

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

Les biocarburants de 2^e génération produits à partir de biomasse lignocellulosique sont aujourd'hui une des principales options technologiques pour réduire l'impact climatique des carburants utilisés dans les transports. Ces filières visent à accroître sensiblement les quantités de biocarburants et à prendre le relais de la 1^{re} génération, du fait du grand gisement de ressources et de leurs excellentes performances environnementales. Elles font déjà l'objet de plusieurs projets préindustriels dans plusieurs régions du monde dans le cadre de programmes de R&D, et des premières industrielles sont déjà en démarrage ou en construction, principalement en Europe et aux États-Unis. Elles ont besoin d'un cadre réglementaire stable pour passer le stade de l'apprentissage industriel qui leur permettra de devenir pleinement compétitives. C'est pourquoi les incertitudes réglementaires actuelles en Europe et dans une moindre mesure aux États-Unis pourraient ralentir leur déploiement.

Les biocarburants de deuxième génération : en passe de devenir une réalité industrielle mais un cadre économique encore incertain

Les technologies en mesure de convertir la biomasse lignocellulosique en biocarburants de 2^e génération (2G) ont fait l'objet d'importants programmes de recherche au cours des dix dernières années. Toutefois, même si des substituts à l'essence tels que le biométhanol, le biobutanol ou autres biométhane, BioSNG, BioDME ainsi que le biohydrogène suscitent l'intérêt d'industriels et d'universitaires, les technologies ayant jusqu'à ces années récentes mobilisé le plus de moyens de recherche sont celles qui produisent du bioéthanol, du gazole et du kérosène de synthèse, biocarburants liquides de référence.

Le biocarburant lignocellulosique le plus couramment envisagé pour les véhicules diesel, le BtL⁽¹⁾, est un gazole de synthèse de très bonne qualité pouvant être incorporé à des taux élevés dans un réservoir classique. Le procédé

utilisé permet non seulement la production de gazole de synthèse, mais également de kérosène de synthèse, pour l'aviation. Enfin, la voie de production de diesel via pyrolyse fait l'objet d'efforts similaires à celui du BtL.

Le principal substitut à l'essence est l'éthanol lignocellulosique produit par la voie biochimique⁽²⁾. Il s'agit du même produit que l'éthanol actuellement commercialisé, seule la ressource et les premières étapes de traitement de celle-ci diffèrent. Cette technologie a depuis ces dernières années mobilisé le plus de moyens de recherche, en particulier aux États-Unis.

Au cours de ces cinq dernières années, ces biocarburants 2G, dont la production utilise des résidus forestiers, paille et autres sous-produits issus de la biomasse lignocellulosique, ont notamment enregistré des avancées significatives :

- entre 2008 et 2013, le nombre de pilotes et de démonstrateurs existants et en construction a quasiment triplé. La capacité de production a été multipliée par 10 et s'établit à quelque 2,4 milliards de litres (Gl/an) ;

⁽¹⁾ BtL : Biomass to-Liquids alliant une unité de gazéification, précédée ou non d'un procédé de prétraitement (ex. torréfaction), à une unité de synthèse Fischer-Tropsch et à une unité d'hydroisomérisation

⁽²⁾ Filière associant principalement un prétraitement (séparation des constituants : cellulose, hemicelluloses et lignine) et une hydrolyse enzymatique de la cellulose

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

- les technologies pour produire ces biocarburants arrivent à maturité. La recherche en biotechnologies industrielles a permis de faire d'énormes progrès, en particulier au niveau du traitement de la biomasse, faisant notamment appel à des processus enzymatiques. De 2008 à 2012, on estime que le coût de l'enzyme par litre de bioéthanol lignocellulosique produit a ainsi diminué de plus de 70 % ;
- le coût global de production de 0,7 € par litre de bioéthanol 2G est devenu une cible accessible à court terme, ce qui le rapproche des coûts des filières historiques les plus économiques (ex. canne à sucre notamment) ou des prix de marché observés ces dernières années (voir fiche Panorama 2014 – Tour d'horizon des filières biocarburants dans le Monde) ;
- les premières unités commerciales de production de bioéthanol lignocellulosique ont démarré en 2013 ou vont démarrer en 2014 (tab. 1).

Tableau 1

Pilotes et démonstrateurs de biocarburants 2G dans le monde
– Existants et en construction – Évolution 2008/2013

Produit	Capacité (Ml/an)		Nombre d'unités	
	2008	2013	2008	2013
Éthanol cellulosique	193	1 372	27	81
Diesel, kérosène (BtL ¹ , FT)	1,5 (e)	649	5	23
Autres*	37	414	2	12
Total	231,5	2 435	34	116

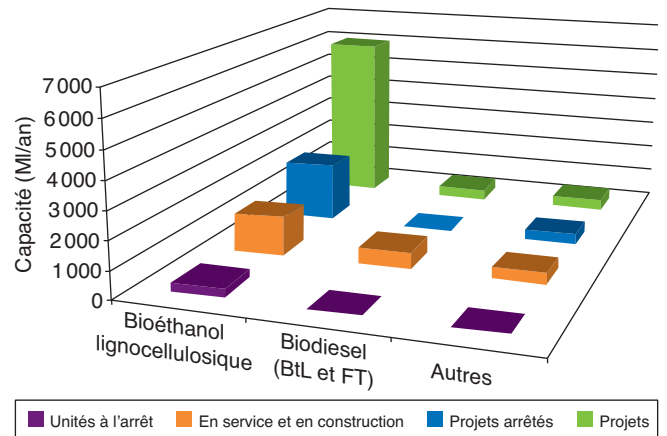
*Biobutanol, biométhanol, bioDME
(e) estimé

Source : Global Biofuels Center et rapports

Au-delà de ces succès, le développement de la filière des biocarburants 2G n'en reste pas moins limité et soumis à différents facteurs, dont la crise économique et des cadres réglementaires stables qui tardent à se mettre en place. Ces situations se traduisent en particulier par l'arrêt ou le report de nombreux projets, bien que parfois en partie financés par des fonds publics, ou bien encore la mise à l'arrêt de certaines unités qui avaient été déjà mises en exploitation (fig. 1).

Avec près de 650 Ml/an, les unités de production de gazole et de kérosène de synthèse ne représentent actuellement que quelque 27 % des capacités de biocarburants 2G installées et en cours de construction dans le monde.

Fig. 1 – Capacités existantes et potentielles des productions de biocarburants 2G – Situation à fin 2013



Source : Global Biofuels Center et rapports

Avec 81 unités en service et en construction (en quasi-totalité des pilotes et des démonstrateurs), le développement des capacités de production de bioéthanol lignocellulosique a connu un essor spectaculaire, atteignant environ 1,4 GJ à la fin de l'année 2013.

Aujourd'hui, malgré le contexte économique difficile et les difficultés de ces filières à trouver un modèle économique qui pérennise leur développement à long terme, de nombreux projets sont à l'étude. Ils représentent un total de l'ordre de près de 7 GJ, dont près de 88 % de ce volume concernant la production de bioéthanol lignocellulosique (tab. 2).

Tableau 2

Les unités de production de biocarburants 2G dans le monde – Existantes et en construction – Projets à fin 2013

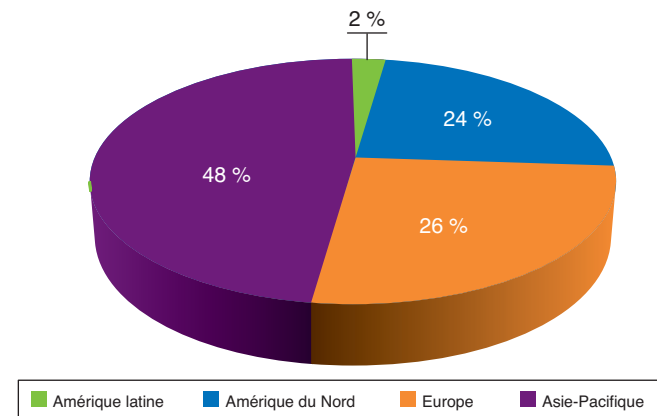
Produit	Usines existantes et en construction		Usines en projet	
	2008	2013	2008	2013
	Pilotes/démo/unités com.	Capacité (Ml/an)	Pilotes/démo/unités com.	Capacité (Ml/an)
Éthanol cellulosique	81	1 372	101	6 018
Diesel, kérosène (BtL ¹ , FT)	23	649	14	436
Autres*	12	414	11	417
Total	116	2 435	126	6 871

*Biobutanol, biométhanol, bioDME
(e) estimé

Source : Global Biofuels Center et rapports

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

Fig. 2 – Répartition géographique des capacités existantes et en projet de biocarburants 2G – Situation à fin 2013



Source : Global Biofuels Center et rapports

L'analyse de la répartition géographique des capacités existantes et potentielles de biocarburants 2G (sur la base de la connaissance actuelle des projets annoncés) montre qu'à terme, environ 70 % des capacités de production seraient localisées en Asie-Pacifique et en Europe. Cette position de l'Asie-Pacifique tient en partie au nombre affiché très ambitieux de projets de bioéthanol 2G annoncés par la Chine et de leur capacité unitaire qui, pour certains, dépasse largement les 100 ML/an (fig. 2).

Avec environ 750 ML/an, la région Asie-Pacifique dispose d'environ 30 % de la capacité existante et en construction de biocarburants 2G dans le monde.

En Europe, les capacités de production de diesel de synthèse représentent environ 20 % de la capacité totale potentielle de production de biocarburants 2G de la région.

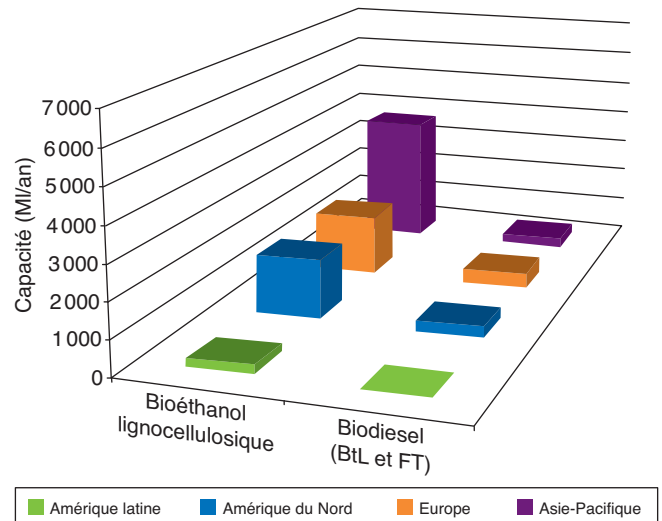
Les États-Unis abritent la capacité de production existante de bioéthanol lignocellulosique la plus grande, avec 765 ML/an, soit 44 % de la capacité mondiale (fig. 3).

Dans son rapport *Bioenergy task 39*, l'IEA indique qu'un recensement fait sur 71 projets de biocarburants 2G montre que les technologies biochimiques dominent largement (43 projets), devant les technologies thermo-chimiques (20 projets) (fig. 4).

L'éthanol lignocellulosique : une première unité commerciale en Europe

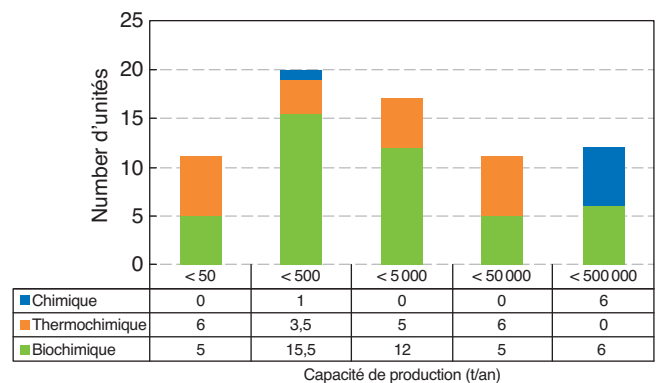
Alors que les premières unités de dimensions industrielles voient le jour aux États-Unis (DuPont, Abengoa, Ineosbio, KiOR et Poet), la mise en service, en 2013, de

Fig. 3 – Répartition géographique des capacités existantes et en projet par types de biocarburants 2G – Situation à fin 2013



Source : Global Biofuels Center et rapports

Fig. 4 – Répartition des projets de biocarburants 2G par type de technologie



Remarque : la seule unité pilote biochimique/thermo-chimique a été ventilée n = 71 unités

Source : Rapport IEA Bioenergy Task 39

la première unité à échelle commerciale, l'usine Beta Renewables (80 000 m³/an environ) en Italie (site de Crescentino), atteste d'une maturité naissante des nouvelles technologies et signe les premiers pas de la filière bioéthanol 2G vers la production de masse en Europe. Rappelons qu'en France, le projet Futurol, financé dans le cadre des AMI de l'Ademe, devrait entrer dans sa seconde phase avec pour objectif de déboucher sur une offre commerciale d'ici 2016.

Malgré des avancées technologiques incontestables, cette filière reste jeune et doit encore travailler pour assurer sa rentabilité économique dans la durée, et donc

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

au-delà des incitations économiques possibles (réduction de fiscalité, etc.). Le cadre législatif porteur du développement du marché reste aussi un point majeur d'attention des investisseurs.

Outre la R&D en cours pour améliorer les performances des procédés, la recherche de rentabilité économique conduit aussi les promoteurs à envisager différentes options pour faire émerger les projets. Parmi celles-ci :

- l'optimisation des coûts : l'installation d'une unité de production de bioéthanol 2G sur le site existant d'une unité de production d'éthanol 1G (mutualisation d'infrastructures et d'utilités sur site) ;
- conversion d'unités : au Brésil et aux États-Unis, il est envisagé de convertir certaines unités pour qu'elles produisent du biobutanol et non plus de l'éthanol (GEVO, A. Process – Alpena).

Il existe actuellement une centaine de projets de nouvelles unités de production de bioéthanol 2G. Avec 18 projets recensés pour 2,5 Mm³/an, la Chine représente environ 40 % des capacités potentielles. En Europe, on recense une vingtaine de projets pour environ 1,6 Mm³/an.

Alors que les projets envisagés approchent de l'échelle commerciale et portent, en conséquence, sur de plus grosses capacités et des investissements encore plus lourds, de nombreux projets de production de bioéthanol 2G, principalement prévus en Amérique du Nord (BlueFire Ethanol, Celunol, Iogen-Birch Ills, BP Biofuels-Islands County,..) ont été abandonnés ou reportés. En Europe, quelques projets ont été abandonnés (Suède, Autriche, Pays-Bas) et l'unité de production de Sekab en Suède a été mise à l'arrêt, essentiellement par défaut de compétitivité vis-à-vis des filières de 1^{re} génération et par l'absence aujourd'hui de schéma réglementaire de développement clarifié et incitatif.

Gazole et kérosène de synthèse : l'Europe abrite plusieurs projets à l'échelle commerciale

Bien qu'elle rencontre des difficultés de rentabilité économique similaires à celles de la filière bioéthanol lignocellulosique, l'Europe met en œuvre des moyens importants pour faire sortir des projets de production de liquides, produits par synthèse Fischer-Tropsch (FT), à court et moyen termes. Plusieurs acteurs fournisseurs de technologies (Udde, UPM, Axens) se positionnent sur des projets à l'échelle commerciale. En France, le projet BioTfuel vise à développer une offre intégrée pour 2018.

L'enjeu majeur de la voie BtL reste l'accessibilité à une charge flexible et suffisante. En effet, l'optimisation du coût de revient du produit final repose notamment sur un facteur d'échelle, impliquant des tailles d'installations importantes, mobilisant de grandes quantités de ressources. Celles-ci seront donc amenées à être de forme et de composition diverses. L'étape de prétraitement de la biomasse avant gazéification prend alors toute son importance car elle permet de convertir la biomasse en une charge de qualité homogène pour le gazéifieur. Parmi les deux principales techniques de prétraitement, on compte la pyrolyse (produit liquide) et la torréfaction (produit solide sous forme de poudre).

Associées à la nécessité d'industrialisation de futures unités à forte capacité pour bénéficier d'économies d'échelle (autour de 200 000 tonnes de produit/an), ces contraintes impliquent la mobilisation de quantités très importantes de biomasse par tonne de gazole ou de kérosène produit. Le cotraitement de charges biomasse et de résidus de raffineries pourrait alors être une solution permettant de lever progressivement ces verrous en attendant la mise en place de systèmes d'approvisionnement en biomasse adaptés.

L'Europe en quête d'un cadre réglementaire stabilisé

Fixé par la Commission européenne, le plan d'action "Paquet Énergie Climat" a notamment pour objectif de réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre (GES) et d'atteindre 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique de l'Union européenne. Dans ce contexte, deux directives relatives aux biocarburants ont été établies :

- la Directive 2009-2023/CE, RED (*Renewable Energy Directive*), relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et qui fixe, à l'horizon 2020, une part de 10 % d'énergie renouvelables dans les transports pour les états membres de l'Union ;
- la Directive 2009-2030/CE, FQD (*Fuel Quality Directive*), relative à la qualité de l'essence et qui oblige les fournisseurs à réduire d'au moins 6 % les émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie des carburants.

En octobre 2012, la Commission européenne a publié une proposition d'amendement à ces directives qui sont deux orientations clés pour 2020, véritables repères pour les investisseurs, car ces règlements fixeront

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

respectivement les obligations d'incorporation de biocarburants 1G et 2G au sein des carburants classiques, ainsi que leurs performances environnementales attendues. Les mesures emblématiques portent sur l'introduction d'une limitation de la contribution des biocarburants 1G dans l'objectif des 10 % d'énergies renouvelables dans les transports à l'horizon 2020, et sur la prise en compte des CASI (changement d'affectation des sols indirect) dans les calculs de GES. Ces changements font l'objet d'intenses débats sur leur justification (impact réel ou supposé de la 1G sur le CASI, et par conséquent sur les méthodologies et les modèles utilisés pour les estimer) parmi les acteurs concernés.

En septembre 2013, le Parlement européen (après de nombreux débats) s'est finalement prononcé pour une limitation à 6 % des biocarburants 1G dans l'objectif des 10 % d'énergies renouvelables dans les transports, et pour la prise en compte du CASI dans les critères de durabilité pour 2020 (RED2) sous forme de "reporting". Dans le cadre du processus de codécision européen, une nouvelle proposition de la présidence lituanienne a été publiée avec les changements suivants : taux de 7 % max pour la 1G, pas d'objectif spécifique pour la 2G et l'électricité "verte" (laissé à la discrétion de chaque État membre (EM)), un mécanisme de double-compte en faveur de la 2G (et autres filières "déchets") et valeurs par défaut pour les CASI – estimées à zéro pour la 2G, ce qui serait un signal très positif. Toutefois, cette proposition n'a pas obtenu un consensus de la part des EM à la fin du mois de décembre. Les discussions doivent reprendre sous la présidence Grecque, mais la probabilité d'aboutir à un compromis pour une seconde lecture au Parlement européen avant les élections et le changement de Commission est réduite.

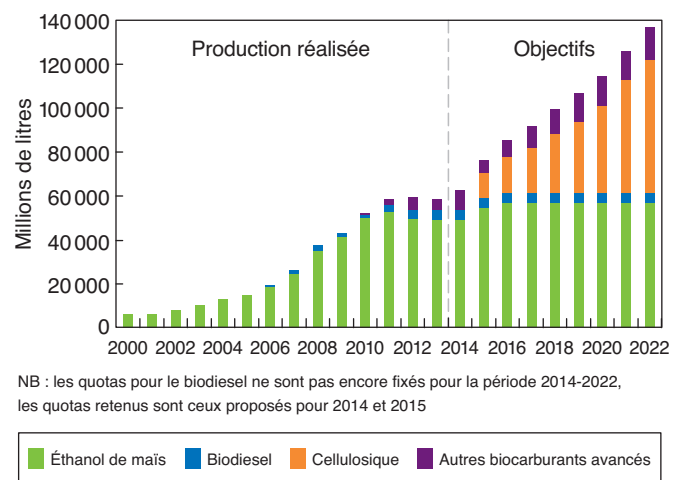
Au-delà des annonces contradictoires sur les plans nationaux faites au cours de la période récente, et les délais à envisager avant le vote final, cette incertitude réglementaire a tendance à annuler les efforts mis en œuvre pour donner la visibilité nécessaire sur le long terme aux investisseurs dans la 2G, qui sont souvent les mêmes que ceux de la 1G.

États-Unis : les objectifs de taux d'incorporation restent ambitieux

Dès 2007, le programme *Renewable Fuel Standard* (RFS) a été revu et étendu par l'*Energy Independence & Security Act* (EISA). Ainsi les objectifs d'incorporation dans les transports à l'horizon 2022 ont été portés à 137 GJ et des

taux d'incorporation différenciés en fonction des types de biocarburants ont été définis. Aux États-Unis, où l'éthanol produit à partir de maïs est le biocarburant majoritaire, ces différences de taux d'incorporation ont pour objectif de favoriser l'émergence d'autres types de biocarburants notamment les biocarburants celluloseux (fig. 5).

Fig. 5 – Production de biocarburants 2000-2013 et quotas 2014-2022



Source : Sia-Partners

Du fait d'une demande en essence plutôt déclinante, le mandat 2014 d'incorporation de biocarburants initialement fixé à 18,15 milliards de gallons (dont la plus grande partie est constituée d'éthanol de maïs) risquait de percuter le "mur d'incorporation d'éthanol" (*blend-wall*). Celui-ci correspond au taux maximal d'éthanol incorporable à l'essence sans aucun risque pour le moteur, soit 10 %. En conséquence, les objectifs 2014 ont été révisés à la baisse pour tenir compte de cette évolution de la demande et ont été proposés par l'*Environmental Protection Agency* (EPA) à hauteur de 15,21 milliards de gallons. Cette réduction a été très mal accueillie par les producteurs d'éthanol, qui préféreraient que des mesures soient prises pour que l'on puisse dépasser la limite des 10 % d'incorporation (entre autres par le développement des véhicules flex fuel et de l'infrastructure de distribution associée de E85 comme au Brésil).

Concernant les biocarburants celluloseux, leur production effective reste actuellement très en-deçà des objectifs initiaux de l'EPA, qui a revu à plusieurs reprises ses objectifs cibles depuis 2010. Comme les années précédentes, le mandat 2014 devrait correspondre à une valeur estimée probable de la production, assurant ainsi un marché captif aux pionniers de la 2G.

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

Tableau 3

Principaux projets de biocarburants 2G financés ou en partie financés par des fonds publics UE ou France

Nom du projet	Promoteur	Fournisseur de la technologie	Type de biocarburant	Type de biomasse	Capacité de production (t/an)	Financement (M€)
BtL/Gaz Naturel de Synthèse — SNG/Bio-gazole/DME/Methanol						
OPTFUEL	VW	Choren Industries	Liquide FT	Bois	15 000	7,8*
Ajos BtL	Forest BtL Oy	Axens (FT Gasel®)	Liquide FT	Résidus forestiers	115 000	88,5*
BioTfuel	Consortium BioTfuel	Uhde	Liquide FT	Mélange biomasse ligno. et matières fossiles	3 750	33,3
Stracel BtL	UPM KYMENNE	Voie thermochimique	Liquide FT, élec. et chaleur	Biomasse forestière	100 000	170*
Syndièse	CEA, Air Liquide, CNIM	Voie thermochimique	Liquide FT	Résidus agricoles et forestiers	22 000	
GoBiGas (phase 2)	Göteborg Energi AB	Voie thermochimique	SNG	Résidus forestiers et bois de trituration	50 000	59*
GAYA	GDF Suez & Partenaires	Voie thermochimique	SNG	Résidus agricoles et forestiers	550	18,9
EMPYRO	BTG	BTG	Biogazole	Bois	17 400	5*
BIO DME	Volvo	Chemrec AB	DME	Liqueur noire	600	8,2
Woodspirit	BioMCN		Méthanol	Résidus forestiers	200 000	199
Bioéthanol lignocellulosique						
BIOLYFE	Chetex Italia	Chetex Italia	Éthanol	Divers	40 000	8,6*
FIBREEtOH	UPM	UPM	Éthanol	Fibres	20 000	8,6*
Futurol	Procethol 2G		Éthanol	Coproduits agricoles, forestiers	2 700 137 700	29,9**
KACELLE	Dong Energy	Inbicon	Éthanol	Pailles	20 000	9,1*
LED	Abengoa	Abengoa	Éthanol	Résidus de maïs	50 000	8,6*
GOMETHA	Chetex Italia	Chetex Italia	Éthanol	Divers	80 000	19*
SUNLIQUID	Clariant	Clariant	Éthanol	Divers	60 000	19*

* Financement Programme UE NER300 — ** OSEO

Source : IFPEN, d'après diverses sources

Le Président Obama ayant affiché un objectif de diminution de la pollution et de la dépendance énergétique, le Département de l'énergie continue à financer nombre de projets de R&D destinés à accélérer l'arrivée des biocarburants 2G, diminuant ainsi le coût de production de l'essence, du gazole et autres kérosènes issus de la biomasse.

La R&D en Europe

Dans le cadre du programme de financement européen NER300, la Commission européenne finance de nombreux projets visant la mise en place d'unités de production à l'échelle commerciale ou de démonstrateurs de biocarburants. Le tableau 3 ci-dessus donne un récapitulatif, non-exhaustif, de ces principaux projets, qui sont à des niveaux de développement très différents.

Au-delà de ces projets de biocarburants 2G, l'Union européenne soutient par des financements les projets de biocarburants de 3^e génération (3G) à partir d'algues tels que All-GAS, BIOFAT ou INTESUSAL.

Les biocarburants avancés issus de biomasse algale, toujours en phase de R&D, pourraient en effet présenter certains avantages comparativement à leurs homologues de 2G, comme par exemple :

- se nourrir de CO₂ issu de déchets de centrales émettrices et des nutriments contenus dans les eaux usées (à l'heure actuelle, ces pratiques n'ont cependant pas été démontrées à grande échelle) ;
- s'implanter sur des surfaces inaptées à toute forme d'agriculture, c'est-à-dire ne rentrant pas en compétition avec des terres à usage alimentaire (néanmoins, d'autres contraintes régissent l'implantation des unités : ensoleillement, disponibilité en eau, etc.) ;

Panorama des projets d'unités de production de biocarburants de deuxième génération

- présenter un rendement énergétique à l'hectare théorique très supérieur aux plantes terrestres "classiques".

Cette filière est cependant toujours balbutiante car de nombreux obstacles et inconvénients subsistent, notamment :

- des procédés très énergivores, complexes et nécessitant beaucoup d'eau, induisant donc un bilan environnemental pas nécessairement positif ;
- des coûts de production très élevés qui tendent à faire changer de cible les projets : du carburant au produit de spécialité à forte valeur ajoutée. On peut noter un nombre important de projets et pilotes européens centrés sur la production de biomasse algale (connaissance des souches, amélioration de la productivité, conditions de culture/récolte, design des réacteurs, etc.), mais leurs débouchés ne sont pas systématiquement précisés, ou alors orientés vers l'extraction de produits à haute valeur ajoutée (pour la chimie verte, les secteurs alimentaires, cosmétiques, etc.).

En Europe, on peut recenser six projets de recherche sur les biocarburants ex-algues ayant actuellement reçu

des financements. Concernant les unités pilotes de production, il en existe actuellement cinq, dont une ayant une finalité de production de biocarburant spécifiquement pour l'aéronautique. En Amérique du Nord, il existe plusieurs projets pilotes, et deux entreprises visent une échelle semi-industrielle dans un horizon de temps qui reste encore incertain. La capacité totale des unités actuellement en projet (mais dont certains pourraient ne pas se réaliser) au niveau international est de l'ordre de 0,5 Gt/an.

Enfin, d'autres filières centrées sur des approches de type biotechnologie visent à produire à partir des sucres, des molécules autres que l'éthanol : on peut citer dans ce cadre la société Amyris, soutenue par Total, qui a mis au point un procédé de production d'un carburant jet et éventuellement diesel centré sur la farnésène actuellement fabriquée au Brésil.

Marie-Françoise Chabrelie – marie-francoise.chabrelie@ifpen.fr

Jean-François Gruson – jean-francois.gruson@ifpen.fr

Charlène Sagnes – charlene.sagnes@ifpen.fr

Manuscrit remis en décembre 2013