



## **Feuille de route Biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération.**

### ***Contexte et enjeux***

La France, tout comme le reste du monde, doit faire face aux défis, que représentent à la fois le changement climatique et la dépendance excessive, à l'égard des combustibles fossiles. Face à la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en diversifiant les sources d'énergie, la biomasse apparaît comme une source d'énergies renouvelables particulièrement adaptée à la production de combustibles liquides dont la grande majorité des véhicules de transport des personnes et marchandises mondial dépendent sur terre, air, mers. Les transports sont à l'origine de près d'un quart des émissions françaises et européennes de gaz à effet de serre. Les émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports sont celles qui ont connu la plus forte croissance sur la période 1990 - 2007. Il est par conséquent essentiel de trouver les moyens de réduire ces émissions. Les biocarburants de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> génération constituent une voie à court et moyen terme permettant simultanément de réduire la dépendance du secteur aux produits pétroliers et de réduire ses émissions de gaz à effet de serre à condition d'être produits de manière durable.

La directive européenne 2003/30/CE prévoit 5,75% d'incorporation de biocarburants en 2010 pour les pays membres de l'Union Européenne. Lancée en 2005 par Jean-Pierre Raffarin et accélérée quelques mois plus tard par Dominique de Villepin, la déclinaison française de cette directive européenne prévoit un taux d'incorporation de 5,75% en 2008, 7% en 2010 et 10% en 2015, ce qui place la France au premier plan européen. Aujourd'hui, la totalité des biocarburants sont produits par des procédés dits de 1<sup>ère</sup> génération, ne valorisant que l'organe de réserve de la plante ; ces procédés limitent le champ des ressources mobilisables pour la production de biocarburants, interfèrent avec un certain nombre de filières à vocation alimentaire et ont des bilans énergétiques et environnementaux qui peuvent être nettement améliorés. Ces filières génèrent cependant des coproduits protéinés valorisables en alimentation animale, qu'il n'est pas nécessaire de produire par ailleurs en occupant la surface agricole contrairement aux procédés de 2<sup>ème</sup> génération.

Ainsi, des travaux de recherche et développement ont été engagés pour amorcer une transition progressive et cohérente vers des procédés dits de 2<sup>ème</sup> génération permettant de valoriser l'intégralité de la plante pour produire des biocarburants, d'assurer une meilleure

complémentarité, et non une concurrence entre les différents usages de la biomasse, en particulier vis-à-vis du secteur alimentaire, tout en limitant les pressions sur l'environnement.

Cette nouvelle génération de carburants, qui requiert des technologies de transformation sophistiquées permettant de convertir une gamme plus large de ressources en biomasse (ressources agricoles et forestières, cultures dédiées, déchets...), a pour objectif de réduire nettement les émissions de gaz à effet de serre et les coûts de production des carburants.

Sur le plan technico-économique et environnemental, ces nouveaux procédés de conversion de la biomasse utilisant essentiellement des ressources de type ligno-cellulosique nécessitent d'être optimisés et validés sur des installations de démonstration préalablement au lancement industriel de ces productions.

Enfin, les conditions de sélection, de mobilisation, de stockage et de préparation des bioressources utilisables comme matière première devront être évaluées et simulées, la mobilisation de la biomasse étant l'un des facteurs clés des rendements attendus.

## ***Les technologies candidates***

Les technologies candidates pour la production de biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération sont de deux ordres :

- les technologies de production par voie thermochimique, reposant sur la pyrolyse-gazéification de la biomasse,
- les technologies de production par voie biologique, reposant sur l'hydrolyse enzymatique et la fermentation de la biomasse.

### **Conversion par voie thermochimique (ou voie sèche):**

La première étape du procédé, dite étape de pyrolyse-gazéification, peut être appliquée à partir de différentes matières premières carbonées. Le procédé est actuellement mis en oeuvre industriellement à partir de charbon (CTL) par SASOL en Afrique du sud. Les USA, l'Inde et surtout la Chine en sont au stade des études de faisabilité dont le but est d'appliquer ce type de technologie à la conversion du charbon. L'Australie, le Qatar et le Nigeria projettent d'implanter des usines à partir du gaz naturel (GTL).

Les gaz de synthèse ainsi produits par gazéification (mélange CO/H<sub>2</sub> - monoxyde de carbone, et hydrogène) sont ensuite purifiés et transformés;

1°) Condensés sous forme de cires (Fisher-Tropsch) ils servent de matière première à la synthèse de carburants liquides (BtL) de type diesel ou kérosène.

2°) Convertis par méthanation en carburant gazeux SNG (Gaz Naturel Synthétique) : il s'agit là d'une voie alternative, à priori, moins exigeante. Ce carburant gazeux pourrait être distribué directement via le réseau pressurisé de Gaz Naturel existant ou destiné à d'autres applications.

L'application de ces procédés à la biomasse est encore en phase de développement. Les points durs de la technologie sont :

- la collecte et la préparation de la biomasse, par nature dispersée et à contenu énergétique modéré, nécessitant des étapes de pré conditionnement ;
- l'étape de gazéification et de purification des gaz (goudrons, alcalins, poussières,...);
- le rendement de conversion en carbone ainsi que le rendement énergétique du procédé.

Par ailleurs, le co-traitement de tout ou partie de la biomasse en mélange avec d'autres matières premières carbonées (charbons, résidus pétroliers, déchets organiques, ...) peut constituer une solution intermédiaire de moyen terme, vis-à-vis de la disponibilité de la ressource.

Dans le but d'abaisser les investissements pour la mise en œuvre de ces technologies, les volumes de biomasse traités dans chaque unité de gazéification/synthèse seront nécessairement supérieurs au million de tonnes par an. De telles quantités obligeront à la mise en place d'unités de prétraitements capables de transformer quelques centaines de milliers de tonnes de biomasse par an sous une forme très condensée en énergie et économiquement transportable.

### **Conversion par voie Biochimique (ou voie humide) :**

Les carburants, ici considérés comme carburants de seconde génération, sont le bioéthanol et les autres vecteurs énergétiques fabriqués par voie fermentaire à partir de ressources lignocellulosiques.

Cette voie de conversion de la biomasse lignocellulosique concerne essentiellement la transformation par voie biologique de la cellulose et des hémicelluloses, deux des trois principaux polymères constitutifs de cette matière végétale, en carburants (éthanol, butanol, acides gras...). Le troisième composant, la lignine, sera utilisé avant tout pour satisfaire aux besoins en énergie du procédé de conversion et/ou être valorisé sur les marchés de la chimie et des matériaux.

Les principaux objectifs à atteindre dans cette voie sont :

- En démontrer la faisabilité technique,
- Prouver la rentabilité économique à moyen terme (2012-2015)
- En maîtriser la durabilité tout en diversifiant les ressources en matières premières et en se distinguant, du point de vue technologique, des projets en cours à travers le monde.

Le prétraitement de la matière lignocellulosique et son hydrolyse constituent des verrous techniques et économiques qu'il convient de dépasser afin d'obtenir des sucres fermentescibles pour les étapes ultérieures à des coûts concurrentiels.

Le succès d'un développement industriel de production de carburants par voie biologique à partir de biomasse lignocellulosique, repose sur une démarche systémique intégrant les différents procédés à la chaîne de valorisation du végétal, sur la valorisation la plus complète de la biomasse ainsi que sur la validation technico-économique et environnementale des différentes briques technologiques.

Dans le cadre du pôle de compétitivité Champagne-Ardenne, le Crédit Agricole a rassemblé au sein du projet de démonstration FUTUROL la coopérative agricole Champagne Céréales, le pétrolier Total, le sucrier Tereos et l'ONF autour d'un regroupement de laboratoires de recherche privés et publics (IFP, INRA, ARD, Lesaffre). Ces derniers ont démontré aux échelles de laboratoire et petit pilote, leur compétence dans les procédés d'extraction des sucres à partir de matière première végétale lignocellulosique ainsi que dans les technologies de biologie moléculaire permettant la création de nouvelles enzymes capables de compléter en les améliorant, des préparations déjà fabriquées industriellement.

Ce démonstrateur sur la voie biochimique retenu début 2008, mobilisera au total 72 M€ financés par des fonds publics (Oséo Innovation) à hauteur de 40%. Il comprendra :

- une unité de prétraitement de la biomasse à partir de plante entière (paille et bois),
- une unité d'hydrolyse enzymatique pour l'obtention de sucres fermentescibles,
- une unité de fermentation pour la production d'enzymes,
- une unité de fermentation des sucres pour la production d'éthanol.

A cet ensemble technologique est intégré un programme de recherche-développement bien structuré qui vise à développer sur dix ans une filière « française » de technologies enzymatiques de 2<sup>ème</sup> génération. Ainsi le programme d'expérimentation inclut à la fois la problématique de la ressource (systèmes de culture, amélioration des variétés, bilans environnementaux...), du prétraitement (broyage, catalyseurs, séparation), de l'hydrolyse (optimisation du procédé, sélection des souches d'enzymes), de la fermentation (pentoses, minimisation des inhibiteurs, valorisation du CO<sub>2</sub>), de la gestion des coproduits et de la limitation des consommations et des rejets.

La vocation du consortium est de développer l'ensemble des technologies qui seront ensuite commercialisées sous forme de licences, en France mais aussi à l'étranger.

### ***La feuille de route de recherche***

Depuis 2005, la France a mis en place un effort de recherche dans le cadre du Programme National de Recherche sur les Bioénergies (PNRB) financé par l'ANR et mis en œuvre par l'ADEME. Ainsi, 32 projets ont été aidés à hauteur de 23 M€ pour un coût total de 57M€. Le programme Bioénergies de l'ANR, lancé en 2008, assure la continuité des actions amorcées par le PNRB.

La feuille de route de recherche du fonds démonstrateurs poursuit 4 objectifs :

- Le développement de technologies plus performantes et économiquement rentables permettant de maximiser la ressource en biomasse utilisable par hectare et de diversifier les bioressources exploitables afin de limiter les phénomènes de concurrence avec les usages actuels et futurs de la biomasse (ex : alimentaires, matériaux, chaleur/électricité, chimie...) ;
- La représentativité des pilotes permettra d'évaluer les bilans matières, énergétiques, environnementaux et sociaux des voies envisagées, liés non seulement aux techniques de production de biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération, mais aussi aux conditions de culture et d'exploitation de la biomasse utilisée ;
- Le développement du concept de « bioraffinerie » permettant d'intégrer des procédés physiques, biologiques et chimiques dans le but d'obtenir une valorisation maximale

de tous les constituants de la biomasse. La production de biocarburants étant l'un des débouchés, au même titre que d'autres produits d'intérêt (comme par exemple des molécules de synthèse) qui serviront de base à une chimie organique ex-biomasse, en substitution de la pétrochimie ;

- Le développement de filières de production de nouveaux vecteurs énergétiques par voie thermochimique et biologique ainsi que de lipides par les algues et les micro-organismes.

### ***Les besoins de démonstrateurs de recherche***

Les travaux de recherche déjà réalisés ont permis des avancées significatives en matière de compréhension des procédés de transformation de la biomasse par voie thermochimique (ex : réduction du caractère oxydant des gaz de synthèse) et biologique (ex : hausse des rendements de l'hydrolyse enzymatique) à des fins de production de biocarburants.

Il est dorénavant nécessaire de déployer sur le territoire national, des démonstrateurs de recherche de taille significative, afin d'évaluer et valider les potentiels industriels, économiques, sociaux et environnementaux des technologies en cours de développement pour les différentes voies possibles de production de biocarburants de seconde génération.

Avec le projet FUTUROL financé par Oséo Innovation, la France s'est dotée d'une plateforme qui rassemble l'ensemble des compétences publiques et privées autour d'un projet intégré de recherche et de démonstration sur la voie biologique. FUTUROL prévoit la construction d'un pilote d'1t/jour de capacité de traitement de masse sèche puis d'un prototype de 10 à 20t/jour.

En revanche, la voie thermochimique en France ne bénéficie pas encore de démonstrateur de recherche au contraire par exemple de l'Allemagne (en complément voir panorama international en annexe 2) où la recherche sur la conversion thermochimique à partir de biomasse (BTL) est avancée:

- La société Choren, en collaboration avec la Shell, a développé une technologie de gazéification étagée à partir de la biomasse. Cette société a inauguré en avril 2008 son premier pilote industriel basé sur un procédé autothermique et annonce, à l'horizon 2010, un projet industriel en Allemagne de 200.000 T/an pour la société Shell.
- L'université de Freiberg et l'Institut pour l'Ingénierie des process énergétiques et chimiques, en partenariat avec Total, Volkswagen et Choren travaillent actuellement sur un petit pilote dans le cadre du projet européen RENEW.
- Enfin, le centre de recherche de Karlsruhe FZK a mis au point un procédé de pyrolyse tout aussi rapide que prometteur et qui dispose d'un réacteur pilote de recherche.

La France bénéficie néanmoins de plusieurs atouts à exploiter :

- Un procédé de synthèse de type Fisher-Tropsch mis au point par l'IFP et commercialisé par sa filiale Axens.
- L'acquisition de la société Lurgi par Air Liquide rend disponibles certaines des technologies de gazéification et de purification des gaz de synthèse.
- Les pôles de compétitivité TENERDIS en région Rhône-Alpes, et IAR, en région Picardie-Champagne-Ardenne, rassemblent un ensemble d'équipes appartenant à différents instituts publics français autour de la problématique du séchage, de la pyrolyse et de la gazéification de la biomasse. Ces projets sont financés en large partie

par le programme national de recherche sur les bioénergies (PNRB) de l'ANR et géré par l'ADEME, ainsi qu'à partir de 2008, par le programme ANR « Bioénergies ».

- Le CEA, en particulier, développe depuis quelques années des recherches scientifiques et technologiques sur un procédé allothermique, également avec le soutien du PNRB. Si elles aboutissent elles permettraient de mieux tirer profit de la biomasse à condition de bénéficier d'une source exogène d'énergie à haute température, non émissive de CO2 et économique, ainsi que d'hydrogène. L'apport d'énergie au procédé sous forme d'électricité nucléaire, (ou même de chaleur de réacteur nucléaire à haute température), et l'apport du complément d'hydrogène par électrolyse ou dissociation thermique de l'eau rentrent dans les hypothèses ayant justifié le lancement de ce programme dont la faisabilité et l'horizon industriels restent toutefois éloignés. Dans le cadre du programme d'accompagnement économique de la Haute Marne et de la Meuse, le CEA et ses partenaires ont programmé une opération préindustrielle à partir de briques technologiques existantes.
- Plusieurs organismes et entreprises (SOFIPROTEOL, GDF,...) préparent la constitution de filières industrielles de biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération par voie thermochimique, notamment avec les partenaires cités précédemment (Air Liquide, TENERDIS, CEA, IFP,...)

### ***Le calendrier recherche – démonstration – déploiement***

<b>Période</b>	<b>Objectifs</b>
<b>2009 – 2011</b>	Les grandes options de production de biocarburants de 2 <sup>ème</sup> génération (voie thermochimique et biologique) font l'objet de démonstrateurs de recherche et de plates-formes de développement. Les questions logistiques (ex : conditionnement et transports de la biomasse, pré transformation) sont étudiées et expérimentées dans le cadre de programmes de recherche en soutien. La recherche sur la production d'hydrogène et de lipide par voie microbienne est poursuivie.
<b>2012 – 2015</b>	Un portefeuille technologique sur les biocarburants de 2 <sup>ème</sup> génération est validé. Les résultats des démonstrateurs de recherche permettent de lancer les premières opérations de taille industrielle. Dans une logique de progrès permanent, les programmes de recherche seront poursuivis pour accompagner l'amélioration, l'évolution des procédés industriels et leur intégration aux filières biomasse. En particulier, l'apport de technologies de rupture permettant de faire évoluer les unités autothermiques vers des unités allothermiques est testé à l'échelle préindustrielle. Le développement de démonstrateurs de recherche sur la production d'hydrogène ou autres vecteurs énergétiques et de lipides par voie microbienne est engagé.
<b>2015 – 2020</b>	L'ensemble des éléments nécessaires à la production de biocarburants (technologie, ressources, maîtrise des bilans environnementaux) est maîtrisé. Des installations industrielles sont en fonctionnement et représentent une part croissante du marché. L'intégration des installations de production de biocarburants de 2 <sup>ème</sup> génération à des bioraffineries est effective.

## ANNEXE 1 :

### Sources :

- Stratégie nationale sur la recherche dans le domaine de l'énergie (SNRE, 2005)
- Rapport du Comité présidé par Bruno JARRY au Premier Ministre
- Plateforme technologique européenne sur les biocarburants  
(<http://www.biofuelstp.eu/>)
- Document de référence du programme ANR, PNRB...
- Documents internes ADEME

ANNEXE 2: Panorama non exhaustif des démonstrateurs en fonctionnement (ou en construction) pour la production de biocarburants de seconde génération:

### **Voie Thermochimique :**

- ALLEMAGNE : La recherche sur le BTL est très avancée.  
La société d'ingénierie Lurgi, récemment intégrée au Groupe l'Air Liquide, dispose des technologies de pyrolyse rapide, de gazéification et de purification des gaz.  
Choren, filiale de la Shell, est un autre développeur de la technologie de gazéification à partir de la biomasse. La société a inauguré le 17 avril 2008 son premier pilote industriel basé sur un procédé autothermique et annonce, à horizon 2010 un projet industriel en Allemagne de 200.000 T/an pour la Shell.  
L'université de Freiberg et l'Institut pour l'Ingénierie des procédés énergétiques et chimiques, en partenariat avec Total et Volkswagen travaillent sur un petit pilote dans le cadre du projet européen RENEW.  
Le procédé ARTFUEL de CUTEC est issu de la coopération de trois länder et de Volkswagen dans le Brandebourg (réacteur à lit fluidisé circulant de 0,4 MWth, purification des gaz et synthèse Fischer Tropsch). Enfin le centre de recherche de Karlsruhe FZK a mis au point un procédé de pyrolyse rapide prometteur et dispose d'un réacteur pilote de recherche.
- SUEDE : L'industriel CHEMREC met en œuvre un gazéifieur à partir de liqueur noire et prévoit d'aller jusqu'à la synthèse de biocarburants (Fischer-Tropsch) avec des unités de démonstrations en suède, à Pitea. La Suède participe également au projet européen CHRISGAS avec une unité de 18 MW. La conversion de la biomasse en gaz naturel de synthèse pour l'alimenter d'un pipeline est en projet. Un gazéifieur de 100MW devrait être installé à Göteborg.
- FINLANDE : VTT développe une unité de 500kW de gazéification dans un premier temps (2008-2010) puis vise une unité de 150-400MW intégrée à l'industrie papetière pour la production de biodiesel à partir du bois (première usine Fischer-Tropsch à l'échelle commerciale en 2012-14).
- ETATS-UNIS : 7,7 millions de dollars de subventions ont été accordés par le Department of Energy fin 2007 à quatre projets de démonstration de gazéification pour la production de biocarburants de deuxième génération.

### **Voie Biologique**

- DANEMARK : MAXIFUEL est un projet autour de la société BioGasol issue de l'Université technologique du Danemark (DTU). Le pilote actuel sur le site du DTU a une capacité de traitement d'1tonne/h. BioGasol a récemment annoncé la construction d'une unité de démonstration en cours de construction sur l'île de Bornholm qui sera opérationnelle en 2009. Le procédé valorise les pentoses par fermentation en éthanol grâce à une souche microbienne thermophile anaérobie adaptée. Les résidus du procédé sont valorisés en biogaz et alimentent en énergie l'installation la rendant autonome.  
Parallèlement, BioGasol est financé dans le cadre d'une coopération avec la société Pacific Ethanol à hauteur de 24.3 M US \$ du DOE américain. Le projet vise à intégrer

la technologie développée par BioGasol à une installation de démonstration existante de Pacific Ethanol à Boardman (Oregon) d'une capacité de 10 Millions de litres par an.

Un second projet Danois : IBUS, rassemble la société Inbicon et DONG energy. Le consortium a reçu 7.5 M€ pour la construction d'un démonstrateur à Kalundborg

- SUEDE : La Suède possède un pilote à Örnsköldsvik financé par l'agence de l'énergie suédoise, d'une capacité de production de 400 L/jour d'éthanol. Sur cette installation s'effectue une partie des essais du projet européen NILE (FP6) coordonné par l'IFP.
- ESPAGNE : La société ABENGOA construit actuellement une usine de démonstration commerciale d'une capacité de 70t/j à Salamanque avec des subventions européennes. Abengoa a également un autre projet aux USA financé par le DOE.
- CANADA : Fin 2007, le ministère de l'environnement canadien a ouvert un fonds de 500 millions de dollars (\$US~\$CAD) en avances remboursables pour la construction d'usines d'éthanol cellulose (NextGen Biofuels Fund™). Iogen a récemment déposé un projet.
- JAPON : Bio ethanol Japan Kansai ouvre une unité de production à Sakai près d'Osaka d'une capacité initiale de 1000 t/an.
- ETATS-UNIS : Financements récents du DOE à des opérations pilotes ou de démonstration :
  - o 6 projets pré-industriels (échelle 1) pour un financement à hauteur de 385 M\$ et un investissement total d'environ 1,2 milliards US \$. Annonce faite en février 2007 : Abengoa, Alico, Iogen, BlueFire, Brion et RangeFuels.
  - o 114 M\$ sur 4 ans ont été accordés en janvier 2008 pour 4 projets de taille pilote (1/10<sup>ème</sup>). Lignol, ICM, Pacific Ethanol avec le procédé BioGasol, le quatrième projet est un projet thermo-chimique.
  - o Le DOE a annoncé en avril 2008 investir 86 M\$ sur 4 ans dans la construction de 3 autres raffineries d'éthanol cellulose par Ecofin LLC, Mascoma, et RSE Pulp & Chemical LLC.

La société Coskata associée à GM a annoncé fin avril 2008 la construction d'une unité de démonstration de son procédé « hybride » de production d'éthanol par fermentation de Syngas issu de la thermo-chimie.

Autres acteurs : Chevron et Weyerhaeuser, Shell et Codexis, Shell et Virent Energy Systems, BP et Dupond.