

# Introduction aux bioraffineries

Daniel Thomas et Stéphane Octave

**Résumé** Une bioraffinerie est un ensemble industriel, localisé sur un même site, qui transforme la biomasse agricole et forestière en une diversité de produits biosourcés et qui est à l'origine d'une nouvelle approche intégrée. Ses caractéristiques en termes de choix industriels (produits, procédés), de taille et d'environnement conditionnent la compétitivité de cette nouvelle bioéconomie.

**Mots-clés** **Bioraffinerie, biotechnologies, nouveaux procédés, optimisation des conditions de compétitivité, bioéconomie.**

**Abstract** **Introducing biorefineries**  
A biorefinery is an industrial complex, located on the same site, which transforms the agricultural and forestry biomass into a variety of biobased products and is at the origin of a new integrated approach. Its characteristics in terms of industrial choices (products, processes), of size and environment are responsible of the competitiveness of this new bioeconomy.

**Keywords** **Biorefinery, biotechnology, new process, competitiveness optimization, bioeconomy.**



© Jean-Marc LISSE.

La bioraffinerie de Bazancourt-Pomacle en Champagne-Ardenne.

Qu'entendons-nous par bioraffinerie ? C'est un ensemble industriel, localisé sur un même site, qui transforme la biomasse agricole et forestière en une diversité de produits biosourcés (alimentation humaine et animale, produits chimiques, matériaux, biomolécules, agromatériaux) et de bioénergie (biocarburants, électricité, chaleur) dans le cadre d'une stratégie de développement durable. C'est donc à la fois la transformation de la plante dans sa totalité, en valorisant tous ses constituants, et l'intégration des composantes d'un site industriel pour réaliser un véritable « métabolisme industriel ».

## État des lieux

À ce jour, il existe 35 bioraffineries en Europe, principalement situées dans le nord. Elles peuvent être décrites selon deux modèles que l'on retrouve à parts égales dans le monde entier, et se caractérisent par deux démarches différentes :

- la première consiste en des bioraffineries de grandes tailles, qui utilisent des biomasses peu différenciées en provenance du monde entier ; elles sont donc installées dans des ports comme aux Pays-Bas à Rotterdam ou à Gand (« Bioenergy Valley ») ;
- la seconde est représentée par des bioraffineries qui traitent quelques centaines de milliers de tonnes de biomasse par an ; elles sont installées en zone rurale, créant ainsi un fort lien avec les producteurs agricoles. Ces derniers sont donc associés à la répartition de la création de valeur en adaptant la plante à la stratégie de la bioraffinerie, proche de la production de la biomasse.

Le développement des bioraffineries ne saurait être ce qu'il est sans les nombreux projets et soutiens mis en place, que ce soit en Europe ou aux États-Unis. À ce sujet, il est couramment admis que le soutien à l'essor des bioraffineries est vingt fois

supérieur aux États-Unis qu'il ne l'est en Europe.

Aux États-Unis en effet, les pouvoirs publics affichent un soutien conséquent à la recherche et à l'innovation ainsi qu'à des démonstrations concrètes. Ainsi en 2009, ce ne sont pas moins de dix-neuf projets de démonstration qui ont été financés par le Département de l'Énergie (DOE), au titre du développement des bioraffineries pour les biocarburants avancés et les bioproduits. Ils ont représenté 1,3 milliard de dollars, dont près de six projets pilotes représentant chacun de 50 à 80 millions.

En Europe, le « Framework Programme 7 (2007-2013) », le 7<sup>e</sup> programme cadre pour la recherche et le développement technologique, est un outil de financement pour des projets de recherche et de développement collaboratifs. Dans ce cadre, l'Union européenne a mis en place une action sur les bioraffineries, action au sein de laquelle trois projets ont été retenus :

- Eurobioref, projet de 40 millions d'euros piloté par le CNRS (France) [1] ;
- Biocore, 20 millions d'euros, piloté par l'INRA (France) [2] ;

- Suprabio, 20 millions d'euros, piloté par Cambridge (Royaume-Uni) [3].
- Parallèlement, cette action a soutenu un projet horizontal, « Star COLIBRI » [4], à l'origine de deux rapports sur la stratégie de bioraffineries :
- « Joint European Biorefinery Vision for 2030 » [5], pour une vision européenne à l'horizon 2030 ;
  - « European Biorefinery Joint Strategic Research Roadmap » [6], un texte qui analyse et identifie les besoins tant d'un point de vue industriel que de celui de la recherche.

## Les principaux défis

Les bioraffineries fractionnent la biomasse en récupérant les principaux constituants de la plante : lipides, carbohydrates et protéines. Plusieurs technologies sont ensuite utilisées pour transformer ces matières premières. Mais l'innovation doit être au cœur des réflexions pour augmenter et diversifier la production de biomasse, car si transformer du sucre en éthanol est quelque chose de connu et de maîtrisé, transformer de la lignine en molécules pour la chimie fine l'est moins. Pourtant, c'est cet objectif technologique que les bioraffineries tentent d'atteindre. Le but est bien de transformer des produits à faible valeur ajoutée en produit(s) à haute valeur ajoutée. Pour y arriver, les bioraffineries doivent faire face à plusieurs défis qu'il est possible de résumer en cinq points :

- le développement de technologies efficaces et compétitives,
- l'intégration pour un « métabolisme industriel »,
- la diversification des produits,
- le dimensionnement de la bioraffinerie,
- la création et l'essor des clusters entre les acteurs.

## Développement des technologies

Les technologies utilisées aujourd'hui dans les bioraffineries n'ont pas encore atteint la maturité que peuvent revendiquer les technologies matures du raffinage du pétrole. En effet, développées il y a bien longtemps, ces dernières restent toujours efficaces aujourd'hui. En revanche, la jeunesse des biotechnologies industrielles leur confère une grande marge de progression, car elles doivent inventer leur propre technologie. De nombreuses approches sont actuellement testées dans le monde entier. Au Brésil par exemple, la production de bioéthanol a pu être considérablement améliorée et son efficacité a été multipliée par dix au cours des trente dernières années.

Des efforts de recherche et d'innovation sont donc absolument indispensables pour permettre l'essor de la stratégie des bioraffineries. Des développements sont nécessaires aussi bien en ce qui concerne le prétraitement que les procédés de production eux-mêmes.

En effet, pour ce qui concerne le prétraitement, la flexibilité des procédés de fractionnement de la biomasse semble impérative. L'objectif est de permettre par exemple de séparer les divers composants constitutifs de la lignocellulose (la cellulose, l'hémicellulose et la lignine), par des méthodes physiques, physico-chimiques ou enzymatiques.

En termes de production propre, plusieurs améliorations s'imposent. Une des premières priorités pourrait porter sur le développement de nouveaux biocatalyseurs (micro-organismes et enzymes) en tenant compte des contraintes industrielles et en tirant profit des progrès du génie métabolique (voir articles de D. Pompon *et coll.* p. 24 et de J.-L. Faulon *et coll.* p. 30). Des recherches devraient également aider à

perfectionner les procédés thermo-chimiques appliqués à la biomasse tout en améliorant la qualité des produits obtenus. On peut par exemple imaginer une amélioration de la pureté des gaz de synthèse, dits syngas, utilisés pour la conversion catalytique, ou de celle des huiles de pyrolyse. Parallèlement, de nouveaux catalyseurs devraient être développés pour permettre la transformation de la biomasse en milieux aqueux, y compris en utilisant le criblage à haut débit. La conversion des lipides, de la lignine et d'autres polymères naturels que les polysaccharides pourrait, quant à elle, être maximisée en associant la catalyse et la biocatalyse en milieux aqueux.

En ce qui concerne l'eau, l'optimisation de sa gestion devrait être accompagnée d'une attention toute particulière quant à son recyclage et sa réutilisation. Enfin, il ne faut en aucun cas négliger les avancées scientifiques réalisées aussi bien en biologie de synthèse qu'en biologie des systèmes pour créer et réguler des fonctions biologiques nouvelles utiles pour la bioraffinerie.

## Intégration pour un métabolisme industriel

L'intégration de différentes technologies et de l'ingénierie devrait amener à l'utilisation de la totalité des composants d'une plante sans qu'il n'y ait aucun déchet [7]. En d'autres termes, il s'agit de valoriser tous les composants de toutes les plantes traitées dans la bioraffinerie et d'éliminer les déchets et les sous-produits. Cette avancée passe par plusieurs optimisations de la situation actuelle :

- Les procédés doivent être découplés, ce qui permettra une intégration rationnelle basée sur la modélisation tout en prenant en compte aussi bien le recyclage que la gestion de l'eau. Cette démarche ouvre la voie à des bioraffineries intégrées et flexibles, en mesure d'utiliser de multiples sources de biomasse, à travers différents procédés pour générer des produits diversifiés.
- L'évaluation de la durabilité de la bioraffinerie intégrée doit être réalisée de manière rationnelle ; elle passe donc par le développement des analyses des cycles de vie en utilisant les méthodes reconnues.
- L'intégration de la bioraffinerie, c'est aussi son adaptation à et dans son territoire, une notion particulièrement importante pour les bioraffineries établies en milieu rural. Cette intégration s'étend à la région d'approvisionnement et aux relations avec le monde agricole, ce qui permettra d'optimiser les conditions d'accès à la biomasse. Il est donc indispensable d'analyser les impacts de l'intégration des systèmes agricoles dans les bioraffineries.
- Cette intégration ne saurait être réussie sans une recherche en sciences humaines et sociales afin de faciliter les coopérations de toutes les parties prenantes.

## Des produits diversifiés

La bioraffinerie ne prendra son essor que dans le cadre d'une grande diversité de produits. Cela implique donc une cohabitation entre des marchés de masse à faible valeur ajoutée et des marchés de niches générant des valeurs ajoutées élevées. Mais cette diversité a un impact direct sur la structure industrielle, ce qui n'est pas sans créer certaines difficultés selon les sociétés et notamment sur la régularité des approvisionnements. Par ailleurs, les sociétés cotées en bourse subissent bien souvent une pression des marchés qui les poussent à se concentrer sur un seul métier, un frein pour appréhender cette diversité des produits, des matières

premières et des procédés. Ainsi, il semblerait que la maîtrise d'une telle stratégie serait plus facile pour les entreprises familiales (Roquette, Cargill) et les groupes coopératifs (Siclaé, Sofiprotéol).

Cette diversité se traduit par un grand nombre de familles de produits et de marchés :

– *Les biomolécules* : parallèlement au remplacement des molécules carbonées fossiles par des molécules renouvelables et à la diminution de la production de gaz à effet de serre, l'évolution de la réglementation (REACH en particulier) provoque une demande industrielle pour les produits agrosourcés. L'intérêt se porte sur les synthons et molécules plateformes comme l'acide succinique, ou sur les molécules en fin de chaînes de production comme les biolubrifiants, les vernis, les bioplastifiants, les bioadhésifs, les solvants verts ou encore les tensioactifs.

– *Les biopolymères et les agromatériaux* : dans le domaine de la plasturgie et des composites, les fibres de carbone utilisées en renfort peuvent être remplacées par des fibres de lin ou de chanvre en utilisant un liant de biopolymères. Dans un autre domaine, l'habitat se construit également avec des bétons de chanvre ou de lin, des feutres biosourcés...

– *L'énergie* dont les biocarburants, que ce soit pour la production de chaleur et d'électricité à partir de biomasse (cogénération) ou pour la production de biocarburants de première génération (bioéthanol, biodiesel), de deuxième génération (éthanol à partir de lignocellulose), ou encore de troisième génération (par exemple à partir de microalgues).

– *Des ingrédients et actifs pour l'alimentation humaine et animale ou pour les cosmétiques.*

### Dimensionnement d'une bioraffinerie

L'efficacité d'une bioraffinerie ne saurait être atteinte sans une taille conséquente. Ainsi, leur augmentation d'échelle est un passage obligé pour une réelle compétitivité par rapport à la pétrochimie et à l'industrie chimique. Toutefois, ce point de vue doit être nuancé. En effet, la flexibilité demeure la priorité, et la taille dépendra non seulement de cette flexibilité voulue et obtenue, mais aussi de l'accès aux différents types de biomasse. Une approche que soutient la Commission de l'Union européenne, car on ne peut ignorer l'importance de la fiabilité de l'approvisionnement en matières premières. Par ailleurs, si cette matière première doit être transportée sur plusieurs milliers de kilomètres pour arriver à la bioraffinerie, toute l'énergie économisée serait perdue en transport.

Ainsi, il est possible d'obtenir un effet positif d'échelle en associant les activités alimentaires et non alimentaires sur les mêmes sites de bioraffineries.

### Création de clusters entre partenaires

Pour que les bioraffineries perdurent, la création de partenariats est essentielle. Ainsi, le concept de cluster s'applique tout particulièrement aux sites de bioraffineries. Il permet de réunir en un même lieu des industries pouvant être de natures différentes selon les procédés qu'elles mettent en œuvre et les produits qu'elles fabriquent. On parlera parfois d'écosystème industriel, les diverses entreprises présentes sur le site se fournissant de l'une à l'autre en produits semi transformés ou en énergie et mettant en commun des moyens de traitement des effluents. C'est notamment le cas du site de Rotterdam ou de Gand où six sociétés travaillent étroitement ensemble ou, en France, le site de Bazancourt-

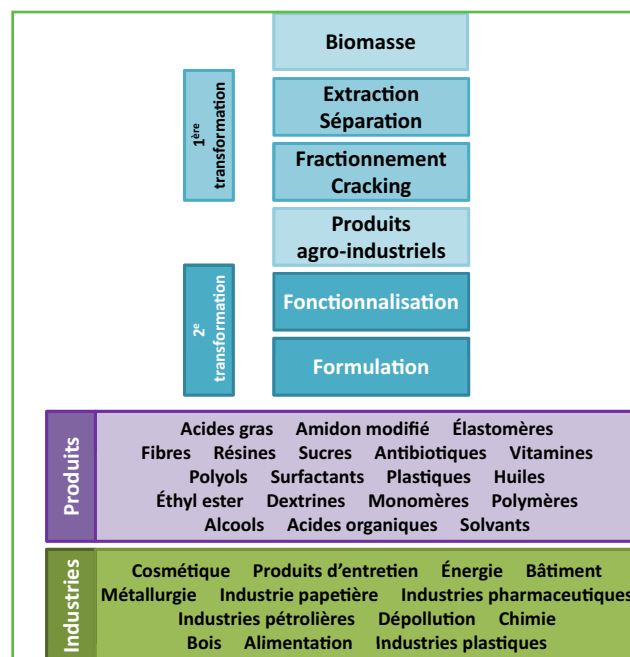


Schéma global de la bioraffinerie.

Pomacle situé en Champagne-Ardenne. Dans ce dernier exemple, développé dans l'article de Chauvet *et coll.* p. 49, la mise en réseau à l'échelle régionale, au travers du pôle de compétitivité « Industries et AgroRessources » [8], permet un essor remarquable des bioraffineries locales.

Ces défis et les réponses évoquées montrent la possibilité d'amélioration de cette jeune économie qu'est la bioéconomie. Les bioraffineries n'en sont qu'à leurs débuts mais confirment déjà la possibilité d'une économie durable.

### Références

- [1] <http://eurobioref.org>
- [2] [www.biocore-europe.org](http://www.biocore-europe.org)
- [3] [www.suprabio.eu](http://www.suprabio.eu)
- [4] [www.star-colibri.eu](http://www.star-colibri.eu)
- [5] The Star-COLIBRI project (Strategic Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries), "Joint European Biorefinery Vision for 2030", 2011.
- [6] The Star-COLIBRI project (Strategic Targets for 2020 – Collaboration Initiative on Biorefineries), "European Biorefinery Joint Strategic Research Roadmap", 2011.
- [7] Octave S., Thomas D., Biorefinery: toward an industrial metabolism, *Biochimie*, 2009, 91, p. 659.
- [8] [www.iar-pole.com](http://www.iar-pole.com)



D. Thomas

#### Daniel Thomas

est professeur au Laboratoire de Génie Enzymatique et Cellulaire (FRE CNRS 3580), et premier vice-président du pôle de compétitivité Industries et Agroressources (IAR), Université de Technologie de Compiègne\*.

#### Stéphane Octave

est ingénieur de recherche à la Direction à la Recherche, Coordination pôle IAR\*.



S. Octave

\* Université de Compiègne, Direction à la Recherche, Coordination UTC-Pôle IAR, BP 20529, F-60205 Compiègne Cedex.  
Courriels : [daniel.thomas@utc.fr](mailto:daniel.thomas@utc.fr) ; [stephane.octave@utc.fr](mailto:stephane.octave@utc.fr)