

Bioéconomie et chimie du végétal : état des lieux en Allemagne



Abréviations	3
Introduction	4
I. Cadre institutionnel : stratégie, programmes et acteurs	5
A. Stratégie gouvernementale et ministères impliquées	5
B. Autres acteurs institutionnels	6
1) Agence de moyen pour les matières premières biosourcées (FNR).....	6
2) Haut conseil à la bioéconomie (<i>Bioökonomierat</i>)	7
C. Principaux acteurs de la recherche.....	7
1) Campus science de Halle	7
2) Centre de recherche allemand sur la biomasse (DBFZ)	7
3) Centre Fraunhofer pour les procédés chimiques et la biotechnologie (CBP)	8
4) Institut Fraunhofer de recherche sur le bois Wilhelm Klauditz (WKI)	8
5) Autres instituts	8
D. Principaux acteurs industriels	9
1) Cluster d'excellence Bioéconomie (<i>Spitzencluster Bioeconomy</i>).....	9
2) Cluster CLIB2021	9
3) Réseau DECHEMA	9
E. Programmes de soutien	10
1) Programme matières premières biosourcées (<i>Nachwachsende Rohstoffe</i>).....	10
2) Biotechnologie 2020+ - Procédés biotechnologiques de nouvelle génération.....	10
3) Villages & régions bioénergies (<i>Bioenergiedörfer & -Regionen</i>)	10
4) Utilisation énergétique de la biomasse (<i>Energetische biomassennutzung</i>)	11
5) Bioéconomie international (<i>Bioeconomy international</i>)	11
II. Approvisionnement en biomasse	12
A. Débat "Tank-oder-Teller" sur les cultures énergétiques (Génération 1).....	12
B. Sources alternatives de biomasse (Génération 2 & 3).....	12
1) Biomasse bois.....	13
2) Déchets organiques ménagers.....	13
3) Résidus agricoles	14
4) Micro-algues	14
C. Estimation des ressources allemandes en biomasse	14
III. Chimie du végétal et produits biosourcés.....	17
A. Bioraffineries	17
1) Bioraffinage du bois à Leuna	17
2) Bioraffinage de l'herbe à Brensbach.....	17
B. Bioplastiques	18
1) Emballages alimentaires.....	18
2) Jouets en bioplastique	19
3) Recyclage et valorisation des bioplastiques	19
C. Construction durable	20
IV. Utilisation énergétique de la biomasse	21
A. Biocarburants	21
1) Procédé Bioliq (2G)	21
2) Biocarburant "drop-in" de Global Bioenergies et Audi (2G)	22
3) Procédé Sunliquid de la bioraffinerie Clariant à Straubing (2G).....	22
4) Projet Aufwind (3G)	23
5) Photobioréacteurs de l'IGB (3G).....	23
B. Méthanisation et biogaz	23
1) Flexibilisation de la production.....	24
2) Injection de biogaz dans le réseau	25
3) Stations d'épuration à énergie positive.....	25
a. Concept Carismo	25
b. Concept Semizentral	26
c. Station de Renningen	26
4) Méthanisation à la ferme	26
Conclusion.....	28
Principales références bibliographiques	29

Abréviations

Abréviation	Nom complet (et traduction éventuelle)
BMBF	<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i> Ministère fédéral pour l'enseignement et la recherche
BMEL	<i>Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft</i> Ministère fédéral pour l'alimentation et l'agriculture
BMUB	<i>Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit</i> Ministère fédéral pour l'environnement, la protection de la nature, la construction et la sécurité des réacteurs.
BMWi	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</i> Ministère fédéral pour l'économie et l'énergie
CBP	<i>Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse</i> Centre Fraunhofer pour les processus chimiques et biotechnologiques de Leuna
DBFZ	<i>Deutsches Biomasseforschungszentrum</i> Centre de recherche allemand sur la biomasse
EEG	<i>Erneuerbare-Energien-Gesetz</i> Loi sur les énergies renouvelables
FNR	<i>Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe</i> Agence pour les matériaux biosourcés
IGB	<i>Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik</i> Institut Fraunhofer pour le génie des interfaces et les procédés biotechnologiques
IWES	<i>Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik</i> Institut Fraunhofer pour l'énergie éolienne et de génie des systèmes énergétiques
KIT	<i>Karlsruher Institut für Technologie</i> Institut de Technologie de Karlsruhe
PLA	Acide Polyactide
R&D	Recherche et développement
STEP	Station d'épuration à énergie positive
UFZ	<i>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung</i> Centre Helmholtz pour la recherche environnementale de Leipzig
W_{el}	Watt électrique (et respectivement kiloWatt électrique etc...)
W_{th}	Watt thermique (et respectivement kiloWatt thermique etc...)
WKI	<i>Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut</i> Institut Fraunhofer de recherche sur le bois Wilhelm Klauditz
WPC	<i>Wood Plastic Composite</i> Bois composite

Introduction

Pour son fonctionnement, l'économie mondiale dépend de ressources non renouvelables, que ce soit pour l'approvisionnement en énergie (pétrole, charbon, gaz) ou en matières premières (industries extractives).

Pour rompre cette dépendance à des ressources s'épuisant et dont la volatilité des prix dicte le tempo de l'économie, une nouvelle approche basée sur un approvisionnement renouvelable en matière première a été développée dans les années 2000, la bioéconomie. Elle a été définie par le Haut conseil à la bioéconomie allemand comme "la production et l'utilisation de ressources biologiques selon une approche scientifique pour proposer de manière durable des produits, des procédés et des services dans tous les secteurs de l'économie"¹. Cette vision cherche à remplacer les minerais et les ressources fossiles par de la biomasse (bois, plantes, résidus végétaux, déchets organiques...). Si ce concept se veut général, il touche tout particulièrement deux secteurs : celui de la chimie et de la préparation des matières premières (chimie du végétal) et celui de l'énergie (méthanisation, biocarburants). On peut cependant retrouver ses ramifications dans le génie civil, où la construction en bois reprend de l'importance, ou encore dans l'agriculture et la sylviculture du fait des nouvelles demandes en matières premières induites. L'industrie agroalimentaire "traditionnelle" est théoriquement incluse dans le champ de la bioéconomie, cependant dans l'optique de se concentrer sur les aspects les plus innovants portés par le concept de bioéconomie, celle-ci ne sera pas abordée dans le présent rapport.

L'Allemagne s'est distinguée au début des années 2010 par la mise en place d'un cadre et d'une stratégie intégratrice pour développer la recherche et l'arrivée sur le marché de produits biosourcés. Ce développement s'est fait dans le cadre de la promotion par la Commission européenne du concept de bioéconomie avec la publication d'une stratégie en 2012.² Aujourd'hui la bioéconomie représente en Allemagne près de 8% du PIB et 12% des emplois.

Dans un premier temps, les détails du cadre institutionnel allemand pour la bioéconomie, la stratégie, les programmes de support et les acteurs en jeu, aussi bien politiques et scientifiques qu'industriels, seront présentés. Dans un second temps, la problématique de l'approvisionnement en biomasse en Allemagne et les solutions proposées pour pérenniser le développement de la bioéconomie, seront détaillées. En France, dans l'attente d'une stratégie nationale pour la bioéconomie qui devrait être annoncée début 2016, le plan "Chimie verte et biocarburants" fait partie intégrante du programme pour "La nouvelle France industrielle".³ Dans une optique de veille scientifique et technologique de la bioéconomie allemande en lien avec le programme français, les troisième et quatrième parties de ce rapport seront consacrées à la chimie du végétal et aux produits biosourcés d'une part, et aux utilisations énergétiques de la biomasse d'autre part.

¹ Définition (traduite de l'allemand) issue de : <http://www.biooekonomierat.de/biooekonomie.html>

² Concernant la stratégie de la Commission européenne en matière de bioéconomie, voir (en anglais) : http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/policy/strategy_en.htm

³ Voir la feuille de route du plan validée le 2 juillet 2014 sur le site du ministère français de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique : www.economie.gouv.fr/nouvelle-france-industrielle

I. Cadre institutionnel : stratégie, programmes et acteurs

A. Stratégie gouvernementale et ministères impliqués

En Allemagne, plusieurs mots clés sont utilisés pour décrire la transition vers une économie sobre en carbone. Il convient de les différencier pour les replacer dans le contexte de notre étude : l'*Energiewende*, le plus connu à l'étranger, est l'équivalent du concept de transition énergétique français et recouvre trois domaines, l'électricité (*Stromwende*), la chaleur (*Wärmewende*) et les transports (*Transportwende*). Elle ne s'intègre cependant pas dans une vision globale de l'économie nationale. Dans le cadre du présent rapport, seule l'utilisation énergétique de la biomasse rentre aussi bien dans le périmètre de l'*Energiewende* que de la bioéconomie. La nouvelle économie décarbonée est nommée par un concept plus large : la "Green Economy". Celle-ci recouvre les aspects suivants : de la production au recyclage des produits (et services) en passant par l'approvisionnement en matières premières et en énergie. Ce concept est particulièrement mis en avant par le ministère fédéral de l'Enseignement et de la Recherche (BMBF) au travers d'un agenda de recherche détaillant secteurs par secteur les besoins en recherche.⁴

La "Green Economy" est plus englobante que la bioéconomie (*Bioökonomie*) qui n'est qu'un de ses piliers correspondant aux nouveaux usages des ressources végétales : celle-ci englobe les produits biosourcés, les usages énergétiques et également la production agricole. Elle inclut donc une nouvelle organisation de l'agriculture et de la sylviculture pour permettre la mise en valeur des gisements de biomasse nécessaires aux nouveaux modes de production. Le gouvernement allemand a pris position au travers de plusieurs documents stratégiques pour avancer dans cette direction et a, en particulier, détaillé sa stratégie de R&D pour ce nouveau secteur.

La stratégie de recherche pour la bioéconomie à l'horizon 2030 publiée par le BMBF⁵ en 2011 distingue ainsi cinq axes de recherche :

- Sécuriser l'approvisionnement alimentaire mondial ;
- Produire des aliments sains ;
- Gérer l'agriculture de manière durable ;
- Développer l'utilisation de la biomasse énergétique ;
- Produire industriellement des produits biosourcés.

La sécurisation de l'approvisionnement alimentaire constitue une priorité politique de premier ordre : cette primauté a été répétée à plusieurs reprises par les responsables fédéraux lors d'événements nationaux et internationaux, comme lors du sommet mondial des ministres de l'agriculture au *Global Forum for Food and Agriculture* (GFFA, Berlin).⁶

Le BMEL (ministère fédéral pour l'Alimentation et l'Agriculture) est le second ministère le plus impliqué dans la bioéconomie et est en charge de la mise en place opérationnelle. Il est à l'origine de la stratégie nationale⁷ (voir le schéma ci-dessous) et de l'organisation de conférences et d'expositions sur l'état des lieux de la bioéconomie.⁸

⁴ Voir le "Forschungsagenda Green Economy", BMBF, novembre 2014 (en allemand) : http://www.bmbf.de/pub/Green_Economy_Agenda.pdf

⁵ "National Research Strategy BioEconomy 2030", BMBF, 2011 (en anglais et allemand) - www.bmbf.de/pub/National_Research_Strategy_BioEconomy_2030.pdf

⁶ "GFFA Communiqué 2015, The growing demand for food, raw materials and energy: opportunities for agriculture, challenges for food security" (en anglais et allemand) - www.gffa-berlin.de/images/stories/GFFA_2015/Module/GFFA_communique%C3%A9_2015.pdf

⁷ Voir "National policy strategy on bioeconomy", BMEL, mars 2014 (en anglais et allemand) - www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/Publications/NatPolicyStrategyBioeconomy.pdf?blob=publicationFile

⁸ Voir "L'heure du (semi-)bilan pour la Bioéconomie", *Science Allemagne*, 16/06/2014 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/lheure-du-semi-bilan-pour-la-bioeconomie/>

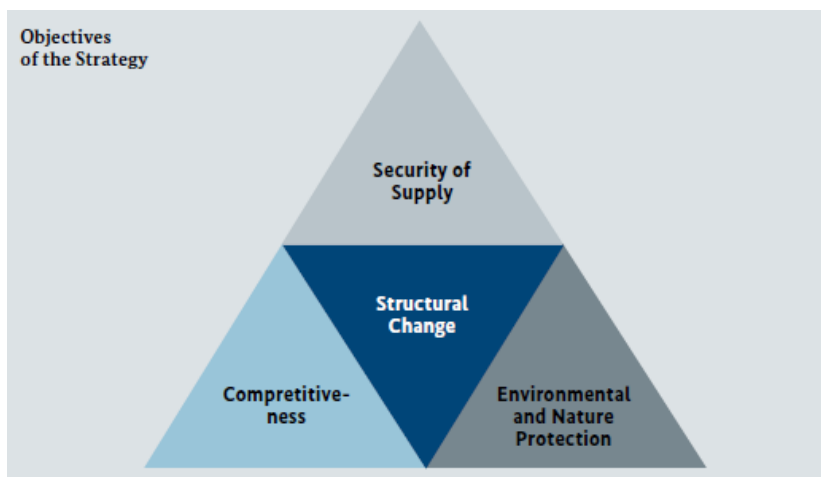


Figure 1 : Stratégie allemande pour la bioéconomie : un changement structurel garantissant la sécurité de l'approvisionnement (alimentation et matières premières), la protection de l'environnement et la compétitivité - Source : BMEL.

A côté du BMEL et du BMBF, deux autres ministères sont aussi concernés, dans une moindre mesure, par la bioéconomie :

- Le BMWi (ministère fédéral de l'Economie et de l'Energie) est assez discret sur les sujets de la bioéconomie et, plus largement, de la "Green Economy" (ce que ne manque pas de faire remarquer certains des industriels et investisseurs qui y voient là une sorte de double discours du gouvernement). On retrouve cependant le BMWi présent sur des thématiques plus ciblées comme l'utilisation énergétique de la biomasse via la loi sur les énergies renouvelables EEG ou le programme de soutien à la biomasse énergétique *Energetische Biomassenutzung* (voir détail plus bas).
- Le BMUB (ministère fédéral pour l'Environnement de la Protection de la nature, de la Construction et de la Sûreté nucléaire) se retrouve en appui transversal sur la plupart des thématiques, il n'est néanmoins pas à l'initiative et n'édite pas les documents de stratégie.

La collaboration de tous ces ministères a permis au gouvernement fédéral de mettre en place la feuille de route "bioraffinerie" en 2012.⁹ Celle-ci a pour objectif de promouvoir le développement de quatre concepts prometteurs de bioraffinerie :

- Bioraffinerie de sucre et d'amidon (à partir de betteraves et de canne à sucre) ;
- Bioraffinerie d'huiles végétales et d'algues ;
- Bioraffinerie lignocellulosique (résidus agricoles et bois) et bioraffinerie "verte" (herbe, biomasse humide) ;
- Bioraffinerie de gaz de synthèse (biocarburant, méthane de synthèse).

Des exemples de projets innovants de bioraffineries sont exposés dans la partie III.A. (pour les bioraffineries de lignocellulose et d'herbe) et IV.A. (pour les biocarburants).

B. Autres acteurs institutionnels

En plus d'acteurs institutionnels transversaux impliqués dans la bioéconomie comme l'Office fédéral pour l'environnement (UBA, Dessau-Roßlau) ou l'Etablissement fédéral pour les géosciences et les matières premières (BGR, Hanovre), il existe d'autres institutions spécialisées jouant un rôle clé : elles portent les projets et conseillent le gouvernement fédéral sur les questions de bioéconomie. Les voici présentés :

1) Agence de moyen pour les matières premières biosourcées (FNR)

La FNR (*Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe*) est une agence de moyen disposant de fonds fournis par le BMEL et le gouvernement fédéral au travers de deux dispositifs : le programme "matières premières

⁹ Voir "Biorefineries Roadmap", Bundesregierung, mai 2012 (en anglais) - http://www.bmbf.de/pub/BMBF_Roadmap-Bioraffinerien_en_bf.pdf

biosourcées" (50 M€/an, voir plus bas I.E.1)), ainsi qu'une partie du fonds pour l'énergie et le climat (24 M€/an) qui est investi dans le développement de la bioénergie.

La FNR investit au nom de l'État allemand dans des projets recherche pour la bioéconomie et porte certains projets : elle organise et coordonne les différents travaux de recherche pour suivre les grands axes fixés par le gouvernement. Elle peut aussi être en charge de projets européens impliquant des organismes allemands. Elle effectue aussi une veille technologique et scientifique qu'elle met à disposition de ses partenaires scientifiques et industriels. Enfin, elle s'occupe de la communication scientifique des projets financés auprès des politiques, du monde scientifique mais aussi du grand public.¹⁰

2) Haut conseil à la bioéconomie (*Bioökonomierat*)

Le Haut conseil à la bioéconomie est une commission indépendante rassemblant les dirigeants d'organismes de recherches ainsi que des industriels du secteur. Il vise à conseiller le gouvernement fédéral sur les enjeux de la bioéconomie en s'appuyant sur l'expertise de ses membres et sur une veille internationale (le conseil est membre d'un réseau international sur la bioéconomie) pour orienter au mieux les politiques publiques. Il est divisé en quatre groupes de travail :

- Alimentation et santé ;
- Communication et opinion ;
- Matières premières et environnement ;
- Compétitivité.

Il promeut aussi auprès du grand public les avancées de la bioéconomie au travers d'expositions mettant en valeur les produits qui en sont issues.¹¹

C. Principaux acteurs du monde académique

Les acteurs de la recherche sont nombreux et rassemblés dans des institutions aux statuts divers (universités, centres Helmholtz, Leibniz ou Fraunhofer...¹²). Nous présenterons ici les plus influents.

1) Campus de recherche de Halle

Le campus de recherche de Halle (nom original en anglais : *Science Campus Halle*) est un cluster constitué de plusieurs institutions de recherche de Halle (Saxe-Anhalt) spécialisées sur la thématique de la bioéconomie et de la valorisation des plantes à l'exception du bois, cette thématique étant couverte par le cluster de pointe associé *Bioeconomy* (voir plus bas I.D.1). Cette plateforme regroupe des centres Leibniz portant sur la biologie des plantes (biochimie, génétique) ou encore sur la socioéconomie de l'agriculture. À ceux-ci viennent s'ajouter les facultés des sciences naturelles de l'université de Halle et d'autres institutions associées (mais non membres), telles que le Centre Helmholtz pour la recherche environnementale (UFZ) de Leipzig (Saxe) ou le Centre Fraunhofer pour les procédés chimiques et la biotechnologie (CBP, voir plus bas I. C. 3)).

Le campus de recherche de Halle travaille ainsi de manière interdisciplinaire au développement de la bioéconomie avec des projets comme la synthèse d'arômes biosourcés, l'optimisation de la production de biomasse ou encore la mise en place d'un réseau d'innovation pour la recherche sur les plantes.¹³

2) Centre de recherche allemand sur la biomasse (DBFZ)

Le DBFZ (*Deutsches Biomasseforschungszentrum*) de Leipzig (Saxe) est un centre de recherche sous tutelle du BMEL se consacrant à la recherche sur l'utilisation énergétique de la biomasse. Il compte 180 scientifiques et travaille sur quatre thématiques principales : les systèmes pour la bioénergie (intégration, durabilité, approche globale et régionale...), la conversion biochimique (digestion anaérobie, technologies pour le biogaz...), la conversion thermochimique (microgénération et moteurs de cogénération), les

¹⁰ Voir le site internet de la FNR (en anglais et allemand) : <http://international.fnr.de/>

¹¹ Voir le site du Haut conseil à la bioéconomie (en anglais et allemand) : <http://bioekonomierat.de/>

¹² Pour plus d'informations sur l'organisation de la recherche en Allemagne, veuillez consulter la rubrique "La recherche en Allemagne" de : <http://www.science-allemande.fr>

¹³ Voir le site du Campus de recherche de Halle (en anglais et allemand) : www.sciencecampus-halle.de

bioraffineries (production de biocarburants et de gaz de synthèse). Ils réalisent entre autre de nombreuses études sur le potentiel de développement de la biomasse par secteur.¹⁴

3) Centre Fraunhofer pour les procédés chimiques et la biotechnologie (CBP)

Le Fraunhofer CBP de Leuna (Saxe-Anhalt) est une institution récente (inaugurée en 2012¹⁵) et effectuant de la recherche partenariale avec l'industrie pour développer des composés et des procédés chimiques à base de matières premières végétales : plantes, paille, micro-algues... L'objectif est de développer des procédés industriels et de les intégrer à l'industrie chimique existante. Le centre travaille avec de nombreuses PME/ETI de la région et a déjà développé une bioraffinerie de lignine à partir de bois (voir sa description en III. A. 1)). Il est administrativement une sous-division de l'Institut Fraunhofer pour le génie des interfaces et les procédés biotechnologiques (IGB) de Stuttgart (Bade-Wurtemberg) avec lequel de nombreux moyens humains et matériel sont mis en communs (le Fraunhofer IGB avait 320 employés tandis que le CBP n'en comptait que 40 en 2014).

4) Institut Fraunhofer de recherche sur le bois Wilhelm Klauditz (WKI)

Le Fraunhofer WKI de Brunswick (Basse-Saxe) compte 130 employés et travaille au développement d'applications innovantes pour le bois. Des recherches sont ainsi effectuées sur de nouvelles méthodes de découpe mais aussi sur les manières de mieux utiliser la ressource, par exemple en diminuant l'emploi de laque et de composés organiques volatils via des processus plus efficaces. Le WKI s'intéresse aussi au recyclage du bois et à sa valorisation en fin de vie, par exemple dans le cas des palettes pour la logistique.

5) Autres instituts

Il existe d'autres instituts, plus généraux, plus petits ou qui travaillent sur la bioéconomie par le biais de recherches transversales. On citera notamment :

- le Centre Helmholtz pour la recherche environnementale (UFZ) de Leipzig (Saxe) qui travaille en collaboration avec le DBFZ ou le campus de recherche de Halle ;
- l'Institut de technologie de Karlsruhe (KIT) qui dispose de compétences élargies sur l'énergie et travaille sur la valorisation énergétique de la biomasse sous forme de biocarburants, d'électricité ou de chaleur ;
- l'Institut pour l'agronomie de Potsdam-Bornim (ATB, Brandebourg) et le Centre pour la recherche sur le monde rural (Zalf) de Müncheberg (Brandebourg) travaillant en amont sur l'agriculture et la production de biomasse ;
- l'Institut Fraunhofer pour les technologies de l'environnement, de la sécurité et de l'énergie (UMSICHT) d'Oberhausen (Rhénanie du Nord-Westphalie) qui travaille sur la biomasse dans le cadre général de ses recherches sur l'énergie ;
- l'Institut Fraunhofer de recherche appliquée sur les polymères (IAP) de Potsdam (Brandebourg) développe de nouveaux biopolymères et organise régulièrement des colloques sur cette thématique ;¹⁶
- l'Institut pour les bioplastiques et les biocomposites de Hannovre (IfBB) est un petit institut de 30 personnes spécialisé dans le développement de biomatériaux. Il a notamment mis en ligne plusieurs bases de données sur les bioplastiques et leur marché.¹⁷

Pour une liste exhaustive des acteurs scientifiques de la bioéconomie allemande, on renverra au site internet "Research explorer – The German directory research" de l'agence allemande de moyens pour la recherche (*Deutsche Forschungsgemeinschaft*, DFG) recensant l'intégralité des institutions de recherche allemande dans une base de données accessible via un moteur de recherche thématique.¹⁸

¹⁴ Voir par exemple "Les technologies à base de biomasse pour une production électrique adaptée à la demande", *Science Allemagne*, 16/05/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/les-technologies-a-base-de-biomasse-pour-une-production-electrique-adaptee-a-la-demande/>

¹⁵ "Inauguration de l'Institut Fraunhofer de recherche en biotechnologie à Leuna en présence de la Chancelière allemande Angela Merkel", *Science Allemagne*, 11/10/2012 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/environnement/inauguration-de-linstitut-fraunhofer-de-recherche-en-biotechnologie-a-leuna-en-presence-de-la-chanceliere-allemande-angela-merkel/>

¹⁶ Voir "Sixième colloque sur les biopolymères de l'Institut Fraunhofer IAP", *Science Allemagne*, 06/07/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/materiaux-sciences-de-lingenieur/materiaux/sixieme-colloque-sur-les-biopolymeres-de-linstitut-fraunhofer-iap/>

¹⁷ Bases de données accessibles à l'adresse suivante (en anglais et allemand) : <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/en/category/databases/>

¹⁸ Lien vers le site du "Research explorer" (en anglais et allemand) : www.research-explorer.de

D. Principaux réseaux d'acteurs industriels

Nous présenterons ici les associations fédérant les acteurs industriels. Il n'existe à l'heure actuelle aucun "géant" de la bioéconomie qui mériterait d'être distingué car les plus grandes entreprises du secteur sont des grands groupes diversifiés tels que BASF ou Evonik et pour lesquels la bioéconomie ne représente qu'une partie de leur activité. Le paysage industriel est ainsi encore hétéroclite et diversifié, bien que comptant certains champions regroupés au sein de pôle de compétitivité (ou clusters).

Pour une liste plus complète des entreprises de la bioéconomie allemande, on renverra aux plateformes "*Bioökonomie.de*" et "*Biotechnologie.de*" du BMBF disposant de bases de données sur les entreprises du secteur.¹⁹ Par ailleurs, la startup "Labiotechmap" a cartographié un grand nombre d'entreprises allemandes et européennes des biotechnologies (elle recense cependant aussi les biotechnologies rouges) et propose des reportages sous forme de "Biotechtour" dans les entreprises allemandes du secteur.²⁰

1) Cluster d'excellence Bioéconomie (*Spitzencluster Bioeconomy*)

Le *Spitzencluster Bioeconomy* est un pôle de compétence regroupant de nombreuses entreprises du centre de l'Allemagne (environs de Leipzig, Dresde, Halle principalement) spécialisées dans la valorisation du bois sous toutes ses formes : matériau et énergie. Le concept du Cluster est de proposer au travers de sa gamme d'entreprise une valorisation à 100% de la ressource bois via une logistique de la ressource (et des chutes) répartie et organisée sur l'intégralité des membres de son réseau. Une vaste palette de produits finaux est ainsi proposée allant des composés chimiques bio, aux matériaux d'isolation et de construction en passant par des granulés bois.²¹

Pour développer ses produits, le cluster s'appuie également sur des partenariats avec des institutions de recherche aussi bien dans sa zone d'origine que dans le reste de l'Allemagne (Fraunhofer CBP, UMSICHT, IAP... l'université de Göttingen, l'UFZ...). Il est présent à l'international via des partenariats avec ses homologues dans d'autres pays, tels que le pôle Industries et Agro-ressources (IAR) en France.

2) Cluster CLIB2021

Le pôle de compétence CLIB2021 est un cluster à vocation internationale, originaire de Düsseldorf et dont la majorité des membres vient de Rhénanie du Nord-Westphalie. Il se concentre sur les biotechnologies industrielles (dites "blanches") pour l'industrie chimique : matériaux biosourcés, biocatalyseurs, composés et processus chimiques... L'objectif est de faciliter le transfert technologique en couvrant toute la chaîne de développement produit, allant de la R&D à la commercialisation.

Ses membres proviennent de l'industrie (Bayer, Evonik pour les grandes entreprises et plus d'une trentaine de PME) et de la recherche (Université de Dortmund, Bielefeld, Düsseldorf, Centre de recherche de Jülich). Il a noué des partenariats européens dans le cadre d'Horizon 2020 et d'associations internationales de la bioéconomie tels que le réseau *Bio Based Industrie Consortium*. Il est aussi actif dans le partenariat germano-russe au travers du *German-Russian Cooperation Network Biotechnology*.²² Par ailleurs, il participe à la plateforme trinationale BIG-C (entre la région Flandres en Belgique, les Pays-Bas et le Land de Rhénanie du Nord-Westphalie) créée avec le soutien financier du BMBF (4 millions d'euro) pour le développement de projet de valorisation de la biomasse et l'étude des flux matières.

3) Réseau DECHEMA

Le DECHEMA est le réseau historique allemand (fondé en 1926) du secteur de la chimie et des biotechnologies et compte 5800 membres. Il représente auprès des politiques, du monde scientifique et de la société civile les intérêts de ses membres en proposant, entres autres, des événements publics ou professionnels tel que le salon du secteur, Achema, à Francfort-sur-le-Main (Hesse). Le réseau organise aussi des formations sectorielles et publie des rapports techniques et économiques sur l'état du secteur.

¹⁹ Voir (en anglais et allemand) www.biotechnologie.de, rubrique "databases" et www.biooekonomie.de (uniquement en allemand) rubrique "Datenbank". Sur ce dernier, un filtrage de la base de données de Biotechnologie.de a déjà été réalisé pour ne cibler que les entreprises de la bioéconomie allemande. Par ailleurs un rapport sur l'état du secteur en 2015 est disponible en version bilingue anglais/allemand via le lien : http://biooekonomie.de/blaetterkatalog/index.html?catalogId=180752&KeepThis=true&TB_iframe=true

²⁰ Voir <http://labiotechmap.com> et <http://labiotechtour.com/>

²¹ Voir le site du Spitzencluster Bioeconomy (en anglais et allemand) : www.bioeconomy.de

²² Voir le site internet du CLIB2021 (en anglais et allemand) : www.clib2021.de

Il s'est engagé depuis plusieurs années dans la bioéconomie avec la publication d'argumentaires et de notes de synthèses sur les moyens à mettre en œuvre pour la faire progresser. Par ailleurs, la dernière édition de l'Achema avait comme thématique principale, "Un monde biosourcé" (en anglais, "A *biobased world*").

E. Programmes de soutien

La mise en place opérationnelle de la stratégie gouvernementale est assurée par un certain nombre de programmes de soutien présentés ci-dessous.²³

À tous les programmes spécifiques présentés ci-après, il faut ajouter un cadre plus global de subventions que le gouvernement fédéral attribue à l'économie et à l'industrie de manière générale, comme les subventions à destination des petites et moyennes entreprises (KMU) ou les obligations d'achat de l'énergie verte imposées par la EEG (qui est en train de devenir une aide à la commercialisation avec les amendements 2014 de cette loi phare²⁴).

1) Programme "Matières premières biosourcées" (*Nachwachsende Rohstoffe*)

Le BMEL a mis en place le plus important programme de subvention orienté vers le développement des matières premières biosourcées au sens large : matériaux, utilisation énergétique et carburants sont inclus dans la définition, avec un focus sur le développement de produits biosourcés. Le programme est structuré autour d'appels d'offre pour mettre en avant de nouveaux produits biosourcés ou encore des salons, comme nature.tec lors de la Semaine verte internationale (*Internationale Grüne Woche*²⁵). 50 M€ sont distribués chaque année pour la R&D. Le porteur de ce programme est la FNR (voir plus haut I. B. 1)).

2) Biotechnologie 2020+ - Procédés biotechnologiques de nouvelle génération

Le programme "Biotechnologie 2020+" est soutenu par le BMBF et vise à proposer des subventions (jusqu'à 250.000 €) à des projets de recherche exploratoires de courte durée (2 à 3 ans) pour le développement de nouveaux procédés pour la biotechnologie : simulations 3D des réactions, catalyseurs enzymatiques, nouvelles membranes pour la séparation des sous-produits... 35 projets de recherche ont été soutenus jusqu'en 2015.²⁶

3) Villages & régions bioénergies (*Bioenergiedörfer & -Regionen*)

"Villages bioénergies" est un programme du BMEL pour promouvoir et labéliser des territoires ruraux de petites dimensions (10.000 habitants au maximum) ayant fait le choix de développer leur production locale de bioénergie (issue de plantes, bois ou lisier) pour couvrir au moins 50% de leurs besoins (chaleur et électricité). L'intégration de la population locale dans le projet constitue un critère, tout comme la certification de la qualité environnementale de la biomasse utilisée. Les villages engagés dans cette démarche peuvent recevoir une première accréditation "En route vers un village bioénergie". Le programme sert de plateforme d'échanges entre les porteurs de projets pour partager les meilleures pratiques et diminuer les coûts. Le financement et le subventionnement des installations sont assurés par le cadre global de la loi EEG. Les villages ayant atteint les objectifs du cahier des charges reçoivent le label "Village bioénergie" et peuvent participer au concours national des villages bioénergies récompensant en numéraire (10.000 €) les trois projets les plus exemplaires. À l'heure actuelle 164 villages ont reçu un des deux labels.²⁷

"Régions bioénergies" est une extension du concept des "villages bioénergies" à des territoires de plus grande taille (jusqu'à 200.000 habitants) : les régions bioénergies s'engagent dans une démarche de

²³ Pour une liste exhaustive des subventions accordées en Allemagne et leurs statistiques par domaine, le gouvernement fédéral met à disposition le site internet *Förderkatalog* (en allemand) - <http://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do?actionMode=list>

Par ailleurs la plateforme *Bioökonomie* a rédigé une liste des soutiens potentiels pour les projets dans le domaine de la bioéconomie (en allemand) - www.biooekonomie.de/BIOEKO/Navigation/DE/Foerderung/foerderung-im-ueberblick.did=158610.html

²⁴ Voir pour les détails du nouveau mécanisme "Réforme de la loi sur les énergies renouvelables (loi EEG) - Présentation des principales mesures", Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, 11/07/2014 - http://enr-ee.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Hintergrundpapiere/3_Gesetze-und-Rechtsrahmen/140711_loi_EEG_2014.pdf

²⁵ Au sujet de la *Grüne Woche* et de la bioéconomie, voir "Un salon de l'agriculture sous le signe de la bioéconomie", *Science Allemagne*, 29/01/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/sciences-agronomiques/un-salon-de-lagriculture-sous-le-signe-de-la-bioeconomie/>

²⁶ Voir le site internet de Biotechnologie 2020+ (en allemand) : www.biotechnologie2020plus.de

²⁷ Voir le site internet "Wege zum Bioenergiedorf" (en allemand) : www.wege-zum-bioenergiedorf.de

développement de la bioénergie locale. Aucun objectif en pourcentage n'est cependant ici fixé, c'est la démarche globale qui est évaluée par le coordinateur du programme (BMEL) selon des critères de qualité environnementale, sociale et industrielle. Le programme fonctionne aussi comme une plateforme d'échange entre les porteurs de projets régionaux (des *Landkreis* ou *Wahlkreis*, des territoires équivalents aux cantons et arrondissements français). Les projets sélectionnés peuvent recevoir jusqu'à 330.000€ de subventions (400.000€ au début du programme en 2009). Le statut de région bioénergie est souvent cumulé avec celui de Régions 100% ENR (*100EE-Regionen*)²⁸ qui est un label pour les territoires produisant suffisamment d'énergie pour compenser leur propre consommation. 46 régions ont obtenu les subventions du programme Régions Bioénergies.²⁹

4) Utilisation énergétique de la biomasse (*Energetische Biomassenutzung*)

Le programme *Energetische Biomassenutzung* est un programme du BMUB lancé en 2008 et dont la responsabilité échoit désormais au BMWi. Il consiste en un soutien au développement de la biomasse énergétique par le biais d'une plateforme pilotée par le Centre de recherche de Juliers (FZJ, Rhénanie du Nord-Westphalie) avec le soutien du Centre de recherche allemand sur la biomasse (DBFZ) de Leipzig (Saxe). L'objectif est de centraliser et de standardiser les projets pour utiliser au mieux les synergies entre eux. Ceux-ci sont répartis sur 8 thèmes allant de la conception de nouveaux systèmes au développement de stratégies pour la bioénergie (démonstrateurs, améliorations des procédés, évaluation du potentiel biomasse...). Près d'une cinquantaine de projets ont déjà été soutenus de la sorte.³⁰ Un nouvel appel d'offre pour le financement de projets innovants a été lancé pour les années 2015 et 2016.

5) Bioéconomie international (*Bioeconomy international*)

Le BMBF propose un soutien à l'internationalisation des entreprises du secteur de la bioéconomie via le programme "Bioökonomie International". Celui-ci se présente sous la forme d'une plateforme internet où les entreprises allemandes peuvent soumettre des demandes de subvention conjointement avec leurs partenaires internationaux.³¹ La plateforme permet aussi de faire une recherche de partenaires parmi des entreprises allemandes ou internationales intéressées. Le programme se concentre à chaque nouvel appel d'offre sur des thématiques différentes que le BMBF souhaite prioriser, ou bien vers des pays avec un partenariat spécifique. En 2015, deux coopérations avec, d'une part, l'Argentine (pour la valorisation des résidus agricoles) et d'autre part l'Etat de São Paulo au Brésil, ont été à l'honneur avec des appels d'offres spécifiques (Bio-GeAr et Bio-GeSP).

Les thèmes mis en avant s'inscrivent dans la Stratégie nationale de recherche pour la bioéconomie à l'horizon 2030 et reprend les cinq piliers de la bioéconomie allemande (voir plus haut I. A.)

Ce programme se concentre sur le développement de technologies pour l'industrie et ne cherche pas à se définir comme une aide au développement pour les pays du sud. Les partenaires allemands et internationaux doivent être sur un pied d'égalité et collaborer directement et concrètement au développement d'innovations.

²⁸ Pour plus d'informations sur le programme Régions 100% ENR dépassant le cadre de ce rapport, voir son site internet (en allemand) : www.100-ee.de

²⁹ Voir le site internet des Régions bioénergies (en allemand) : www.bioenergie-regionen.de

³⁰ Voir le site internet du programme (en anglais et allemand) : <https://www.energetische-biomassenutzung.de>

³¹ Voir la plateforme (en anglais) : www.bioeconomy-international.de

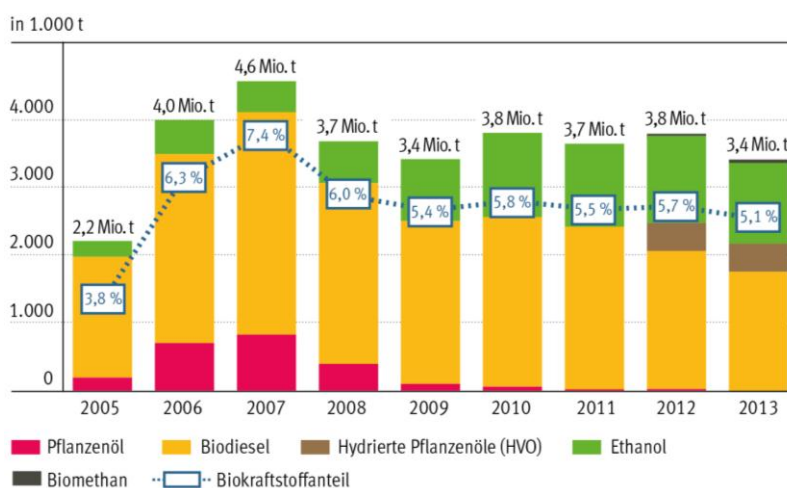
II. Approvisionnement en biomasse

Le développement de la bioéconomie à grande échelle nécessite un recours accru à la biomasse. Cependant des solutions sont envisagées pour sécuriser un approvisionnement durable en biomasse en mobilisant de nouvelles ressources.

A. Débat "Tank-oder-Teller" sur les cultures énergétiques (Génération 1)

Lors de l'apparition des biocarburants de première génération dans les années 2000, les cultures énergétiques, principalement du maïs, se sont développés rapidement pour pouvoir synthétiser de l'éthanol végétal. Ce phénomène a rapidement rencontré une forte résistance dans l'opinion : l'importance toujours grandissante de la monoculture du maïs a été fortement critiquée pour la destruction des paysages et des écosystèmes qu'elle engendrait. Par ailleurs, de nombreuses voix se sont élevées contre l'utilisation de biomasse dite "alimentaire", c'est-à-dire théoriquement consommable par l'homme, pour produire de l'énergie. Un très vif débat a secoué l'opinion qui a pris le nom de "Tank-oder-Teller Debatte".³²

Ce débat et ses répercussions dans l'opinion ont provoqué un net ralentissement des biocarburants en Allemagne : leur part dans l'énergie totale consommée pour les transports est ainsi passé de 7,4% en 2007 à 5,1% en 2013 (voir graphique ci-dessous).



Quelle: BAFA, BMF, FNR (2014)

© FNR 2014

Figure 2 : Part des biocarburants dans le mix énergétique des transports en Allemagne en % de l'énergie totale consommée pour ce secteur (boîtes bleues). Source : FNR - <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biokraftstoffe/entwicklung-biokraftstoffe-in-deutschland.html>

Ce débat, originellement issu du secteur des biocarburants, a cependant fait s'interroger l'intégralité du secteur de la bioéconomie et l'a fait s'orienter vers d'autres sources d'approvisionnement. D'autres solutions que la biomasse alimentaire ont émergé, tels que le bois, les résidus agricoles, ou les déchets organiques. Cependant une grande partie des 8.000 méthaniseurs allemands restent toujours alimentés en grande partie par du maïs. En 2014, près de 19% des surfaces agricoles allemandes (2,3 millions d'hectares) étaient consacrés aux cultures énergétiques, dont plus de la moitié pour la production de biogaz (1,3 million ha).³³

B. Sources alternatives de biomasse (Génération 2 & 3)

Pour éviter l'utilisation de biomasse alimentaire (maïs principalement) ou de cultures dédiées prenant la place d'autres cultures alimentaires (tournesol ou colza par exemple), la prospection s'est orientée vers des sous-produits de la production agricole et la sylviculture.

³² Que l'on pourrait traduire littéralement par "Le débat du réservoir (à essence) ou de l'assiette"

³³ Pour les chiffres détaillés par type de culture énergétique (colza, tournesol, maïs), voir (en allemand) : <http://bioenergie.fnr.de/bioenergie/energiepflanzen/>

1) Biomasse bois

L'ambition de mieux valoriser les ressources en bois a mené à la création du pôle de compétitivité *Spitzencluster Bioeconomy* (voir I.E.1) qui met en avant une utilisation matière³⁴ des ressources en bois (production de meubles, produits de grande consommation...) qui peuvent ensuite, éventuellement, lors de la phase de recyclage être utilisées comme source de bois-énergie. L'objectif du cluster est de mobiliser des ressources en bois jusque-là peu ou pas exploitées et de les mettre à disposition de la nouvelle bioéconomie. C'est le cas en particulier des forêts d'hêtres allemandes dont les ressources ont été pendant longtemps sous-utilisées. Le BMEL s'intéresse par ailleurs aux arbres à croissance rapide tel que le peuplier ou le saule comme source renouvelable de matière première.³⁵

2) Déchets organiques ménagers

Les déchets organiques ménagers constituent un gisement urbain auquel de plus en plus d'entreprises commencent à s'intéresser. Le sénat de Berlin a déjà mis en place la collecte des déchets organiques sur son territoire dans une optique d'économie circulaire. La biomasse collectée est transformée en biogaz via des digesteurs et celui-ci est ensuite injecté dans le réseau de gaz de ville ainsi que dans les stations-services de la société locale de ramassage des déchets (la BSR) : la flotte de bennes à ordures a été à cette occasion renouvelée avec des véhicules fonctionnant au gaz naturel. Par ailleurs, les reliquats de la digestion anaérobie sont fournis comme engrais à des sociétés agricoles et/ou à des jardins ouvriers urbains, ce qui permet de fermer la boucle matière³⁶ de la biomasse urbaine (voir schéma ci-dessous).



Figure 3 : Schéma de principe du modèle de valorisation de la biomasse urbaine à Berlin. En orange, la collecte et le transport des déchets ; en bleu, la synthèse de biogaz et son injection dans les réseaux existants ; en vert, la valorisation des résidus de digestion dans l'agriculture. Source : BSR - www.bsr.de/bio_abfaelle.php

Depuis 2015, une nouvelle loi fédérale est entrée en vigueur obligeant toutes les collectivités allemandes à proposer un moyen de collecte des déchets organiques : jusque-là, les collectivités qui avaient mis en place ce tri l'avaient fait sur la base du volontariat. Cette nouvelle loi devrait permettre d'augmenter le gisement urbain de biomasse de 9 millions de tonnes à 12 millions de tonnes. Malgré quelques problèmes techniques (impureté de la biomasse urbaine du fait de sacs plastiques ou autres déchets non biodégradables et indésirables), de nombreuses entreprises s'intéressent à ces nouvelles possibilités. Par ailleurs, la réforme 2014 de la loi EEG a mis en place des tarifs d'achats avantageux pour le biogaz issu de déchets par rapport à celui issu de cultures énergétiques, à la seule condition que le résidu solide non digéré soit valorisé dans le secteur agricole.³⁷

³⁴ "L'utilisation matière" de la biomasse consiste à produire un objet biosourcé dont la vocation n'a pas, dans un premier temps, à être brûlé pour produire de l'énergie. Un t-shirt fait à 100% de coton est un exemple d'utilisation matière de la biomasse (bien que, selon la méthode de production du coton, celui-ci ne sera pas forcément un produit "durable" d'un point de vue écologique).

³⁵ Une conférence sur cette thématique sera organisée à Berlin fin 2016. Voir (en anglais) : <https://ipc25berlin2016.com>

³⁶ "La boucle matière" correspond au cycle de vie de la biomasse, de sa production à sa décomposition dans l'environnement ou dans des installations dédiées.

³⁷ Par exemple pour les installations de moins de 20 MW : 13,38 c€/kWh pour le biogaz issu de biodéchets contre 5,85 c€/kWh pour d'autres substrats. Voir "Réforme de la loi sur les énergies renouvelables (loi EEG) - Présentation des

3) Résidus agricoles

Le secteur agricole continue de contribuer aux nouvelles sources de biomasse au travers de la valorisation de plusieurs produits et sous-produits. Le fumier était déjà mélangé depuis longtemps avec d'autres substrats, il est désormais utilisé seul dans certaines installations de petites puissances dites de méthanisation "à la ferme". Des tarifs d'achats avantageux pour des installations de moins de 75 kW utilisant en substrat au moins 80% de lisier ont ainsi été mis en place par la réforme 2014 de la loi EEG, à savoir 23,73 c€/kWh.³⁸

Dans le sud de l'Allemagne (Bade-Wurtemberg), on s'intéresse au potentiel des vergers dont l'herbe entourant les arbres fruitiers pourrait constituer une source alternative de biomasse encore non exploitée. Une étude du KIT a estimé que l'herbe pourrait remplacer jusqu'à 20% des substrats des méthaniseurs actuels sans modification technique majeure. Cela aurait un léger surcoût mais les agriculteurs et les pouvoirs publics locaux y sont favorables afin d'endiguer l'expansion de la monoculture du maïs, très consommatrice en eau et détruisant les écosystèmes traditionnels.³⁹

La paille est aussi de plus en plus convoitée pour les biocarburants (voir projet Bioliq ci-après, IV.A.1)) ou pour des projets de bioraffinerie lignocellulosique (voir la bioraffinerie de Leuna ci-après III.A.1)). On pourra toutefois noter que son utilisation est aussi critiquée de par la concurrence d'usage avec l'alimentation pour le bétail.

4) Micro-algues

Les micro-algues constituent un champ de recherche prometteur pour l'avenir, celles-ci peuvent en effet apporter des sources de lipides et de protéines utiles à de nombreuses industries (alimentation animale, cosmétiques, chimie...) en plus de leur teneur énergétique. Le Fraunhofer IGB et le Fraunhofer CBP ont développé des photobioréacteurs qui permettent de faire croître les algues au sein d'un liquide nutritif à l'aide de rayonnements solaires et d'une alimentation artificielle en CO₂. Quelques entreprises comme Alpag à Berlin, IGV à Nuthetal (Brandebourg) ou Subitec à Stuttgart (Bade-Wurtemberg) commencent à investir le marché en proposant des procédés de production des microalgues.

C. Estimation des ressources allemandes en biomasse

Il est difficile d'estimer les ressources mobilisables pour la bioéconomie, d'autant plus que celles-ci sont souvent en concurrence d'usage (énergie ou matériau ?). Par ailleurs, de nombreuses ressources privées sont difficilement accessibles, c'est le cas des forêts privées mal entretenues et donc mal valorisées.

Dans le tableau suivant, le choix a été fait de prendre le potentiel énergétique comme référence de base afin de donner un ordre de grandeur des gisements disponibles en Allemagne. Ceux-ci seront à réévaluer avec le temps au fur et à mesure que certains gisements seront mieux identifiés et valorisés. Par ailleurs, le potentiel de la biomasse algale n'a pas encore fait l'objet d'études suffisamment sérieuses et précises pour que sa mention soit pertinente.

principales mesures", Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, 11/07/2014 - http://enr-ee.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Hintergrundpapiere/3_Gesetze-und-Rechtsrahmen/140711_loi_EEG_2014.pdf

³⁸ Voir "Réforme de la loi sur les énergies renouvelables (loi EEG) - Présentation des principales mesures", Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, 11/07/2014 - http://enr-ee.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Hintergrundpapiere/3_Gesetze-und-Rechtsrahmen/140711_loi_EEG_2014.pdf

³⁹ Voir "Utiliser les gazons des vergers pour produire du biogaz", *Science Allemagne*, 09/07/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/environnement/utiliser-les-gazons-des-vergers-pour-produire-du-biogaz/>

Tableau 1 : Estimation du potentiel énergétique de la biomasse en Allemagne. La date entre parenthèses correspond à l'année à laquelle les ressources pourraient être disponibles (mais pas forcément mobilisées).
 Source : "Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern", FNR, 2013 -
<https://mediathek.fnr.de/broschuren/bioenergie/bioenergie-potenzialatlas.html>

Type de biomasse	Potentiel énergétique (TWh)	Autres données / Remarques
Bois	190,3	
<i>Sylviculture</i>	142,1	La moitié est déjà utilisée en 2014
<i>Bois de recyclage</i>	32,4	
<i>Chutes de bois industriel</i>	15,8	
Paille (2020)	28,6	
Espaces verts & vergers	5,7	
Cultures énergétiques (2020)	144,9	2,7 millions d'hectares de surfaces agricoles en 2020 (2,3 millions déjà exploités en 2014)
Déchets organiques ménagers (2020)	6,3	9 millions de tonnes en 2012 12 millions de tonnes en 2020
Total (2020)	375,7	

A titre de comparaison, la consommation en énergie primaire de l'Allemagne est d'environ 3600 TWh.⁴⁰

Le bois de recyclage correspond au bois utilisé en tant que matériau et arrivé en fin de vie (meubles, charpentes...) : celui-ci peut être valorisé sous forme d'énergie. Cette filière est encore peu développée.

Les chutes de bois industriel correspondent principalement aux résidus des scieries et des menuiseries sous forme de sciure ou de copeaux. Une partie de cette ressource est déjà réutilisée mais le gisement est encore important pour une valorisation matière ou énergétique.

Les espaces verts et vergers fournissent une biomasse récoltée par la tonte des pelouses publiques et privées et à la récolte des feuilles par la voierie. Ce gisement est encore largement inexploité et est difficilement mobilisable du fait des problématiques de propriété et de logistique pour y avoir accès.

Sur la question des cultures énergétiques, l'Université de Hohenheim (Bade-Wurtemberg) a travaillé sur un rapport d'évaluation du potentiel de la bioénergie en tenant compte de la primauté de la sécurité alimentaire. Avec des hypothèses d'accroissement de la productivité agricole de 40% entre 2007 et 2050 et un léger déclin de la consommation alimentaire en Allemagne (baisse démographique et diminution de la consommation de viande), l'étude arrive à la conclusion que près de 8 millions d'hectares pourraient être utilisés en Allemagne pour les cultures énergétiques sans mettre en danger la sécurité alimentaire, soit près de 50% des surfaces agricoles.⁴¹ Pour arriver à cette conclusion, les chercheurs ont développé un modèle informatique capable de calculer ces valeurs pour différents scénarios à l'échelle mondiale.⁴²

Pour conclure cette partie sur l'approvisionnement en biomasse, il est nécessaire de préciser que cette mobilisation de nouvelles ressources est critiquée par certains essayistes allemands : ainsi Anika Krätzer et Franz-Theo Gotteswald, auteurs de l'ouvrage polémique "*Irrweg Bioökonomie*"⁴³, critiquent violemment ce qu'ils appellent une systématisation de la dénomination de biomasse et une dégradation de la condition d'être vivant, que ce soit pour les espèces végétales ou animales, qui ne seraient plus envisagées que comme des sources potentiels de biomasse. Cette critique du matérialisme de la bioéconomie trouve un

⁴⁰ Source : BMWi - <https://www.bmw.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-energiegewinnung-energieverbrauch.property=pdf.bereich=bmwi2012.sprache=de.rwb=true.pdf>

⁴¹ Source : "Globale Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotentials", Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität d'Hohenheim, Février 2012 - <https://www.uni-hohenheim.de/i410b/download/publikationen/Globale%20Biomassepotenziale%20-%20FNR%2022003911%20Zwischenbericht%202012.pdf>

⁴² Voir "Biocarburants en Allemagne : un modèle planétaire de calcul des surfaces propices à la culture de plantes à usage énergétique", *Science Allemagne*, 05/10/2012 - <http://www.science-allemanie.fr/fr/actualites/energie/biocarburants-en-allemanie-un-modele-planetaire-de-calcul-des-surfaces-propices-a-la-culture-de-plantes-a-usage-energetique/>

⁴³ Que l'on pourrait traduire par "Impasse bioéconomie" ou littéralement par "L'errement de la bioéconomie"

certain écho et a même conduit à l'organisation de conférences sur cette thématique.⁴⁴ L'opinion n'est pas encore très alertée mais certains amalgames (aussi entretenus par les auteurs précédents) entre bioéconomie et OGMs ont tendance à se répandre et peuvent entacher l'image de celle-ci auprès du grand public.

⁴⁴ Voir "Table ronde sur le futur de la bioéconomie à Berlin", *Science Allemagne*, 07/07/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/environnement/table-ronde-sur-le-futur-de-la-bioeconomie-a-berlin/>

III. Chimie du végétal et produits biosourcés

La chimie du végétal consiste à produire des composés chimiques à partir de matières premières végétales et donc renouvelables, par opposition à des matières premières fossiles. Ces ersatz sont la plupart du temps chimiquement identiques aux composés issus de procédés de raffinage traditionnels. En Allemagne, le terme de "bioraffinerie" est utilisé pour décrire ces nouvelles installations permettant de transformer de la biomasse en des composés chimiques et/ou en énergie. Plusieurs projets sont en cours dans le cadre de la feuille de route "Bioraffineries" du BMBF et du BMEL.⁴⁵

De manière plus générale, la chimie du végétal permet la production d'une large palette de produits dits biosourcés, c'est à dire sans utilisation de plastiques fossiles ou d'autres types de matières premières issues des industries extractives. Ce nouveau type de produit a été particulièrement illustré en Allemagne par le showroom de 36 m² présenté par le Haut Conseil à la Bioéconomie lors de la semaine verte internationale de Berlin en 2015 ("Bioökonomie auf 36 m²") et présentant une large gamme de produits biosourcés comme des produits d'entretien, du dentifrice, des éponges ou encore des lubrifiants.⁴⁶

A. Bioraffineries

1) Bioraffinage du bois à Leuna

Le Fraunhofer CBP a développé une installation pilote de bio-raffinage du bois pour la production de lignine permettant la synthèse de polyuréthane, de résine ou encore de mousses.

La raffinerie pilote peut actuellement transformer 620 kg de copeaux de bois par semaine en utilisant le procédé Organosolv qui "[...] consiste à solubiliser et extraire la lignine et les hémicelluloses dans un solvant organique (en général méthanol ou éthanol)".⁴⁷ Ce procédé a pour avantage de permettre une récupération quasi intégrale de la lignine, néanmoins il pose le problème du recyclage du solvant utilisé. La cellulose et l'hémicellulose sont récupérées séparément et peuvent ensuite être transformées en glucose, afin de fermer la boucle matière du processus.

Les coûts de production estimés sont de 160 à 250 euros par tonne de lignine pour une production respectivement avec ou sans utilisation d'acide sulfurique, ce qui positionnerait le procédé bien en dessous des prix sur le marché mondial du phénol. La lignine constituerait en effet un substitut rentable et écologique au phénol, produit à partir de combustibles fossiles. Le nouveau procédé aurait une empreinte carbone de 50 à 80% moindre.

Ce projet est soutenu par le FNR et le BMEL.⁴⁸

2) Bioraffinage de l'herbe à Brensbach

À Brensbach (Hesse), l'entreprise Biowert Industry GmbH a développé un procédé permettant de raffiner l'herbe en plusieurs sous-produits ayant chacun des utilisations différentes : Agriplast© est un granulé permettant de produire des pièces plastiques composites, Agricell© peut être utilisé comme isolant, Agrifer© comme engrais... Agriplast© constitue cependant le produit principal, car il est substituable aux plastiques fossiles existants.⁴⁹

L'unité de production est en service depuis plusieurs années et permet de traiter jusqu'à 20.000 tonnes d'herbe par an apportées par des agriculteurs locaux. De plus, les différents digesteurs peuvent incorporer une fraction de restes alimentaires qui sont apportés par des cantines locales. La bioraffinerie est par ailleurs autonome énergétiquement : une installation de méthanisation permet de digérer les restes liquides

⁴⁵ Voir le document en anglais "Biorefineries Roadmapas", Bundesregierung, mai 2012 - http://www.bmbf.de/pub/BMBF_Roadmap-Bioraffinerien_en_bf.pdf

⁴⁶ Le catalogue des produits est disponible via le lien (en allemand uniquement) : http://www.biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/materalien/nature.tec_Ausstellungskatalog.pdf

⁴⁷ Définition IFP Energies Nouvelles

⁴⁸ Informations issues de l'article : "Actualités sur la bioraffinerie de Leuna", *Science Allemagne*, 27/10/2014 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/actualites-sur-la-bioraffinerie-de-leuna/>

⁴⁹ Pour plus d'informations, voir le site de Biowert (en français, anglais et allemand) : www.biowert.de

de certaines étapes du processus et couvre tous les besoins en électricité et en chaleur de l'usine à l'aide d'un moteur de cogénération.⁵⁰

La production de granulés plastiques est livrée en grande partie à l'entreprise Wald-Michelbacher Cortec GmbH qui s'en sert pour produire des cintres et des articles de sports. Par ailleurs, Biowert produit elle-même des planchers de terrasses extérieures à partir de ses fibres végétales (75%) et de fibres de plastiques recyclés (25%).

B. Bioplastiques

Les bioplastiques sont des matériaux disposant de propriétés proches des plastiques traditionnels, ils se différencient par la matière première biosourcée utilisée pour leur fabrication et par leur capacité à se biodégrader. Les principaux sont le Bio-polyéthylène (Bio-PET), le PLA (acide polylactide), ainsi que les mélanges de cellulose (acétate) ou d'amidon.

L'IfBB prédit une croissance du marché mondial des biopolymères. Cette croissance pourrait cependant être beaucoup plus forte si les prix du pétrole venaient à repartir à la hausse.

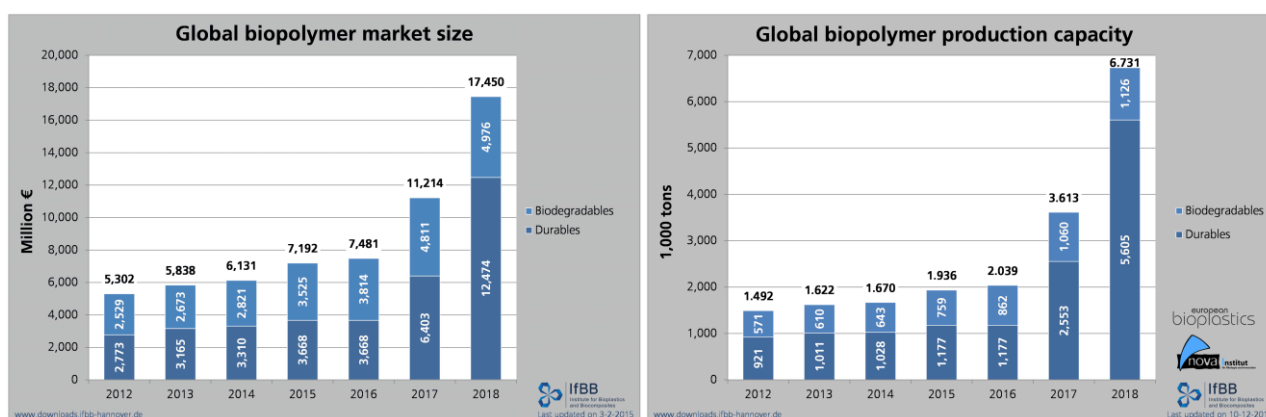


Figure 4 : Evolution et perspectives du prix des biopolymères (à gauche) et des capacités de production (à droite) en 2015. Source : IfBB - <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/downloads/>

1) Emballages alimentaires

Le département sur les cycles de vie des matériaux et la stratégie pour les ressources (IWKS) de l'Institut Fraunhofer pour la recherche sur le silicate (ISC) de Wurtzbourg (Bavière) travaille sur bioORMOCER, un revêtement biosourcé réalisé à partir de matériaux d'origines végétales dans le cadre du projet européen "Dibbiopack". L'ISC utilise un produit déjà existant, l'ORMOCER, polymère développé en 2002 par leur institut, auquel il a été intégré des biopolymères modifiés (à base de cellulose ou de chitosane).

Des emballages en bioplastique existent depuis longtemps, mais ils sont peu utilisés du fait de leurs piètres performances : ils n'isolent généralement pas suffisamment les odeurs et sont perméables à l'oxygène comme à la vapeur d'eau. Pour la conservation des aliments, des cosmétiques et des produits pharmaceutiques, cela constitue un frein à leur utilisation. Ce cahier des charges a cependant pu être rempli par les chercheurs de l'ISC.

⁵⁰ Pour plus d'information sur l'unité de production et son concept, voir l'article détaillé en allemand "Biowert GmbH in Brensbach: Plastik von der Kuhweide", *Echo Online*, 08/08/2014 - <http://www.echo-online.de/nachrichten/wirtschaft/wirtschaftsuedhessen/Biowert-GmbH-in-Brensbach-Plastik-von-der-Kuhweide;art1155.5327445>



Figure 5 : Exemple d'utilisation d'emballages biosourcés. Source : Fraunhofer ISC, Dr. Amberg-Schwab©

Le BioORMOCER n'est pas utilisé pour produire des feuilles plastiques, mais pour servir de revêtement à celles-ci. En l'appliquant sous forme de laque, il permet de remplir les fonctions d'étanchéité manquantes aux bioplastiques existants (perméables à l'oxygène et à la vapeur d'eau) et élève ainsi les propriétés du bioplastique au niveau des emballages traditionnels, à la différence près que ces nouvelles feuilles sont biodégradables et peuvent être jetées au compost. Le produit serait en phase de pré-industrialisation. Du fait de l'expérience passée avec ORMOCER, l'étape de préparation à la commercialisation pourrait être courte.⁵¹

2) Jouets en bioplastique

Des scientifiques de l'Université technique de Chemnitz (Saxe) ont mis au point des jouets en plastique, composés aux deux tiers d'un PLA dérivé de maïs, incassable et flexible. Il a été finaliste du concours mondial "Bioplastics Award" en 2012. Cette innovation a été mise au point en collaboration avec l'entreprise Martin Fuchs GmbH & Co, avec laquelle ils ont développé la série "Spielstabil Bioline"⁵², essentiellement composée d'articles de jeux d'extérieur : pelles, râteaux, seaux. La coopération entre les unités de recherche et les partenaires industrielles s'est effectuée dans le cadre du projet FENAFa⁵³ soutenu financièrement par le BMEL et le FNR.

Techniquement, il serait possible d'augmenter davantage la proportion de bioplastique et d'atteindre un jouet 100% "bio", ce qui permettrait de composter les articles en fin de vie. Cependant un tiers de la matière est encore d'origine pétrochimique pour des raisons de coûts, le bioplastique étant relativement onéreux pour le marché du jouet. Toutefois, grâce à certaines techniques de recyclage, de vieux jouets en plastique peuvent être broyés et mélangés avec le nouveau matériau afin de diminuer l'utilisation de ressources non renouvelables.

Le défi actuel pour les chercheurs de l'Université technique de Chemnitz est d'obtenir une matière biosourcée capable de subir le processus d'injection pour produire des jouets à une échelle industrielle.⁵⁴

3) Recyclage et valorisation des bioplastiques

Pour fermer la boucle matière du bioplastique, le Fraunhofer UMSICHT et l'entreprise Knoten Weimar GmbH (Thuringe) travaillent sur le recyclage des matériaux biosourcés, en particulier du PLA, produit à partir de mélasse, un résidu de l'industrie sucrière (betterave et canne à sucre). L'objectif du projet est de proposer de nouveaux procédés mécaniques et chimiques permettant de recycler les bioplastiques de manière industrielle pour produire de nouveaux produits. Le projet s'intitule "Stratégies de valorisation durables des produits et déchets à base de bioplastiques".⁵⁵ Le BMEL et la FNR soutiennent le projet financièrement.⁵⁶

⁵¹ Informations issues de l'article : "Des emballages alimentaires biosourcés", *Science Allemagne*, 26/02/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/des-emballages-alimentaires-biosources/>

⁵² Qu'on pourrait traduire par "Ligne "bio" de jouets stables". Voir le site de la ligne (en anglais et allemand) : www.spielstabil.de/produkte/bioline/

⁵³ FENAFa (en allemand) : "Ganzheitliche Bereitstellungs-, Verarbeitungs- und Fertigungsstrategien von NATurFAserrohstoffen" traduisible par "Approche holistique pour le développement de matériaux et de fibres naturels"

⁵⁴ Voir "Des jouets à base de maïs plutôt que de pétrole", *Science Allemagne*, 23/08/2013 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/materiaux-sciences-de-lingenieur/materiaux/des-jouets-a-base-de-mais-plutot-que-de-petrole/>

⁵⁵ En allemand : "Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen"



Figure 6 : Exemple d'utilisation de paillis en PLA dans l'agriculture. Source : Florian Gerlach (NAWARO)©

De manière générale, la plupart des bioplastiques peuvent être compostés ou valorisés énergétiquement dans des installations de méthanisation. Ils peuvent sinon rejoindre les filières de recyclage des plastiques traditionnels lorsque leur composition chimique est en tout point identique.

C. Construction durable

Dans le contexte de la bioéconomie, la construction en bois ou avec d'autres matériaux alternatifs redevient un sujet d'importance. La plupart des matériaux et techniques existent déjà, que ce soit pour la charpente ou l'isolation. Cependant ils doivent aussi remplir les nouveaux critères d'efficacité énergétique. On retrouve ainsi pour l'isolation le chanvre, la laine, la cellulose, les copeaux et la laine de bois, la paille...

L'Université Bauhaus de Weimar (Thuringe) est particulièrement active sur les nouveaux matériaux d'isolation au travers du groupe de recherche interdisciplinaire (facultés d'architecture et de mécanique) "Green Efficient Building" (Bâtiment vert efficace). Les recherches sont transversales et cherchent à intégrer des éléments d'urbanisme avec des modélisations énergétiques à l'échelle de la ville. La construction en bois massif, en combinaison avec des couches minérales est aussi abordée.⁵⁷

Le Fraunhofer WKI (voir plus haut I.C.4) travaille à l'amélioration des procédés utilisant le bois. Il se concentre en particulier sur le bois composite (WPC en anglais, pour *Wood Plastic Composite*), un matériau composé de fibre et de résines plastiques. Un projet portant sur le développement de normes de recyclage des WPC est actuellement en cours et cherche à établir un cycle de vie complet du produit⁵⁸. D'autres projets portent sur la composition des WPC ou encore sur le développement de WPC adaptés pour les façades.

À l'Université technique de Dresde (Saxe), l'Institut pour la construction en bois et en acier⁵⁹ cherche à remplacer les différents profilés en acier par des équivalents en bois. Ils ont ainsi développé des éoliennes de petites puissances ou encore des canalisations en bois. Ces profilés sont théoriquement interchangeables avec certaines poutres en acier pour les bâtiments.

⁵⁶ Voir "Bioéconomie : développer le recyclage des bioplastiques", *Science Allemagne*, 20/04/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/environnement/bioeconomie-developper-le-recyclage-des-bioplastiques/>

⁵⁷ Voir "Efficacité énergétique dans les bâtiments : nouvelles recherches dans les matériaux d'isolation", *Science Allemagne*, 21/10/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/materiaux-sciences-de-lingenieur/efficacite-energetique-dans-les-batiments-nouvelles-recherches-dans-les-materiaux-disolation/>

⁵⁸ Voir la description du projet (en anglais) : <http://www.wki.fraunhofer.de/en/services/vst/projects/wpc-recycling.html>

⁵⁹ Voir la page internet de l'institut (en anglais et allemand) : http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_bauingenieurwesen/ish/holzbau/mitarbeiter

IV. Utilisation énergétique de la biomasse

A. Biocarburants

Les biocarburants ont connu un ralentissement en Allemagne du fait du "Tank-oder-Teller Debatte" (voir plus haut II.A.) qui a cristallisé l'hostilité de l'opinion aux biocarburants de première génération (c'est-à-dire issue de biomasse alimentaire). Pour dépasser le problème des cultures énergétiques (qui ont été fortement limités au niveau européen⁶⁰) la R&D s'oriente désormais vers les biocarburants 2G (c'est-à-dire produit à partir de résidus végétaux lignocellulosiques telle que la paille) et 3G (à partir de micro-algues). Cependant le BMEL estime que les investissements privés sont passés de 10 M€/an en 2010 à 6 M€/an en 2014.

Un pôle de recherche spécialisé sur les carburants à base de biomasse, le TMFB (*Taylor-Made Fuels from Biomass*⁶¹), a été fondé en 2007 et propose une approche globale de la recherche sur les biocarburants, de la plante/biomasse jusqu'au moteur, en incluant les compétences de nombreux instituts de l'Université technique d'Aix-la-Chapelle (RWTH). Ce cluster s'est vu décerné le titre de cluster d'excellence en 2012, lui permettant d'augmenter sa visibilité nationale et internationale mais aussi de percevoir 6.5 M€/an jusqu'en 2017.

Au niveau des rendez-vous scientifiques, le congrès international carburants pour le futur (*Fuels-for-the-future*, en anglais) a lieu tous les ans à Berlin en janvier lors de la "Grüne Woche" (en français, semaine verte internationale) et réunit des industriels (BP, Evonik...) et des acteurs de la recherche (FNR, DBFZ...).⁶²

Dans la suite de cette partie, plusieurs projets de R&D dans le domaine des biocarburants 2&3G sont présentés.⁶³

1) Procédé Bioliq (2G)

Le projet bioliq© de l'Institut de technologie de Karlsruhe (KIT, Bade-Wurtemberg) est l'un des plus avancés en matière de développement de biocarburants 2G, à partir de paille principalement. D'autres types de biomasse peuvent être utilisés de manière flexible (des résidus végétaux secs : la biomasse dite lignocellulosique). L'équipe, constituée de 40 membres (dont 25 étudiants et doctorants) issus de 5 instituts du KIT et plusieurs entreprises (dont Air liquide), estime le degré de maturité de son procédé au niveau 6 sur 9 de l'échelle TRL (norme européenne pour le niveau de maturité d'une technologie) : une raffinerie pilote a déjà été construite (sur le campus nord du KIT) qui est capable de synthétiser environ 100 l/h de carburant pour un coût estimé entre 0,75 et 2 €/l (d'après les résultats de 8 études technico-économiques réalisés par différents observateurs avec d'importantes dispersions quant aux coûts fixes et variables de la production).

⁶⁰ "Le Parlement européen plafonne les agrocarburants jugés nuisibles", *Le Monde.fr*, 23/09/2013 - http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/09/11/le-parlement-europeen-plafonne-les-agrocarburants-juges-nuisibles_3474080_3244.html

⁶¹ Traduisible par "Carburants sur mesure à partir de biomasse"

⁶² Voir les compte-rendu des éditions 2013 et 2014 : " Biocarburants : conférence à Berlin pour un secteur industriel dans l'incertitude", *Science Allemagne*, 11/02/2013 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/energies-renouvelables/biocarburants-conference-a-berlin-pour-un-secteur-industriel-dans-lincertitude/> ; "Conférence annuelle sur les biocarburants : compte-rendu", *Science Allemagne*, 10/02/2014 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/energies-renouvelables/conference-annuelle-sur-les-biocarburants-compte-rendu/>

⁶³ Une partie des informations présentées ici est issue de l'article "Conférence sur les nouveaux biocarburants à Berlin", *Science Allemagne*, 13/03/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/conference-sur-les-nouveaux-biocarburants-a-berlin/>



Figure 7 : L'unité de gazéification à haute pression bioliq II à Karlsruhe. Source : KIT ©

Le procédé est composé de 4 étapes de raffinage : une première étape consiste en une pyrolyse rapide de la biomasse sèche pour la transformer en une huile brute à forte densité énergétique. Dans un second temps, cette huile est transformée à haute température et haute pression en un gaz de synthèse composé principalement de monoxyde de carbone et de dihydrogène. Ce gaz est ensuite, dans un troisième temps, nettoyé des éléments non désirables comme le chlore ou l'azote. Enfin, dans un dernier temps, le gaz est condensé et transformé en carburant liquide, prêt à emploi. Tout le long du processus, les chaleurs fatales de chauffage sont réutilisées, en amont ou en aval, afin d'atteindre une efficacité énergétique optimale.⁶⁴

Le projet a reçu le soutien du FNR dans les premières phases (bioliq a débuté en 2005), puis sont venus s'y ajouter l'Union européenne et le Land du Bade-Wurtemberg (à partir de 2010). Le principal partenaire industriel est Air Liquide. À ce jour, le coût global est estimé à 46 M€ dont 27 M€ de subventions de la FNR⁶⁵.

2) Biocarburant "drop-in" de Global Bioenergies et Audi (2G)

L'entreprise française Global Bioenergies et Audi produisent sur le site de la raffinerie de Leuna (Saxe-Anhalt) de l'isobutène via une installation pilote. Celle-ci utilise en matières premières de la paille mais aussi d'autres résidus végétaux, comme la bagasse. Le procédé présente la particularité d'utiliser un bioréacteur pour gaséifier le substrat, à l'aide d'enzymes et d'un milieu adaptés, avant de le recondenser. Cette étape permet de purifier le carburant des impuretés, il peut ainsi être employé en tant que tel dans les moteurs existants. Pour ce projet, le consortium a reçu un soutien du BMBF à hauteur de 5,7 M€.

3) Procédé Sunliquid de la bioraffinerie Clariant à Straubing (2G)

L'entreprise Clariant AG a inauguré en 2012 une installation de production de bioéthanol à partir de paille à Straubing (Bavière). Cette bioraffinerie de démonstration est capable de transformer 4500 tonnes de pailles en 1000 tonnes d'éthanol par an grâce au procédé Sunliquid© développé dans les années 2000 par l'entreprise Süd-Chemie (ensuite rachetée par Clariant).

Le procédé consiste en 4 étapes principales :

- Un prétraitement sans additifs chimiques de la paille ;
- La production d'enzymes à partir d'une fraction de la paille entrante qui sont ensuite intégrées dans le procédé de production d'éthanol ;

⁶⁴ Pour plus d'informations sur le procédé bioliq et son historique, voir les deux articles suivants :

- "Biocarburants de deuxième génération : le KIT produit pour la première fois de l'essence à partir de déchets végétaux", *Science Allemagne*, 04/10/2013 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/biocarburants-de-deuxieme-generation-le-kit-produit-pour-la-premiere-fois-de-lessence-a-partir-de-dechets-vegetaux/>

- "Biocarburants de deuxième génération : mise en service d'une unité de gazéification basée sur le procédé bioliq", *Science Allemagne*, 08/03/2013 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/biocarburants-de-deuxieme-generation-mise-en-service-dune-unite-de-gazeification-basee-sur-le-procede-biolig/>

⁶⁵ Pour des informations de première main sur Bioliq, voir les slides présentés lors du congrès "Nouveaux Biocarburants 2015" par l'équipe du projet - https://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/veranstaltungen/2015/neuebiokraftstoffe2015/Dahmen_New_Biofuels_2015_neu.pdf

- Une hydrolyse enzymatique de la cellulose pour former des chaînes monomères de sucre (saccharification) ;
- Une fermentation en présence de microorganismes adaptés pour transformer les sucres C5 et C6 en éthanol. Celui-ci est ensuite purifié et séparé du substrat.

L'installation et les projets de recherche précédant sa construction ont coûté 28 M€ parmi lesquels 5 millions de subventions du BMBF et 5 millions du *Land* de Bavière. Par ailleurs, depuis 2014, un projet d'amélioration du procédé Sunliquid © a été lancé et a reçu un soutien financier de 23 millions d'euros sur 4 ans (de 2014 à 2018) dans le cadre du programme FP7 de la Commission européenne. Ce projet a pour objectif de confirmer la viabilité technico-économique du procédé et de l'emmener jusqu'au stade de la pré-industrialisation pour un déploiement à plus large échelle à l'horizon 2020.⁶⁶

4) Projet Aufwind (3G)

Le projet Aufwind, est consacré au développement de biocarburants 3G à partir de micro-algues pour le transport aérien. Il est porté par le Centre de recherche de Juliers (FZJ, Rhénanie du Nord-Westphalie) avec la participation de nombreuses autres institutions de recherche tels que l'université technique d'Aix la Chapelle (RWTH), le DBFZ... mais aussi d'industriels comme Airbus.

Par ailleurs, dans le cadre de ce projet, le "*Algen Science Center*" (centre scientifique sur les algues en français) a ouvert au sein du FZJ et a pour but de lancer à la fin 2015 une installation pilote de production de biocarburants issus de micro-algues. Celles-ci seront cultivées dans trois photobioréacteurs de 500 m² chacun, à partir desquelles seront fabriqués des huiles puis du kérosène. Les avantages des algues résident dans leur croissance très rapide, leur fort contenu huileux et leur consommation de CO₂.

7,38 M€, dont 6,11 M€ en subventions de la FNR, ont été investis dans le projet sur une période de 3 ans allant jusqu'à fin 2015.

5) Photobioréacteurs de l'IGB (3G)

Le Fraunhofer IGB travaille sur les biocarburants 3G et a développé des photobioréacteurs permettant la croissance de micro-algues dans des environnements confinés. Des installations tests en laboratoires (avec des LEDs) et en plein-air ont déjà pu être testées et validées scientifiquement. L'étape suivante étant la création d'un pilote industriel avec le soutien de la spin-off du Fraunhofer, Subitec GmbH, spécialisée dans l'utilisation des micro-algues, ainsi que du sucrier allemand, Südzucker AG. La FNR est aussi partenaire du projet.

B. Méthanisation et biogaz

La méthanisation agricole s'est historiquement développé tôt en Allemagne et atteignait jusqu'il y a peu de temps des coûts de production au kilowattheure électrique près de deux fois inférieur aux coûts français. Cette époque de forte croissance est cependant révolue et le marché est entré dans une phase de consolidation, comme le montre le graphique suivant.

⁶⁶ Voir le site du projet (en anglais) : <http://sunliquid-project-fp7.eu>

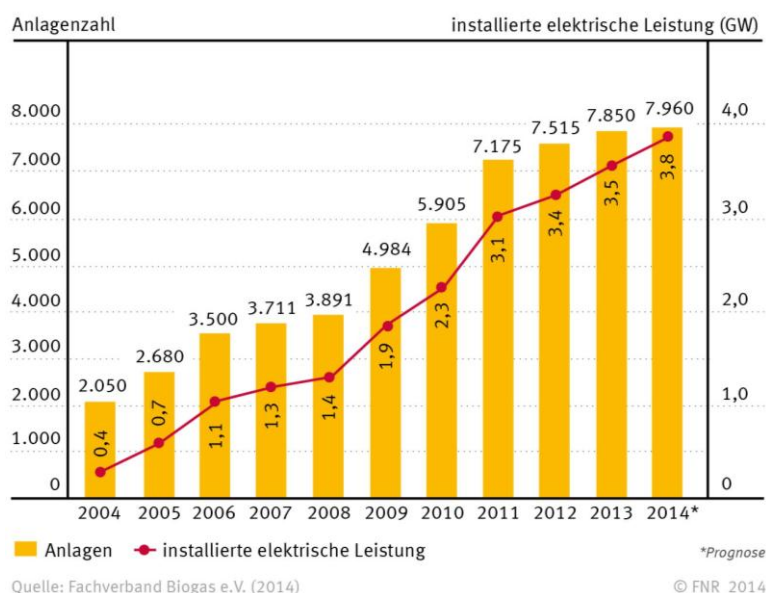


Figure 8 : Evolution du nombre d'installations biogaz (histogramme en orange) et de la puissance électrique totale installée (courbe en rouge) en Allemagne depuis 2004. Les valeurs pour 2014 sont des estimations.
 Source : FNR© - <https://mediathek.fnr.de/entwicklung-biogasanlagen.html>

L'augmentation continue de la puissance installée, malgré un tassement des nouvelles installations (à peine 100 en 2014 contre plus de 1000 cinq ans auparavant), s'explique par le phénomène de "repowering", c'est-à-dire la remise à niveau d'anciennes installations avec de nouveaux digesteurs et moteurs de cogénération plus performants.

Le gouvernement fédéral a fixé un objectif d'accroissement de la puissance électrique liée à la biomasse de seulement 0,1 GW/an (brut). Le dépassement de cet objectif entrainera une dégression accélérée des tarifs d'achats.

À côté de cette vision générale du marché du biogaz allemand, d'autres tendances du secteur sont à discerner et seront détaillées dans les paragraphes suivants.

1) Flexibilisation de la production

Un des principaux enjeux de la R&D est la flexibilisation de la production de biogaz et/ou des moteurs de cogénération. En effet, l'EEG 2014 a mis en place une prime gouvernementale de 40 €/kW/an pour les installations de production électrique disposant d'une puissance nominale supérieure à 100 kW et capables d'adapter leur production à la demande. Cette flexibilité est censée pouvoir pallier à l'intermittence des autres énergies renouvelables (solaire, éolien).

L'Institut Fraunhofer pour l'énergie éolienne et de techniques de systèmes énergétiques (IWES) a publié une étude pour mettre en avant le rôle que les installations de biogaz pourraient jouer en tant que centrales d'appoint. D'après leurs estimations, des dispositifs de flexibilisation de la production pourraient être mis en service sur le parc existant. Celui-ci pourrait ainsi ajuster son activité entre 4 et 19 h/jour pour un investissement initial compris entre 100 et 2400 €/kW_{el}. Cet investissement se rentabiliserait via une production aux heures où l'électricité est plus chère (à la pointe) ainsi que par la possible mise en place d'un marché de capacité⁶⁷ pouvant valoriser la flexibilité des centrales.

Le Fraunhofer IWES travaille par ailleurs dans le cadre du projet UBEDB⁶⁸ à un système d'alimentation modulable des méthaniseurs pour piloter la synthèse du biogaz quelques heures en amont. La quantité de biogaz introduite dans le moteur de cogénération varie et limite la quantité d'énergie utile produite en sortie. Ce système présente l'intérêt de ne pas nécessiter de stockage de gaz tampon. La gestion des stocks de biomasse à méthaniser est néanmoins plus complexe.

⁶⁷ Pour une explication du fonctionnement d'un marché de capacité, voir (en français) : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Regles-du-mecanisme-de-capacite.html>

⁶⁸ En allemand : "Upgrading von Biogasanlagen durch eine bedarfsorientierte Dynamisierung der Biogasproduktion", traduisible par "Mise à niveau des installations de biogaz par une flexibilisation de la production de biogaz adapté à la consommation"

L'université de Hohenheim (Bade-Wurtemberg) développe de son côté des bioréacteurs "omnivores" capables d'intégrer différents types de substrats (paille, déchets organiques ménagers, maïs...) selon les approvisionnements. Ce réacteur serait soumis à une pression auto-générée (par synthèse du biogaz) de 100 bars, cette haute pression permet de faciliter la séparation du dioxyde de carbone et du méthane (les deux principaux produits de la réaction de fermentation) pour pouvoir injecter ce dernier dans le réseau de gaz en cas de surproduction.

Par ailleurs, les chercheurs de Hohenheim travaillent au développement d'un réacteur à double fermenteurs : dans le premier, le substrat se dégraderait en un liquide riche en carbone. Celui-ci n'est décomposé en biogaz que dans le second fermenteur. En mettant en place des capteurs dans les deux fermenteurs relevant la concentration en sucres, en alcools et en acides gras, il serait possible d'ajuster l'introduction de liquide riche en carbone dans le second fermenteur et ainsi de limiter la synthèse de biogaz en cas de surproduction.

2) Injection de biogaz dans le réseau

Ainsi que cela a été abordé dans la partie précédente, l'injection de biométhane dans le réseau peut être un facteur de flexibilisation de la production pour les installations de méthanisation. Cependant, il est aussi possible de développer des installations uniquement destinées à l'injection dans le réseau sans avoir de moteur à gaz sur place.

Des projets d'injection de biométhane dans le réseau existent en Allemagne depuis la deuxième moitié des années 2000. L'installation de Pliening (Bavière) a, par exemple, remporté en 2008 le prix allemand du partenariat biogaz.⁶⁹ Celle-ci a été mise en service en 2006 et est capable de produire environ 480 m³ de biométhane par heure. L'installation consomme environ 40 000 t/an de maïs pour une production de 42 GWh de gaz. L'entreprise BayWa r.e. GmbH est gestionnaire du site, tandis que l'équipement technique a été fourni par l'entreprise Schmack Biogas GmbH. Le biométhane produit a un niveau de pureté de 96% en méthane après purification par adsorption et inversion de pression (procédé PSA), ce qui lui permet de respecter les réglementations de qualité allemande pour l'injection.

Le site allemand "biogaspartner.de" référence la plupart des installations en service et des projets en cours dans le domaine de l'injection de gaz.⁷⁰ Il existe en 2015 un peu plus de 200 installations en fonctionnement et une vingtaine d'autres sont en cours de réalisation.

Ces nombreuses installations se distinguent par des méthodes de préparation du gaz pour l'injection différentes : outre le procédé PSA, il existe aussi des technologies de filtrage par membrane qui fonctionnent sans apport d'eau ou de produits chimiques. Les méthaniseurs de Kißlegg-Rahmhaus (Bade-Wurtemberg) sont équipés d'une telle technologie et l'installation a reçu en 2010 le prix spécial du partenariat biogaz allemand. Des procédés de lavage à l'amine sont parfois aussi utilisés, tels que celui développé par l'entreprise Cirmac ou encore des technologies de nettoyage par eau sous pression (DWW pour "*DruckWasserWäsche*" en allemand).

3) Stations d'épuration à énergie positive

Une approche originale se développe en Allemagne pour produire du biogaz : valoriser les boues des stations d'épurations pour produire du biogaz et des engrais agricoles. Celles-ci sont en effet riches en éléments carbone et phosphate. Plusieurs projets de démonstration de stations d'épuration à énergie positive (STEP) sont actuellement en cours et portés par des acteurs à travers tout le pays.

a. Concept Carismo

Le concept CARISMO ("CARbon IS MOney" ; en français, "le carbone, c'est de l'argent") du Centre de compétence des eaux de Berlin (KWB) consiste à extraire les composés organiques des eaux usées via des tamis à tambour. La matière organique est ensuite épaissie et dirigée vers des digesteurs. Le biogaz synthétisé est envoyé vers un moteur de cogénération qui alimente la station d'épuration en chaleur et en énergie pour le traitement des eaux. Il est aussi envisageable d'injecter le biogaz dans le réseau de gaz de ville à l'aide d'un tarif d'achat préférentiel.

⁶⁹ En allemand : "*Wettbewerb Biogaspartnerschaft des Jahres 2008*"

⁷⁰ Voir le site (en anglais et allemand) : www.biogaspartner.de

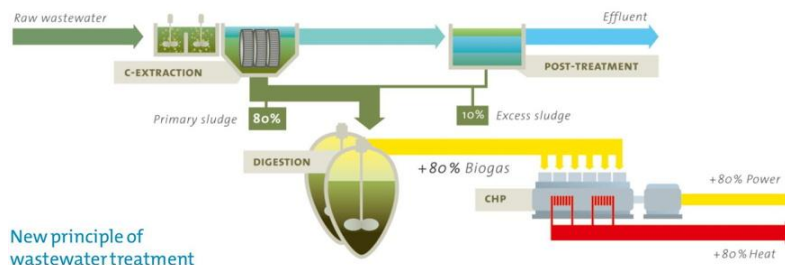


Figure 9 : Schéma de principe de production de biogaz via le procédé Carismo. Source : KWB©

Le schéma de principe ci-dessus a été validé par des tests à petite échelle. Une station d'épuration a été choisie pour être équipée d'une installation pilote afin de valider l'industrialisation du procédé à terme.

Le projet a été soutenu par le BMBF à hauteur de 700 000 € et a fini dans le top 3 du Prix pour le développement durable allemand en 2014 dans la catégorie recherche (en allemand, le *Deutscher Nachhaltigkeitspreis*).⁷¹

b. Concept Semizentral

Semizentral est un projet chinois mais dont la R&D s'est principalement déroulée en Allemagne à l'université technique de Darmstadt (Hesse). Le principe est de concevoir des STEP modulables et adaptables à des villes en croissance rapide des pays en voie de développement. Au sein de celles-ci, les déchets organiques issus des eaux usées sont filtrés pour synthétiser du biogaz. Par ailleurs, les digesteurs peuvent aussi intégrer des restes alimentaires. Le biogaz produit est ensuite brûlé dans des moteurs de cogénération qui alimentent la centrale en chaleur et en électricité.

Construite en Chine à Qingdao, une STEP pilote est déjà en activité. L'équipe du projet a remporté le GreenTec Award 2015 dans la catégorie urbanisation.⁷²

c. Station de Renningen

A Renningen (Bade-Wurtemberg), la station d'épuration est équipée d'un dispositif de pyrolyse des boues permettant de brûler les polluants tout en préservant le phosphore et le biogaz. Ce dernier est brûlé dans un moteur de cogénération dont la chaleur est utilisée en amont pour la pyrolyse. L'approvisionnement en énergie de la station est complété par une installation solaire. L'intégralité du biogaz est consommée sur place tandis que les engrais phosphatés sont valorisés en circuit court chez des exploitants agricoles de la région. Ce projet a reçu le soutien du BMBF à hauteur de 500 000 € dans le cadre du programme d'innovation pour l'environnement (UIP).⁷³

4) Méthanisation à la ferme

Le marché du biogaz allemand s'est récemment diversifié avec le développement des installations de petites puissances, dites de "méthanisation à la ferme". La loi EEG 2012 a mis en avant les installations de petite puissance avec un tarif alors de plus de 24 c€/kWh. Les amendements de la loi EEG 2014 ont ramené les subventions pour ces petites installations à 23,73 c€/kWh à la condition qu'elles affichent une puissance nominale de 75 kW maximum et qu'elles soient alimentées en lisier à au moins 80% sur l'année.⁷⁴ L'objectif étant de limiter les grandes installations de biomasse de plusieurs MW favorisant de plus en plus la monoculture du maïs tandis que le potentiel des lisiers d'élevage reste largement inexploité.

Depuis 2012, de nombreuses PME allemandes se sont lancés sur ce nouveau marché. Certaines sur des marchés régionaux (comme Energieraum e3 dans le nord-ouest de l'Allemagne), d'autres sur des marchés plus internationaux (comme Agrikomp déjà présent en France). La plupart sont des entreprises déjà

⁷¹ Voir "CARISMO : une station d'épuration devient (aussi) une centrale électrique", *Science Allemagne*, 13/04/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/carismo-une-station-depuration-devient-aussi-une-centrale-electrique/>

⁷² Pour davantage d'informations, voir (en anglais et allemand) : <http://semizentral.de>

⁷³ Voir "Station d'épuration à énergie positive : nouveau projet à Renningen", *Science Allemagne*, 02/06/2015 - <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/energie/station-depuration-a-energie-positive-nouveau-projet-a-renningen/>

⁷⁴ Voir "Réforme de la loi sur les énergies renouvelables (loi EEG) - Présentation des principales mesures", Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, 11/07/2014 - http://enr-ee.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Hintergrundpapiere/3_Gesetze-und-Rechtsrahmen/140711_loi_EEG_2014.pdf

présentes sur le marché des réacteurs de plus grande puissance (>75kW) et proposant désormais de nouvelles installations. On citera cependant l'entreprise Bio4gas express qui s'est spécialisée dans la méthanisation à la ferme du fumier (bœuf et porc) et qui est déjà présente à l'international (France, Royaume-Uni, Italie, Suisse) via un système de franchise.

L'entreprise CJB Energieanlagen GmbH de Meppen (Basse-Saxe) a quant à elle développé *KleinVieh*, une solution de méthanisation à la ferme standardisée et adaptée à la loi EEG 2014 sous forme d'un container de 40 pieds permettant de digérer 80% de lisier et 20% d'apport végétal et affichant une puissance nominale de 75 kW_{el}. Il est aussi possible d'y adjoindre une cogénération pour récupérer la chaleur fatale du processus.

Conclusion

L'Allemagne dispose depuis 2010 d'une stratégie pour le développement de la bioéconomie qui a permis la structuration d'un paysage composé d'acteurs variés, que ce soit du monde politique, scientifique ou industriel. Ceux-ci ont permis le développement d'innovations dans tous les secteurs de la bioéconomie (énergie, construction, agronomie) conférant un statut de pionnier au pays. Cette bonne visibilité internationale a été utilisée par le Haut conseil allemand à la bioéconomie pour être à l'initiative sur des projets de réseaux internationaux liés à la bioéconomie. La concrétisation de cet effort de promotion est l'organisation en novembre 2015 du sommet mondial de la bioéconomie (*World Bioeconomy Summit*) sous le patronage de la chancelière fédérale Angela Merkel et avec la participation de la ministre fédérale de la recherche, Johanna Wanka. Des représentants de la recherche, de l'industrie et du monde politique du monde entier sont attendus à Berlin à cette occasion.

Cependant, la bioéconomie a connu quelques soubresauts au cours des dernières années : la biomasse énergie a subi de nombreuses critiques, tant en Allemagne qu'au niveau européen, du fait, entre autres, de l'utilisation massive de terres arables à des fins non alimentaires, souvent sous la forme de monoculture de maïs énergétique. Ces critiques se sont matérialisées par un abandon relatif de la bioénergie de première génération au niveau européen (fin des subventions au développement des biocarburants de première génération au profit des biocarburants de seconde et troisième génération). Au niveau allemand, le développement de la filière biomasse a été freiné et réorienté vers des sources de biomasse alternatives lors des dernières lois sur la transition énergétique (EEG 2012 & 2014). Par ailleurs, la chute récente des prix du pétrole fait peser une concurrence accrue sur les produits émergents de la bioéconomie.

Le secteur de la bioéconomie est toutefois plus résistant qu'il ne l'était il y a dix ans : la valorisation de nouvelles ressources se poursuit comme la lignocellulose, le bois ou encore les déchets organiques ménagers. Ce développement est appuyé par les pouvoirs publics, comme c'est le cas avec l'obligation fédérale de collecte des déchets organiques ménagers depuis début 2015. L'Agence de moyen pour les matières premières biosourcées (FNR) permet de pérenniser les investissements en R&D en répartissant 75 M€/an de deniers publics pour la recherche publique et partenariale. Certains procédés s'approchent de plus en plus de la parité avec les énergies fossiles en terme de coût (0,8 – 2€/l pour le carburant Bioliq 2G à partir de paille). Le secteur de la construction durable se développe sous l'impulsion des nouveaux standards de bâtiment à haute efficacité énergétique. Les produits du quotidien se différencient par un marketing vert leur permettant de toucher un autre public, même avec des prix supérieurs. Enfin la structuration de la filière au sein de clusters et d'organisations professionnelles (*Spitzencluster Bioeconomy*, CLIB 2021...) a renforcé la résilience du secteur.

Le principal pari pour l'avenir de la bioéconomie allemande est son internationalisation. Le sommet mondial de la bioéconomie et le programme fédéral de soutien à la recherche *Bioeconomy International* illustre cette volonté du gouvernement allemand d'internationaliser sa recherche et ses acteurs. L'Allemagne apparaît ainsi au diapason de la Commission européenne qui a mis en place une stratégie pour une bioéconomie européenne s'insérant dans le programme de soutien de la recherche Horizon 2020. La bioéconomie se développe fortement au niveau européen, et de nombreux pays autres que l'Allemagne sont déjà largement engagés dans cette démarche. On citera en particulier la Finlande et les Pays-Bas très en avance en matière de stratégie et de R&D. La France, avec des acteurs performants comme le pôle de compétitivité Industries & Agro-ressources (IAR) et l'Institut national de recherche agronomique (INRA), a un atout à jouer dans ce secteur montant qui devra être pleinement exploité grâce à la mise en place concrète d'une stratégie ambitieuse.

Principales références bibliographiques

"National Research Strategy BioEconomy 2030", Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2011 - www.bmbf.de/pub/Natinal_Research_Strategy_BioEconomy_2030.pdf

"National policy strategy on bioeconomy", Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, mars 2014 - www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/Publications/NatPolicyStrategyBioeconomy.pdf?__blob=publicationFile

"Biorefineries Roadmap", Bundesregierung, mai 2012 - http://www.bmbf.de/pub/BMBF_Roadmap-Bioraffinerien_en_bf.pdf

"Bioökonomie in Deutschland", Bundesministerium für Bildung und Forschung & Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, mai 2014 - http://www.bmbf.de/pub/Biooekonomie-in-Deutschland_001.pdf

"Réforme de la loi sur les énergies renouvelables (loi EEG) - Présentation des principales mesures", Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, 11/07/2014 - http://enr-ee.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Hintergrundpapiere/3_Gesetze-und-Rechtsrahmen/140711_loi_EEG_2014.pdf

"Marktübersicht: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen", Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2014 - <https://mediathek.fnr.de/dammstoffe-aus-nachwachsenden-rohstoffen.html>