des territoires, à condition de rester vigilants sur les conditions de son développement. Une définition plus consensuelle du terme, une approche plus transversale des politiques sectorielles et la prise en compte des conditions de renouvellement de la biomasse constitueraient à ce titre une avancée.

Bibliographie

- ADEME, 2012, *Emplois actuels et futurs pour la « filière chimie du végétal »*
- Aguilar A., Magnien E. et Thomas D., 2012, *Thirty years of European biotechnology programmes : from biomolecular engineering to the bioeconomy*, New Biotechnology
- Alexandre S., Gault J., Guérin J.-C., Lefebvre E., de Menthière C., Rathouis P., Texier P.-H., Thilbault H.-L., Toussaint X., Attali C., avec la participation de Roy C., 2012, *Les usages non alimentaires de la biomasse*, rapport de mission, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, ministère du Redressement productif
- Birch K., Levidow L., Papaioannou T., 2010, *Sustainable capital? The neoliberalization of nature and knowledge in the European 'knowledge-based bio-economy'*, Sustainability 2010, 2, 2898-2918
- Brunori G., 2013, *Biomasse, biovaleur et durabilité : quelques réflexions sur la définition de bioéconomie*, The agricultural economics society and the european association of agricultural economists
- Carus M., Dammer L. et Essel R., 2014, *Bio-based economy: market pull measures for bio-based products*, Nova policy paper 2014-10
- Corporate Europe Observatory, 2012, *Agribusiness capturing EU research money?*
- CGDD, 2014, *Chiffres clés de l'énergie édition 2013*
- Clark C.W., 1976, *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources*, New York, John Wiley & Sons
- Clark C.W., 1985, *Bioeconomic modelling and fisheries management*, John Wiley & Sons
- Colonna P., Tayeb J. et Valceschini E., 2014, *Nouveaux usages de la biomasse*, dossier Agriculture et Bioressources, DEMETER 2015
- Commission européenne, 2010, *The Lisbon European Council-An Agenda of Economic and Social Renewal for Europe*, Bruxelles, Belgique
- Commission européenne, 2012, *L'innovation au service d'une croissance durable : une bioéconomie pour l'Europe*, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions
- Commission européenne, 2014, *Bio-based Industries: using renewable natural resources and innovative technologies for greener everyday products*
- Cury P., Pauly D., 2013, *Mange tes méduses ! Réconcilier les cycles de la vie et la flèche du temps*, Éditions Odile Jacob
- de Schutter L., Giljum S., 2014, *A calculation of the EU Bioenergy land footprint - Discussion paper on land use related to EU bioenergy targets for 2020 and an outlook for 2030*, Institute for the Environment and Regional Development, Vienna University of Economics and Business

- De Cara S., Goussebaïlle A., Grateau R., Levert F., Quemener J., Vermont B., 2012, *Revue critique des études évaluant l'effet des changements d'affectation des sols sur les bilans environnementaux des biocarburants*
- Diemer A., Labrune S., « L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable », *Développement durable et territoires*, mis en ligne le 30 août 2007, consulté le 16 janvier 2015 : <http://developpementdurable.revues.org/4121> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.4121
- Ducos G., Pujol J.-L., Teillant A., 2013, *Pour un secteur des semences diversifié et innovant*, CGSP, Note d'analyse n° 5
- Durand H., 2012, *Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers*, Études et documents, n° 72, CGDD
- ETC Group, 2011, *Biomassacre : La biologie synthétique menace la biodiversité et les modes de subsistance*
- Forsell N., Guerassimoff G., Athanassiadis D., Thivolle-Cassat A., Lorne D., Millet G., Assoumou, E., 2013, « Sub-national TIMES model for analyzing future regional use of biomass and biofuels in Sweden and in France », *Renewable Energy* 60, pp 415-426
- FranceAgriMer, 2012, *La chimie du végétal, une valorisation non-alimentaire et non-énergétique de la biomasse*, Les synthèses de FranceAgriMer n° 2
- FranceAgriMer, 2012b, *L'observatoire de la biomasse, Évaluation des ressources disponibles en France*, édition octobre 2012, Les études de FranceAgriMer
- Gauvrit L., Mora O., 2010, *Les usages non alimentaires de la biomasse végétale à l'horizon 2050*, INRA-DEPE
- Greffet P., Mauroux A., Ralle P. et Randriambololna C., 2012, « Définir et quantifier l'économie verte », *L'économie française*
- Krausman F., 2011, *The metabolic transition: an historical overview*, dans *The socio-metabolic transition, long term historical trends and patterns in global material and energy use*, Social ecology working paper 131, Institute of Social Ecology, IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies (Klagenfurt, Graz, Vienna), Alpen-Adria Universitaet
- Lafontaine C., 2014, « Le corps cybernétique de la bioéconomie », *Hermès*, n° 68, p. 31-35
- Landmann G., Nivet C., (coords), 2014, *Projet RESOBIO - Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité*, ADEME, MAAF-GIP Ecofor, rapport final
- Lauri P., Havlik P., Kindermann G., Forsell N., Böttcher H., Obersteiner M., 2014, « Woody biomass energy potential in 2050 », *Energy Policy*, 66, p. 19-31
- Levidow L., Birch K. et Papaioannou T., 2012, « EU agri-innovation policy : two contending visions of the bio-economy », *Critical Policy Studies*, 6(1), p. 40-65
- Lorne D., 2010, *Le point sur... Quelles ressources en biomasse pour un système énergétique durable ?*, IFP, Panorama 2010
- Lorne D., 2011, *Le point sur... L'eau et les biocarburants*, IFP, Panorama 2011

- Missemer A., 2013, *Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique*, ENS Éditions
- McCormick K., Kautto N., 2013, « The Bioeconomy in Europe: An Overview », *Sustainability* 2013, 5(6), p. 2589-2608
- Panatsou C., Eleftheriadis, Nikolaou A., 2009, « Biomass supply in EU27 from 2010 to 2030 », *Energy Policy*, 37, p. 5675-5686
- Passet R., 1979, *L'économie et le vivant*, Paris, Payot
- Pfau S. F., Hagens J. E., Dankbaar B., J. M. Smits A. J. M., 2014, « Visions of Sustainability in Bioeconomy Research », *Sustainability*, 6(3), p. 1222-1249
- OCDE, 1998, *21st Century Technologies*
- OCDE, 2009, *La bioéconomie à l'horizon 2030, quel programme d'action ?*
- PIPAME, 2010, *Mutations économiques dans le domaine de la chimie*
- Piotrowski S., Carus M., Essel R., 2015, *Global bioeconomy in the conflict between biomass supply and demand*, nova paper n°7 on bio-based economy, Hürth 2015-10
- Réalités industrielles*, février 2013, *La bioéconomie, élément clé des transitions énergétique et écologique*, Les annales des Mines
- Roy C., (coord), 2012, *Le Club des Bio-économistes, Les « triples A » de la bio-économie*, L'Harmattan
- Scarlat N., Dallemand J.F., Monforti-Ferrario F., Nita V., 2015, « The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts », *Environmental Development*, 15, p. 3-34
- Schieb P.-A., Philip J.C., 2014, « Biorefining policy needs to come of age », *Trends in biotechnology*, vol. 32, no 10
- Schmid O., Padel S., Levidow L., 2012, « The bio-economy concept and knowledge base in public goods and farmer perspective », *Bio-based and Applied Economics*, 1(1), p. 47-63
- Slade R., Saunders R., Gross R., Bauen A., 2011, *Energy from biomass : the size of the global resource*, Imperial College - Centre for Energy Policy and Technology and UK Energy Research Centre, London
- Staffas L., Gustavsson M., McCormick K., 2013, « Strategies and Policies for the Bioeconomy and Bio-Based Economy: An Analysis of Official National Approaches », *Sustainability*, 5, p. 2751-2769.
- USDA, 2008, *U.S. Biobased Products Market Potential and Projections Through 2025*
- Verkek P. J., Antilla P., Eggers J., Lindner M., Asikainen A., 2011, « The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union », *Forest Ecology and Management*, n° 261
- Von Bertalanffy, 1968, *General system theory. Foundations, development, applications*, New York (traduction française *Théorie générale des systèmes*, 1973, Paris, Dunod).