



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

Papers downloaded from AgEcon Search may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Les bioraffineries éco-efficiences. Un techno-fix pour surmonter la limitation des ressources ?

Eco-efficient biorefineries: Techno-fix for resource constraints?

Les Levidow



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/4718>
DOI : 10.4000/economierurale.4718
ISSN : 2105-2581

Éditeur

Société Française d'Économie Rurale (SFER)

Édition imprimée

Date de publication : 15 décembre 2015
Pagination : 31-55
ISSN : 0013-0559

Référence électronique

Les Levidow, « Les bioraffineries éco-efficiences. Un techno-fix pour surmonter la limitation des ressources ? », *Économie rurale* [En ligne], 349-350 | septembre-novembre 2015, mis en ligne le 15 décembre 2017, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/4718> ; DOI : 10.4000/economierurale.4718

Les bioraffineries éco-efficientes

Un techno-fix pour surmonter la limitation des ressources ?

Les LEVIDOW • Open University, l.levidow@open.ac.uk

Une bioéconomie éco-efficiente atténuerait, selon ses partisans, les problèmes de limitation des ressources naturelles dus à l'augmentation de la demande mondiale. Une bioraffinerie diversifiée et intégrée pourrait transformer diverses sources de biomasse non alimentaire en produits valorisables, offrant ainsi un substitut aux combustibles fossiles utilisable avec les infrastructures actuelles. Cette approche accentue les pressions qui pèsent sur les ressources et avive la concurrence sur le marché pour la fourniture de biomasse à bas prix. Les trajectoires de l'innovation axées sur les bioraffineries ont les mêmes moteurs que les schémas actuels de production-consommation qui font progresser la demande mondiale de produits alimentaires, d'aliments pour le bétail, de combustibles, etc. Une transformation plus efficiente et plus flexible de la biomasse accroîtra l'incitation financière à intensifier l'extraction de ressources, en particulier par l'industrialisation des systèmes agroforestiers. Pour que ce *techno-fix* fonctionne, il faut que les ressources deviennent moins chères sans coûts pour la société et l'environnement.

MOTS-CLÉS : *bioraffinerie intégrée et diversifiée, limitation des ressources, techno-fix, technologie éco-efficiente*

Eco-efficient biorefineries: Techno-fix for resource constraints?

An eco-efficient bioeconomy has been widely promoted to alleviate resource constraints of rising global demand. An integrated, diversified biorefinery would convert diverse non-food biomass into valuable products, thus providing input-substitutes for fossil fuels within current infrastructures. This agenda intensifies various resource burdens and market competition to supply cheap biomass. Biorefinery innovation trajectories have the same drivers as the current production-consumption patterns expanding global demand for food, feed, fuel, etc. More efficient, flexible conversion of biomass will strengthen financial incentives to intensify resource extraction, especially by industrialising agri-forestry systems. Such a techno-fix depends on cheapening resource supplies without paying for their societal and environmental costs. (JEL: Q2, Q42, Q16)

KEYWORDS: *integrated, diversified biorefinery, resource constraints, techno-fix, eco-efficient technology*

La future bioéconomie permettrait, selon ses défenseurs, d'atténuer considérablement les problèmes engendrés par l'augmentation de la demande mondiale de ressources naturelles. Les bioraffineries ont la faveur des pouvoirs publics et de l'industrie, car elles pourraient produire de manière efficiente une biomasse renouvelable, de préférence d'origine non alimentaire et issue de bio-déchets. Les produits divers et l'énergie provenant de cette transformation pourraient ainsi remplacer les combustibles fossiles.

La bioraffinerie est la transformation durable de la biomasse en un éventail de produits commercialisables, selon la définition qu'en donne l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2014). Elle pourrait être rendue durable grâce aux progrès technoscientifiques : étant donné « la demande croissante de nourriture, d'énergie et d'eau [...] seule l'utilisation de technologies nouvelles nous permettra, sur le long terme, de combler l'écart entre la croissance économique et la durabilité environnementale »

Les bioraffineries éco-efficientes

(Forum économique mondial, 2010). Les sceptiques anticipent, quant à eux, divers maux liés à l'expansion des bioraffineries. Cette contribution part de ces débats pour explorer les hypothèses et les facteurs économiques et politiques qui motivent la priorité accordée à la bioraffinerie.

Elle s'appuie sur les résultats d'une étude de la stratégie de l'Union européenne pour la bioéconomie (voir les remerciements). Lors de cette étude menée sur 2008-2010, les personnes interrogées devaient répondre à de nombreuses questions, comme par exemple « Comment la bioéconomie change-t-elle le rôle et la signification de l'agriculture ? » ou « Les progrès technoscientifiques sont-ils tributaires de changements sociaux plus vastes ? ». L'étude a interrogé des directeurs de recherche au niveau de l'UE, ainsi que des acteurs du secteur, des agriculteurs et des organisations non gouvernementales (ONG). Comme l'a montré l'analyse, la future bioéconomie européenne emprunte des voies divergentes, selon qu'elles reposent sur les sciences du vivant ou sur l'agro-écologie (Levidow *et al.*, 2012, 2013).

La présente contribution s'intéresse à la trajectoire reposant sur les sciences du vivant : conditions préalables, hypothèses et conséquences. Elle s'appuie sur une étude de suivi de documents concernant les États-Unis et l'Union européenne. Les

sources en sont des organismes publics, des organes spécialisés et diverses catégories de parties prenantes (voir l'encadré pour la liste des organisations).

Elle cherche à répondre aux questions suivantes :

- Qu'est-ce qui incite les pays et les organisations du secteur à promouvoir le développement de la bioraffinerie ?
- Selon quelles hypothèses les futures bioraffineries pourront-elles atténuer les problèmes de limitation et de durabilité des ressources ?
- Quels sont les liens entre ces hypothèses et les causes actuelles des problèmes de durabilité des ressources ?
- Quel rôle plus large peut jouer une vision stratégique pour les futures bioraffineries ?

Cette contribution comporte cinq grandes sections : 1) bien-fondé et doutes quant à la durabilité des futures bioraffineries, 2) et 3) débats sur ces questions aux États-Unis et dans l'Union européenne, 4) point de vue critique des études des sciences et technologies (STS) et de la géographie humaine : les imaginaires socio-techniques, le *techno-fix* comme un mécanisme performatif, l'effet de rebond et l'accumulation de capital par la déposition, et 5) conclusion répondant aux questions ci-dessus.

Encadré. Organisations sources des documents

Chaque organisation est accompagnée de la description qu'elle donne d'elle-même, sans commentaire sur ses objectifs.

Au niveau mondial

CMF : La Coalition mondiale des forêts est une coalition d'ONG et d'organisations de peuples autochtones qui œuvrent pour la justice sociale et pour la protection des droits des peuples des forêts.

AIE : L'Agence internationale de l'énergie est une organisation autonome qui s'attache à promouvoir une énergie fiable, abordable et

propre pour ses 29 pays membres et les autres pays.

PNUE : Le Programme des Nations Unies pour l'environnement est la plus haute autorité du système des Nations Unies en matière environnementale. Il fixe les priorités mondiales dans ce domaine.

WEF (World Economic Forum) : Le Forum économique mondial est l'institution internationale qui cherche à favoriser la coopération entre les secteurs public et privé afin de façonner les agendas mondiaux, régionaux, nationaux et industriels. Il se réunit tous les ans à Davos.

Aux États-Unis

EIA : L'*Energy Information Administration* recueille, analyse et diffuse des informations indépendantes et impartiales sur l'énergie, afin de promouvoir des politiques publiques solides et des marchés efficients, ainsi que de sensibiliser l'opinion publique aux questions énergétiques et à leurs interactions avec l'économie et l'environnement.

NABC : Le *North American Agricultural Biotechnology Council* s'intéresse aux questions centrales de la biotechnologie agricole du point de vue de diverses parties prenantes. Il rassemble des instituts de recherche dont les activités appuient la recherche biotechnologique agricole.

USDA : Le ministère de l'Agriculture (*United States Department of Agriculture*) donne les orientations pour l'alimentation, l'agriculture, les ressources naturelles, le développement rural, la nutrition et les thématiques connexes, sur la base de la politique publique et des meilleures données scientifiques disponibles, ainsi que pour une gestion efficace.

US DoE : Le ministère de l'Énergie (*US Department of Energy*) cherche à promouvoir la technologie énergétique et l'innovation qui en découle aux États-Unis.

USFS : Le Service des forêts (*US Forest Service*) a pour objectif de préserver la santé, la diversité et la productivité des forêts et des prairies du pays afin de répondre aux besoins des générations actuelles et futures.

Dans l'Union européenne

AEA Technology : Ce cabinet-conseil britannique est spécialisé dans l'énergie, le changement climatique et la gestion de données.

BBI Consortium : Bio-Based Industries Consortium est le partenaire du secteur privé au sein du partenariat public-privé européen sur la bioéconomie « *Bio-based Industries* » (BBI).

bio-economy.net : Il s'agit du site Web conjoint d'Europabio et d'ESAB (section

« Biocatalyse appliquée » de la Fédération européenne de biotechnologie).

Biofrac : Biofuels Research Advisory Council (Conseil consultatif de recherche sur les biocarburants), jusqu'en 2006, a précédé la plate-forme européenne pour la technologie des biocarburants (EBTP).

BioMatNet (Biological Materials for Non-Food Products) : Base de données des projets financés par la Commission européenne sur le développement de bioproduits et de biocarburants renouvelables.

CCE : Commission des Communautés européennes, organe exécutif chargé d'élaborer les politiques et le budget de l'Union européenne.

DCSR : Le Conseil danois pour la recherche stratégique (*Danish Council for Strategic Research*) finance des recherches visant à trouver des solutions aux problèmes qui se posent à la société danoise. Il a dirigé un rapport sur la bioéconomie pour une conférence à l'échelle de l'UE.

EBTP : La plate-forme européenne pour la technologie des biocarburants vise à contribuer à la mise en place de chaînes de valeur pour les biocarburants de classe mondiale et compétitifs et à la création d'un solide secteur des biocarburants. Elle cherche aussi à accélérer le déploiement durable des biocarburants dans l'Union européenne, via un processus d'orientation, de définition des priorités et de promotion des activités de recherche, de développement technologique et de démonstration.

EPOBIO : Projet international de « *Science to Support Policy* », financé par la Commission européenne au titre du Sixième programme-cadre (2002-2006) et avec la coopération de l'USDA.

EuropaBio : L'Association européenne pour les bio-industries (*European Association for Bioindustries*) vise à promouvoir une base biotechnologique innovante et dynamique en Europe. Elle représente les intérêts de l'industrie biotechnologique au niveau européen.

Promouvoir des bioraffineries éco-efficientes

Étant donné la tension mondiale entre la demande de ressources et la durabilité environnementale, les bioraffineries

pourraient constituer une solution dans l'optique d'une bioéconomie. La présente section analyse le point de vue du secteur sur les nouveaux biocarburants (et d'autres produits industriels), leurs facteurs commerciaux et les possibilités

qu'ils offrent d'alléger les pressions qui pèsent sur les ressources. Quelles relations ces facteurs entretiennent-ils avec les priorités de l'innovation et les effets sur la durabilité ? L'impératif politico-économique qui consiste à éviter un changement structurel oriente la R&D vers des intrants de substitution, ce qui limite les perspectives de durabilité, comme l'explique cette section.

1. Développer l'agro-industrie pour produire la matière première destinée à la bioraffinerie

Les biocarburants remplacent les combustibles fossiles par de la biomasse renouvelable. Toutefois, ils ne peuvent généralement pas rivaliser économiquement avec le pétrole, et sont donc tributaires de quotas obligatoires et/ou de l'introduction de subventions, qui sont officiellement justifiés par les divers avantages sociétaux qu'ils procurent. Ces avantages putatifs sont remis en question par certains effets délétères : déplacement ou remplacement de certaines cultures vivrières, confiscation de terres, modes de culture dommageables pour l'environnement, intensification de l'exploitation forestière, sous-produits des déchets et doutes quant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). En 2007-2008, des réseaux d'ONG ont dénoncé ces effets néfastes, en particulier dans le but de contrer les objectifs relatifs aux biocarburants fixés par l'UE pour 2020 (Econexus *et al.*, 2007). Leur intervention a suscité des controverses sur les critères et sur la perspective de « biocarburants vraiment durables » (Franco *et al.*, 2010 ; Levidow, 2013 ; Searchinger *et al.*, 2008 ; Söderberga et Eckerberg, 2013 ; TU-E/NWO, 2015).

C'est en partie en réaction à ces controverses que les biocarburants conventionnels ont été rétrospectivement rebaptisés « de première génération », comme s'ils constituaient une étape intermédiaire vers

la génération suivante. La source des biocarburants de deuxième génération devait être la composante non comestible des végétaux : résidus de récoltes sur les terres agricoles et dans les forêts, ou plantes non alimentaires, telles que les plantes herbacées, dans l'idéal cultivées sur des « terres marginales ». Ces futurs carburants sont censés employer des ressources sous-utilisées ou sous-valorisées, en particulier les déchets et les terres excédentaires, afin d'éviter que leur culture n'entre en concurrence avec la production alimentaire en termes d'occupation des sols (DCSR, 2012 ; Europabio, 2007 ; AIE, 2010 ; nombreuses sources citées dans Levidow et Paul, 2011).

Les biocarburants de deuxième génération sont encore moins rentables économiquement que les biocarburants conventionnels. Il existe toutefois des solutions pour en abaisser les coûts. Ainsi, selon un rapport d'experts (AIE, 2010), il serait possible d'améliorer la technologie, le rendement énergétique et la logistique de transport. Les possibilités d'accroître leur durabilité seront fonction de la situation :

« Suivant la matière première choisie et la technique de culture mise en œuvre, la production de biocarburants de deuxième génération pourrait présenter divers avantages : consommation de résidus de déchets et utilisation de terres abandonnées, par exemple. Ainsi, les nouveaux carburants pourraient considérablement contribuer au développement rural et améliorer les conditions économiques dans les régions émergentes et en développement. Cependant, tandis que les cultures destinées aux biocarburants de deuxième génération et leurs technologies de production gagnent en efficience, leur production pourrait ne pas être viable si elles entrent en concurrence avec les cultures vivrières pour les terres disponibles. Leur durabilité dépendra donc du respect de certains critères par les producteurs : minimum

de réduction des émissions de gaz à effet de serre telle qu'évaluée par l'analyse du cycle de vie des GES, changement d'affection des sols notamment, et normes sociales » (ibid.).

Cette dernière référence au comportement des producteurs et à l'analyse du cycle de vie induit des incertitudes quant aux bienfaits et aux dommages pour l'environnement. Elle masque les facteurs politico-économiques qui sous-tendent la transformation de la production agricole.

À l'avenir, une bioraffinerie décomposera de façon plus efficiente les principaux composants cellulaires des plantes (amidon, cellulose et hémicellulose) pour obtenir les éléments de base de l'industrie chimique <http://revel.unice.fr/eriep/?id=3455> - ftn14, qui cherche généralement à remplacer un élément par un autre. Dans la perspective d'une bioéconomie agro-industrielle, les ressources végétales seront génétiquement modifiées afin de rendre la biomasse plus flexible et d'en faciliter la décomposition et la recomposition en divers produits industriels (sources citées dans Levidow *et al.*, 2013a).

Cette flexibilité avait été anticipée par un réseau de recherche international, financé par les États-Unis et l'UE, dont l'objectif est de concevoir de nouvelles générations de bioproducts dérivés de matières premières végétales (EPOBIO, 2006). Cette conception de la bioéconomie changerait le rôle de l'agriculture, qui se rapprocherait de celui d'un « puits de pétrole » : « Pour le ministère américain de l'Énergie et l'Union européenne, les États-Unis et l'UE ont un objectif commun. Au XXI^e siècle, l'agriculture sera le puits de pétrole du futur : elle fournira à la population mondiale des carburants, des substances chimiques et d'autres produits » (BioMat Net, 2006).

Dans l'optique des bioraffineries du futur, la recherche est en quête de techniques

plus efficientes permettant de transformer la biomasse en bioéthanol cellulosique et en d'autres produits industriels, et d'élargir les possibilités de développer un savoir-faire exclusif, comme l'envisage l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) dans un rapport (Murphy *et al.*, 2007). Des brevets ont été obtenus, ou sont en cours d'obtention, concernant différents stades des composants (Carolan, 2009). En effet, d'après un réseau d'experts transatlantique sur la bioéconomie, la course aux brevets « influe fortement sur la science » (EC-US Task Force, 2009).

Dans ce projet, le scénario futur présente les marchés et l'utilisation des terres comme « naturels », comme l'explique un rapport phare publié par le Forum économique mondial. L'augmentation à venir de la demande apparaît ici simplement comme une force objective (« un accroissement exponentiel de la demande » de matières premières), comme si elle était exogène aux secteurs industriels qui alimentent et stimulent cette demande. Cette réorientation pourrait s'opérer au détriment de la production d'aliments destinés à la consommation humaine et animale par rapport à d'autres utilisations des terres, telles que des cultures énergétiques cellulaires (Forum économique mondial, 2010). Ce basculement est implicitement attribué à la main invisible du marché, mais il a aussi besoin de l'appui des pouvoirs publics : l'État doit « soutenir des investissements significatifs dans les technologies de R&D en créant des marchés » (Forum économique mondial, 2010).

Les partisans de la bioraffinerie cherchent des intrants pouvant se substituer au pétrole afin de préserver la valeur en capital des investissements antérieurement réalisés dans l'infrastructure, face à la menace que constituent des systèmes entièrement nouveaux. En particulier, le secteur automobile est actuellement des plus concernés par la menace que représentent

les systèmes de propulsion sans carburant, comme la pile à hydrogène. Les industriels se concentrent donc sur « le développement de nouvelles technologies de carburants qui pourraient permettre à ces derniers de continuer à dominer le secteur automobile » (*ibid.*). Ils accordent la priorité aux carburants « drop-in », qui pourraient constituer un substitut parfait au pétrole dans l'infrastructure actuelle. On pourrait ainsi conserver la valeur d'investissement de cette dernière tout en présentant ce système comme sobre en carbone (Birch, Calvert, 2015 ; Levidow, Papaioannou, 2013 ; Levidow *et al.*, 2013b). L'impératif politico-économique qui consiste à éviter le changement structurel pousse la R&D à chercher à mettre au point des substituts, notamment en modifiant génétiquement les organismes et en innovant dans les techniques de transformation, telles que les enzymes microbien. Au niveau mondial, la bioraffinerie s'efforce de trouver des intrants plus flexibles, ce qui renforce le pouvoir des transformateurs sur celui des fournisseurs au bas de la chaîne de valeur (Borras *et al.*, 2015).

Selon ce rapport d'experts, pour répondre à la demande à venir du marché, les entreprises devront s'intégrer davantage aux chaînes de valeur :

« La nouvelle chaîne de valeur pourra accueillir des partenariats non traditionnels : des transformateurs de céréales qui s'intègrent en aval, des fabricants de produits chimiques qui s'intègrent en amont et qui seront rejoints par des entreprises technologiques qui ont accès à des technologies essentielles, comme les enzymes et les usines cellulaires microbiennes » (Forum économique mondial).

Cette intégration verticale offrira de nouveaux débouchés commerciaux aux matières premières des pays du Sud :

« [...] une nouvelle division internationale du travail dans l'agriculture pourrait

apparaître entre les pays qui disposent de vastes étendues de terres arables, et qui, par conséquent, exporteront probablement de la biomasse ou des dérivés densifiés, et les pays qui disposent de moins de terres arables » (*ibid.*).

L'Afrique, en particulier, dispose de grandes opportunités économiques, mais elle se heurte à plusieurs difficultés :

« La faiblesse de la productivité agricole qui tient à des pratiques agricoles sous-optimales : manque d'engrais, protection insuffisante des cultures, lacunes dans l'éducation et le savoir-faire des travailleurs agricoles, insuffisance de l'irrigation et domination de l'agriculture de subsistance pratiquée par les petits exploitants » (*ibid.*).

Ou, pour parler plus clairement, si elle veut approvisionner les bioraffineries en matière première, l'Afrique doit au préalable affaiblir les droits fonciers des paysans afin de remplacer leurs systèmes agricoles par des plantations agro-industrielles grandes consommatrices de produits chimiques. Ce facteur politico-économique limite les perspectives de durabilité environnementale et les moyens de subsistance locaux, comme l'illustrent, dans la section suivante, les pressions qui pèsent sur les ressources.

2. Accroître la demande et la pollution de l'eau ?

Outre les changements dommageables qu'elle peut entraîner dans l'utilisation des terres, la production de biocarburants utilise et pollue déjà d'importants flux hydrographiques, compromettant ainsi d'autres utilisations des terres. Ce constat a suscité un débat sur les conséquences d'une augmentation de la transformation de biomasse comme substitut au pétrole. Concernant la bioénergie en général, un rapport du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a insisté

sur cet aspect, dont les répercussions sont étendues : « La plupart des craintes énoncées dans ce rapport ne sont pas propres à la bioénergie. Ce sont des exemples de problèmes systémiques plus vastes qui se posent dans l'agriculture, l'industrie, l'utilisation des terres et la gestion des ressources naturelles » (PNUE *et al.*, 2011).

Les biocarburants consomment beaucoup plus d'eau que les combustibles fossiles, en particulier lorsque la matière première est issue de cultures irriguées (*ibid.*) :

« [...] les biocarburants consomment nettement plus d'eau que les autres sources énergétiques. L'ampleur de ces besoins en eau risque d'exercer des pressions considérables sur les ressources hydriques disponibles. De même, on ne s'est guère penché sur les opportunités que la bioénergie pourrait offrir pour l'adaptation aux contraintes hydriques. On pourrait cultiver de nouvelles espèces résistantes à la sécheresse, qui serviraient de matière première pour la fabrication de biocarburants, et les intégrer à la production alimentaire et forestière de manière à améliorer la gestion globale des ressources [...] » (PNUE *et al.*, 2011).

Ce rapport préconise également de privilégier les cultures pluviales sur des terres marginales, ou de passer de cultures arables à la culture de plantes pérennes ligneuses (*ibid.*). Il ne fait pas mention des mesures susceptibles d'encourager ces pratiques par rapport à d'autres pratiques plus rentables, comme la mise en culture et l'industrialisation des terres les plus fertiles, le défrichement des forêts ou leur transformation en plantations, ce qui maximisera la production de cultures commerciales.

En outre, le terme « marginal » est trompeur, car il occulte le rôle important de la terre et de ses ressources pour les populations locales :

« Un espace peut être considéré comme de la prairie et, par conséquent, comme marginal, alors qu'il peut s'inscrire dans les pratiques saisonnières traditionnelles des éleveurs, ou servir de zone tampon. Il peut avoir une signification culturelle ou écologique particulière... [Cependant] les classifications de l'utilisation des sols établies par l'État (« terres marginales », « terres inoccupées », etc.) sont devenues les concepts clés des processus de développement, qu'ils correspondent ou non à la réalité » (Borras, Franco, 2012).

Outre les utilisations ou les significations concurrentes des terres, la culture de la biomasse et sa transformation pèsent lourdement sur les ressources naturelles.

Par exemple, les raffineries qui produisent du biocarburant à partir du maïs rejettent 13 litres d'eaux usées pour un litre d'éthanol. L'azote utilisé comme engrais (actuellement 45 millions de tonnes par an) a non seulement multiplié par deux le flux d'azote par rapport à son cycle naturel, mais il s'évapore aussi, en particulier dans l'agriculture tropicale, sous forme de protoxyde d'azote (N_2O), un gaz à effet de serre 300 fois plus nocif que le CO_2 . L'eau sert non seulement à l'agriculture, mais aussi à diverses autres activités, telles que le raffinage, le traitement de l'eau et des eaux usées, les réseaux de distribution, etc. (Spangenberg, Settele, 2009).

Au stade de la culture, l'approvisionnement en eau reste un problème grave, même pour les plantes C4 (maïs, plantes herbacées, canne à sucre ou sorgho) au métabolisme plus efficace et plus rapide. Ces plantes sont principalement cultivées dans les régions tropicales. Leur température de croissance optimale se situe entre 30 et 45° C, contre 15-25° C pour les plantes C3. Néanmoins, pour produire 1 kilogramme de biomasse sèche, les plantes C4 ont besoin de 230-250 litres d'eau, qui peut provenir des précipitations,

des eaux souterraines ou de l'irrigation. Les plantes C3, qui représentent l'essentiel des cultures, ont besoin de 2 à 3 fois plus d'eau. (Ces deux catégories de plantes convertissent le CO₂ par des voies enzymatiques différentes.) Dans les deux cas, une molécule d'eau est consommée pour chaque molécule de dioxyde de carbone fixée. Selon les détracteurs de cette technique, « si l'on veut que ces plantes à haut rendement réalisent leur potentiel, il faut une agriculture ou une foresterie intensives, à grande échelle et essentiellement monoculture (Spangenberg, Settele, 2009).

Certains biocarburants s'accompagnent de coproduits, qui sont susceptibles de procurer des avantages économiques (revenu supplémentaire) et des retombées positives pour l'environnement (remplacement des produits pétroliers). Pour calculer la « consommation d'eau évitée », le rapport du PNUE suppose, de façon optimiste, que les coproduits se substituent toujours à une autre production (PNUE *et al.*, 2011), alors qu'il est plus probable qu'ils la complètent, et élargissent ainsi les marchés mondiaux.

Quoiqu'il en soit, le processus de transformation pollue l'eau :

« *Les principales sources de pollution sont clairement liées à l'utilisation de pesticides et d'engrais, mais aussi à certains coproduits (comme la vinasse) issus de la filière industrielle de certaines matières premières. Ces coproduits ont une incidence sur la qualité de l'eau, qui est déterminée par plusieurs facteurs naturels, ainsi que sur la gravité des incidences et de leurs effets, notamment indirects et cumulatifs* » (*ibid.*).

En outre, la culture et la transformation de la biomasse dégradent les réserves hydriques. Pour la production de bioéthanol au Brésil, la transformation de la canne à sucre crée des problèmes

environnementaux (eutrophisation des ressources hydriques par les eaux usées, par exemple). Chaque litre d'éthanol génère 12 litres de *bagasse* (aussi appelée *vinasse*), ainsi qu'un fluide acide rouge dans les eaux usées, dont le retraitement nécessite beaucoup d'oxygène. En outre, l'incinération du résidu fibreux de la canne à sucre pollue l'air. Les dommages ne se limitent pas aux plantations : dégradation des zones humides, des cours d'eau, des fleuves et des réservoirs sous l'effet de la vase et des sédiments chargés en produits chimiques polluants (Martinelli, Filoso, 2008).

Si les bioraffineries permettent à des matières premières non comestibles de remplacer les intrants alimentaires, les ressources seront-elles moins sollicitées ? D'après un rapport consacré aux pays du Sud, l'approvisionnement en eau douce constitue un problème croissant. C'est pourquoi il faut accorder la priorité aux « sources de matière première que sont les résidus agricoles et forestiers qui n'ont pas besoin d'irrigation ». Et le fait d'enlever des résidus primaires, comme la paille, risque de soustraire des nutriments du sol, ce qu'il faudra compenser par des engrains synthétiques si l'on veut éviter une baisse de productivité » (AIE, 2010, p. 14). Quelle que soit la matière première envisagée, les problèmes de limitation des ressources et les facteurs qui dégradent l'environnement demeurent.

Les deux sections qui suivent s'intéressent à l'apparition des questions de durabilité dans les débats sur les futures bioraffineries aux États-Unis et dans l'Union européenne. Les États-Unis se sont concentrés sur une utilisation plus efficiente de la biomasse domestique afin de moins dépendre du pétrole. L'Union européenne, dont l'ambition est plus vaste, cherche, quant à elle, à faire de la biomasse un intrant plus flexible destiné à l'industrie.

Le débat sur les futures bioraffineries aux États-Unis

Au nom de leur indépendance énergétique, les États-Unis ont mis en place diverses mesures pour promouvoir le bioéthanol issu du maïs : normes sur les carburants renouvelables, crédits d'impôts, prêts, droits de douane sur l'importation d'éthanol, etc.

Néanmoins, le bioéthanol de maïs est largement controversé car jugé non durable à la fois sur le plan financier et environnemental. Ces critiques ont encouragé une certaine conception des bioraffineries : grâce au progrès technoscientifique, on pourrait transformer avec davantage d'efficience les matières premières lignocellulosiques, éviter la concurrence avec la biomasse alimentaire et disposer d'une méthode de production de biocarburants offrant un meilleur rapport coût-efficacité (Congressional Budget Office, 2010). De plus, dans cette conception, le coproduit du bioraffinage (les drêches ou, en anglais, les *Distillers Dried Grains with Solubles* – DDGS) pourraient constituer un substitut pour l'alimentation animale conventionnelle, laquelle repose traditionnellement sur des céréales nécessitant l'utilisation de combustibles fossiles. Afin de moins dépendre du pétrole, les États-Unis envisagent donc des usages plus efficents de leur biomasse, grâce aux innovations dans la bioraffinerie. La présente section analyse les hypothèses sur lesquelles repose cette conception, ainsi que les facteurs et les effets sur la durabilité.

1. Un substitut sans danger au pétrole ?

Les premières discussions entre experts ont préfiguré les débats sur une future bioéconomie. Lorsque la Guerre froide a pris fin, l'agenda relatif à la « sécurité » s'est élargi aux conflits sur les ressources naturelles, et en particulier aux importations de pétrole. Selon un ancien directeur de la CIA, une bioéconomie réduirait la facture

des importations et améliorerait la sécurité énergétique : une approche rationnelle consiste à passer à des biocarburants issus de matières produites localement, dont la biomasse cellulosique (NABC, 2000). Tout en admettant que cette orientation pourrait être bénéfique, le défenseur des droits des consommateurs Ralph Nader a averti que toute technologie pourrait servir à concentrer le pouvoir ; les agriculteurs risqueraient donc encore plus d'être prisonniers de dispositifs contractuels leur laissant peu de marge de négociation (NABC, 2000).

Pour concrétiser leur projet de carburants cellulosiques, les États-Unis financent la R&D sur une nouvelle génération de bioraffineries. En vertu de son mandat énoncé dans la loi de 2005 sur la politique énergétique (*Energy Policy Act*), le ministère de l'Énergie (DoE) a décaissé des fonds pour plusieurs composantes et choix technologiques, tout particulièrement pour le bioéthanol cellulosique, étant donné l'abondance des déchets de cellulose d'origine agricole. Une conversion plus efficiente de la cellulose permet une intégration horizontale : « Une fusion solide de l'agriculture, des biotechnologies industrielles et du secteur de l'énergie peut créer de nouvelles capacités stratégiques nationales, au profit de l'indépendance énergétique et de la protection du climat » (DoE, 2006). La recherche s'intéresse notamment à la génomique, qui améliorera les caractéristiques et le rendement de la biomasse, ou sa durabilité, ainsi qu'aux nouveaux systèmes microbiens qui peuvent accroître l'efficience de la bioconversion et, donc, abaisser le coût des biocarburants (DoE, sans date).

La loi de 2007 sur l'indépendance et la sécurité énergétiques (*Energy Independence and Security Act*), qui impose que 16 milliards de gallons [environ 60 milliards de litres] de carburants destinés au secteur des transports proviennent de biocarburants cellulosiques à l'horizon

2022 aux États-Unis, a insufflé un élan supplémentaire à ces activités de R&D. Cette exigence était censée favoriser le dépôt de brevets sur des biocarburants cellulaires, et surtout sur le biogazole (Kamis, Joshi, 2008). En 2009, afin d'encourager ces innovations, les pouvoirs publics ont annoncé que 800 millions de dollars seraient consacrés au soutien à la recherche sur les biocarburants de deuxième génération issus de cultures non alimentaires, telles que des herbacées ou des algues, et 1,1 milliard de dollars supplémentaires au développement commercial, notamment aux bioraffineries et à l'infrastructure requise. Le pays a continué de subventionner toutes les sources de biomasse : en 2013, les producteurs de biomasse ont reçu au total 629 millions de dollars d'aides, dont 332 millions de financements publics directs, 46 millions d'allégements fiscaux et 251 millions en faveur de la R&D (EIA, 2015). La recherche explore de nombreuses méthodes visant à modifier génétiquement les cultures agricoles pour exploiter leurs interactions avec les bactéries du sol, de façon à améliorer l'extraction de la biomasse sèche tout en limitant le plus possible la perte de nutriments (DoE, 2015).

Même si la R&D se concentre en priorité sur la conversion de la biomasse non alimentaire, l'utilisation même de la biomasse porterait atteinte aux ressources. Lorsqu'en 2006, George W. Bush, alors président des États-Unis, a dénoncé « l'addiction au pétrole » dans son discours sur l'état de l'Union, il a cité le switchgrass (ou panic érigé) comme une solution de long terme, autre que le bioéthanol de maïs. Cette solution a toutefois été critiquée par des ONG et des scientifiques : étant donné que, normalement, le switchgrass permet de piéger le carbone, de préserver la fertilité du sol et de protéger la faune et la flore sauvages dans les zones en jachère, sa récolte à grande échelle pour la fabrication de biocarburants nuirait à ces effets bénéfiques.

Les résidus de cultures, qui retournent généralement au sol après la récolte, constituent une autre source potentielle pour les biocarburants de demain. Afin qu'il reste sain, et pour éviter son érosion dans le cas d'une culture « sans labour », le sol doit se reconstituer. Nombreux sont ceux qui estiment que, si les résidus n'étaient pas laissés sur place mais utilisés dans des bioraffineries, ces bienfaits disparaîtraient (voir, par exemple, Tokar, 2010). De même, « si les tiges de maïs ou d'autres résidus agricoles sont enlevés du sol, celui-ci devient plus compact et contient moins de matières organiques recyclées, ce qui l'expose davantage à l'érosion » (Smolker, 2014). Selon la Global Forest Coalition, les résidus de cultures qu'on laisse se décomposer dans les terres agricoles jouent un rôle important dans la régénération et la stabilisation des sols. Leur retrait, même partiel, réduira la teneur des sols en matière organique, modifiera la texture du sol, accroîtra l'érosion, fera diminuer la capacité de rétention de l'eau et entraînera une baisse générale de la productivité, ainsi que la poursuite de la dégradation des terres agricoles (GFC, 2008).

Les besoins en eau pour le processus de production suscitent également une controverse. Des experts américains ont mis en évidence les pressions supplémentaires que la fabrication de biocarburants exerce déjà sur les ressources naturelles, en particulier sur l'eau. S'agissant des biocarburants conventionnels, il faut 4 gallons d'eau [environ 15 litres] pour produire 1 gallon [près de 4 litres] d'éthanol, c'est-à-dire bien plus que pour transformer des hydrocarbures. De surcroît, « à plus long terme, l'expansion probable de la production de biocarburants cellulaires risque d'accroître encore la demande en eau dans de nombreuses régions des États-Unis », malgré la difficulté des prévisions dans ce domaine, indique un rapport d'experts (NAS, 2007). Pour remplacer ne serait-ce

qu'un quart de l'essence consommée aux États-Unis, « même l'éthanol cellulosique nécessiterait d'utiliser 146 gallons d'eau [plus de 550 litres] par gallon et 35 % des terres cultivées [des États-Unis] » (Geis, 2010).

Les industriels entendent intensifier l'exploitation forestière pour récolter la biomasse. Dans cet objectif, il faut transformer les forêts en plantations monoculture, tout particulièrement dans le Sud-Est des États-Unis, qui exporte déjà de gros volumes de plaquettes vers l'Europe. Les industriels cherchent aussi à obtenir davantage de biomasse *via* des « opérations d'éclaircie et de restauration », surtout dans l'Ouest du pays.

Les forestiers américains ont critiqué ces projets : « l'utilisation de la bioénergie [...] et les espèces envahissantes affecteront sensiblement la nature des forêts du Sud entre 2010 et 2060 [...] 23 millions d'acres devraient décliner ». Ils anticipent une baisse des ressources hydriques disponibles, qui se traduira par des incendies de forêt plus fréquents et plus graves (USFS, 2011). L'eucalyptus génétiquement modifié (GM) par ArborGen a fait l'objet de tests *in situ* dans le Sud-Est des États-Unis et attend son autorisation de commercialisation. Cependant, d'après les prévisions de l'U.S. Forest Service, les plantations d'eucalyptus auraient besoin de deux fois plus d'eau que les forêts indigènes, et elles réduiraient le débit des cours d'eau de plus de 20 % par comparaison avec les plantations de pins actuelles (USDA, Final Environmental Assessment, 2010).

Étant donné que les arbres classiques étaient déjà à l'origine de problèmes environnementaux, la perspective de plantations d'eucalyptus GM a encore avivé la controverse :

« Nous nous inquiétons aussi des impacts potentiels des plantations d'eucalyptus sur d'autres processus écosystémiques,

notamment du risque d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des incendies. Les feuilles de l'eucalyptus produisent de grandes quantités d'huiles volatiles [...] exposant par conséquent les plantations denses d'eucalyptus à des incendies catastrophiques. Les eucalyptus auront pour effet d'amenuiser les nappes phréatiques et de réduire l'humidité du sol [...] d'où un risque accru de départ de feu » (Georgia Department of Natural Resources, 2010).

Selon l'Union of Concerned Scientists (un groupe indépendant composé de scientifiques et de citoyens qui cherchent des solutions face au réchauffement planétaire), les nouveaux biocarburants pourraient amplifier les dommages actuels qui sont imputables aux biocarburants de première génération, tout particulièrement en épuisant les ressources hydriques et le sol :

« À mesure que la production de biocarburants cellulosiques se développe, atteignant plusieurs milliards de gallons par an, la demande de matières premières, telles que les cultures énergétiques, entraînera de plus en plus en concurrence avec la production de denrées destinées à l'alimentation humaine et animale pour obtenir des ressources agricoles rares comme les terres fertiles, l'eau et les nutriments » (Martin, 2010).

Les effets environnementaux bénéfiques dépendent donc d'hypothèses optimistes concernant une expansion bien ciblée.

En 2014, la première bioraffinerie des États-Unis a commencé à produire des biocarburants cellulosiques à partir de tiges de maïs. Nombreux sont ceux qui ont salué la baisse de la consommation de pétrole, parmi eux l'Union of Concerned Scientists (Martin, 2014). Néanmoins, ces biocarburants émettent 7 % de dioxyde de carbone (CO₂) de plus que le pétrole auquel ils sont censés se substituer, notamment en abaissant la teneur du sol en carbone organique,

d'après une étude de modélisation financée sur des fonds publics (Liska *et al.*, 2014). Et s'ils sont complémentaires du pétrole, ce qui renforce le système de transports actuel, ce déséquilibre au niveau des GES s'accentue. D'aucuns affirment que c'est « l'antithèse des modèles reposant sur une relocalisation et une diminution de la production, que les militants de base jugent fondamentaux » pour un avenir meilleur (Smolker, 2013, p. 523). Le montant de la subvention publique a été relevé : conformément à la loi de 2013 sur la relance économique et le réinvestissement (*American Recovery and Reinvestment Act*), le total des aides qui avaient initialement financé 19 projets de bioraffineries a été porté à 564 millions de dollars, lesquels s'ajoutent à 700 millions d'investissements privés, là encore au nom d'une plus grande indépendance énergétique.

2. Un substitut sans danger à l'alimentation animale ?

Première matière première à avoir été utilisée dans les bioraffineries, le maïs destiné à la fabrication de bioéthanol offre un coproduit, les drêches (DDGS). Les drêches peuvent être brûlées pour générer de l'énergie, ou utilisées en nutrition animale, et sont considérées comme un substitut sans danger à la culture de la graine de soja qui recourt, elle, à des combustibles fossiles. Leur valorisation est encouragée en tant qu'amélioration de l'éco-efficience : « les DDGS pourraient même remplacer un aliment riche en protéines tel que le soja, en accroissant de 20 % l'efficience de l'utilisation des terres par rapport à l'alimentation animale traditionnelle » (Forum économique mondial, 2010). Arguant que les drêches se substituent aux combustibles fossiles, les producteurs américains de bioéthanol ont mis en avant la perspective d'une réduction des émissions de GES, par analogie avec les dispositions de l'Union européenne (CE, 2009).

Aujourd'hui, les drêches font partie intégrante de l'élevage industriel. Depuis plusieurs années, les entreprises agroalimentaires intègrent la chaîne céréales-biocarburants-nutrition animale, tout en recherchant de vastes marchés rentables pour les DDGS. Leurs ventes de drêches représentent environ un cinquième du revenu de l'ensemble des raffineries de bioéthanol aux États-Unis (Moen, 2009). Afin d'optimiser les flux de ressources, les usines de bioéthanol sont implantées près des sites d'élevage. Certaines utilisent du fumier pour produire de l'énergie, puis fournissent des drêches pour l'alimentation animale locale.

Malgré des hypothèses technoptimistes sur le remplacement des intrants, les bovins nourris avec des DDGS génèrent davantage de fumier à forte teneur en azote et en phosphore, ce qui dégage beaucoup de dioxyde d'azote (NO_2) et compromet les efforts visant à limiter les émissions de GES. De plus, après avoir été nourris avec des drêches, nombre de bovins souffrent d'infections dues à la bactérie *E. coli* (Shattuck, 2008). Les drêches renferment une grande quantité de soufre, qui peut provoquer une maladie neurologique dans les élevages. Difficiles à digérer par le bétail, elles causent parfois des troubles gastro-intestinaux, voire une infection à *E. coli* chez l'homme en cas de viande contaminée.

La fabrication de bioéthanol recourt à de multiples substances chimiques, telles que des antibiotiques et des agents antimousses, ainsi qu'à des produits pour le nettoyage des chaudières, dont les résidus finissent par se retrouver dans les drêches. L'emploi de ces substances aggrave un problème déjà ancien : l'élevage génère des bactéries résistantes aux antibiotiques. En 2008, après la découverte, par la Food and Drug Administration (FDA) de traces d'antibiotiques dans des échantillons provenant de raffineries d'éthanol, il est devenu obligatoire d'obtenir une autorisation pour

utiliser des antibiotiques comme « adjuvants alimentaires » dans ces usines. Mais la FDA n'a pas fait appliquer cette règle qu'elle avait elle-même définie, y compris plusieurs années après (Olmstead, 2009, 2012).

Par conséquent, la production de DDGS contribue au risque plus général de dégradation des aliments et de résistance aux antibiotiques, nuisant à leur usage thérapeutique. Ceux qui affirment que l'utilisation des drêches permet de limiter les émissions de GES se fondent sur des hypothèses exagérément optimistes quant à l'utilisation sans danger de ces résidus pour l'alimentation animale, comme si tous les produits d'origine végétale aisément interchangeables. Cependant, malgré des effets délétères et des hypothèses douteuses sur l'innocuité, certains tentent d'utiliser les drêches pour l'alimentation des porcins, des volailles et des animaux de compagnie, et même pour l'alimentation humaine.

Le débat sur les futures bioraffineries dans l'UE

Les programmes de l'UE relatifs à la bioéconomie visent à faciliter l'exploitation de nouvelles opportunités de marché pour des techniques et des produits novateurs, tout en pesant moins sur les ressources. En 2007, lors du Sommet de Cologne, le président du Conseil de l'UE a déclaré : « L'Europe doit prendre dès à présent les mesures nécessaires et allouer les ressources appropriées pour rattraper son retard et se positionner en tête dans la course vers ce que l'on appelle désormais la bioéconomie fondée sur le savoir » (en anglais : *Knowledge-Based Bio-Economy*, ou KBBE) (Présidence allemande du Conseil de l'Europe, 2007). De même, quand la présidence belge du Conseil de l'UE a accueilli une conférence de suivi sur la KBBE, le commissaire de la Direction générale de la recherche a affirmé : « L'Europe dispose aujourd'hui

d'une solide base de recherche en sciences de la vie et en biotechnologies pour soutenir le développement d'une bioéconomie durable et intelligente » (Geoghegan-Quinn, 2010). La présente section examine les hypothèses, les facteurs et les effets de cette conception de la durabilité par l'UE.

1. Intégrer les branches industrielles

En misant sur les bioraffineries pour préserver la durabilité, les branches industrielles aideront la société à « vivre à l'intérieur de ses limites » grâce aux ressources renouvelables et à leur utilisation plus efficiente (Geoghegan-Quinn, 2012). Néanmoins, ce type de conception repousse les limites en se fondant sur des hypothèses technooptimistes sur une corne d'abondance en termes de ressources, comme dans la déclaration faite lors d'une conférence de la présidence de l'UE :

« On pourrait remédier au conflit perçu entre production alimentaire et production non alimentaire pour l'utilisation des terres arables en valorisant les résidus agricoles et forestiers, ainsi que les déchets biodégradables, en sélectionnant des matières premières telles que les algues et d'autres ressources sous-exploitées qui proviennent du milieu aquatique ou marin, et en mettant à profit les technologies et le savoir existants et nouveaux pour accroître le rendement de la biomasse » (DCSR, 2012).

En quête d'une intégration horizontale flexible, l'industrie diversifie les sources et les usages potentiels de la biomasse (www.bio-economy.net). Principal moyen d'extraction et de recomposition de substances valorisables grâce à une bioraffinerie, les biotechnologies offrent la possibilité d'améliorer considérablement l'efficience de la production et la composition des cultures, et d'obtenir des matières premières mieux adaptées aux besoins industriels (EPOBIO, 2006). En accroissant la décomposabilité de la biomasse, ce

concept met en relation de grandes industries agricoles (semences, engrais, pesticides, produits de base et biotechnologies, par exemple) avec le secteur de l'énergie, et notamment avec les industries pétrolière, électrique et automobile. Pour élaborer des agendas de R&D, la Commission européenne a dans un premier temps financé diverses plateformes technologiques, pour les biocarburants, les végétaux, l'alimentation humaine, la nutrition animale, etc.

Ayant incité en amont l'UE à financer la R&D sur les bioraffineries, les biocarburants de deuxième génération devaient contribuer « à stimuler l'innovation et à maintenir la position concurrentielle de l'Europe dans le secteur des sources d'énergie renouvelables », selon la Commission européenne (CCE, 2007). Du point de vue de la Commission, « des mécanismes à long terme reposant sur le marché aideraient à réaliser des économies d'échelle et à encourager l'investissement dans les technologies de deuxième génération qui pourraient offrir un meilleur rapport coût-efficacité » (CCE, 2006).

Les agendas de R&D privilégient la technologie de conversion de la biomasse en carburant liquide, pour plusieurs raisons. Cette approche a pour effet de créer des liens avec d'autres industries et marchés d'exportation, ainsi qu'un socle potentiel qui permettra de multiplier les chaînes de valeur. De plus, elle prend en compte l'infrastructure de transport existante, laquelle est asservie aux technologies utilisant des carburants liquides, selon l'EBTP (EBTP, 2008). Dans la même logique, l'industrie automobile s'intéresse à ce que l'on appelle les carburants « drop-in » pour remplacer le carburant liquide sans modifier l'infrastructure actuelle, ce qui, à l'avenir, pourrait limiter l'accroissement de la demande de pétrole (Levidow *et al.*, 2013b).

Au-delà des biocarburants, l'EBTP élabore des stratégies destinées à optimiser les produits valorisables issus d'intrants

nouveaux. Elle réclame des financements pour « développer de nouvelles variétés d'arbres et d'autres espèces végétales sélectionnées comme sources d'énergie et/ou de fibres, notamment des plantations liées à des bioraffineries ». Pour l'élaboration de biocarburants avancés, une bioraffinerie requiert « une capacité à transformer un large éventail de matières premières durables, tout en assurant un processus efficient en énergie et en carbone, ainsi qu'une sélectivité qui vise à obtenir des produits à plus forte valeur ajoutée », par exemple des substances chimiques de spécialité provenant d'intrants de nouvelle génération (EBTP, 2008). Ces agendas de R&D incitent à réorienter l'utilisation des terres au profit de plantations agroindustrielles et facilitent cette stratégie.

Projet encore plus ambitieux, la « bioraffinerie intégrée et diversifiée » a pour finalité de diversifier les intrants et les extrants, en particulier grâce à des enzymes et des méthodes de transformation nouvelles, ce qui générera divers sous-produits, dont des biocarburants :

« [...] la bioraffinerie intégrée et diversifiée – un ensemble intégré d'industries recourant à différentes technologies pour produire des substances chimiques, des matières, des biocarburants et de l'électricité à partir de la biomasse d'origine agricole – jouera demain un rôle essentiel. Et même si les sources renouvelables actuelles sont, en général, le bois, l'amidon et le sucre, on pourrait à l'avenir convertir des sous-produits plus complexes tels que la paille, voire des résidus agricoles et des déchets ménagers, pour obtenir une vaste palette de produits finis, notamment des biocarburants » (EuropaBio, 2007).

Il faut pour cela que l'agriculture soit horizontalement intégrée avec les industries du pétrole, de la chimie et des transports, ce qui optimisera la valeur marchande des ressources et de la propriété

intellectuelle. On pourrait ajuster les intrants et les extrants de manière flexible, en fonction d'un avantage temporaire sur le marché, de façon à intensifier la concurrence entre fournisseurs et de renforcer les systèmes d'agri-production.

Pour reprendre l'analogie avec le puits de pétrole, on peut considérer que « de nouveaux projets sont en cours pour transformer la biomasse en "bio-brut liquide", qui pourra ensuite être raffiné, mis en œuvre pour produire de l'énergie, ou envoyé vers un gazéificateur (Biofrac, 2006). Cette analogie rend naturelles l'utilisation et la modification génétique des végétaux pour la production de substituts fonctionnels aux combustibles fossiles, et, partant, pour l'intégration horizontale de l'agriculture avec d'autres industries. Le problème de la durabilité devient une question technique qui concerne l'accès aux ressources renouvelables et l'optimisation de ces ressources, à savoir la biomasse décomposable.

Selon le dispositif qui a précédé l'EBTP, en 2020 :

« Les bioraffineries intégrées qui coproduiront des substances chimiques, des biocarburants et d'autres formes d'énergie seront pleinement opérationnelles. Elles se caractériseront, au niveau de la fabrication, par une intégration efficiente des diverses étapes, depuis la manutention, et la transformation de la biomasse jusqu'à la valorisation et la purification du produit, en passant par la fermentation dans les bioréacteurs et à la transformation chimique » (Biofrac, 2006).

Les possibilités offertes par les carburants lignocellulosiques de deuxième génération montrent comment les opportunités de marché influent sur les problèmes techniques. En effet, la lignine qui compose les parois cellulaires végétales empêche leur dégradation, limitant l'emploi de l'intégralité de la plante comme source de biomasse pour divers usages, tels que la

production d'énergie. Dans l'agriculture, dans l'industrie papetière et dans le secteur des biocarburants, « la lignine est considérée comme un polymère indésirable » (EPOBIO, 2006) et doit donc être modifiée génétiquement. Cependant, des ONG ont lancé un avertissement : « Étant donné le rôle central que joue la lignine dans la résistance aux insectes et aux maladies, on a constaté à ce jour que les espèces expérimentales de végétaux à faible teneur en lignine étaient très vulnérables à diverses maladies fongiques » (GFC, 2008).

Certains experts doutent que la biomasse soit une solution générale à tous les problèmes de durabilité. D'après un rapport d'experts destiné au ministère britannique chargé de l'énergie et de l'action climatique, si les biocarburants de deuxième génération deviennent une réalité, leur production « pourrait amener les différents secteurs à se faire concurrence pour disposer des matières premières nécessaires » (AEA, 2011). Il se peut donc que les futurs biocarburants ne puissent pas remédier à la concurrence intersectorielle sur la biomasse et, partant, au manque de ressources.

2. Subventionner le déploiement à plus grande échelle

Des fonds substantiels ont été alloués aux programmes de R&D axés sur les biocarburants nouveaux au titre du 7^e Programme-cadre de l'UE, dans le contexte des programmes de travail sur l'énergie et l'agriculture. Informée des priorités du secteur, l'UE a financé un appel à propositions conjoint sur les « bioraffineries durables », en mettant initialement à disposition 80 millions d'euros de subventions au total. Le programme général poursuit plusieurs objectifs : « améliorer le rendement énergétique, notamment en rationalisant l'utilisation et le stockage de l'énergie, relever les défis urgents de la sécurité d'approvisionnement et des changements

climatiques, tout en améliorant la compétitivité des industries européennes » (DG Recherche/Énergie, 2006).

Ainsi, les énergies renouvelables sont présentées comme un moyen de relier efficacement l'agriculture à l'énergie pour créer du savoir breveté au sein des chaînes de valeur mondiales. La Commission a également proposé un vaste programme de dépenses au titre de « l'initiative européenne pour les bioénergies durables », favorisant également les processus relatifs aux carburants liquides au sein de bioraffineries diversifiées (CCE, 2009).

Pour justifier l'attribution de davantage de financements publics, on avance qu'une bioraffinerie diversifiée efficace est tributaire des subventions publiques accordées aux installations de recherche, développement et démonstration (R&D&D). Ainsi, selon la plate-forme européenne pour la technologie des biocarburants, l'investissement requis est trop lourd et commercialement trop risqué pour le secteur privé, et il faut donc disposer de davantage de fonds publics pour couvrir les risques. Pour en tester la viabilité commerciale, il est en effet nécessaire de procéder à un coûteux déploiement à plus grande échelle : « Avec un budget estimé à 8 milliards d'euros sur 10 ans, 15 à 20 sites de démonstration et/ou de référence pourraient être financés » (EBTP, 2010).

Cette conception a justifié l'attribution de 4,7 milliards d'euros à la bioéconomie au titre d'Horizon 2020, le cadre de recherche de l'EU pour 2014-2020, ainsi que l'emploi de fonds initialement destinés à un autre usage. « On pourrait aussi utiliser diverses sources de financement, y compris les investissements privés, les fonds de développement rural ou de cohésion de l'UE, pour promouvoir le développement de chaînes et d'installations d'approvisionnement durables » (CCE, 2012). Rien que pour la première année, le budget de R&D consacré aux biocarburants novateurs s'est chiffré à 93 millions d'euros. Une

nouvelle initiative technologique conjointe pour Bio-Based Industries (BBI) est dotée d'un budget de 3,8 milliards d'euros, sur lesquels 1 milliard proviennent du budget Horizon 2020 et le reste de partenaires industriels (BBI Consortium, 2014). Une proportion non négligeable de ce budget a été allouée aux bioraffineries, qui visent à créer de nouvelles chaînes de valeur reposant sur le développement de systèmes durables de collecte et de fourniture de biomasse présentant une productivité accrue, et sur une utilisation améliorée de la matière première de biomasse (y compris les coproduits et les sous-produits), tout en ouvrant la voie à l'utilisation et à la valorisation des déchets et de la biomasse lignocellulosique (BBI Consortium, 2013).

Peut-on espérer que l'innovation dans la bioraffinerie aidera l'Europe à « vivre à l'intérieur de ses limites » ? (Geoghegan-Quinn, 2012). Même si la R&D européenne dans la bioraffinerie a exploré plusieurs possibilités, certaines sont d'ores et déjà dominantes. Elles décomposent la biomasse davantage que les autres, et donc consomment plus d'énergie et d'eau, et produisent plus de polluants que d'autres approches potentielles. Cette trajectoire privilégie le carbone renouvelable plutôt qu'une économie sobre en carbone (Nieddu *et al.*, 2012). La recherche de substituts identiques ou fonctionnels, « stratégie destinée à préserver l'industrie chimique existante », constitue une grande motivation (*ibid.*).

Certains émettent également des doutes sur l'efficacité énergétique des bioraffineries à grande échelle. Moins l'effort de collecte et de transport de la matière première est important, plus le rendement énergétique sur les intrants ou l'investissement énergétique (ratio appelé retour sur investissement énergétique, RSIE) est élevé. Dans la pratique, l'augmentation du RSIE contrecarre les avantages économiques que procurent les économies d'échelle aux opérateurs (Spangenberg, Settele, 2009).

Certaines ONG accusent la Commission d'opter pour des programmes de recherche, par exemple sur les biotechnologies agricoles, les arbres génétiquement modifiés et les techniques de conversion, qui favorisent des intérêts privés. Leurs détracteurs craignent que ces programmes n'encouragent une expansion nocive des monocultures : « En Amérique latine, la promotion de la production d'agrocarburant destiné au marché européen devrait déboucher sur une nouvelle expansion des monocultures, détruire des habitats naturels et faire disparaître les systèmes d'exploitation agraire à petite échelle » (CEO, 2009).

Techno-fixes : analyses critiques

Les enjeux de la durabilité d'une bioéconomie future telle qu'esquissée plus haut s'accompagnent de divergences sur la définition des problèmes et la conception de l'avenir. Il est possible de les éclairer en reliant plusieurs aspects critiques : les imaginaires sociotechniques, le *techno-fix* comme mécanisme performatif, l'effet rebond et l'accumulation de capital par la dépossession. Ces aspects aident à identifier et à remettre en question des hypothèses sociopolitiques qui entourent la question des bioraffineries.

Lors du diagnostic des problèmes sociaux, les descriptions comportent des visions de l'avenir qui peuvent être analysées comme des imaginaires, « des représentations de la manière dont les choses pourraient ou devraient être ». Ces imaginaires peuvent être institutionnalisés et routinisés comme des réseaux de pratiques (Fairclough, 2010). Dès lors, un imaginaire préfigure une nouvelle réalité potentielle, incluant un objectif et une stratégie pour l'opérationnaliser (*ibid.*).

En tant que concept théorique des études des sciences et technologies (STS), les « imaginaires sociotechniques » sont « des formes imaginées collectivement de vie sociale et d'ordre social qui se reflètent

dans la conception et la concrétisation des projets scientifiques et/ou technologiques propres aux nations » (Jasanoff, Kim, 2009). Ces imaginaires décrivent des futurs possibles ou prescrivent des futurs que les États estiment souhaitables. Ce concept permet d'analyser comment « les projets nationaux de sciences et technologies encodent et renforcent des conceptions particulières de ce qu'une nation entend représenter » (*ibid.*).

Un imaginaire sociotechnique recouvre plusieurs aspects : les objectifs des sciences et technologies (S&T), le bien public à procurer, la participation au pilotage, les moyens employés ainsi que les moyens d'apaiser les controverses sur le rythme et l'orientation de la R&D. Les imaginaires sociotechniques sous-tendent et motivent ainsi l'action publique. Ces politiques mettent en balance les conceptions nationales spécifiques des avenirs souhaitables inspirées par la science et la technologie, d'une part, et la crainte de ne pas voir ces avenirs se concrétiser ou de compromettre involontairement la quête du progrès technologique, d'autre part. Les politiques de S&T offrent donc des occasions uniques d'explorer le rôle de la culture et des pratiques politiques dans la stabilisation d'imaginaires donnés, ainsi que les ressources qu'il faut mobiliser pour représenter les trajectoires technologiques comme servant « l'intérêt national » (*ibid.*).

S'agissant des bioraffineries de demain, les imaginaires sociotechniques envisagent des manières de réduire les émissions de GES. Alors que la controverse fait rage sur leur capacité à faire reculer les émissions de GES, les biocarburants conventionnels ont été présentés comme des carburants de transition vers les biocarburants de deuxième génération. Ce *techno-fix* suscite à son tour des doutes et des critiques, mais pas encore de polémique très médiatisée.

Ces questions ne sont pas abordées sous le même angle de l'autre côté de

l'Atlantique. L'imaginaire des États-Unis s'appesantit davantage sur les manières de développer et d'utiliser la biomasse afin d'atténuer la dépendance vis-à-vis du pétrole, surtout grâce aux biocarburants de la deuxième génération. Dans ce pays, le débat se concentre sur les conséquences pour la viabilité environnementale surtout pour les États-Unis eux-mêmes. Nourrissant de plus grandes ambitions, l'imaginaire de l'UE entend faire de la biomasse un intrant plus flexible à utiliser à différentes fins : pour remplacer le pétrole, alléger la consommation de ressources, intégrer les secteurs industriels et acquérir de la propriété intellectuelle. Pour la réalisation de ces objectifs, des technologies convergentes favorisent la décomposabilité de la biomasse afin d'aboutir à une flexibilité accrue qui permettra d'étendre les chaînes de valeur mondiales (Levidow *et al.*, 2012). Le débat au sein de l'UE couvre le vaste éventail des avantages sociétaux putatifs. Certaines ONG se demandent si le programme de bioraffinerie sert le bien public ou les intérêts du secteur privé, en particulier dans les pays du Sud, qui seraient de gros pourvoyeurs de biomasse.

Ce type de doutes a des précédents dans le passé. La plupart des solutions technologiques aux problèmes sociétaux se sont révélées inefficaces à cet égard, voire ont fait plus de mal que de bien, surtout par l'intermédiaire de la croissance économique (Huesemann, Huesemann, 2011). Les *techno-fixes* et la croissance ont souvent été complémentaires dans leur prétention à accroître l'efficience, accusant ainsi l'inefficience de coûter cher en ressources. Pourtant, ce concept tire toujours sa signification d'objectifs politico-économiques spécifiques et ne peut donc pas expliquer les difficultés ni les évolutions dans l'utilisation des ressources. En promettant l'efficacité dans l'usage des ressources, un *techno-fix* peut ainsi jouer un rôle autoréalisateur : il installe, facilite et fait passer

pour évidente une trajectoire de développement spécifique, que les attentes initiales soient satisfaites ou non.

Son rôle performatif fait apparaître la croissance de la demande sur le marché comme une évidence tout en faisant obstacle aux autres trajectoires sociétales. À l'ère néolibérale, l'extension des marchés est liée à la solution technologique, laquelle « compte sur la force contraignante de la compétition ». « Cette incitation est désormais si profondément ancrée dans le sens commun entrepreneurial qu'elle devient une croyance-fétiche : l'idée selon laquelle il existerait une solution technologique à tout problème possible et imaginable » (Harvey, 2005).

Pendant longtemps, on pensait que le progrès technoscientifique atténuerait les pressions pesant sur les ressources naturelles. On impute souvent les pénuries alimentaires, la destruction de l'environnement et le déboisement à la faiblesse de la productivité, comme s'il s'agissait pour l'essentiel de problèmes techniques. Or c'est souvent une relation de cause à effet inverse qui prévaut : les progrès technologiques facilitent l'intensification de l'utilisation des sols, parfois au point d'aboutir à un déboisement à grande échelle (Hecht, 2007 ; voir également Angleson, Kaimowitz, 2001).

L'exemple du déboisement illustre ce qui semble constituer un paradoxe, et qui ne date pas d'hier. Avec chaque avancée technologique qui accroît l'efficience, les anticipations optimistes confondent deux effets différents : l'efficience accrue de la technologie réduit la consommation de ressources par unité produite, et cette amélioration abaissa le niveau global d'utilisation des ressources. Cette dernière prévision part du principe que la production répond à une demande finie. Or la croissance économique n'a cessé de contredire cette hypothèse. Par exemple, après que la machine à vapeur de James Watt a amélioré l'efficience des

premiers engins, la consommation de charbon a fait un bond en Angleterre, surtout parce que la machine à vapeur procurait une énergie bon marché à un grand nombre de secteurs. À partir de ce constat, William Stanley Jevons a énoncé une proposition générale selon laquelle l'accroissement de l'efficience technologique dans l'utilisation d'une ressource tend à se traduire par une augmentation de l'utilisation de cette ressource (Jevons, 1866).

Le paradoxe de Jevons sur l'utilisation des ressources n'a cessé de se confirmer. Ce résultat ne semble paradoxal que si l'on considère que la production sert principalement à répondre aux besoins humains, ou du moins à une demande finie. Or l'utilisation des ressources est motivée par des incitations financières à approvisionner des marchés en expansion (Polimeni *et al.*, 2009). De même, des économistes ont étudié l'effet rebond, par lequel une énergie plus efficiente ou de meilleure qualité entraîne souvent un accroissement de la consommation, parfois même au-delà des gains d'efficience, ce qui entre en contradiction avec les objectifs initiaux ou les revendications de préservation des ressources (Sorrell, 2009). Dans le même ordre d'idées, les arbres plus productifs à la fois stimulent la demande et y répondent, et menacent déjà les ressources en eau et la fertilité des sols dans les forêts aux États-Unis. À chaque fois que les bioraffineries abaisseront le coût de la transformation de la matière première non comestible, ce recul du coût incitera probablement à l'expansion des méthodes agro-industrielles, des réseaux d'irrigation et de l'utilisation des ressources hydriques, etc.

Plus fondamentalement, l'appropriation privée de ressources naturelles facilite l'accroissement de leur utilisation. On a célébré les gains d'efficience induits par les innovations technoscientifiques, mais pourtant, ces derniers ont demandé de pilfer des ressources humaines et naturelles,

en particulier dans le secteur de l'agroforesterie. Par ces innovations, les multinationales ont à leur actif une longue histoire de colonisation « d'une multitude de nouveaux espaces qui ne pouvaient jusque-là pas être colonisés faute de technologie ou de droits juridiques » (Paul, Steinbrecher, 2003). Le retrait officiel des droits fonciers traditionnels et/ou leur contournement par la violence a étendu l'accès à la terre. Les incitations proviennent en partie d'innovations éco-efficiennes qui facilitent l' extraction et la transformation des matières premières pour les bioraffineries. C'était vrai hier et ce sera vrai demain.

Plus généralement, l'accumulation de capital dépend de « la marchandisation sans fin de la nature humaine et extra-humaine » (Moore, 2010). Pour poursuivre avec l'exemple de la machine à vapeur décrit par Jevons, son succès « était impensable sans les frontières verticales de l'extraction du charbon et les frontières horizontales de l'expansion coloniale et des colons blancs pendant le long dix-neuvième siècle » (*ibid.*). Des matières premières peu onéreuses ou quasiment gratuites ont été procurées par une main-d'œuvre bon marché, laquelle demeure la source ultime de plus-value. L'innovation technologique à forte intensité capitalistique augmente la composition organique du capital, c'est-à-dire le ratio du travail mort sur le travail vivant. Elle réduit la proportion de travail vivant, ce qui limite tendanciellement la plus-value. Pour surmonter cette limitation, on a généralement augmenté la plus-value en s'appropriant davantage de ressources humaines et naturelles : « d'où la centralité de la frontière de la marchandise dans l'histoire moderne, qui permet la mobilisation rapide, à faible coût (et moyennant une contrainte maximale), des excédents écologiques historiques » (*ibid.*).

On associe volontiers l'industrialisation à l'innovation technologique, comme s'il s'agissait du stimulus essentiel.

« Et pourtant, toute innovation qui fait date a aussi marqué une révolution audacieuse dans l'organisation de l'espace mondial, et pas simplement dans la technique de production. Les réalisations révolutionnaires sont dues autant au pillage qu'à la productivité. Cette dialectique de la productivité et du pillage opère tant qu'il y a des espaces que les nouveaux régimes techniques peuvent piller : énergie bon marché, sols fertiles, riches filons de minerais » (Moore, 2010).

Ainsi, une nouvelle « organisation de l'espace mondial » demeure essentielle pour concrétiser la rentabilité de l'innovation technologique. Par exemple, la sécurité des régimes fonciers en Afrique empêche d'exploiter les opportunités de marchés mondiaux offertes par la fourniture de matière première aux bioraffineries, donc cet obstacle doit être levé (cf. Forum économique mondial, 2010, cité plus haut).

Si l'on suit cette analyse critique des facteurs politico-économiques, une innovation technoscientifique plus éco-efficient requiert un pillage et y incite. Cette caractéristique demeure centrale dans l'accumulation du capital par la dépossession (Harvey, 2003, p. 145). Le lien de causalité peut opérer dans les deux sens : les opportunités et les impératifs de pillage peuvent façonner l'innovation technoscientifique. De plus, les anticipations d'abondance justifient l'action publique, socialisent les coûts et privatisent les bénéfices (Block, Keller, 2011). Le *techno-fix* est un dispositif prometteur qui installe, facilite et fait passer pour évidente une trajectoire de développement précise, sans avoir à rendre de comptes sur ses promesses de bénéfices environnementaux. Ensemble, les analyses exposées ci-dessus aident à remettre en question, voire à contredire, les hypothèses technoscientifiques formulées sur les bioraffineries.

Conclusion : un *techno-fix* pour surmonter la limitation des ressources ?

On a largement vanté les mérites d'une économie éco-efficiente, combinant durabilité environnementale et avantage économique, pour remédier aux limitations des ressources auxquelles se heurte une demande mondiale en augmentation. Une bioraffinerie intégrée et diversifiée traiterait différents types de biomasse non alimentaire, à savoir la paille, les résidus post-récolte laissés dans les champs agricoles et les forêts, les cultures énergétiques exploitées sur des « terres marginales », les bio-déchets, etc. Grâce à la technologie de demain, ces ressources renouvelables pourraient être converties selon des méthodes plus diverses et efficientes. L'intégration horizontale entre les secteurs (énergie, chimie, transports, etc.) permettrait de dégager des synergies pour la sélection et le traitement flexibles des ressources.

Ces solutions putatives presupposent que le problème de durabilité résulte de l'inefficience. Une conception technoscientifique tablant sur l'abondance part du principe que les limitations de ressources s'expliquent principalement par la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles et/ou de la biomasse comestible, conjuguée à l'inefficience des techniques de transformation des autres sources de biomasse. Toutes ces hypothèses ont justifié de prendre des mesures favorisant ou créant des marchés pour les *techno-fixes* futurs. Chacun à sa manière, les États-Unis et l'UE ont élaboré des imaginaires socio-techniques présentant de tels programmes comme servant le bien public.

Les partenariats entre l'État et l'industrie visent des innovations technoscientifiques produisant des substituts aux combustibles fossiles à utiliser avec l'infrastructure actuelle. Ils ont choisi pour grande priorité les carburants « *drop-in* »,

destinés à être des substituts parfaits à l'essence, confortant la place du moteur à combustion interne. La R&D sur la bioraffinerie privilégie les techniques de décomposition de la biomasse, ce qui, là aussi, conforte les schémas actuels.

Ces priorités renforcent les avantages économiques pour le sommet de la chaîne de valeur mondiale (c'est-à-dire les produits à forte valeur ajoutée et le savoir breveté), exposent le bas de la chaîne à une intensification de la concurrence pour la fourniture de biomasse à bon marché, et accentuent les sollicitations des ressources naturelles, en particulier les sols et l'eau. Les incitations sur le marché favorisent la R&D consacrée aux arbres à croissance rapide, grands consommateurs d'eau, dont la culture à grande échelle pousserait plus avant la transformation des forêts en plantations industrielles, dégraderait la qualité de l'eau et agraverait les problèmes de sécheresse. Ainsi, les trajectoires d'innovation dans la bioraffinerie obéissent aux mêmes facteurs que les trajectoires précédentes, qui ont engendré une augmentation de la demande mondiale de denrées alimentaires, d'aliments pour animaux, de carburant, etc.

Leurs effets nocifs ont de nombreux précédents dans le passé :

- Les *techno-fixes* éco-efficients intensifient les problèmes de ressources qu'ils étaient censés résoudre, surtout en raison de l'effet rebond, que l'on appelait autrefois le paradoxe de Jevons.
- L'espace mondial a été réorganisé par la dépossession (accaparement des terres, marchandisation des ressources, main-d'œuvre à bon marché, etc.), qui est indispensable pour qu'une technologie plus efficiente dans sa consommation de ressources devienne rentable.

Ces précédents historiques devraient nous conduire à supposer qu'une transformation de biomasse plus efficiente et

plus flexible renforcera les incitations financières à intensifier l'extraction de ressources, surtout par une industrialisation des systèmes d'agroforesterie. Pour être économiquement viables, ces *techno-fixes* doivent pouvoir s'appuyer sur des ressources moins chères sans en payer le coût sociétal et environnemental. L'amélioration de la durabilité environnementale coïncide avec les intérêts du secteur privé ; ce choix socialise les risques induits par les coûts de R&D, tout en privatisant les bénéfices issus des produits ou de la propriété intellectuelle qui en résultent.

Ainsi, la promesse de durabilité que renferment les bioraffineries éco-efficiennes font apparaître comme des évidences les schémas actuels de production-consommation et l'idée que la hausse de la demande du marché provient de forces objectives extérieures auxquelles il faut répondre. Les *techno-fixes* jouent un rôle performatif dans le renforcement de ces schémas, peu importe si et quand les futures technologies tiennent leurs promesses d'une meilleure efficience dans la consommation des ressources. Ces analyses critiques seront essentielles pour ouvrir le cadre de l'action publique dominant à d'autres types de diagnostics et à d'autres conceptions de l'avenir pour la société. ■

Ces recherches ont en partie été financées par le Septième programme-cadre de l'Union européenne, via la convention de subvention n° 217647, dans le cadre du projet de « Recherche coopérative sur les problèmes environnementaux en Europe » (CREPE), sur la période 2008-10. Je remercie pour leurs commentaires les participants à la session sur les bioraffineries de la conférence de la Société européenne pour l'économie écologique (ESEE), qui s'est tenue en 2014. Je tiens également à remercier les deux relecteurs de la revue, ainsi que Rachel Smolker, pour leurs commentaires utiles sur une version antérieure de la présente contribution.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AEA (2011). *UK and Global Bioenergy Resource – Final report*. Didcot: AEA Technology, report for DECC.
- Agostinho F., Ortega E. (2012). Energetic-environmental assessment of a scenario for Brazilian cellulosic ethanol. *Journal of Cleaner Production*, DOI:10.1016/j.jclepro.2012.05.025
- Angleson A., Kaimowitz D. (2001). *Agricultural Technologies and Deforestation*. London, CAB.
- BBI Consortium (2013). *Strategic Innovation and Research Agenda (SIRA)*, <http://biconsortium.eu>
- BBI Consortium (2014). Bio-Based Industries Joint Undertaking, <http://biconsortium.eu>
- Biofrac (2006). *Biofuels in the European Union: A vision for 2030 and beyond*. Final Report of the Biofuels Research Advisory Council (Biofrac).
- BioMat Net (2006). 1st International Biorefinery Workshop [website defunct].
- Birch K., Calvert K. (2015). Rethinking 'drop-in' biofuels: on the political materialities of bioenergy. *Science & Technology Studies*, vol. 28, n° 1, pp. 52-72.
- Block F., Keller M. R. (2011). *State of Innovation*. Boulder and London: Paradigm Publishers.
- Borras S. M. Jr., Franco J. C. (2012). Global land grabbing and trajectories of agrarian change: a preliminary analysis. *Journal of Agrarian Change*, vol. 12, n° 1, p. 34-59.
- Borras S. M. Jr., Franco J. C., Isakson R., Levidow L., Vervest P. (2015). The rise of flex crops and commodities: Causes, conditions and consequences and their implications for research. *Journal of Peasant Studies*, DOI: 10.1080/03066150.2015.1036417
- Carolan M. (2009). A sociological look at biofuels: ethanol in the early decades of the twentieth century and lessons for today. *Rural Sociology*, vol. 74, n° 1, pp. 86-112.
- CEC (2006). Annex to the communication from the Commission. *An EU strategy for biofuels – Impact assessment*. COM (2006) 34, Brussels, Commission of the European Communities. Commission Staff Working Document, SEC (2006) 142.
- CEC (2007). *Biofuels progress report: Report on the progress made in the use of biofuels and other renewable fuels in the Member States of the European Union*. SEC (2006) 1721.
- CEC (2009). Commission Staff Working Document, A Technology Roadmap for the Communication on Investing in Development of Low-Carbon Technologies (SET-Plan), http://re.jrc.ec.europa.eu/biof/pdf/documents/SEC_2009_1295_Investing_low_carbon_technologies_roadmap.pdf
- CEC (2012). *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*. SWD (2012) 11 final.
- CEO (2009). *Agrofuels and the EU research budget: public funding for private interests*. Brussels, Corporate Europe Observatory, <http://www.corporateeurope.org/agrofuels/content/2009/05/agrofuels-and-eu-research-budget>
- Congressional Budget Office (2010). *Using biofuel tax credits to achieve energy and environmental policy goals*. Washington, DC, Congressional Budget Office.
- Corporate Europe Observatory (2009). *Agrofuels and the EU research budget: Public funding for private interests*. Brussels, Corporate Europe Observatory. <http://www.corporateeurope.org/agrofuels/content/2009/05/agrofuels-and-eu-research-budget>
- DCSR (2012). *Copenhagen Declaration for a Bioeconomy in Action*. Danish Council for Strategic Research, www.eu2012.dk
- DG Research/Energy (2006). *FP7 Theme 5, Energy*. 2007 work programme.
- DG Research/Env (2008). *FP7 Theme 5, Environment*. 2009 work programme.
- EPOBIO (2006). *Products from plants – The biorefinery future. Outputs from the EPOBIO workshop*. Wageningen, May 22-24; Realising the economic potential of sustainable resources: bioproducts from non-food crops (EPOBIO), Final report

- summary, http://cordis.europa.eu/result/rcn/47502_en.html
- EuropaBio (2007). *Biofuels in Europe: EuropaBio position and specific recommendations*. Brussels, European Association for Bioindustries, http://www.europabio.org/Biofuels_EuropaBio_position_Final.pdf.
- EBTP (2008). European Biofuels Technology Platform. *Strategic Research Agenda & Strategy Deployment Document*, CPL Scientific Publishing. http://www.biofuelstp.eu/srasdd/080111_sra_sdd_web_res.pdf.
- EBTP (2010). *Strategic research agenda 2010 update: Innovation driving sustainable biofuels*. July. CPL Scientific Publishing, <http://www.biofuelstp.eu/sra.html>
- EC-US Task Force (2009). EC-US Task Force on Biotechnology Research. *Proceedings of Workshop on Research for Sustainable Bioenergy*, held in February 2008, <http://ec.europa.eu/research/biotechnology/ec-us>
- EC (2009). Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC Renewable Energy Directive. *Official Journal of the European Union*, L 140, pp. 16-62.
- Econexus, Biofuelwatch, Carbon Trade Watch/ Transnational Institute, Corporate Europe Observatory, EcoNexus, Ecoropa, Grupo de Reflexión Rural, Munlochy Vigil, NOAH (Friends of the Earth Denmark), Rettet den Regenwald, Watch Indonesia (2007). *Agrofuels, Towards a Reality Check in Nine Key Areas*.
- EIA (2015). *Direct Federal Financial Interventions and Subsidies in Energy in Fiscal Year 2013*. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration (EIA), <http://www.eia.gov/analysis/requests/subsidy/>
- EU Presidency (2007). *En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy*. Cologne, Cologne Summit of the German Presidency.
- EuropaBio (2007). *Biofuels in Europe: EuropaBio position and specific recommendations*.
- Fairclough N. (2010). *Critical Discourse Analysis: The Critical Study of Language*. 2nd edition, London, Pearson.
- Franco J., Levidow L., Fig D., Goldfarb L., Höncke M., Mendonça M. L. (2010). Assumptions in the European Union biofuels policy: Frictions with experiences in Germany, Brazil and Mozambique. *Journal of Peasant Studies*, vol. 37, n° 4, pp. 661-698.
- Garnier E., Bliard E., Nieddu M. (2012). The emergence of doubly green chemistry: a narrative approach. *European Review of Industrial Economics and Policy (ERIEP)*, 4, <http://revel.unice.fr/eriep/index.html?id=3455>
- Geoghegan-Quinn M. (2010). *Commissioner for Research, Innovation and Science, 'Bioeconomy for a better life'*. Conference on the 'Knowledge-Based Bio-Economy Towards 2020', Brussels, 14 September.
- Geoghegan-Quinn M. (2012). *Innovating for sustainable growth: A Bioeconomy for Europe*. Press conference, Brussels, 13 February [European Commissioner for Research, Innovation and Science].
- Georgia Dept of Natural Resources (2010). *Wildlife Resources Division*. Public comments to APHIS regarding large proposed field trials of GE eucalyptus trees, http://www.biologicaldiversity.org/programs/public_lands/forests/pdfs/Georgia_Wildlife_Resources_Div_comments.pdf, <http://globaljusticeecology.org/files/Georgia%20Wildlife%20Resources%20Div%20comments.pdf>
- GFC (2008). *The Real Cost of Agrofuels: Impacts on food, forests, peoples and the climate*, Global Forest Coalition.
- Gies E. (2010). As ethanol booms, critics warn of environmental effect: Dirty secrets of a "clean" fuel. *New York Times*, Global Edition. June 25, pp. 15-16. <http://www.nytimes.com/2010/06/25/business/energy-environment/25iht-rboeth.html?pagewanted=2>
- GJEP (2012). *Analysis of the State of GE Trees and Advanced Bioenergy*. Global Justice Ecology Project, <http://globaljusticeecology.org/files/Analysis%20of%20the%20State%20of%20GE%20Trees%20March%202012-2.pdf>
- Harvey D. (2003). *The New Imperialism*. Oxford, Oxford University Press.
- Harvey D. (2005). *A Brief History of Neoliberalism*. Oxford, Oxford University Press.

- Hecht S. (2004). Invisible forests: The political ecology of forest resurgence in El Salvador. In R. Preet & M. Watts (dir.). *Liberation Ecologies*. London, Routledge, pp. 64-104.
- Huesemann M., Huesemann J. (2011). *Techno-Fix: Why Technology Won't Save Us or the Environment*. Philadelphia, New Society.
- IEA (2010). *Sustainable Production of Second-Generation Biofuels: Potential and perspectives in major economies and developing countries*. Paris, International Energy Agency.
- IEA (2014). Bioenergy Task 42 Biorefineries, <http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/en/ieabiorefinery.htm>
- Jasanoff S., Kim S.-H. (2009). Containing the atom: sociotechnical imaginaries and nuclear power in the United States and South Korea. *Minerva*, n° 47, pp. 119-46.
- Kamis R., Joshi M. (2008). *Biofuel patents are booming*. Washington, DC, BakeR&Daniels.
- Levidow L., Birch K., Papaioannou T. (2012). EU agri-innovation policy: Two contending visions of the Knowledge-Based Bio-Economy. *Critical Policy Studies*, vol. 6, n° 1, pp. 40-65.
- Levidow L. (2013). EU criteria for sustainable biofuels: Accounting for carbon, depoliticising plunder. *Geoforum*, vol. 44, n° 1, pp. 211-223.
- Levidow L., Paul H. (2011). Global agrofuel crops as contested sustainability, Part II: Eco-efficient techno-fixes? *Capitalism Nature Socialism*, vol. 22, n° 2, pp. 27-51.
- Levidow L., Papaioannou T. (2013). State imaginaries of the public good: Shaping UK innovation priorities for bioenergy. *Environmental Science and Policy*, vol. 30, n° 1, pp. 36-49, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.10.008>
- Levidow L., Birch K., Papaioannou T. (2013a). Divergent paradigms of European agro-food innovation: The Knowledge-Based Bio-Economy (KBBE) as an R&D agenda. *Science, Technology and Human Values*, vol. 38, n° 1, pp. 94-125.
- Levidow L., Papaioannou T., Borda-Rodriguez A. (2013b). Path-dependent UK bioenergy. In symposium on Energy Transitions, *Science as Culture*, vol. 22, n° 2, pp. 196-204.
- Liska A. J., Haishun Y., Maribeth M., Steve G., Humberto B.-C., Matthew P.P. (2014). Biofuels from crop residue can reduce soil carbon and increase CO2 emissions. *Nature Climate Change*, n° 4, pp. 398-401, DOI:10.1038/nclimate2187
- Martin J. (2010). *The Billion Gallon Challenge: Getting biofuels back on track*. Washington, DC: Union of Concerned Scientists.
- Martin J. (2014). *New Poet-DSM biofuels plant a sign of things to come*. 16 September, <http://www.ucsusa.org/news/commentary/new-poet-dsm-cellulosic-biofuel-plant-0434.html#.VPiQbXysXZU>
- Martinelli L. A., Filoso S. (2008). Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. *Ecological Applications*, vol. 18, n° 4, pp. 885-898.
- Melamu R., Blottnitz H. (2011). 2nd Generation biofuels a sure bet? A life cycle assessment of how things could go wrong. *Journal of Cleaner Production*, n° 19, pp. 138-144.
- Moen M. (2009). Building a market for a by-product of corn-based ethanol. *The Whole Kernel*, Winter, <http://www.cfans.umn.edu/Solutions/Winter2009/WholeKernel/index.htm>
- Moore J. (2010). The end of the road? Agricultural revolutions on the capitalist world-ecology, 1450-2010. *Journal of Agricultural Change*, vol. 10, n° 3, pp. 389-413.
- Murphy A.M., van Moorsel D., Ching M. (2007). *Agricultural biotechnology to 2030: Steady progress on agricultural biotechnology*. Paris, OECD.
- NABC (2000). *The Biobased Economy of the 21st Century: Agriculture Expanding into Health, Energy, Chemicals, and Materials*. Ithaca, NY, North American Agricultural Biotechnology Council (NABC), http://nabc.cals.cornell.edu/Publications/Reports/pubs_reports_12.htm
- Nieddu M. *et al.* (2012). *Green Chemistry: towards a sector-based approach for sustainable development?*
- Nieddu M., Vivien F.-D. (2012). La « chimie verte » : vers un ancrage sectoriel des questions de développement durable?, *Économie appliquée*, 65(2), pp. 169-193.

- Nuffield Council for Bioethics (2009). *New approaches to biofuels: Ethical issues*. Public consultation, <http://www.nuffieldbioethics.org/biofuels>.
- Nuffield Council for Bioethics (2011). *Biofuels: Ethical Issues*.
- Olmstead J. (2009). Fueling Resistance? *Antibiotics in Ethanol Production, IATP*, http://www.iatp.org/files/258_2_106420.pdf
- Olmstead J. (2012). *Bugs in the System: How the FDA Fails to Regulate Antibiotics in Ethanol Production, IATP*, http://www.iatp.org/files/2012_05_02_AntibioticsInEthanol_JO_0.pdf
- Paul H. Steinbrecher R. (2003). *Hungry Corporations: Transnational biotech companies colonize the food chain*. London, Zed.
- Polimeni J.M., K., Mayumi M., Giampietro Alcott. B. (2009). *The Myth of Resource Efficiency*. London, Earthscan.
- Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.H. (2008). Use of U.S. cropland for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, vol. 319, n° 5867, pp. 1238-1240. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18258860>>, <<http://www.scienceexpress.org>>
- Smolker R. (2008). The new bioeconomy and the future of agriculture. *Development*, vol. 51, n° 4, pp. 519-526.
- Söderberga C., Eckerberg K. (2013). Forest land use and conflict management: global issues and lessons learned. *Forest Policy and Economics*, n° 33, pp. 112-119.
- Sorrell S. (2009). Jevon's paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy Policy*, n° 37, pp. 1456-1469.
- Spangenberg J.H. Settele J. (2009). Neither climate protection nor energy security: biofuels for biofuels? *Uluslararası İlişkiler*, vol. 5, n° 20, pp. 89-108, <http://www.udergisi.com/wp-content/uploads/2011/06/Neither-Climate-Protection-nor-Energy-Security.pdf>
- Thompson P.B. (2008). Agricultural biofuels: two ethical issues. *Reshaping American Agriculture to Meet its Biofuel and Biopolymer Roles*, Ithaca, NY, NABC Report 20, pp. 145-54, http://nabc.cals.cornell.edu/Publications/Reports/nabc_20/20_5_1_Thompson.pdf
- Tokar B. (2010). Biofuels and the global food crisis. In Magdoff F. and Tokar B. (eds.), *Agriculture and Food in Crisis: Conflict, resistance and renewal*, New York, Monthly Review Press, pp. 121-138.
- TU-E/NWO (2015). *Biofuels and (Ir)responsible Innovation*. Conference report, Eindhoven University of Technology (TU-E) & Netherlands Organization for Scientific Research (NWO), 13-14 April, <http://www.biobasedeconomy.nl/wp-content/uploads/2015/07/Romijn-et-al-April-2015-biofuels-conference-report.pdf>
- UNEP (2011). *The Bioenergy and Water Nexus*. United Nations Environment Programme (UNEP), Oeko-Institut and IEA Bioenergy Task 43.
- US DoE n.d. *Bioenergy*. Office of Science, Genomic Science Program, Systems Biology for Energy and Environment, US Department of Energy. <http://www.genomicscience.energy.gov/biofuels/index.shtml#page=news>
- US DoE (2006). *Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol: A Joint Research Agenda*. <http://www.doegenomes-tolife.org/biofuels/2005workshop/b2b-low-res63006.pdf>
- US DoE (2015). *Lignocellulosic Biomass for Advanced Biofuels and Bioproducts Workshop Report*. <http://www.genomicscience.energy.gov/biofuels/lignocellulose/BioenergyReport-February-20-2015LR.pdf>
- US NAS (2007). National Academies of Science. *Water Implications of Biofuel Production in the United States*. Washington, DC, National Academies Press. <http://www.nap.edu/catalog/12039.html>
- USDA Final Environmental Assessment (2010). Appendix III. USDA Forest Service assessment of impacts on hydrology.
- USFS (2011). *Forest Service unveils first comprehensive forecast on southern forests*. US Forest Service, <http://www.srs.fs.usda.gov/news/472>
- WEF (2010). *The Future of Industrial Biorefineries*. Geneva, World Economic Forum, www.weforum.org