

Des hydrocarbures issus de la biologie industrielle : la trajectoire et les perspectives de Global Bioenergies

Par Marc DELCOURT

Directeur général de Global Bioenergies

et Ronan ROCLE

Chargé d'affaires

Global Bioenergies a été fondée en 2008 sur la base d'un concept de rupture pour la biologie industrielle : la production d'hydrocarbures gazeux par fermentation. Notre société s'est focalisée sur la fabrication biologique d'isobutène, l'une des plus importantes briques élémentaires de la pétrochimie, en tant qu'elle peut être convertie en carburants, en matières plastiques, en verre organique ou en élastomères. Global Bioenergies continue d'améliorer les performances de son procédé, mène des essais sur son démonstrateur industriel en Allemagne et prépare aujourd'hui l'exploitation du procédé dans des usines de pleine taille.

2016 aura été, de très loin, l'année la plus chaude de l'histoire : le changement climatique est devenu une réalité palpable. Limiter le réchauffement de la planète aux 2°C fixés lors de la COP21, qui s'est tenue à Paris, ne pourra se faire qu'en ouvrant plusieurs fronts en parallèle : il s'agit, d'abord, d'ériger la sobriété énergétique en vertu cardinale ; il faut ensuite continuer et intensifier les efforts incrémentaux en matière d'efficacité énergétique des voitures et des logements ; et, enfin, il faut développer de nouvelles technologies forcément en rupture avec un paysage énergétique qui est actuellement dominé par les ressources fossiles.

La production d'hydrocarbures par fermentation qu'a développée Global Bioenergies s'inscrit dans ce troisième volet. Ce procédé permettra de convertir progressivement le monde industriel actuel à l'utilisation de ressources renouvelables sans qu'il soit nécessaire pour cela de modifier nos habitudes en matière d'usage des produits, c'est-à-dire des carburants, des matières plastiques, des caoutchoucs, etc.

Chaque année, plus de 4 700 millions de tonnes de pétrole sont consommées dans le monde ⁽¹⁾. Énergie, carburants, plastiques, solvants : les usages des hydrocarbures sont multiples. Ils ne sont pas facilement substituables.

Dans la pétrochimie, les tentatives pour substituer aux matières plastiques dérivées du pétrole des matières analogues d'origine végétale se sont traduites par des échecs.

Le kérosène utilisé par les avions, qui représente 8 % de la consommation mondiale de pétrole ⁽²⁾, ne doit contenir que des hydrocarbures, ce qui exclut tout composé oxygéné. Pour les carburants routiers, une substitution partielle reste possible : l'éthanol et le biodiesel peuvent être mélangés respectivement à l'essence et au carburant diesel, mais à hauteur de 10 %, au maximum. En effet, on ne peut pas en incorporer plus sans changer les moteurs et les infrastructures de stockage et de distribution.

Ces barrières techniques ont stimulé la recherche de nouveaux biocarburants dits « *drop-in* », qui seraient des hydrocarbures et permettraient ainsi une incorporation sans limite de proportions.

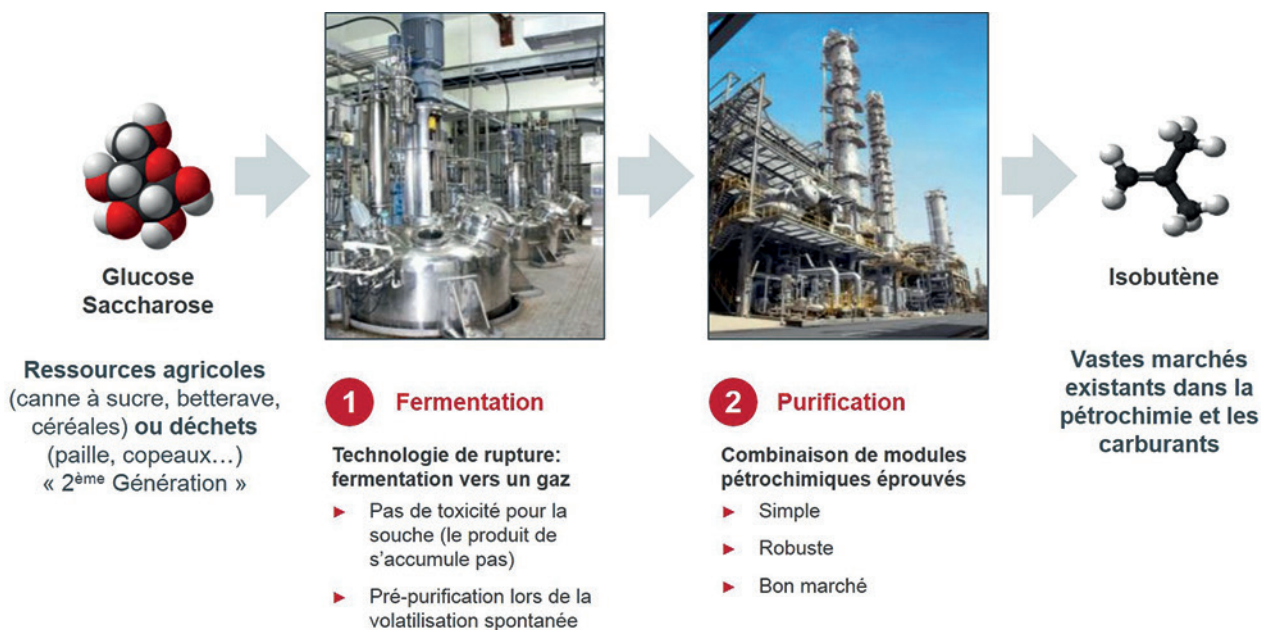
L'une des solutions pour obtenir des hydrocarbures d'origine biosourcée est l'hydrogénation d'huiles végétales ou de graisses animales. Le raffineur finlandais Neste est le leader de cette technologie (avec 3 usines implantées en Finlande, aux Pays-Bas et à Singapour). Mais cette solution rencontre une limite tenant à la ressource en huiles issues des cultures – 170 millions de tonnes par an ⁽³⁾ –, et dont le rendement à l'hectare est soit faible (colza, tourne-

(1) BP, 2016.

(2) IFPEN, 2015.

(3) FAO, 2015.

Photo DR



Illustrations ne correspondant pas aux installations actuelles de Global Bioenergies

Figure 1 : Le procédé de fermentation directe développé par Global Bioenergies pour la production d'un hydrocarbure gazeux.

sol), soit lié à la déforestation de forêts primaires (huile de palme). Des huiles usagées peuvent être ajoutées, mais pour un volume plus limité ⁽⁴⁾.

Les technologies de production d'hydrocarbures à partir de sucres permettent, au contraire, de lever cette limitation sur la ressource : les cultures de céréales, de canne et de betterave à sucre représentent une production annuelle 15 fois supérieure à celle des huiles, soit 2 500 millions de tonnes au total et présentent des rendements à l'hectare bien plus élevés. De plus, des technologies sont en cours de développement pour transformer les résidus de paille ou de bois en sucres dits de seconde génération, qui permettraient de substituer jusqu'à 2 000 millions de tonnes de pétrole par an. Transformer les sucres excédentaires en hydrocarbures représente une opportunité unique de réduire la consommation de pétrole. Mais encore faut-il des technologies pour mener efficacement cette conversion. C'est le défi relevé par Global Bioenergies.

Notre société a choisi de se focaliser sur l'isobutène en raison de la diversité de ses applications existantes dans les carburants et les matériaux. L'isobutène est une oléfine légère que l'on dérive aujourd'hui du pétrole en utilisant des vapocraqueurs ou d'autres unités présentes sur les sites des raffineries. 15 millions de tonnes d'isobutène ⁽⁵⁾ sont produites et consommées chaque année, dont 13 millions dans les carburants et 2 millions dans des applications chimiques diverses, telles que la production de pneumatiques, de lubrifiants, de verre acrylique, d'antioxydants, d'adhésifs, de chewing-gums, de solvants ou de cosmétiques.

L'isobutène, molécule à quatre atomes de carbone, peut être converti en plusieurs hydrocarbures utilisables directement dans les carburants :

- son dimère, l'isooctane (molécule à huit atomes de carbone), est un composé essence aux propriétés recherchées, car il présente un indice d'octane élevé et une faible volatilité (un fort indice d'octane empêche l'effet de cliquetis du moteur et une volatilité faible permet de réduire les émissions de composés organiques volatils) ;
- son trimère, l'isododécane (molécule à douze atomes de carbone), est un composé incorporable aux carburants d'aviation. Il peut également être utilisé comme solvant. Sa structure chimique ramifiée permet une bonne tenue au froid ;
- son tétramère, l'isohexadécane (molécule à seize atomes de carbone), peut être incorporé dans le carburant diesel. Sa structure chimique ramifiée permet une bonne tenue au froid, mais elle fait baisser l'indice de cétane. Il s'agit donc d'un composant diesel intéressant lorsque la tenue au froid est recherchée (il intéresse principalement les pays du Nord).

L'isobutène biosourcé issu de la fermentation de sucres pourrait donc remplacer directement des dérivés du pétrole dans de nombreuses applications, pour une même performance technique, et ce, sans avoir à changer les motorisations ni à modifier les chaînes de valeur de la pétrochimie.

(4) Ecofys, 2013. Le gisement d'huiles de cuisine usagées du secteur de la restauration serait de 5,6 millions de tonnes par an, en regroupant l'Europe, la Chine, les États-Unis, l'Indonésie et l'Argentine.

(5) Données IHS.

Une innovation de rupture pour la biologie industrielle

Historiquement, la biologie industrielle a permis la production de composés naturels, comme les alcools ou les acides. À partir de l'identification d'un microorganisme capable de produire la molécule cible, l'approche traditionnelle consiste à optimiser le microorganisme et les conditions de fermentation pour maximiser la production de la molécule cible (l'éthanol, par exemple). Toutefois, les alcools ou les acides sont solubles dans le milieu de fermentation, ce qui les rend difficiles à purifier parmi la diversité des métabolites contenus dans ce milieu, et ils sont généralement toxiques pour le microorganisme les produisant, ce qui réduit les performances de la fermentation.

Global Bioenergies a été fondée sur la base d'un concept de rupture pour la biologie industrielle : la production d'hydrocarbures gazeux par fermentation. Dans le cas de la production d'un hydrocarbure gazeux par fermentation, le produit sort spontanément du milieu de fermentation avec les gaz de fermentation, ceux-ci constituant un environnement simple composé d'air, de vapeur d'eau et de CO₂. Il est alors facile de purifier l'isobutène, pour atteindre voire dépasser 99 % de pureté, une valeur compatible avec les étapes de conversion aval en carburants ou en matériaux.

Toutefois, il n'existe pas dans la nature de microorganismes produisant de l'isobutène. On le comprend facilement si l'on se place du point de vue de l'évolution : l'importante fuite de carbone résultant d'une telle production constituerait un facteur de contre-sélection, puisqu'il entraînerait la disparition desdits microorganismes.

Afin de pouvoir obtenir directement de l'isobutène par fermentation, il a fallu recourir aux outils de la biologie synthétique, une branche de la biologie industrielle visant à modifier génétiquement des microorganismes pour que ceux-ci accomplissent des fonctions entièrement nouvelles.

L'isobutène biosourcé : du laboratoire au démonstrateur industriel

L'une des avancées réalisées par Global Bioenergies a consisté à créer un chemin métabolique permettant d'aboutir à l'obtention de l'isobutène. Un chemin métabolique est une suite de réactions chimiques catalysées par des enzymes. Certaines de ces étapes enzymatiques n'existant pas dans la nature, notre société a créé des variants enzymatiques capables de catalyser des réactions nouvelles. En intégrant dans un microorganisme les gènes codants pour ces enzymes artificielles, celui-ci peut dès lors produire de l'isobutène.

En parallèle de la poursuite de l'augmentation des performances de la fermentation, il s'est ensuite agi pour nous de mener à bien la mise à l'échelle du procédé. Pour obtenir les moyens financiers nécessaires à cette montée en échelle, Global Bioenergies a mené à bien son introduc-

tion en bourse en juin 2011 et a procédé à plusieurs levées de fonds totalisant environ 50 millions d'euros.

Les spécificités de notre procédé ont rendu nécessaire le *design* spécifique de fermenteurs adaptés à la fermentation de gaz. Un pilote de laboratoire d'un volume de 42 litres a été construit en 2012.

La montée en échelle s'est poursuivie en dehors du laboratoire afin de bénéficier des conditions de sécurité et des compétences spécialisées nécessaires. Le site d'ARD (Agro-industrie Recherches & Développement), à Pomacle (en Champagne), a été sélectionné pour la construction d'un pilote industriel d'une taille de 500 litres ayant une capacité de production nominale de 10 tonnes d'isobutène biosourcé par an. Cet équipement clé a été construit dans le cadre d'un projet soutenu à hauteur de 5,2 millions d'euros par l'État (Investissements d'avenir pilotés par l'Ademe).

Le pilote a démarré sa production en novembre 2014 et a permis de livrer des échantillons à des industriels : Audi pour une application aux carburants, Arkema pour les peintures, ou encore Arlanxco, le leader mondial des caoutchoucs synthétiques.

Il restait encore une dernière étape à franchir avant l'échelle commerciale, c'est pourquoi un démonstrateur industriel a été construit en Allemagne, à Leuna, en novembre 2016, avec, cette fois-ci, le soutien d'un financement important de l'État allemand. D'une taille de 5 mètres cubes, cette unité permet d'atteindre une capacité nominale de 100 tonnes d'isobutène biosourcé par an. De premiers essais y ont déjà été réalisés, et il est attendu que le procédé y fonctionnera à partir de la fin 2017 avec des performances



Photo DR

Figures 2 et 3 : Le démonstrateur de Leuna (Allemagne).

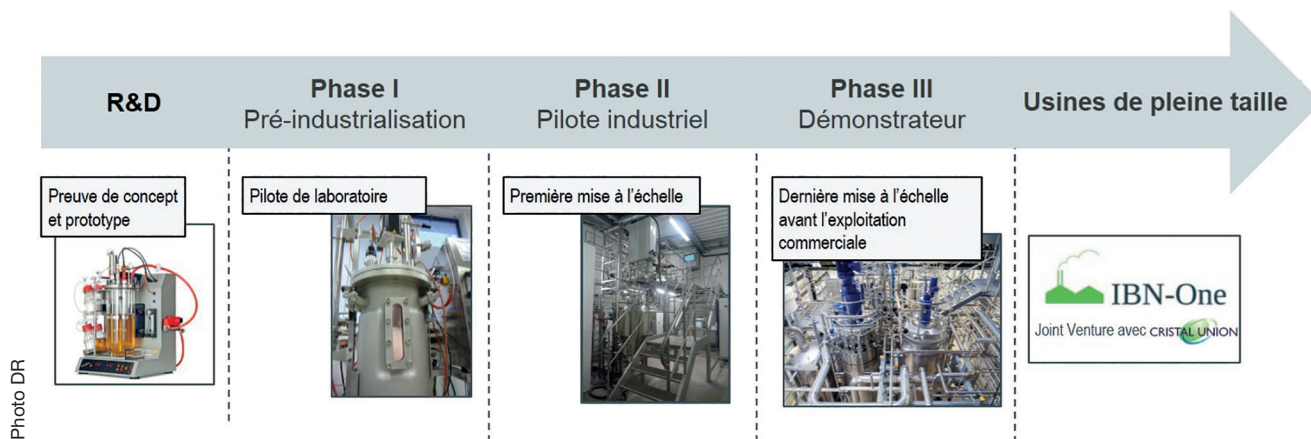


Figure 4 : Chronologie du développement du procédé de Global Bioenergies et les perspectives de celui-ci.

proches de l'objectif commercial. La technologie sera alors prête pour un déploiement industriel.

Un premier projet d'usine de pleine taille est à l'étude : le sucrier Cristal Union, second sucrier français et quatrième en Europe, a co-investi avec Global Bioenergies dans une *joint-venture* dénommée IBN-One pour porter ce projet de première usine commerciale. Cette usine sera co-localisée avec une raffinerie de sucre de Cristal Union afin de fournir le sucre de betteraves nécessaire à la fermentation et aura une capacité de production de 50 000 tonnes d'isobutène biosourcé par an. Les décisions d'investissement seront prises à la lumière des résultats obtenus grâce à ce démonstrateur.

Pour chaque tonne d'isobutène produite, plus de deux tonnes de CO_2 seront économisées : en effet, alors qu'une tonne de pétrole génère environ 3,7 tonnes de CO_2 lors de son utilisation, l'analyse de cycle de vie sur le procédé fait apparaître une production nette de seulement 1,6 tonne de CO_2 .

Si le procédé de fermentation a été initialement développé sur de la mélasse de betterave et du glucose de maïs, Global Bioenergies se prépare également à l'émergence de sucres de seconde génération, issus de déchets. Utiliser ces ressources permettra non seulement d'accroître et de diversifier les matières premières renouvelables pour produire des hydrocarbures, mais aussi d'atteindre un profil environnemental encore plus favorable.

De nombreux travaux ont déjà été menés à l'échelle du laboratoire en collaboration avec des sociétés spécialisées dans ce domaine des sucres de deuxième génération. Des sucres issus de paille de blé produits par Clariant, un

des leaders de la chimie en Europe, ont déjà été utilisés dans notre pilote industriel de Pomacle pour produire un premier lot d'isobutène de deuxième génération. D'autres travaux sont en cours pour tester la conversion de sucres issus de résidus de bois dans le cadre d'un consortium suédois emmené par Preem, le premier raffineur suédois, Sveaskog, le leader industriel du secteur forestier, et Sekab, qui détient un procédé d'extraction des sucres présents dans les copeaux de bois. L'implantation d'une première usine en Suède est à l'étude.

Enfin, la troisième génération, qui se fonde sur l'utilisation directe de carbone gazeux (CO , CO_2 , syngas issu des aciéries, etc.) est aussi un des axes de R&D privilégiés par Global Bioenergies : d'une part, parce que le gisement environnemental de ces gaz industriels est très abondant et, d'autre part, en raison du faible coût des sources de carbone considérées. Le principe de la fermentation gazeuse promu par notre société s'appliquera, là encore, en permettant une production en continu à la fois plus efficace et plus économique.

Ce procédé de conversion de ressources renouvelables en hydrocarbures est associé à un coût et à un bilan environnemental plus favorables que ceux de la voiture électrique, et il n'est pas soumis aux restrictions d'autonomie inhérentes à celle-ci. Il est permis d'anticiper que la solution promue par Global Bioenergies, qui consiste à changer les ressources, mais pas les produits, jouera un rôle important dans l'avenir énergétique et environnemental de la planète.