

Bioéconomie et chimie du végétal : état des lieux en Allemagne



Abréviations	3
Introduction	4
I. Approvisionnement en biomasse	5
A. Débat "Tank-oder-Teller" sur les cultures énergétiques (Génération 1)	5
B. Sources alternatives de biomasse (Génération 2 & 3)	5
1) Biomasse bois	6
2) Déchets organiques ménagers	6
3) Résidus agricoles	7
4) Micro-algues	7
II. Chimie du végétal et produits biosourcés	8
A. Bioraffineries	8
1) Bioraffinage du bois à Leuna	8
2) Bioraffinage de l'herbe à Brensbach	8
B. Bioplastiques	9
1) Emballages alimentaires	9
2) Jouets en bioplastique	10
3) Recyclage et valorisation des bioplastiques	10
C. Construction durable	11
III. Utilisation énergétique de la biomasse	12
A. Biocarburants	12
1) Procédé Bioliq (2G)	12
2) Biocarburant "drop-in" de Global Bioenergies et Audi (2G)	13
3) Procédé Sunliquid de la bioraffinerie Clariant à Straubing (2G)	13
4) Projet Aufwind (3G)	14
5) Photobioréacteurs de l'IGB (3G)	14
B. Méthanisation et biogaz	14
1) Flexibilisation de la production	15
2) Injection de biogaz dans le réseau	16
3) Stations d'épuration à énergie positive	16
a. Concept Carismo	16
b. Concept Semizentral	17
c. Station de Renningen	17
4) Méthanisation à la ferme	17
Conclusion	19

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 Polylactide
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 (*Bioökonomierat*) 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.

Ce rapport se propose de compiler la veille scientifique et technologique effectuée par le Service pour la Science et la Technologie sur la période 2014-2015 et de présenter des exemples concrets de réalisations techniques en cours de démonstration.

¹ Définition (traduite de l'allemand) issue de : <http://www.bioekonomierat.de/bioeconomie.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

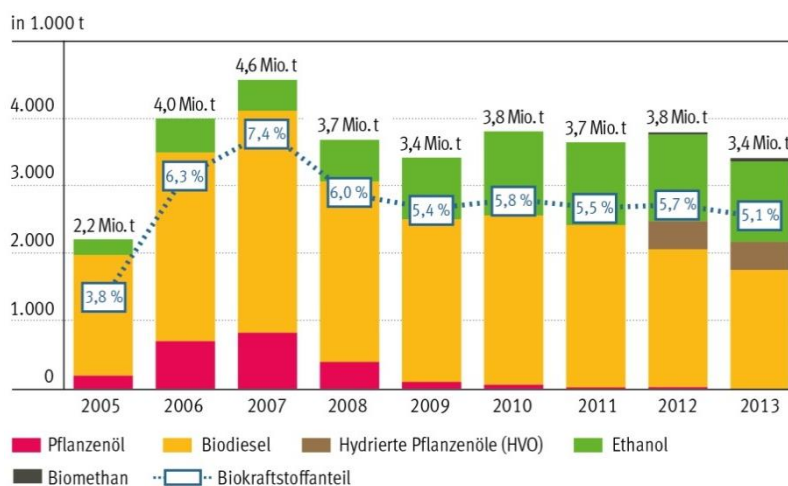
I. Approvisionnement en biomasse

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 développées 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 Debate".³

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 1 : 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).⁴

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.

³ Que l'on pourrait traduire littéralement par "Le débat du réservoir (à essence) ou de l'assiette"

⁴ 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 matière⁵ 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.⁶

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 matière⁷ de la biomasse urbaine (voir schéma ci-dessous).

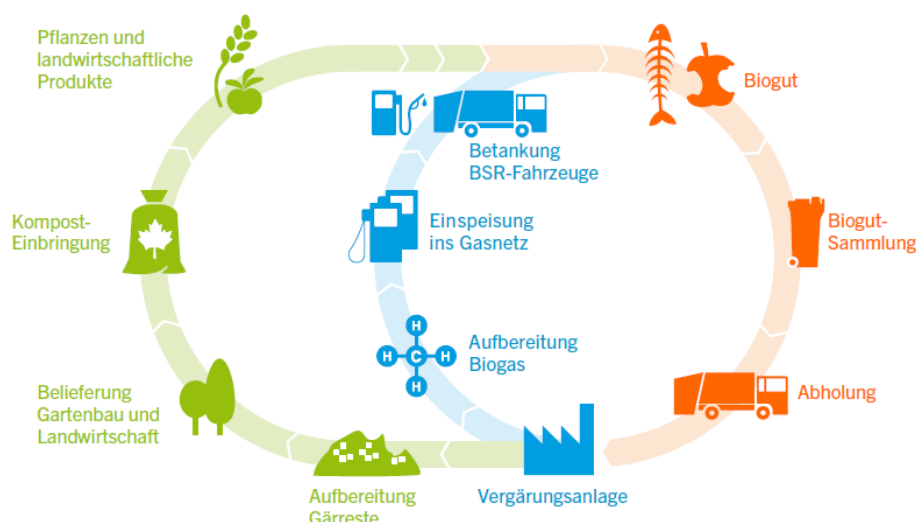


Figure 2 : Schéma de principe du modèle de valorisation de la biomasse urbaine à Berlin. En orange, la collecte et le transport des déchets ; en bleu, la synthèse de biogaz et son injection dans les réseaux existants ; en vert, la valorisation des résidus de digestion dans l'agriculture. Source : BSR - 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'avait 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.⁸

⁵ "L'utilisation matière" de la biomasse consiste à produire un objet biosourcé dont la vocation n'a pas, dans un premier temps, à être brûler 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).

⁶ Une conférence sur cette thématique sera organisée à Berlin fin 2016. Voir (en anglais) : <https://ipc25berlin2016.com>

⁷ "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.

⁸ 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.⁹

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.¹⁰

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.

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

⁹ 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

¹⁰ 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/>

II. 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.¹¹

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.¹²

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)".¹³ 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.¹⁴

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.¹⁵

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

¹¹ Voir le document en anglais "Biorefineries Roadmapas", Bundesregierung, mai 2012 - http://www.bmbf.de/pub/BMBF_Roadmap-Bioraffinerien_en_bf.pdf

¹² Le catalogue des produits est disponible via le lien (en allemand uniquement) : http://www.biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/materialien/nature.tec_Ausstellungskatalog.pdf

¹³ Définition IFP Energies Nouvelles

¹⁴ 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/>

¹⁵ 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.¹⁶

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.

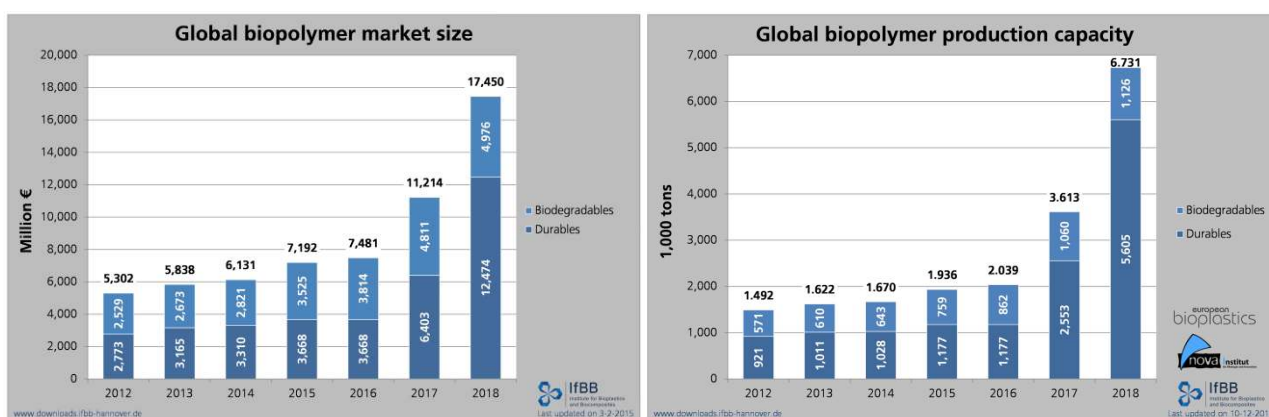


Figure 3 : Evolution et perspectives du prix des biopolymères (à gauche) et des capacités de production (à droite) en 2015. Source : IfBB - <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/downloads/>

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.

¹⁶ 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/suedhessen/Biowert-GmbH-in-Brensbach-Plastik-von-der-Kuhweide;art1155.5327445>



Figure 4 : 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.¹⁷

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"¹⁸, 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 FENAFa¹⁹ 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.²⁰

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".²¹ Le BMEL et la FNR soutiennent le projet financièrement.²²

¹⁷ Informations issues de l'article : "Des emballages alimentaires biosourcés", *Science Allemagne*, 26/02/2015 - <http://www.science-allemanne.fr/fr/actualites/sciences-de-la-terre-environnement/des-emballages-alimentaires-biosources/>

¹⁸ 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/

¹⁹ FENAFa (en allemand) : "Ganzheitliche Bereitstellungs-, Verarbeitungs- und Fertigungsstrategien von NaturFaserrohstoffen" traduisible par "Approche holistique pour le développement de matériaux et de fibres naturels"

²⁰ Voir "Des jouets à base de maïs plutôt que de pétrole", *Science Allemagne*, 23/08/2013 - <http://www.science-allemanne.fr/fr/actualites/materiaux-sciences-de-lingenieur/materiaux/des-jouets-a-base-de-mais-plutot-que-de-petrole/>

²¹ En allemand : "Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen"



Figure 5 : 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.²³

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 produit²⁴. 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 acier²⁵ 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.

²² 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/>

²³ 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-l'ingenieur/efficacite-energetique-dans-les-batiments-nouvelles-recherches-dans-les-materiaux-disolation/>

²⁴ Voir la description du projet (en anglais) : <http://www.wki.fraunhofer.de/en/services/vst/projects/wpc-recycling.html>

²⁵ Voir la page internet de l'institut (en anglais et allemand) : http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_bauingenieurwesen/ish/holzbau/mitarbeiter

III. 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 limitées au niveau européen²⁶) 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*²⁷), 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...).²⁸

Dans la suite de cette partie, plusieurs projets de R&D dans le domaine des biocarburants 2&3G sont présentés.²⁹

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).

²⁶ "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

²⁷ Traduisible par "Carburants sur mesure à partir de biomasse"

²⁸ 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/>

²⁹ 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 6 : 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.³⁰

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 FNR³¹.

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 ;

³⁰ 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/>

³¹ 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 2020.³²

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.

³² Voir le site du projet (en anglais) : <http://sunliquid-project-fp7.eu>

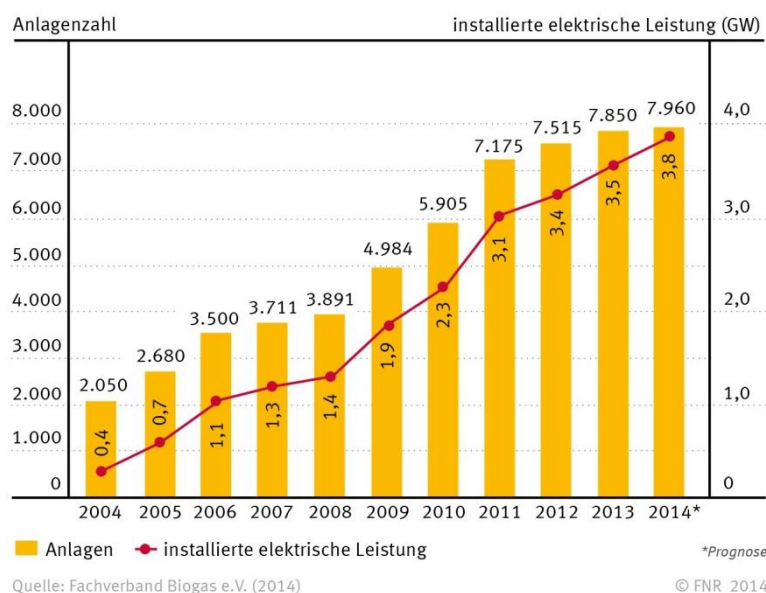


Figure 7 : Evolution du nombre d'installations biogaz (histogramme en orange) et de la puissance électrique totale installée (courbe en rouge) en Allemagne depuis 2004. Les valeurs pour 2014 sont des estimations.
Source : FNR© - <https://mediathek.fnr.de/entwicklung-biogasanlagen.html>

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 entraînera 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 capacité³³ pouvant valoriser la flexibilité des centrales.

Le Fraunhofer IWES travaille par ailleurs dans le cadre du projet UBEDB³⁴ 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.

³³ 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>

³⁴ 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.³⁵ 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.³⁶ 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.

³⁵ En allemand : "*Wettbewerb Biogaspartnerschaft des Jahres 2008*"

³⁶ Voir le site (en anglais et allemand) : www.biogaspartner.de

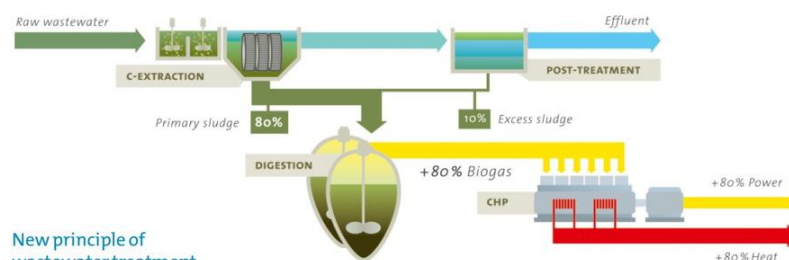


Figure 8 : Schéma de principe de production de biogaz via le procédé Carismo. Source : KWB©

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*).³⁷

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.³⁸

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).³⁹

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.⁴⁰ 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 lancées 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

³⁷ 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/>

³⁸ Pour davantage d'informations, voir (en anglais et allemand) : <http://semizentral.de>

³⁹ 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/>

⁴⁰ 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

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. 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.

Le principal pari pour l'avenir de la bioéconomie allemande est son internationalisation. Le sommet mondial de la bioéconomie en novembre 2015 (*World Bioeconomy Summit*) illustre cette volonté d'internationaliser la recherche et les 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 Horizon 2020. 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.