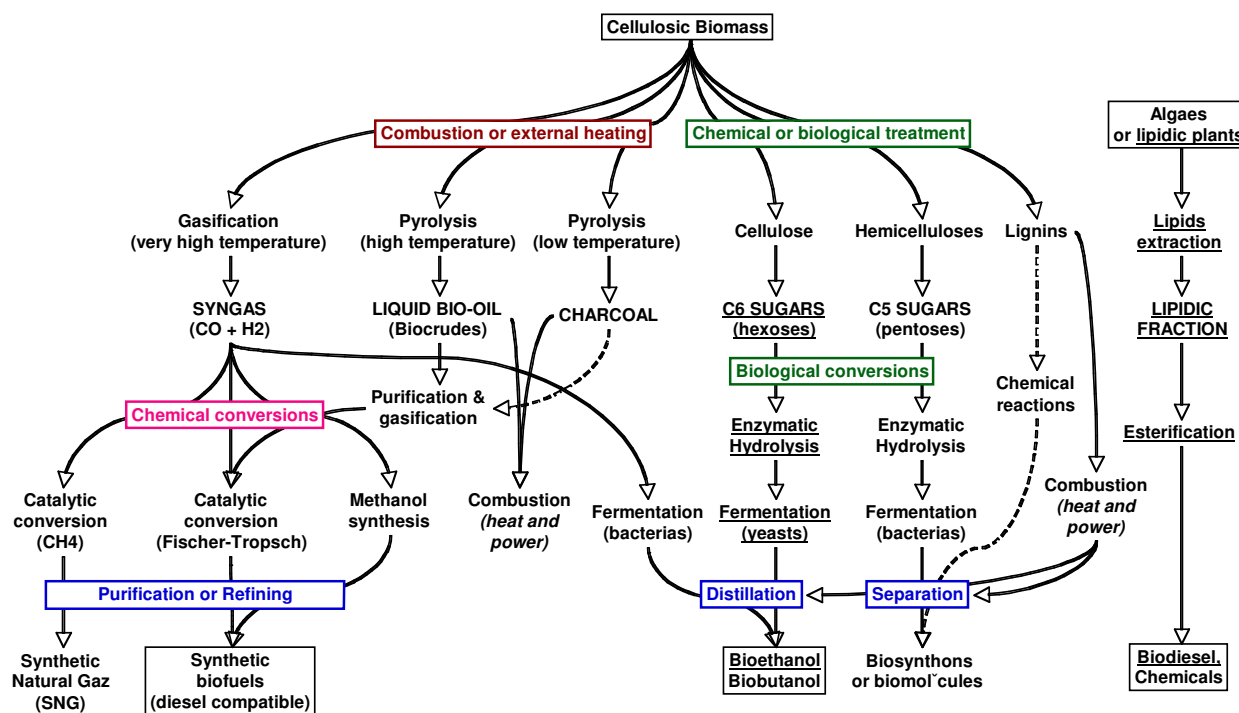


## PROCÉDÉS TECHNOLOGIQUES ET DÉMONSTRATEURS POUR LA PRODUCTION DE BIOCARBURANTS À PARTIR DE LA BIOMASSE LIGNO-CELLULOSIQUE

par Jean Tayeb<sup>1</sup>

Après avoir rappelé les fondamentaux du développement de la demande de transformation énergétique de la biomasse, deux voies parmi les nombreuses voies possibles (fig. 1) seront particulièrement présentées : la voie thermo-chimique et la voie biologique qui aboutissent toutes deux à des produits liquides à haute densité énergétique (ie carburants).



Underlined : first generation pathway for bioethanol and biodiesel

Fig 1 : Différentes voies de transformations énergétiques de la biomasse

### La voie thermo-chimique

Il serait plus exact de parler des voies thermo-chimiques, car différentes options existent, en fonction de la température de traitement, du comburant (air, oxygène, hydrogène) et du type d'énergie utilisée (autothermique : énergie interne provenant de la combustion d'une partie de la biomasse, ou allothermique : énergie externe comme par exemple de l'électricité utilisée dans des torches à plasma). Ces différentes options génèrent au sein du procédé des produits intermédiaires de nature et de composition différentes (fig. 2 : huile type « bio-crudes », gaz de synthèse type « syn-gas ») ; par ailleurs, chaque type de condition thermique, et dans une moindre mesure de matière première, génère des impuretés (goudrons, molécules aromatiques...) spécifiques qu'il faut éliminer avant la deuxième partie du procédé dite « synthèse Fischer-Tropsch ».

La synthèse Fischer-Tropsch de la deuxième partie de procédé est relativement bien connue, car elle est industriellement utilisée pour produire des carburants à partir de charbon. Il s'agit d'une synthèse catalytique, et pour cette partie, l'enjeu principal de la voie biomasse est le problème du vieillissement prématuré du catalyseur, à cause des impuretés provenant de l'étape de

<sup>1</sup> INRA, UMR FARE – Reims.

transformation thermique. Une deuxième difficulté, qui découle de la composition par nature variable de la biomasse, est la mesure en ligne de la composition fine des gaz entrants, nécessaire pour assurer les fonctions de contrôle-commande du procédé.

Comme toute synthèse de la chimie classique, une unité Fischer-Tropsch représente un investissement important, qui s'amortit d'autant mieux que la capacité (en t/h) de l'unité est élevée. Il est très probable que de telles unités seront accolées à des raffineries de pétrole pour exploiter les synergies énergétiques et de compétences, ainsi que de traitement des produits sortants.

Cette voie thermochimique produit des analogues d'hydrocarbures de type diesel ou kérosène. On la dénomme souvent voie BtL (Biomass to Liquid).

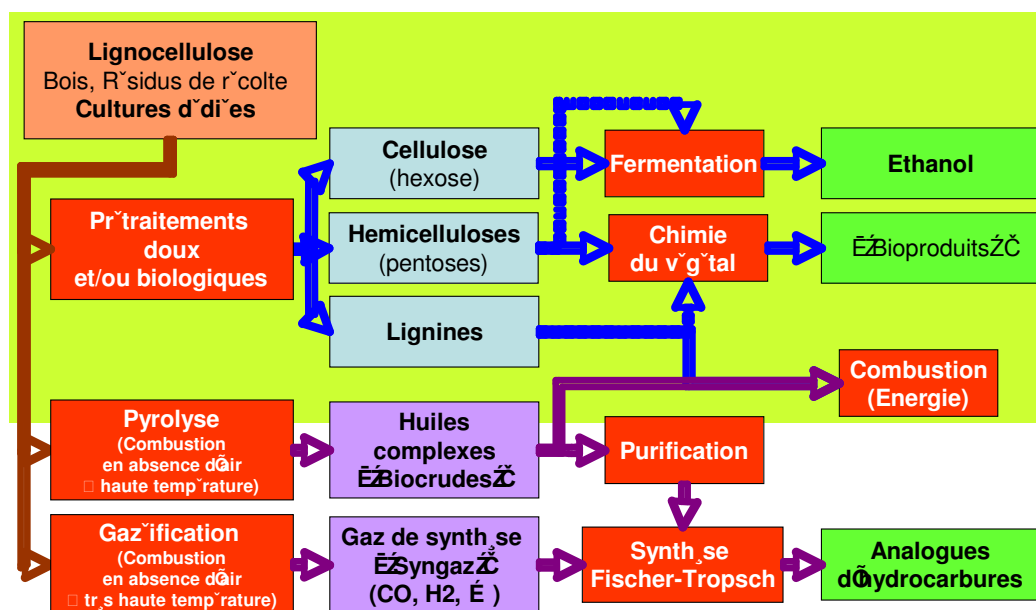


Fig 2 : voies biologique (fond jaune) et thermochimique (fond blanc)  
(Corrections non faisables des é dans le schéma)

### La voie biologique

A la différence des voies thermochimiques, la voie biologique permet de produire des alcools, et en particulier de l'éthanol, qui est, dans certaines conditions, miscible ou substituable à l'essence. Alors qu'en Europe la consommation de carburants est à 85% diesel, elle est, au niveau mondial, à 80% sous forme d'essence. Pour les véhicules terrestres, cette distinction gazole/essence s'effacera probablement dans un avenir relativement proche, du fait de l'évolution des technologies. En revanche, le kérosène ou un équivalent restera nécessaire pour le transport aérien.

La production d'éthanol repose sur une transformation biochimique qui est connue depuis des temps immémoriaux, à savoir la fermentation alcoolique par des levures. Les verrous du procédé biologique (fig. 2, fond jaune) se situent dans les étapes précédentes c'est à dire la séparation de la biomasse en ses trois constituants principaux (cellulose, hémicelluloses, lignine - étape dite de « pré-traitement »), et, dans une moindre mesure, dans l'efficacité (notamment rapidité et rendement final) de la transformation de la cellulose en molécules fermentescibles (étape dite « d'hydrolyse »). Vis-à-vis de ces verrous, divers procédés de pré-traitement combinant des actions mécaniques, chimiques et éventuellement enzymatiques sont actuellement explorés, et de nombreuses recherches visent à améliorer les performances du cocktail enzymatique d'hydrolyse, en général produit grâce à *Trichoderma reesei*.

Techniquement, toutes les étapes du procédé biologique sont accessibles, mais la difficulté est d'une part de les optimiser de façon globale, et d'autre part de valoriser l'ensemble des constituants de la matière ligno-cellulosique entrant dans l'usine. Le schéma classique qui aboutit à environ 10% en masse d'éthanol par rapport à la biomasse entrante nécessite d'être amélioré, en prévoyant dans le procédé l'utilisation de l'ensemble des constituants : par exemple, la lignine peut être brûlée, et

des recherches sont très activement menées pour fermenter les pentoses en éthanol, ce qui n'est pas une voie classique du métabolisme des levures. D'autres solutions sont aussi imaginées par les promoteurs des différents procédés.

Du point de vue environnemental, et en se limitant au champ de ce document qui est celui des procédés, les procédés biologiques sont potentiellement plus performants que les procédés chimiques, parce qu'ils opèrent à des températures plus basses et sans solvant. Les investissements sont proportionnellement moins importants et susceptibles d'être plus facilement répartis sur le territoire.

Pour mémoire, il existe une autre voie biologique, qui est celle de la méthanisation, mais elle n'aboutit pas à un carburant au sens strict, c'est à dire d'emploi quasi universel. Elle semble toutefois bien adaptée à la production d'énergie localisée, notamment à partir de déchets de nature variable et peu lignifiés. Dans l'état actuel des connaissances, un des enjeux majeurs de cette voie est le maintien du fonctionnement optimum du consortium microbien complexe, via le contrôle-commande du procédé.

### Les pilotes et démonstrateurs en France

Comme le montrent les descriptions ci-dessus, les principes des voies biologiques comme thermochimiques sont relativement bien connus, et des recherches complémentaires ont eu lieu, tout d'abord dans les années 1980-90, puis depuis l'an 2000 environ. En France, l'ANR a, par exemple, soutenu ces recherches dans le cadre de deux programmes successifs, le PNRB puis BIO-E. Au niveau européen, divers projets ont été soutenus, dont le projet NILE, qui comportait une phase pilote.

Avant de passer au stade industriel, il est aujourd'hui nécessaire de définir des procédés complets, gérant l'ensemble de la matière entrante et les recyclages internes et susceptibles de tourner en continu. La finalisation de tels procédés doit notamment avoir pour objectif de préciser les dimensionnements des équipements et les stratégies de contrôle-commande, et de calculer des bilans économiques et environnementaux en conditions représentatives des conditions réelles.

Cette phase de transfert de la recherche vers la mise en place industrielle s'appuie sur des projets de démonstrateurs. Un démonstrateur n'est pas uniquement un outil pré-industriel, c'est une structure d'assemblage des acquis, de recherche sur les chaînons manquants, et d'optimisation globale par le choix de conditions opératoires compatibles entre elles et maximisant un ou plusieurs critères.

A date, le dispositif français comprend quatre démonstrateurs dont le financement est acté. Ces projets sont à des stades d'avancement assez différents.

Le projet **Futurol**, réunit 11 partenaires <sup>(1)</sup> autour d'un objectif de commercialisation à partir de 2015 d'une **licence de procédé de fabrication d'éthanol par voie biologique** pour des unités de 50 à 150 000 t/an d'éthanol. Ce procédé devra être durable, compétitif, et adaptable à différentes matières premières, dont des TCR/TTCR. C'est un projet de 75 M€, cofinancé par OSEO pour 30 M€, qui comprend un volet pilote continu de 1 t/jour situé à Reims-Bazancourt, un prototype industriel d'environ 20 t/jour adossé à une usine d'éthanol de première génération du groupe Téréos, et un ensemble d'opérations de recherche. Le pilote, recouvrant la chaîne complète de production, est conçu pour tourner en continu plusieurs semaines. La décision de co-financement par OSEO a été obtenue en mai 2008 ; les premiers travaux ont démarré en septembre 2008 et ce projet est en phase opérationnelle.

Le projet **BioTFuel** réunit six partenaires <sup>(2)</sup>. Comme Futurol, mais pour la voie thermo-chimique, il a pour objectif de mettre sur le marché **une licence de procédés pour une valorisation par voie thermo-chimique** de biomasse d'origine lignocellulosique et de charges fossiles pour l'obtention de carburant de type gazole et kérosène dans de futures unités de 200 à 300 000 t/an. Le projet ne prévoit pas d'unité pilote intégrée, et les partenaires se sont répartis les équipements pilote

---

<sup>1</sup> Partenaires Futurol : IFP, INRA, ARD, Lesaffre, ONF, Champagne Céréales, Téréos, Total, Unigrains, CGB, Crédit agricole Nord-Est.

<sup>2</sup> Partenaires BioTfuel : SOFIPROTEOL, IFP, CEA, IFP et sa filiale Axens, Total, Uhde (gazéifieur allemand).

des opérations unitaires : préparation de la biomasse et torréfaction pour Sofiproteol (à Compiègne), gazéification et épuration des gaz pour Total ; la synthèse Fisher-Tropsch sera testée à petite échelle à l'IFP. Le montant total du projet est de l'ordre de 110 M€, dont 33 d'aide de l'ADEME et de la Région Picardie. La décision de co-financement par l'ADEME a été obtenue en juin 2009 et le projet est actuellement en phase de constitution juridique.

Le projet **Gaya** porté par GDF SUEZ regroupe 11 partenaires <sup>(3)</sup>. Il ne concerne pas les carburants liquides mais la production de méthane à partir de syngas par méthanation et a pour objectif de démontrer à l'échelle pré-industrielle la validité technique, économique, environnementale et sociétale de la filière de production des **carburants gazeux par voie thermo-chimique**. Il est prévu que le projet construise et exploite pendant sept ans une chaîne complète de gazéification / épuration. Différentes sous-opérations seront regroupées sur un même site. Le partenariat recouvre notamment la filière de production de biomasse forestière. Le montant total du projet n'a pas été annoncé, mais il devrait être du même ordre que celui des projets Futurol et BioTfuel. La décision de co-financement par l'ADEME a été obtenue en juin 2009 et le projet est actuellement en phase de finalisation.

Le projet du **démonstrateur BtL de Bure-Saudron** (Ardennes) porté par le CEA regroupe trois partenaires <sup>(4)</sup> et vise à installer une unité pré-industrielle capable de produire environ 25 000 t/an de gazole + kérosène + naphta, à partir de technologies majoritairement existantes. En phase d'étude depuis plusieurs années, son GoNoGo de construction est prévu en 2012, pour exploitation annoncée sur 20 ans à partir de 2015. Cette exploitation sur le long terme implique évidemment une gestion de la ressource biomasse plus intégrée que pour les trois autres démonstrateurs. A date, le montage financier ne paraît pas encore définitivement finalisé ; son modèle économique semble être de compléter l'offre EDF-Areva de centrales de production d'énergie.

### Les enjeux logistiques

Bien que les enjeux logistiques ne fassent pas, au sens strict, partie du domaine des procédés, ils seront un critère déterminant dans l'implantation des futurs procédés de biocarburants de deuxième génération.

Concernant l'exploitation de la biomasse forestière, un des premiers domaines à investiguer est la collecte, y compris des rémanents, non seulement sur les plans technique et durabilité environnementale, mais aussi sur le plan de la volonté à exploiter des petits propriétaires privés. Pour la biomasse d'origine agricole, il conviendra de situer les unités de transformation dans des zones où leur approvisionnement sera gérable de manière durable et n'impactera pas de façon forte la production à vocation alimentaire.

Les procédés thermochimiques et biologiques ont des tailles moyennes de rentabilité, des exigences technologiques et de compétences différentes, ils sont donc plus ou moins exigeants en terme d'implantation. La taille standard plus limitée et la technologie plus simple du procédé biologique sont des avantages en sa faveur, qui pourront s'avérer déterminant dans des pays en développement. Néanmoins, les prévisions d'implantation de procédés thermochimiques s'appuient sur des configurations qui dissocieraient les différentes parties du procédé : on trouverait par exemple des unités de pyrolyse locales produisant des bio-huiles qui seraient transportées vers des unités de purification et de transformation intégrées dans des ensembles industriels de très grande taille.

---

<sup>3</sup> Partenaires Gaya : GDF-Suez, CEA, CIRAD, CTP, FCBA, UCFE, Repotec (Autriche) et plusieurs unités mixtes du CNRS : LGC - Toulouse, LSGC - Nancy, RAPSODEE - Albi, UCCS - Lille

<sup>4</sup> Partenaires Bure-Saudron : CEA, Areva, EDF