

rappport

Les conditions du développement de la chimie du végétal en Ile-de-France

25 octobre 2017

Rapport présenté au nom de la commission Agriculture,
environnement et ruralité par **Jean-Michel RICHARD**

Sommaire

Introduction.....	3
1. Quelques caractéristiques de la bio-économie.....	5
1.1 Une économie issue de la photosynthèse et de la biomasse renouvelable	5
1.2 Les différentes étapes de transformation	7
1.3 Les grands secteurs de produits biosourcés.....	7
1.4 Les avantages des produits biosourcés.....	7
2. Les perspectives d'évolution de la chimie du végétal.....	9
2.1 La concurrence avec la chimie des hydrocarbures	9
2.2 Les procédés technologiques de transformation.....	11
2.3 Produits intermédiaires et élaborés : diversité et potentiel de développement.....	13
2.3.1 Une grande diversité de molécules exploitables	13
2.3.2 Des produits innovants et performants.....	15
2.4 La situation en France et ailleurs	16
2.4.1 L'état au niveau mondial	16
2.4.2 La situation en France.....	17
2.5 L'état de développement de la chimie du végétal en Ile de France	19
2.5.1 Deux exemples de centre de recherche en Ile-de-France	19
2.5.2 L'exemple des graines oléagineuses à travers la société SAIPOL	22
2.5.3 L'exemple d'un procédé innovant d'une start-up née en Ile-de-France	24
2.5.4 La biomasse potentiellement disponible pour de nouveaux usages industriels	27
3. L'organisation du secteur en dehors de l'Ile-de-France.....	35
3.1 L'exemple de la bio-raffinerie de Bazancourt-Pomacle en région Grand-Est.	35
3.2 L'exemple de PIVERT en Picardie et de IMPROVE en Hauts-de-France.....	38
3.3 L'exemple d'AXELERA en région Auvergne-Rhône-Alpes	40
3.4 Un partenariat ouvert entre l'Ile de France et les régions voisines.....	41

4. Le rôle de la commande publique	43
5. Les préconisations du Ceser	47
Remerciements	51
Liste des membres de la commission de l'Agriculture de l'environnement et de ruralité	53
Bibliographie.....	55
Annexes.....	57
Annexe 1 : Les douze principes fondateurs de la chimie verte.....	59
Annexe 2 usage de la lignine du bois	61

Introduction

L'Ile-de-France produit de la biomasse agricole et sylvicole en grande quantité, sans oublier la biomasse associée aux déchets organiques urbains. Mais elle ne dispose pas sur son territoire de tous les outils de transformation souhaitables. Une partie de sa production est donc transformée hors Ile-de-France ou demeure tout simplement inexploitée.

La Région peut favoriser la croissance de la valeur ajoutée génératrice d'activités économiques en encourageant le développement des entreprises franciliennes déjà engagées dans la transformation de la biomasse ou en incitant ces dernières à venir s'installer en Ile-de-France.

En application de l'article 197 de la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, la Région doit en outre mettre en œuvre un plan régional pour le climat (PRC), un schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) et un schéma régional de mobilisation de la biomasse (SRMB).

Ces différents plans et schémas doivent s'inscrire dans une logique de développement de l'usage des produits biosourcés (matériaux issus de la biomasse) dans la mesure où ces produits sont à la fois renouvelables et stockeurs de carbone tout en offrant l'opportunité de valoriser des matières premières locales et ainsi de participer à la création d'emplois.

L'examen portera dans ce rapport sur les perspectives présentées par la chimie du végétal, tant en amont avec les programmes de recherche qu'en aval avec la transformation de la biomasse, en Ile-de-France proprement dite ou en collaboration avec d'autres régions du Bassin Parisien.

1. Quelques caractéristiques de la bio-économie

1.1 Une économie issue de la photosynthèse et de la biomasse renouvelable

Par définition, les produits biosourcés font appel, comme matière première, à des composés carbonés issus de la biomasse et non à des composés carbonés fossiles (pétrole ou gaz naturel).

D'une façon ou d'une autre, cette biomasse (produits sylvicoles et agricoles, déchets d'origine animale et déchets organiques urbains) est obtenue grâce à la photosynthèse opérée par les plantes qui associe notamment l'énergie provenant du soleil et le dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'atmosphère (ce dernier, par son accroissement, étant un facteur du réchauffement climatique).

Le caractère renouvelable de la biomasse est un marqueur positif essentiel vis-à-vis des produits fossiles qui ne le sont pas.

Un des principaux avantages de la bio-économie est de permettre la réduction de l'utilisation des hydrocarbures fossiles dans la chimie ainsi que dans l'industrie des matériaux et la filière énergétique.

Elle conduit à :

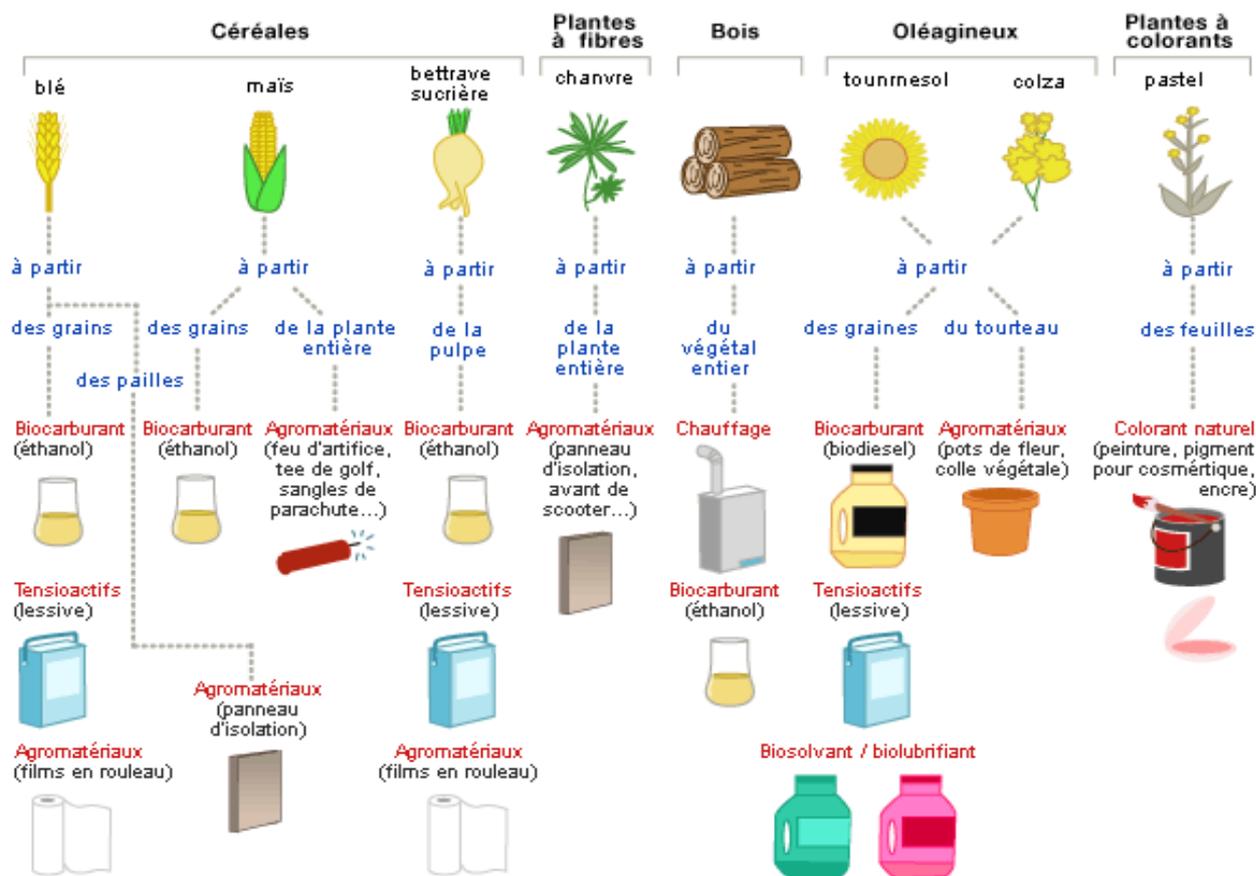
- une diminution de la consommation énergétique nécessaire pour la production des biens ;
- un captage massif du CO₂ de l'atmosphère ;
- un stockage de long terme du CO₂ dans certains cas (par exemple, bois pour la construction) ;
- une création significative d'emplois « nets » (c'est à dire en tenant compte de la diminution corrélative de ceux consacrés aux productions liées aux hydrocarbures).

Sa ressource est entièrement renouvelable.

La bio-économie peut aussi être source de concurrence entre certains usages industriels des bio-ressources. Dans ce cas, l'intérêt collectif est d'opter pour les usages les plus créateurs de valeur ajoutée, sans peser toutefois à l'excès sur la gestion durable des bio-ressources (préservation des sols, de la ressource en eau, de la biodiversité,...).

En revanche, il n'existe pas de réelle concurrence entre la biomasse utilisée par la bio-économie et celle destinée à l'alimentation humaine ou animale, ni même avec celle destinée à la production d'énergie, dès lors que la fiscalité et la réglementation ne favorisent pas de distorsion d'usage, en avantageant, par exemple, de façon très marquée, les biocarburants.

Par ailleurs, les déchets ou les sous-produits de la biomasse utilisée pour la fabrication de l'alimentation peuvent constituer une source très valorisable pour des matériaux et/ou des produits biosourcés. L'importance de la **notion de coproduits** pour le bilan économique d'une filière sera développée ci-après.



Contrairement à ce que perçoit parfois le sens commun, la biodégradabilité et la « biosourçabilité » sont deux concepts bien différents qu'il faut donc éviter de confondre.

C'est ainsi par exemple que les compositions chimiques de deux produits, l'un issu de la biomasse et l'autre issu d'une ressource fossile, peuvent très bien s'avérer, à la fin de leur processus de production, rigoureusement identiques. Dans ce cas, le degré de biodégradabilité de chacun de ces deux produits sera évidemment, lui aussi, rigoureusement le même, quelle que soit leur matière première d'origine. Toute la différence entre les deux produits résidera seulement dans le fait que l'un est biosourcé (puisqu'il est issu de la biomasse) alors que l'autre ne l'est pas (puisqu'il est issu d'une ressource fossile)¹.

Un autre concept est celui d'un possible **usage en cascade**, qui renvoie pour partie à celui de coproduits. Une illustration par exemple est fournie par la séquence suivante : un arbre - biomasse forestière - produit du bois d'œuvre et des déchets forestiers, ces derniers sont utilisés pour faire des panneaux de bois, en fin de vie ces panneaux et/ou le bois d'œuvre peuvent faire l'objet d'un recyclage – production de chaleur par incinération aujourd'hui, produits chimiques par un procédé biotechnologique demain.

¹ Les normes et les définitions : la norme de biodégradabilité est définie en conditions industrielles (par chauffage, par exemple), dans des conditions qu'on ne trouve donc pas dans la nature. Pour la norme de l'appellation « biosourcé », le produit doit être constitué d'au moins 30 % de matières premières renouvelables. Un produit dit « biosourcé » peut ainsi être fabriqué majoritairement avec des matériaux fossiles. L'exemple des emballages bioplastiques illustre cette complexité : la définition d'un bioplastique n'est pas arrêtée à ce jour, il peut s'agir d'un plastique, soit biodégradable, soit biosourcé, soit les deux à la fois. L'objectif est de produire un emballage totalement biosourcé, sans utiliser de ressources à usages alimentaires, et biodégradable en conditions domestiques. Cet objectif est en passe d'être atteint par un projet de « Ingénierie des agropolymères et technologies émergentes » (basée à Montpellier) à partir de déchets liquides des industries laitières et de fibres provenant du broyage de paille de blé, actuellement en phase de test de production et de commercialisation.

1.2 Les différentes étapes de transformation

L'usage pertinent de la biomasse passe par la mise en œuvre de plusieurs étapes, à la fois étroitement liées entre elles et dépendantes les unes des autres.

Il est tout d'abord nécessaire de pouvoir disposer d'une **production de biomasse pérenne** (sans oublier la logistique de sa mise à disposition pour transformation industrielle) en volume, en prix et en qualité conforme aux objectifs de production industrielle des produits finis visés.

Il faut ensuite une **première transformation** fournissant des produits dits intermédiaires.

Il faut enfin une **deuxième transformation** en produits finis.

Cette séquence de principe est valable pour les diverses bio-ressources en présence (sucres/amidon/oléagineux, ligno-cellulosique, bio-déchets,...) et pour toutes les grandes catégories de produits finis : matériaux, produits chimiques, carburants (sachant que ces derniers ne figurent pas dans le champ de la présente étude)...

Le terme souvent utilisé (mais qui reste souvent, concrètement, en devenir à ce jour) de « **bio-raffinerie** » correspond à la notion d'un ensemble industriel, localisé sur un même site, mettant en œuvre des procédés destinés à fractionner les composants de la biomasse en différents éléments constitutifs, eux-mêmes traités par des procédés mécaniques, physico-chimiques ou biologiques pour obtenir divers produits intermédiaires. Ce terme exprime l'objectif de **valoriser l'intégralité de la biomasse** disponible en un endroit.

1.3 Les grands secteurs de produits biosourcés

Trois grands secteurs principaux sont à distinguer parmi les produits biosourcés finaux (hors carburants) :

- le bois et ses dérivés (à 50% pour la construction, 20% pour l'emballage) ;
- les dérivés de polymères (par exemple l'amidon employé pour les sacs) ;
- les composites (employés de façon diversifiée dans l'industrie).

Pour fixer un ordre de grandeur, la valorisation croissante des bio-ressources s'appuierait à 60% sur les ressources forestières ou dérivées du bois, 30% sur les ressources agricoles diversifiées et 10% sur les bio-déchets.

1.4 Les avantages des produits biosourcés

Les produits biosourcés présentent divers avantages. Ceux-ci sont parfois peu ou mal perçus. Ils représentent :

- **une pompe à carbone efficace** (1 m³ de biomasse correspond à 1 t de CO₂ stocké),
- **une source appréciable d'emplois** (1 emploi pour 1000 t de produits transformés),
- **un gain énergétique considérable**, notamment pendant le processus de transformation de la biomasse en produits finaux. C'est ainsi par exemple, que la fabrication d'une structure bois-fibres consomme environ 9 fois moins d'énergie que la fabrication de cette même structure en béton, environ 17 fois moins que son équivalent en acier, et environ 48 fois

moins que celle de son homologue en aluminium ; et en fin de vie une structure bois-fibres livre un biocombustible renouvelable de 0,25 tep²/m³.

- **une économie créatrice d'emplois peu délocalisables** ; Un doublement du nombre d'emplois directs « bruts » résultant du développement des filières industrielles non « traditionnelles » (et faisant appel à l'agriculture et à la filière forêt-bois) de la bio-économie serait ainsi accessible d'ici 2030. Le chiffrage du gain « net » (c'est à dire le bilan des emplois créés par une telle nouvelle approche diminués de ceux des filières « traditionnelles » appelés à disparaître) est très difficile à faire, mais il semble que l'accroissement global devrait plutôt être le fait de l'amont (production et logistique de la biomasse) que de l'aval (transformation industrielle, sensiblement comparable en termes d'emplois à celle du secteur pétro-industriel sujet à remplacement).

Par ailleurs, ces emplois, que ce soit ceux de l'amont ou de l'aval, sont fortement liés aux territoires de production de la biomasse dont le caractère pondéreux interdit le transport compétitif sur grandes distances (circuits courts) et sont donc peu délocalisables.

A noter aussi, avec toutes les précautions méthodologiques d'usage, que la création d'un emploi apporte selon la DARES³ un bénéfice collectif net de 35 k€/an. Si l'on rapporte ce chiffre à la création d'un emploi pour 1000 tonnes/an de biomasse supplémentaire mobilisée, ceci revient à évaluer à 35€/tonne la « valeur-emploi » théorique (une externalité positive dans le langage économique) d'une tonne de biomasse, mais cette valeur n'est pas « monétarisée » (c'est-à-dire qu'elle n'apparaît pas explicitement dans un calcul micro-économique d'entreprise).

² Tep : tonne équivalent pétrole.

³ Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques du Ministère du Travail et de l'Emploi

2. Les perspectives d'évolution de la chimie du végétal

Un point de vocabulaire tout d'abord :

La notion de chimie verte désigne l'ensemble des actions (voir les 12 principes de la chimie verte en annexe 1) permettant de réduire l'impact sur l'environnement de cette industrie : développement de technologies plus propres, optimisation des procédés existants, réduction et valorisation des déchets, recyclage, réduction de la consommation d'énergie, substitution possible de la matière première d'origine fossile par des matières premières d'origine végétale, etc.

La chimie du végétal est l'un des axes essentiels de la chimie verte. Elle vise à utiliser les plantes – productrices directement ou indirectement de la biomasse - pour la fabrication de nombreux produits chimiques.

Le présent rapport ne traite que de la chimie du végétal.

2.1 La concurrence avec la chimie des hydrocarbures

La chimie du végétal permet d'obtenir, après une première transformation de la biomasse, des produits dits intermédiaires, utilisés ensuite comme produits de base par une deuxième transformation industrielle fournissant des biens aussi divers que des plastiques, des composites, des solvants, des lubrifiants, des produits pharmaceutiques, des cosmétiques,...

La première transformation peut être assurée selon deux grandes catégories génériques de procédés industriels :

L'une vise l'obtention de molécules identiques à celles fournies par les hydrocarbures pétroliers, ce qui permet d'utiliser les produits intermédiaires directement dans les chaînes industrielles existantes de deuxième transformation.

L'avantage d'un tel choix réside bien entendu dans l'usage de technologies éprouvées et dans la multiplicité possible des sources de matières premières (une partie peut provenir d'hydrocarbures et une autre de la première transformation de la biomasse, avec une évolution des proportions relatives des sources au cours du temps et en fonction des données économiques).

L'inconvénient provient d'une conversion sous-optimale de la première transformation de la biomasse (appelée désoxygénation) en molécules « basiques », plus consommatrice d'énergie que la voie de première transformation suivante : dit plus prosaïquement : on casse des molécules complexes en molécules simples avant de réassembler ces dernières en molécules intéressantes, cette casse consommant inutilement de l'énergie.

L'autre vise la production de molécules chimiquement plus élaborées, présentes naturellement dans la biomasse disponible, mais dont la deuxième transformation requiert une nouvelle chaîne industrielle, non compatible avec l'existant et dont la mise au point technologique est souvent encore en devenir. La détermination du choix optimal des procédés de deuxième transformation, tant sur le plan technologique qu'économique, est un processus de R&D dont se préoccupent beaucoup de groupes industriels mais qui prend du

temps. Par ailleurs, ceci ne préjuge pas de la décision de passer à une production industrielle des biens qui nécessite alors des investissements importants dans de nouveaux équipements industriels. Ceux-ci sont à gager sur des avantages concurrentiels solides par rapport aux procédés utilisant les usines existantes ou par rapport aux biens produits habituellement.

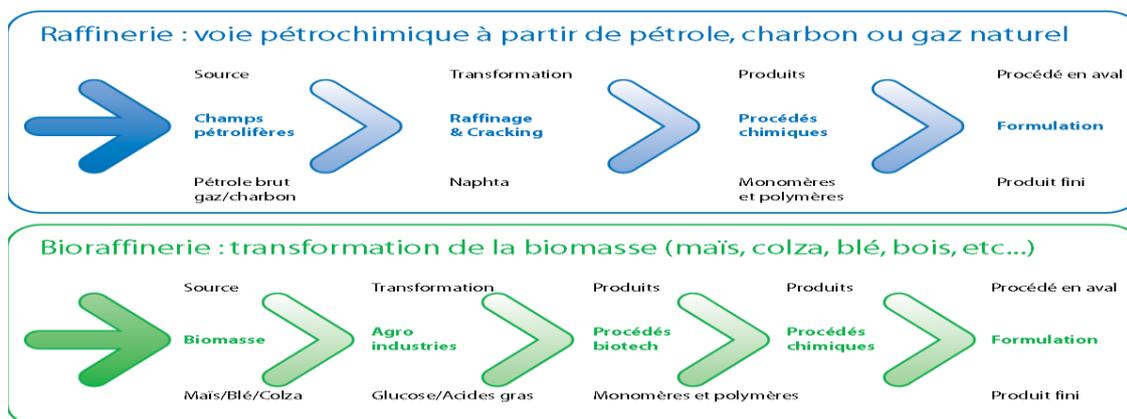
A noter aussi comme avantage parfois offert par cette catégorie de nouveaux procédés industriels le recours à des étapes de transformation présentant moins d'exigences de type « Seveso »⁴.

On notera que les considérations économiques sont souvent plus prégnantes que les considérations d'ordre purement techniques quand il est question de s'interroger sur le développement de l'usage des produits biosourcés.

La R&D permet en effet souvent, pour sa part, de trouver des solutions aux problèmes techniques posés au développement des produits biosourcés.

En revanche l'instabilité du prix du pétrole, avec sa tendance actuelle plutôt baissière qui diminue d'autant la visibilité des coûts relatifs des matières premières (matériaux fossiles versus matériaux biosourcés) représente un facteur économique qui peut peser lourd sur les choix stratégiques des groupes pétrochimiques, notamment lorsqu'il s'agit, pour ces derniers, de s'engager dans le développement de pilotes industriels coûteux et de compétitivité incertaine, par exemple pour la transformation de la cellulose en éthanol, aujourd'hui matière première en chimie et demain possible carburant également.

Le développement de la chimie du végétal a été aussi freiné par les **incertitudes à caractère réglementaire ou fiscal** s'appliquant à certains usages des bio-ressources (spécifiquement dans le domaine des carburants), alors même que les molécules précurseurs des polymères ou des résines sont les mêmes que celles fabriquées pour la constitution des biodiesels.



Source : ADEME – feuille de route R&D chimie du végétal

⁴ C'est le nom générique d'une série de directives européennes qui imposent aux États membres de l'Union européenne d'identifier les sites industriels présentant des risques d'accidents majeurs, appelés « sites SEVESO », et d'y maintenir un haut niveau de prévention. Ce nom provient de la catastrophe de Seveso qui eut lieu en Italie en 1976.

Enfin, il faut rappeler que le volume de biomasse disponible sur l'ensemble de la planète pour des usages autres qu'alimentaires ne permettra en aucune façon, ni aujourd'hui ni demain, de remplacer toutes les ressources fossiles afin de couvrir l'ensemble des usages existants. A moyen/long terme, l'objectif d'une couverture, au niveau de 25 à 30 %, de l'ensemble des besoins de l'industrie chimique, par la seule chimie du végétal, est considéré par les experts comme un objectif crédible.

2.2 Les procédés technologiques de transformation de la biomasse

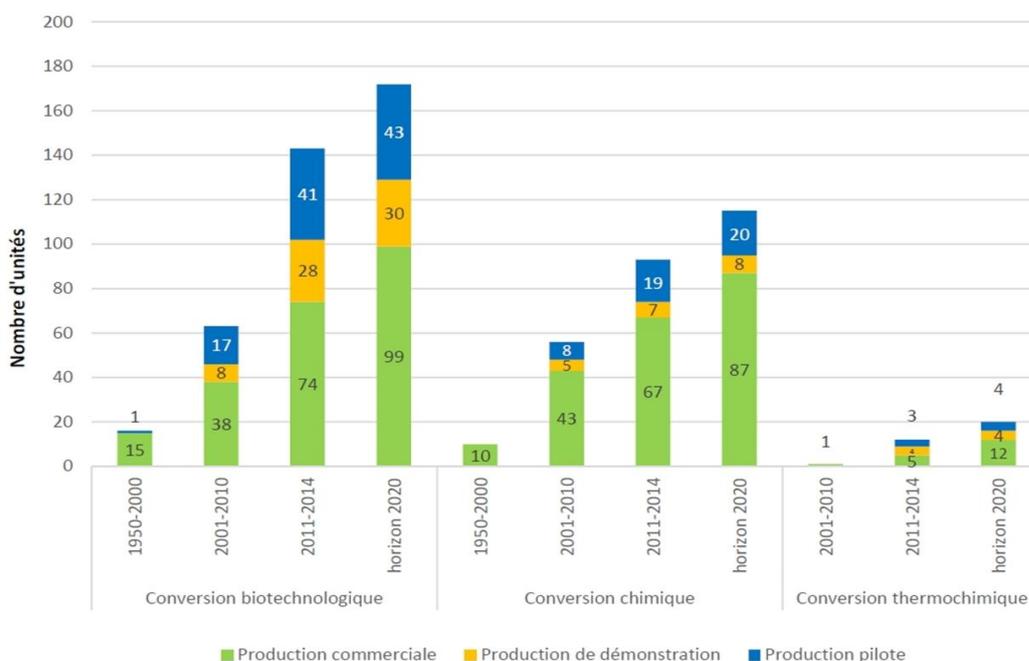
Les technologies utilisées par la chimie du végétal pour la **première transformation** font appel principalement à trois approches bien distinctes, et parfois conjointes :

- des procédés physicochimiques d'extrusion ou de filtration ;
- des procédés chimiques avec présence de catalyseurs (chimiques, enzymatiques) ;
- des procédés biotechnologiques (fermentation, hydrolyse avec catalyseurs biologiques).

Le choix est fonction notamment de la nature de la biomasse de départ et des produits intermédiaires recherchés.

Le « bon choix » technologique est un facteur majeur de succès pour les industriels, notamment pour la catégorie de procédés de transformation qui vise à obtenir des molécules chimiquement plus élaborées que celles fournies par les hydrocarbures (voir graphique ci-dessus).

Stade de développement des unités de production en fonction du type de voies de transformation (sur la base de 52 molécules étudiées)

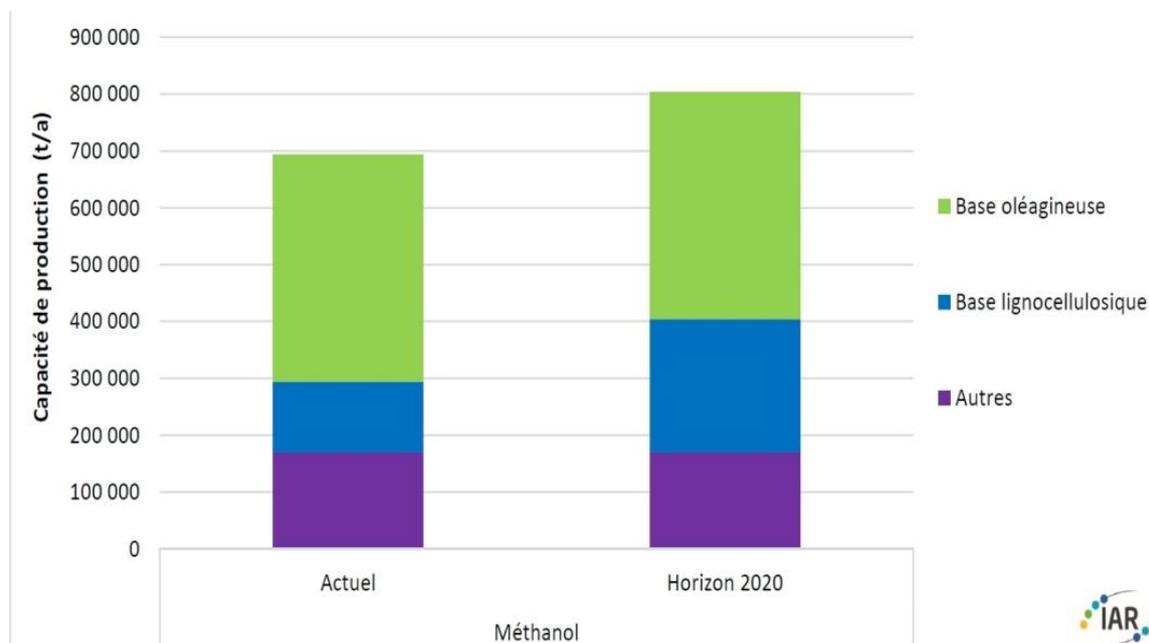


Source : IAR



Plusieurs solutions sont souvent disponibles pour l'obtention d'un même produit intermédiaire. Leur intérêt économique est fonction de nombreux facteurs évolutifs à court et moyen termes, comme le prix de la matière première ou la productivité du procédé retenu.

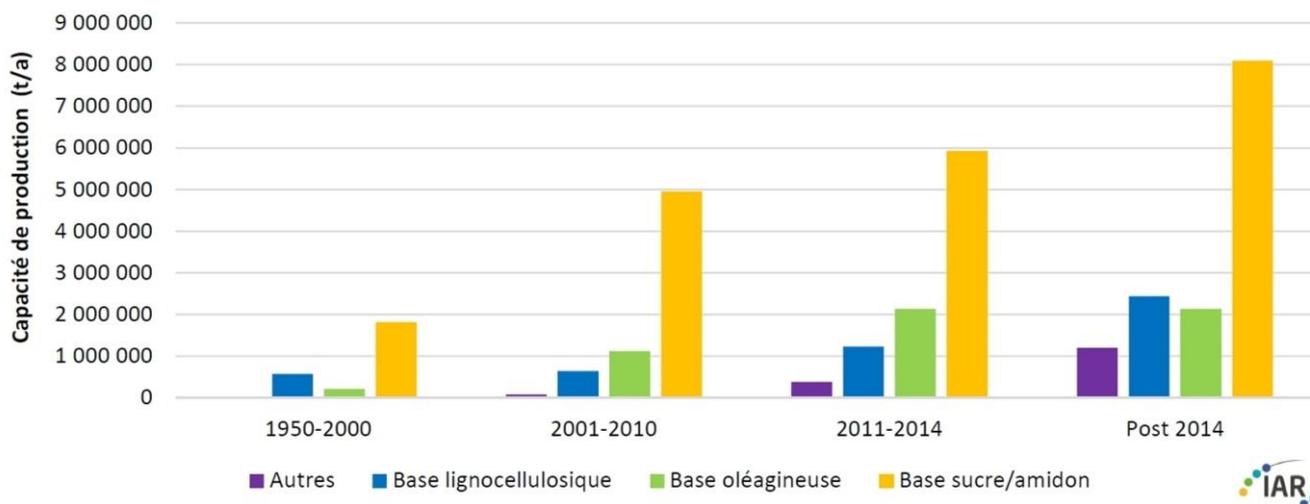
Evolution des capacités de production de méthanol en fonction du type de biomasse utilisé



Source : IAR

La chaîne de la valeur est directement impactée par un tel choix, qui doit aussi viser à l'utilisation de toutes les composantes de la biomasse initiale pour créer la valeur globale maximale, calculée sur l'ensemble des coproduits issus de cette biomasse.

Evolution de l'utilisation des types de biomasse par capacité de production des biomolécules



Source : IAR

2.3 Produits intermédiaires et élaborés : diversité et potentiel de développement

2.3.1 Une grande diversité de molécules exploitables

Le nombre de molécules utilisables comme produits intermédiaires en chimie du végétal est considérable. Le pôle de compétitivité Industries & Agro-ressources en a dressé un panorama non exhaustif de plusieurs centaines. Il ne s'agit pas, bien entendu, de les passer en revue mais seulement d'en citer quelques-unes emblématiques, illustrant différentes chaînes de valeur et modèles économiques. De façon générale, la complexité de la chaîne de la valeur en chimie du végétal est particulièrement marquée.

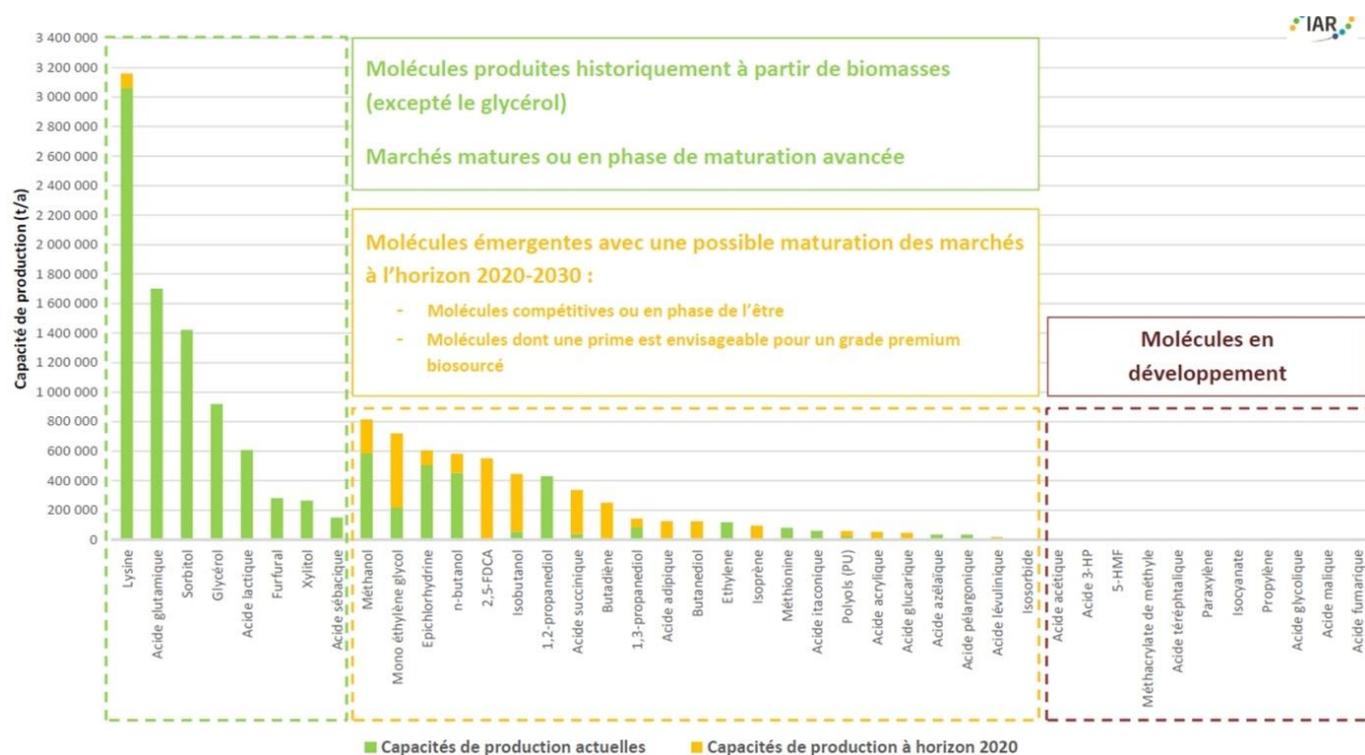
- L'**éthanol** (produit de commodité). L'éthanol peut être obtenu à partir de céréales ou de betteraves (éthanol dit de 1^{ère} génération) ou de lignocellulose (éthanol dit de 2^{nde} génération). Aujourd'hui seul de l'éthanol biosourcé (98% des volumes) de 1^{ère} génération est produit en France, de façon massive soit 1,75 millions de tonnes/an, essentiellement pour des usages alimentaires (6%), énergétiques (66%), l'export (22%), chimiques (6%, y compris cosmétiques et pharmacie). La filière de l'éthanol de 1^{ère} génération est industriellement bien maîtrisée par les agro-industriels mais subit une forte concurrence au niveau mondial via la valorisation de la biomasse de canne à sucre. L'éthanol de 2^{nde} génération est, quant à lui, en phase d'émergence industrielle, avec encore de sérieux freins à lever.

- L'**acide succinique** (produit de spécialité). C'est une molécule d'origine pétrochimique, utilisée pour des marchés de niche à haute valeur ajoutée (cosmétiques, additifs alimentaires,...). Le développement de son usage est subordonné à une baisse du prix, rendu envisageable grâce à une valorisation industrielle de la biomasse. Plusieurs voies d'obtention, encore au stade R&D, sont en concurrence.

- L'**acide acrylique** (produit de commodité). C'est aussi une molécule d'origine pétrochimique, ayant d'importants débouchés sur des marchés en croissance (production de l'ordre de 4 millions de tonnes/an). Deux voies d'obtention à partir de produits biosourcés sont en développement, dont une en Europe où la molécule est obtenue par traitement d'un coproduit (le glycérol) de la fabrication du biodiesel. L'enjeu est significatif dès lors que des verrous techniques (catalyseurs) et des incertitudes d'approvisionnement en glycérol seraient levés.

- Le **linalol** (produit de la chimie fine). Molécule fortement présente dans les huiles essentielles, traditionnellement produites en France à partir de la lavande ou du lavandin. La consommation mondiale est d'un volume modeste. De nombreuses sources de biomasse permettent de produire cette molécule par différents procédés, ce qui constitue une menace pour la production française.

Les capacités de production par molécule à l'horizon 2020



La **lignocellulose** est, à ce jour, plus difficile techniquement à transformer que les sucres/amidon/oléagineux alors qu'elle constitue une matière première de plus faible coût en tant que biomasse résiduelle de coproduits forestiers et de pailles de céréales et est largement disponible en volume (l'exploitation du bois pour son usage traditionnel donne lieu à 40% environ de « déchets »). Elle concentre donc les efforts de la R&D, avec des perspectives souvent séduisantes (voir annexe 2) pour l'obtention de produits innovants. Mais d'ores et déjà l'usage de la lignine se développe comme agent dispersant, additif pour béton pour forages pétroliers, teintures pour textiles, granulés pour l'alimentation animale,... tandis que l'industrie du papier innove pour lui conférer de nouvelles propriétés (étanchéité à l'eau, aux gaz, aux huiles,...) et lui ouvrir ainsi des marchés jusqu'alors réservés à des produits issus des hydrocarbures.

Chromatogénie... et le papier ne craint plus l'eau !



- Un nouveau procédé de chimie verte permettant de conférer un caractère **hydrophobe** aux papiers et cartons et développer des propriétés **barrière**
- Un procédé **sans solvant**, ultra-rapide adapté à un traitement bobine/bobine
- Applicable aux papiers non couchés pour **renforcer l'hydrophobie** en conservant la recyclabilité et la biodégradabilité du papier
- Applicable aux papier enduits pour **préserver la barrière** apportée par l'enduit lors d'une exposition à un environnement humide



2.3.2 Des produits innovants et performants

Le développement de **matériaux d'échelle nanométrique** permettant la conception de dispositifs destinés à de nombreux secteurs de pointe – optique, micro-électronique/lithographie/mémoires à transistors, santé/biosenseurs/biocapteurs, énergie photovoltaïque,... - fait l'objet de très nombreuses recherches. Les « briques élémentaires » - des molécules - utilisées sont généralement issues du pétrole mais présentent de fortes contraintes – une faible résolution dimensionnelle – pour le développement de ces nouveaux matériaux. Les avancées récentes dans la chimie des biopolymères – respectueuse de l'environnement – permettant de structurer de façon contrôlée la matière à l'échelle moléculaire autorisent l'usage de matériaux biosourcés pour concevoir de tels dispositifs, avec des performances supérieures à celles offertes par les molécules homologues issues du pétrole.

Un autre exemple d'actualité réside dans la recherche de produits nouveaux pour une substitution fonctionnelle aux **phthalates**. Ces derniers en effet présentent de sérieux inconvénients mais restent incontournables pour certains usages. Des espoirs sont mis dans de nouvelles molécules, issues de la biomasse, qui permettraient de s'en affranchir. Mais il faudra s'assurer avant usage industriel que ces molécules ne présentent pas elles-mêmes d'autres inconvénients de long terme. Ce sera le rôle des analyses de cycle de vie (ACV) que de le vérifier.

Il ne s'agit donc pas ici d'un enjeu de substitution sur d'importants volumes de produits pétroliers par des matériaux biosourcés mais d'un **enjeu de performance permise par le recours à des matériaux biosourcés**, quand bien même le volume de biomasse impliqué est modeste. Inutile de dire qu'il s'agit de produits à très haute valeur ajoutée, qui sont à la veille de sortir du laboratoire pour entrer dans une phase d'industrialisation.

Greenanofilms, l'aboutissement intelligent... ... vers des films souples fonctionnels



Faire des matériaux souples et biosourcés à partir de la cellulose pour... demain, une nouvelle chimie du carbone...

- organisation à l'échelle nano
- des glycopolymères fonctionnalisés
- un support cellulosique à base de MFC (micro fibrille de cellulose)
- Vers un premier démonstrateur : le panneau photovoltaïque

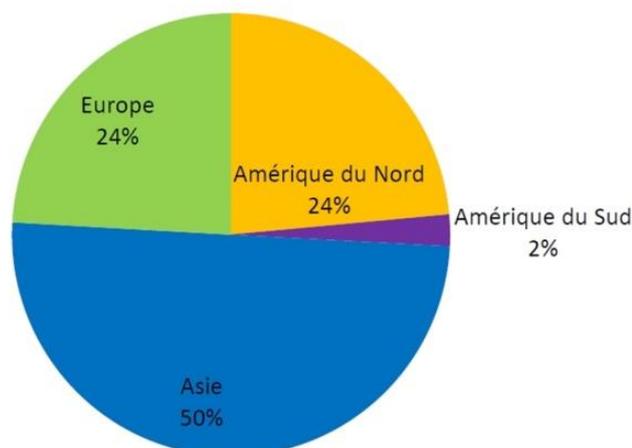


2.4 La situation en France et ailleurs

2.4.1 L'état au niveau mondial

Sur le plan mondial, le développement de la chimie du végétal apparaît forte en Asie (1^{er} producteur de produits intermédiaires biosourcés, beaucoup de biomasse disponible, débouchés industriels locaux importants), en Amérique du Nord (fort soutien public à la R&D et à l'industrialisation, utilisation d'OGM) et du Sud (beaucoup de biomasse disponible), mais plutôt stagnante en Europe (biomasse moins compétitive, absence d'une politique incitative forte, croissance économique atone, difficultés de passer de la R&D à l'industrialisation, mais à noter le soutien récent de l'UE à la bio-économie). Cependant, certains pays (Allemagne, Pays-Bas, Finlande,...) se sont déjà engagés dans des stratégies relativement ambitieuses.

Répartition géographique des capacités de production pour la période 2011-2014



Source : IAR

La chimie française est considérée comme biosourcée globalement à hauteur de 11%, avec 25 000 emplois directs pour la chimie du végétal (et avec un chiffre encore plus important pour les emplois indirects, mal quantifiables à ce stade), avec une perspective d'un quasi-doublement d'ici 2030, surtout dans l'aval industriel (composites, peintures, tensio-actifs, arômes) contrairement aux autres usages de la biomasse qui induisent plutôt de l'emploi à l'amont.

2.4.2 La situation en France

La **R&D** est concernée au premier chef bien entendu par cette évolution, avec des start-up dynamiques – citons à titre d'exemples des sociétés comme Deinove, Fermentalg, Arbiom (ex. Biométhodes), Metabolic Explorer,... – constituant un vivier pour quelques grands groupes d'agro-industriels français de niveau mondial, dont certains d'ailleurs cherchent à acquérir par croissance interne ou par rachat de start-up des compétences nouvelles pour faire face aux nouveaux besoins technologiques propres à la chimie du végétal (mise au point de catalyseurs, biotechnologie, procédés). Ces start-up, souvent bien plus innovantes que les grands groupes, travaillent à la mise au point de procédés industriels technologiques « verts » dont la commercialisation s'effectue sous forme de licences. La question de la **propriété intellectuelle** est donc centrale dans le développement de la chimie du végétal car elle est au cœur du « business model » de l'innovation et précède nécessairement la phase industrielle proprement dite.

L'avantage concurrentiel de ces start-up par rapport à la R&D des grands groupes provient de ce que **l'apport intellectuel est beaucoup plus important que le capital dans cette étape d'émergence** qui nécessite une mise de fonds initiale en capital assez limitée pour assurer l'amorçage. En outre, les entrepreneurs-chercheurs ont l'espoir d'une rémunération meilleure, en cas de succès, qu'avec un statut de salarié. Le secteur académique – laboratoires de recherche et centres techniques – est évidemment impliqué dans cette évolution de mener la R&D. Les effectifs, hautement qualifiés, sont modestes en nombre en comparaison de ceux nécessaires à la production ou à la transformation de la biomasse mais sont indispensables à la croissance attendue de la chimie du végétal.

Après une phase d'émergence prometteuse vient celle du **développement préindustriel qui requiert un apport nettement plus substantiel en capital**. Ce besoin de fonds propres pour financer un actif souvent immatériel (pour fixer les idées, de l'ordre de cinq à dix millions d'euros et non plus de la centaine de milliers d'euros comme lors de l'émergence/amorçage) n'est pas facile à mobiliser, précisément parce que l'actif n'est pour l'essentiel pas matériel (c'est la raison pour laquelle cette étape est aussi appelée « vallée de la mort » dans le jargon des initiés). Le financement par crédit bancaire n'est pas encore adapté à cette phase de développement et les organismes de capital-risque – structurés et disposant pourtant de ressources financières – ne sont pas toujours prêts en France à porter le risque inhérent à cette étape clé du développement d'une nouvelle technologie. Enfin vient la phase du développement industriel proprement dit, la plupart du temps réalisé par ou avec la contribution de grands groupes existants. Cette dernière mobilise beaucoup plus de capital que les deux phases précédentes et des compétences différentes, commerciales et gestionnaires.

L'implication d'une collectivité territoriale comme la Région a du sens pour cette phase du développement dit « préindustriel ». C'est en effet durant cette phase que le besoin indispensable en capital s'avère bien des fois difficile à satisfaire pour une entreprise qui est encore « adolescente » (typiquement une société de 10 à 20 personnes), n'ayant par nature pas encore fait ses preuves industrielles.

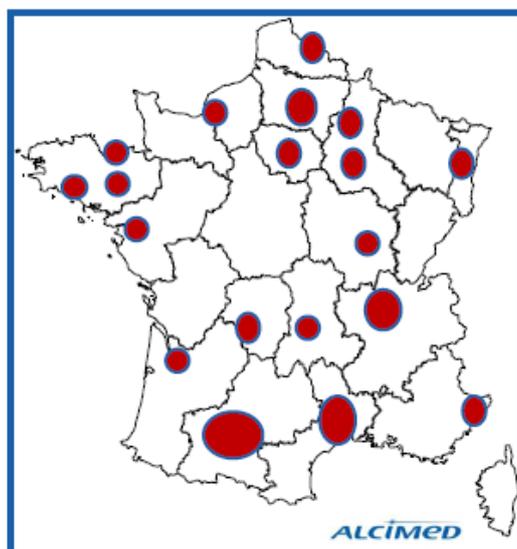
Un complément public peut donc être utile, mais sous certaines conditions impératives : par exemple, être seulement un complément et être subordonné à l'engagement en capital d'un tiers, « amorcer la pompe » de façon bornée dans le temps, accepter qu'une innovation « de rupture » est par nature un pari technologique peu prévisible quant à son débouché – réussite ou échec -, procéder pour chaque projet à une évaluation sommaire *ex ante* puis *ex post* - hors de toute pression politique ou analyse à caractère bureaucratique. Le fonctionnement des collectivités publiques ne s'inscrit pas facilement dans un tel schéma.

Des initiatives au sein de clusters technologiques, comme les pôles de compétitivité en France, émergent aujourd'hui. Ils réunissent à la fois des universitaires et les différents acteurs de la chaîne de valeur dans des "écosystèmes d'innovation", tels AXELERA - pôle de compétitivité Chimie et Environnement en région Rhône-Alpes, le pôle IAR (Industries & Agro Ressources) - pôle de compétitivité impliquant l'agriculture sur les deux régions du Grand-Est et des Hauts-de-France ou le Génopole d'Evry en Ile-de-France. Il y a aussi l'Institut d'excellence aux énergies décarbonées (INDEED), où la chimie et l'environnement s'articulent au service des grands défis dans les domaines des procédés propres et des matériaux innovants. Des projets de recherche et développement fondés sur la synergie entre industrie et université ont été identifiés pour proposer une chimie-environnement à forte valeur ajoutée.

Les clusters présentent un intérêt pour créer une masse critique suffisante sur le marché du travail, pour partager certaines infrastructures spécifiques, pour provoquer des effets d'entraînement technologiques liés aux interactions de proximité. Par contre, la puissance publique à travers la mise en place de clusters doit éviter toute tentation de saupoudrage dans ses interventions et – répétons-le - ne pas prétendre désigner à l'avance les innovations qui prospéreront et les sociétés émergentes qui connaîtront le succès économique.

Personne n'en est capable – historiquement, les contre-exemples pullulent - et il faut donc que la puissance publique accepte d'apporter une contribution – qui doit rester limitée et partagée avec les acteurs privés - à certains paris technologiques qui pourront malheureusement à l'expérience échouer.

Principales implantations des acteurs académiques en chimie du végétal



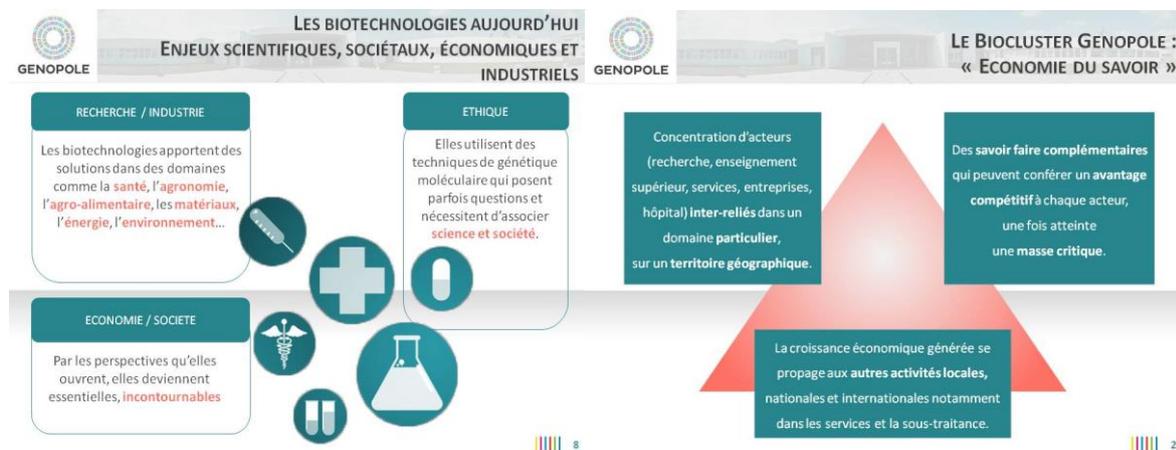
Source : rapport de l'ADEME sur l'emploi dans la filière chimie du végétal

2.5 L'état de développement de la chimie du végétal en Ile de France

2.5.1 Deux exemples de centre de recherche en Ile-de-France

L'exemple du Génopole d'Évry

Le Génopole est un « bio-cluster » situé à Évry, dédié aux biothérapies, à la recherche en génétique et au développement des industries de biotechnologie. C'est un groupement d'intérêt public (GIP) réunissant l'État, les collectivités territoriales (conseil régional d'Ile-de-France, conseil général de l'Essonne, communauté d'agglomération Évry Centre Essonne, ville d'Évry), l'université d'Évry et l'Association française contre les myopathies.



Il a une triple mission :

- développer un campus de recherche d'excellence, axé sur les thérapies géniques, en synergie avec l'université Évry Val-d'Essonne (UEVE) ;
- susciter la naissance et favoriser le développement d'entreprises de biotechnologies par un accompagnement adapté dans les secteurs de la santé⁵, de l'environnement, de l'agronomie et de l'industrie : levée de fonds, signature de partenariats industriels, actions de prospection,...
- créer *ex nihilo* un biotechnoparc à Évry/Corbeil-Essonnes, en liaison avec le campus de recherche.

Le cluster rassemble aujourd'hui en un même lieu 19 laboratoires de recherche académique placés pour la plupart sous la tutelle d'organismes de recherche nationaux - le CNRS, l'Inra, le CEA, l'Inserm -, 80 entreprises de biotechnologies, 21 plates-formes scientifiques et plateaux techniques mutualisés autour de l'université d'Évry Val-d'Essonne dont les filières scientifiques dispensent un enseignement de haut niveau en sciences du vivant, comme l'attestent les évaluations positives de l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Aeres). Le cluster représente aussi 2500 emplois directs et le double d'emplois indirects et offre un effet de levier significatif, à savoir que 1€ de fonds publics « génère » de l'ordre de 3 à 4 € d'engagements privés.



Afin d'éviter le saupoudrage et de concentrer les moyens sur des priorités clairement définies, la Région Ile-de-France a choisi de mener une politique de soutien à des réseaux de recherche thématiques, labellisés en tant que Domaines d'intérêt majeur (DIM). La Région s'appuie sur l'expertise du nouveau Conseil scientifique régional pour évaluer la qualité scientifique des projets. Pour renforcer le soutien régional au bio-cluster Génopole, le budget régional 2017 pour le secteur de la recherche se caractérise par une augmentation importante, de + 21,7 % en autorisations d'engagement. La dotation régionale attribuée en 2017 comprendra celle versée auparavant au GIP par le département de l'Essonne, qui a perdu la compétence en matière de développement économique suite aux dispositions de la loi NOTRe. L'enveloppe permet notamment d'apporter une participation régionale au

⁵ 2/3 environ de son activité et 1/3 pour ce qui a trait à l'environnement, à l'agro-alimentaire et à l'industrie.

programme d'investissement du GIP Génopole, à la fois pour l'acquisition d'équipements « mi-lourds » (d'un coût compris entre 0,200 M€ et 5,000 M€ HT) pour les laboratoires du site et pour mener des travaux d'aménagement de locaux facilitant l'accueil d'entreprises liées aux biotechnologies.

L'exemple de la start-up ABOLIS, entreprise de biotechnologie industrielle, créée en 2014, implantée sur le Génopole et rassemblant déjà 15 personnes, illustre la démarche. La société a pour objectif de favoriser l'émergence de procédés de production de molécules chimiques plus respectueux de l'environnement en concevant « à façon », en développant et en commercialisant des micro-organismes capables de produire par fermentation et à base de ressources renouvelables (de la biomasse dont des sucres) des molécules d'intérêt pour l'industrie, notamment dans les domaines des bioplastiques, des phytosanitaires et des compléments alimentaires (produits dits « de spécialité »). Elle utilise une technologie de rupture sans équivalent à ce jour, couplant un logiciel de conception assistée par ordinateur de voies métaboliques à une chaîne de fabrication et de tests de micro-organismes robotisée. Cet ensemble est connecté à un système d'intelligence artificielle (machine learning) qui permet la surveillance, le suivi et l'optimisation des souches. Grâce à sa technologie, cette société propose de développer de nouvelles souches industrielles en réduisant le temps et les coûts de développement de ces nouveaux procédés industriels. A partir du besoin exprimé de la production d'une molécule, ABOLIS développe à la fois la souche et le procédé : étude de faisabilité bio-informatique, prototypage et construction biotechnologique puis optimisation de la souche industrielle, développement du procédé industriel de production de la molécule, en partie sous-traité. Rappelons que ces micro-organismes n'opèrent que dans des structures fermées (des fermenteurs) et non pas à l'air libre ou dans la nature.

L'exemple de l'Institut de Chimie des Substances Naturelles (ICSN)

L'Institut de Chimie des Substances Naturelles constitue le pôle chimie du campus CNRS de Gif sur Yvette. L'Institut est situé en bordure du futur campus Paris-Saclay, qui regroupera près de 10% de la recherche française, et fait partie intégrante de cette nouvelle Université. Il développe ses recherches à l'interface entre la chimie et la biologie et s'intéresse en particulier à la recherche de molécules à propriétés thérapeutiques issues de substances naturelles végétales, marines ou microbiennes. Il regroupe 200 chercheurs, ingénieurs, étudiants, post-doctorants, techniciens et administratifs.

La démarche de recherche de l'Institut inclut :

- l'extraction des molécules et la détermination de leur structure ;
- la synthèse totale ou l'hémi-synthèse pour les reproduire ;
- la recherche d'analogues pour améliorer les propriétés thérapeutiques ;
- l'étude et la détermination des mécanismes d'action biologique ;

L'ICSN est à l'origine de deux médicaments anticancéreux importants :

- le taxotère issu de l'if, un composé dérivé du taxol dont l'extraction à partir des écorces exigeait la destruction de l'arbre alors que le taxotère utilise le feuillage et s'est révélé plus efficace, double gain pour la médecine et pour l'environnement. Dans les années 2005-2010, les redevances perçues par le CNRS pour la licence du taxotère représentaient de l'ordre de

40 M€ par an. Il a été développé initialement par Rhône-Poulenc et fait partie maintenant du portefeuille de SANOFI ;

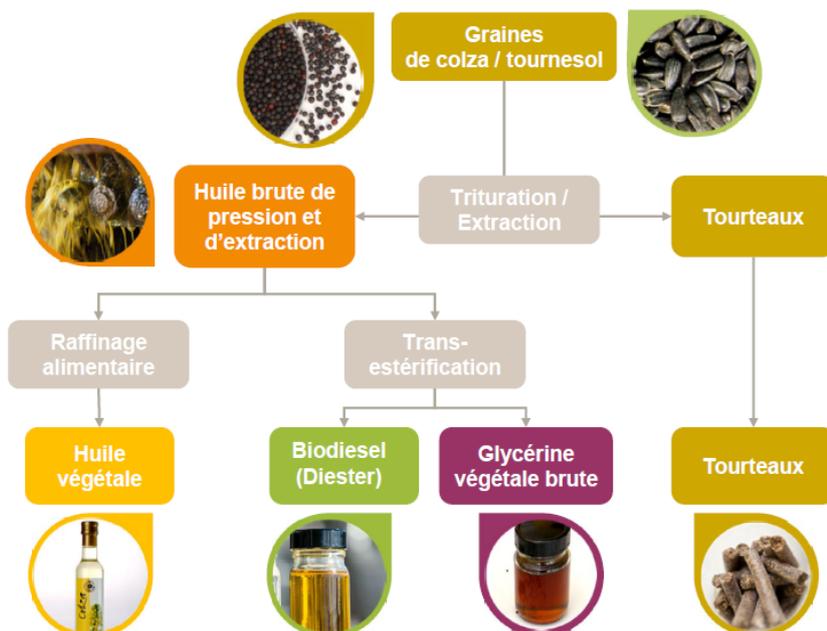
- La navelbine, anticancéreux utilisé dans le traitement de certains cancers du sein et du poumon, a été mise au point par synthèse à partir d'une molécule découverte dans la pervenche de Madagascar mais en quantité trop faible pour donner lieu à un développement industriel. Elle a été développée par le laboratoire Pierre Fabre à Castres sous licence du CNRS.

2.5.2 L'exemple des graines oléagineuses à travers la société SAIPOL

Une part importante de la production de graines oléagineuses - colza et tournesol - en Ile-de-France est valorisée par la société SAIPOL, du groupe AVRIL, dans son usine du Mériot, située dans la région Grand Est, juste en lisière de l'Ile-de-France.

La trituration puis le traitement des graines oléagineuses (1^{ère} transformation) aboutit à quatre grandes catégories de (co)produits : des tourteaux destinés à l'alimentation animale, de l'huile végétale destinée à l'alimentation humaine, du biodiesel (diester) à vocation énergétique (via une incorporation dans le carburant diesel selon les prescriptions réglementaires) et de la glycérine, produit utilisé par l'industrie chimique.

SAIPOL ASSURE LA PREMIÈRE VALORISATION DES GRAINES OLEAGINEUSES VERS L'ENSEMBLE DES DÉBOUCHÉS



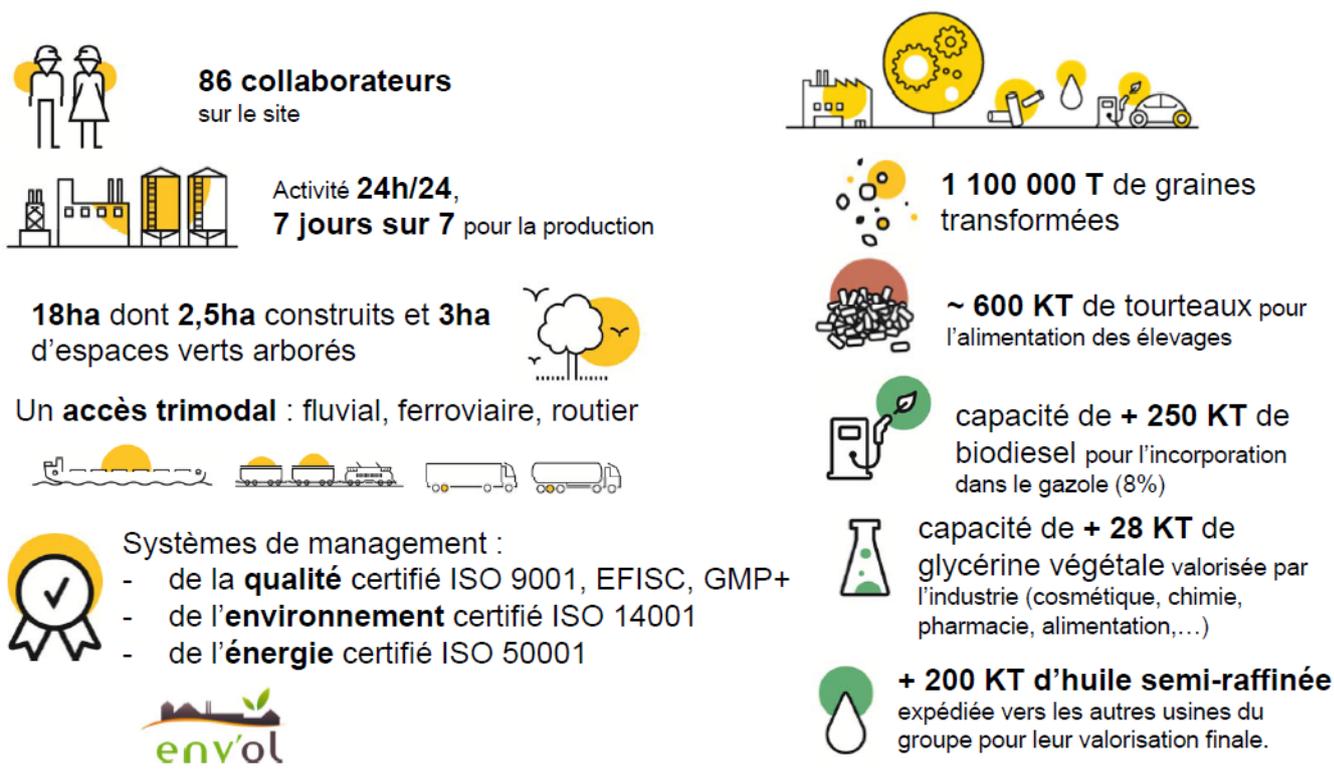
Le graphique ci-dessus montre qu'il n'y a pas lieu en général d'opposer cultures à vocation alimentaire et cultures à vocation non alimentaire puisqu'une **valorisation économique optimale** tend à utiliser, à travers la notion de coproduits, **l'intégralité de la biomasse** produite. Dans une telle exploitation industrielle, il n'y a pas de « déchets ».

Cette activité industrielle, précisée par les chiffres ci-après, relève de ce qu'il est convenu d'appeler une « industrie lourde », dont l'intensité capitalistique est substantielle (coût de

l'unité de production de l'ordre de 150 M€ dans le cas présent). Ceci a plusieurs conséquences :

- dans une unité géographique comme le bassin parisien, il ne peut y avoir de place économiquement parlant pour de multiples usines de 1^{ère} transformation pour une matière agricole donnée ;
- une telle exploitation industrielle requiert une sécurité d'approvisionnement en biomasse sans faille à moyen-long terme et une relative stabilité des débouchés.

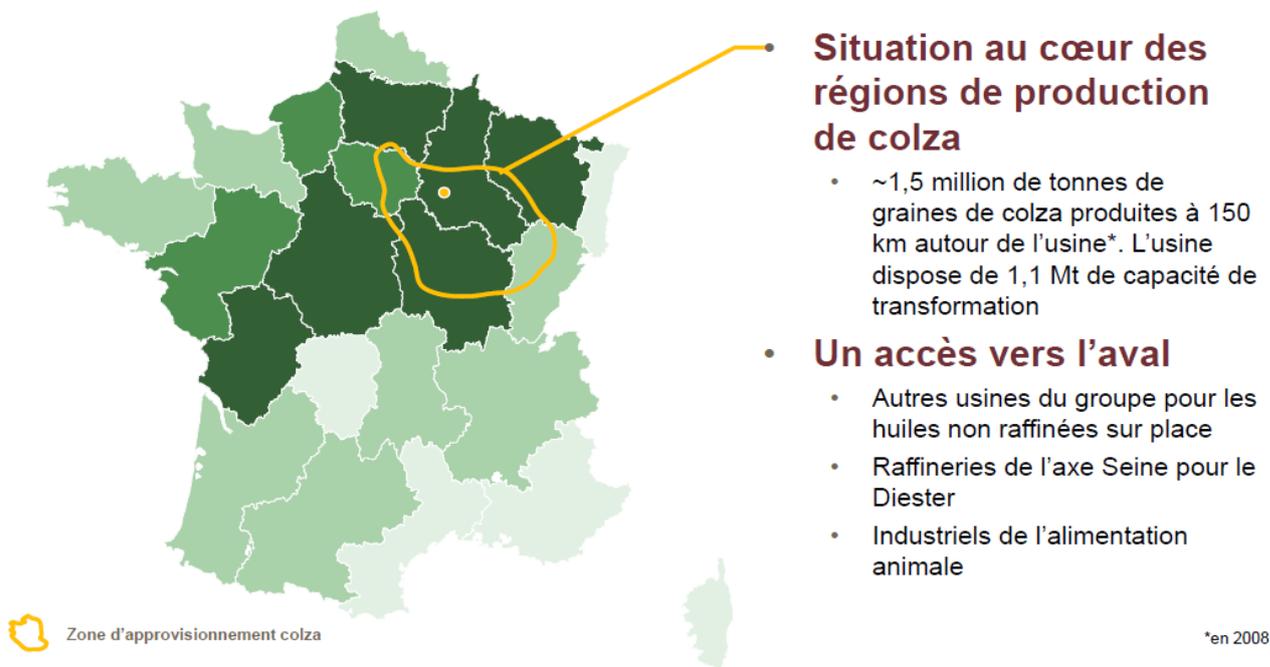
L'ACTIVITÉ DE L'USINE DU MÉRIOT EN CHIFFRES



Et ces chiffres parlent d'eux-mêmes quant à l'impact sur l'emploi, au demeurant pratiquement non délocalisable, et sur le tonnage de produits fossiles préservé grâce au recours à cette biomasse annuellement renouvelable.

Le schéma ci-dessous illustre en outre la nécessité de disposer d'une production locale suffisante de biomasse, avec la logistique associée, pour approvisionner une usine de 1^{ère} transformation dont la capacité de traitement est à mettre en parallèle avec cette production agricole (plus de 1 million de tonnes par an nécessaire, soit de l'ordre de 300 000 hectares). Bien évidemment les limites administratives des collectivités territoriales ne peuvent par elles-mêmes dicter la localisation des usines et leur approvisionnement en matières premières : beaucoup de variables concourent aux choix à opérer, disponibilité foncière pour l'implantation des usines, taille critique minimale de ces dernières, contraintes environnementales, étendue et capacité des bassins d'approvisionnement, localisation des débouchés des différents produits, logistique des flux amont et aval,... Dans le cas cité, l'usine est hors des limites de l'Ile-de-France mais traite une part importante de la production de graines oléagineuses de la région.

UNE IMPLANTATION QUI RÉDUIT LES DISTANCES ENTRE L'AMONT ET L'AVAL



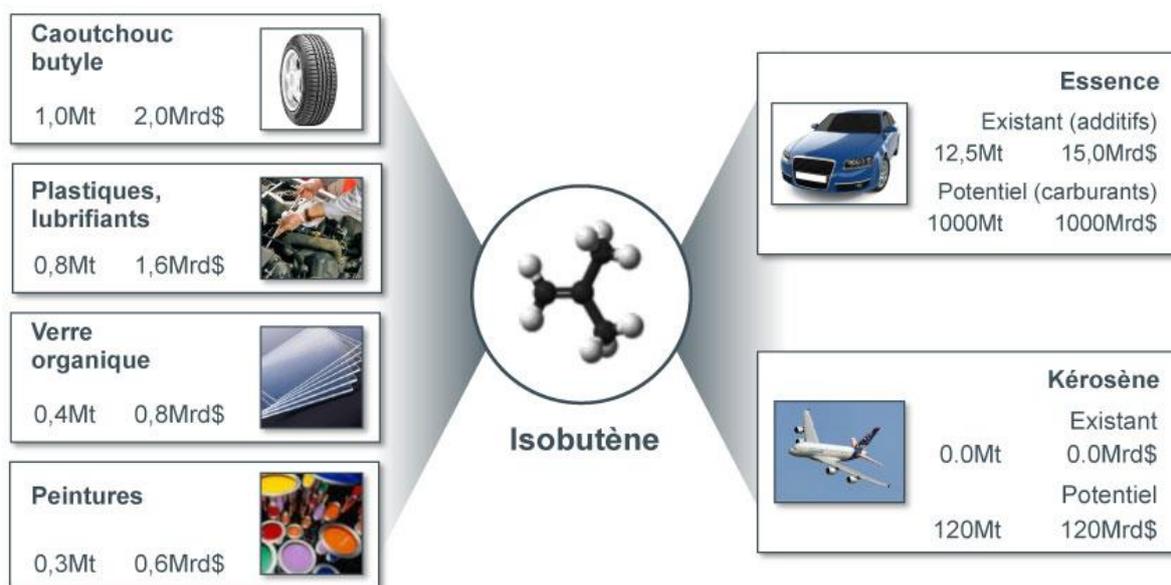
Enfin un point illustre la complexité de la gestion des différents coproduits dans le moyen terme, et plus généralement de la gestion d'une filière. Le biodiesel a connu dans les deux dernières décennies une expansion significative mais est maintenant probablement appelé à connaître une (lente) décroissance structurelle. Il est issu comme la glycérine d'un même produit intermédiaire dans le traitement des graines, dans un rapport de 9 pour 1 (250 000 tonnes de biodiesel vs. 28 000 tonnes de glycérine, et le rapport au niveau national est le même). La recherche-développement en oléo-chimie pour « absorber » la production de ce coproduit potentiellement en « excédent » est donc impératif, à la fois pour assurer l'équilibre économique de la 1^{ère} transformation des graines et pour autoriser le maintien à son niveau actuel de la production de graines par le monde agricole. C'est d'ailleurs un axe prioritaire d'investissement du groupe AVRIL.

2.5.3 L'exemple d'un procédé innovant d'une start-up née en Ile-de-France

GLOBAL BIOENERGIE est une société créée en 2008 en Ile-de-France, au Génomex d'Evry, pour relever un défi : développer un procédé pour convertir des ressources renouvelables (sucre, céréales, déchets agricoles et forestiers) en l'une des principales molécules dérivée du pétrole, l'isobutène.

L'isobutène est l'une des grandes « briques élémentaires » de l'industrie pétrochimique et représente un marché existant de 15 millions de tonnes/an, transformées en plastiques, caoutchoucs et carburants.

Isobutène : un arbre-produits diversifié



Une succession de réactions enzymatiques est créée et implantée dans un micro-organisme. Elle permet la conversion des sucres, en plusieurs étapes, en isobutène. Les micro-organismes modifiés (qui ne peuvent survivre en dehors du fermenteur) ont été utilisés dans des fermenteurs de taille croissante, en **laboratoire**, puis en **pilote industriel**. Opérationnel depuis début 2015, le pilote a permis dans un 1^{er} temps « d'acclimater » le procédé en environnement industriel, à une échelle 10 fois plus importante qu'en laboratoire.

Une nouvelle étape vient d'être franchie avec la mise en service fin 2016 d'un **démonstrateur industriel** d'une capacité de production de 100 tonnes d'isobutène par an sur le site de la raffinerie de Leuna, en Allemagne. Son financement a été assuré par une subvention de l'Etat allemand de 5,7 M€ et par un prêt de 4,4 M€ émanant d'un consortium de banques françaises. Ce démonstrateur constitue la dernière étape de l'industrialisation du procédé isobutène. L'objectif d'ici fin 2017 est de valider le niveau de performance industrielle attendu.

La prochaine phase, dédiée à la **commercialisation de la technologie** pour laquelle Global Bioénergie percevra une redevance de la part de chaque industriel utilisateur, commence.

Une technologie simple et robuste, en deux étapes

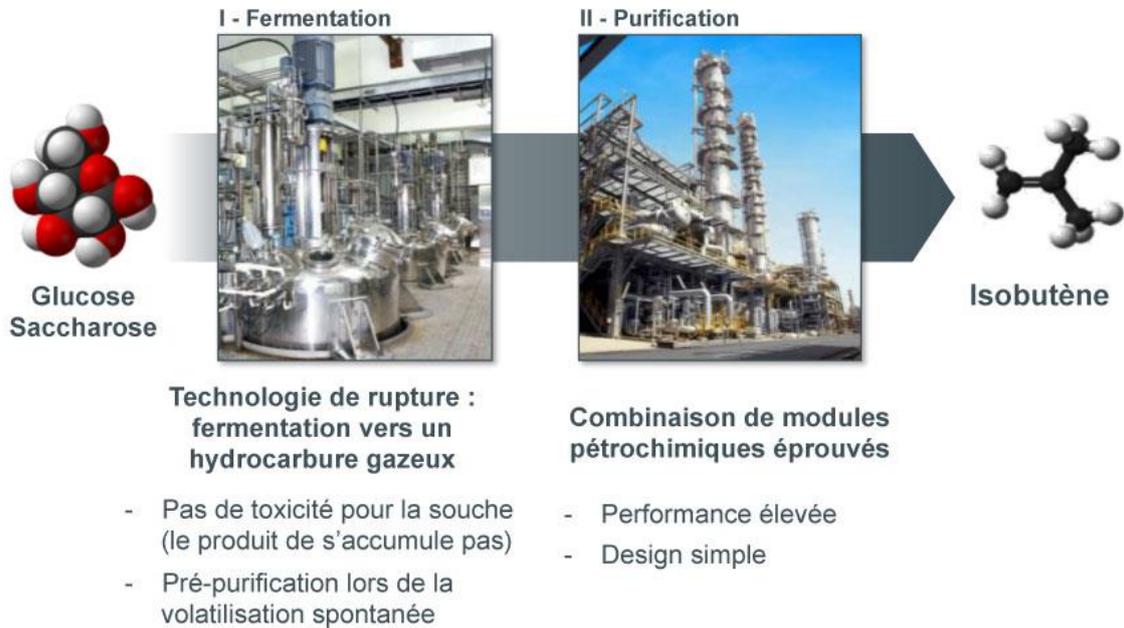
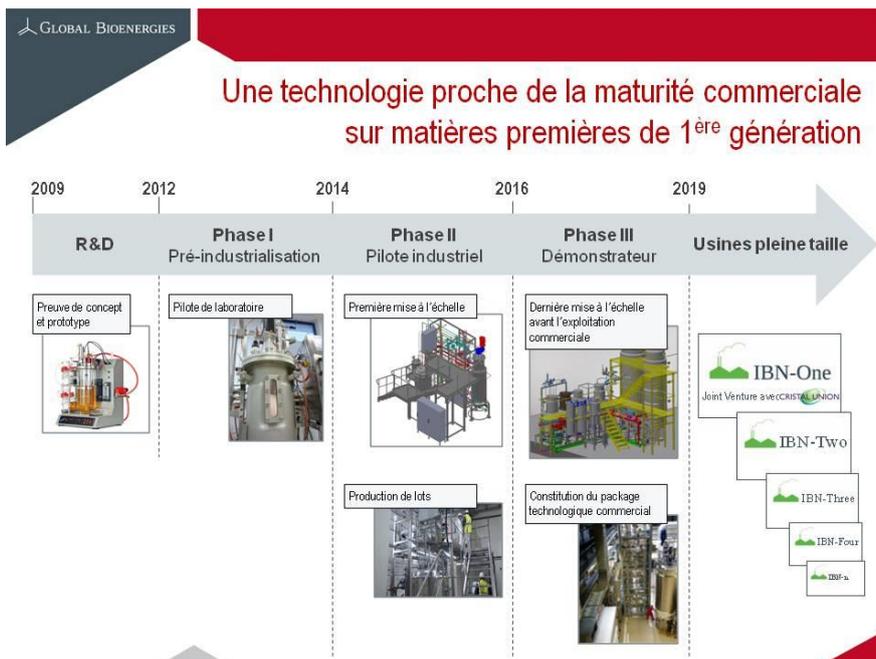


Schéma général du procédé

La perspective d'installer en France une première usine de pleine taille est en train de prendre un aspect concret : Global Bioénergies et Cristal Union, le n°2 du sucre en France, ont formé à parité une joint-venture, IBN-One. Global Bioénergies lui a concédé une licence d'exploitation du procédé isobutène pour une production maximale de 50.000 tonnes par an. IBN-One a pour objectif de réunir les fonds nécessaires à la réalisation de l'ingénierie puis à la construction de l'usine. Les industriels des secteurs de la chimie et des carburants ainsi que les pouvoirs publics seront en situation de contribuer à l'émergence d'IBN-One.



En Europe et aux Etats-Unis, les avantages fiscaux associés aux biocarburants permettraient d'atteindre la rentabilité, pour quelques premières usines, dès un prix de pétrole à 50\$ le baril. Dans un deuxième temps, quelques dizaines d'usines produisant chacune 50.000 à 200.000 tonnes d'isobutène, de butadiène ou de propylène, pourraient être exploitées de façon rentable sur les marchés des plastiques et des caoutchoucs dès un prix du pétrole à 80\$ le baril. A noter que l'isooctane, produit par condensation de deux molécules d'isobutène, est une véritable essence pouvant être mélangée à l'essence d'origine fossile sans limite de proportion ni altération de propriétés, contrairement à l'éthanol qui n'est qu'un additif limité à 10% environ.

Global Bioénergies a bien entendu entrepris en parallèle d'élargir le débouché de la future production de bio-isobutène (dont le degré de pureté obtenu est élevé, facteur de valorisation industrielle très positif), par exemple par incorporation dans les bouteilles de gaz domestique (partenariat avec Butagaz).

Dans un premier temps, la biomasse utilisée par le procédé mis au point provient de betteraves ou de cannes à sucre (matières premières de 1^{ère} génération). Un élargissement de la ressource de biomasse utilisable – copeaux de bois, paille, bagasse – (matières premières de 2^{ème} génération) constitue le prochain objectif stratégique pour lequel Global Bioénergies a conclu un accord avec un partenaire pour une validation conjointe des 2 étapes « laboratoire » et « pilote ». L'utilisation réussie d'une telle ressource pourrait abaisser sensiblement le coût de production du bio-isobutène.

2.5.4 La biomasse potentiellement disponible pour de nouveaux usages industriels

Cette question délicate mériterait un examen approfondi par les instances compétentes.

La difficulté provient de plusieurs facteurs à prendre impérativement en compte :

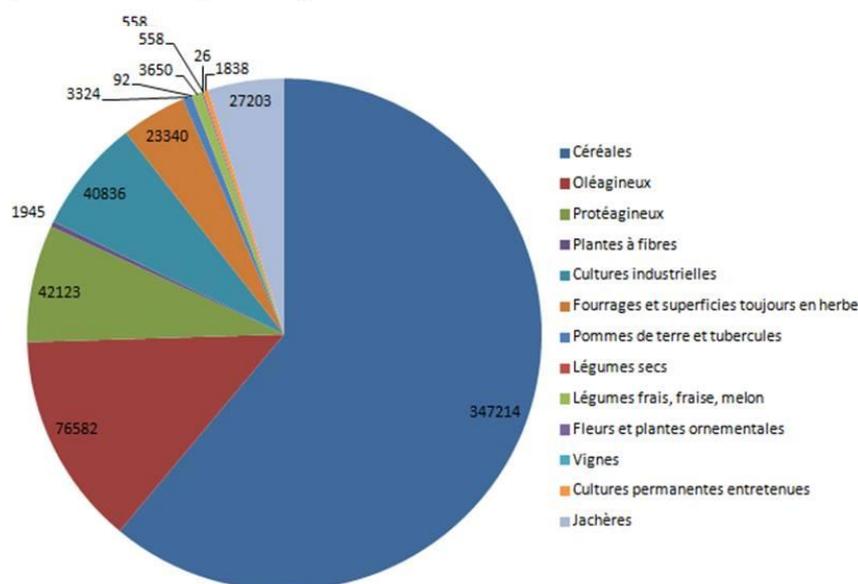
- Périmètre géographique à considérer : l'Île de France seule ou le Bassin parisien dans son ensemble. Les limites administratives sont peu pertinentes pour déterminer la biomasse potentiellement disponible de façon économiquement accessible (les coûts logistiques constituent notamment une variable essentielle)
- Détermination de la biomasse résiduelle directement issue de cultures à vocation alimentaire (l'exemple de la paille du blé) ou d'une exploitation forestière à destination de l'industrie traditionnelle (l'exemple des déchets forestiers liés au bois d'œuvre), sans même parler de la biomasse issue des déchets ménagers.
- Détermination de la fraction de la biomasse résiduelle devant être recyclée sur place afin de maintenir durablement les capacités productives des sols (enfouissement-recyclage indispensable d'une partie des résidus agricoles).
- Détermination de la part de biomasse utilisée aujourd'hui à des fins énergétiques (pour production de chaleur, d'électricité, de biocarburants, de biogaz), que ce soit des cultures énergétiques, des déchets forestiers, des déchets ménagers. Cette part est susceptible de varier en fonction de la fiscalité appliquée (exemple des biocarburants), de l'évolution réglementaire (limitation de l'émission de particules fines,...), des innovations technologiques portant sur sa transformation, de la valeur de certaines biomasses en fonction des types d'usage (émergence d'usages industriels à haute valeur ajoutée),...

Ainsi pourrait-on cerner la quantité de biomasse rendue potentiellement disponible pour de nouveaux usages industriels dès lors que les produits innovants émergents auraient atteint le stade de la maturité économique. Mais les données chiffrées disponibles sont à la fois partielles et imprécises et les données qualitatives très évolutives. Quelques ordres de grandeur permettent cependant de fixer les idées.

La biomasse d'origine agricole

Comme le montre le graphique suivant, la production végétale en Ile de France est diversifiée même si la part des céréales est prépondérante. Le volume de biomasse résiduelle issue de ces cultures serait à déterminer pour chacune d'entre elles.

► *Les productions végétales en Ile de France (données agreste) SAU en 2010 : 569 000 ha*

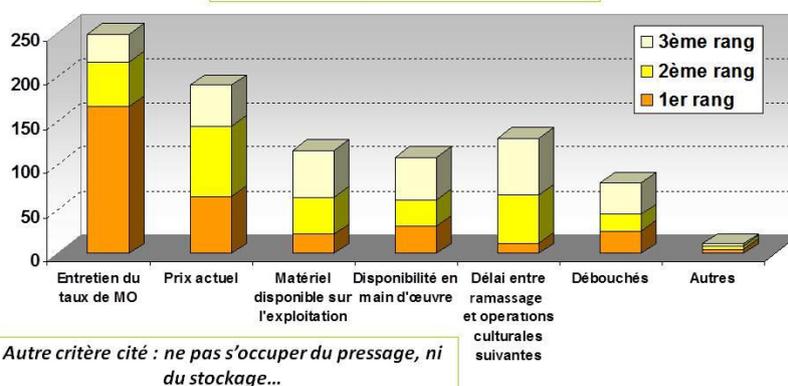


Le cas de la paille de céréales, abordé ci-après, illustre les difficultés propres à un tel calcul. Il ne peut être extrapolé sans précautions à d'autres bassins agricoles ou pour d'autres productions de biomasse mais a le mérite de donner un ordre de grandeur quant à la réelle disponibilité de la matière première pour de nouveaux usages à caractère industriel. La biomasse prélevée dans les milieux naturels ne doit pas en effet les appauvrir en matières organiques (MO), et donc dégrader à long terme la capacité des sols à produire les ressources alimentaires indispensables et mettre en cause un développement durable. C'est une préoccupation majeure du monde agricole comme le montre le résultat de l'enquête ci-dessous.

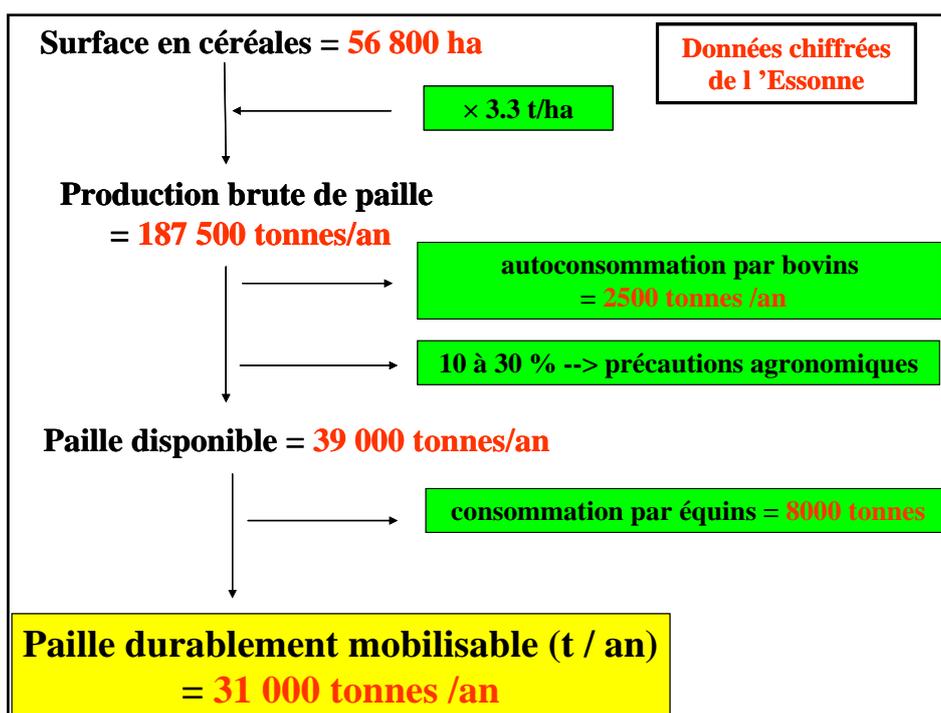
➤ Ce qui limite le ramassage des Pailles

Ensemble des exploitations enquêtées :
comptages sur les 3 premiers choix

La préoccupation N°1 :
le statut **organique** des sols



Une tentative de chiffrage de la biomasse résiduelle, pour la seule paille de céréales, sur le département de l'Essonne, donne les chiffres suivants :



Données : Chambre d'Agriculture d'Ile-de-France

Ces données sont déjà assez anciennes, la part consommée par l'élevage est moindre aujourd'hui, mais les précautions agronomiques pour la préservation des sols sont toujours d'actualité et nécessitent de recycler sur place de l'ordre de 70% de la paille produite.

Malgré les incertitudes, il reste cependant intéressant de rapporter le tonnage de la biomasse résiduelle de paille mobilisable pour divers usages industriels à la surface cultivée et au volume total de paille produit. Ainsi sur la totalité de l'Ile-de-France le tonnage de paille

mobilisable pour de multiples usages industriels peut être estimé grossièrement à 220 000 tonnes/an.

Par ailleurs, la mobilisation de cette paille pour de nouveaux débouchés suppose une organisation collective solide, tant sous l'angle des attentes des agriculteurs (rapide retrait de la paille des champs, sécurisation du stockage, rémunération,...) que de celles des industriels-clients (humidité contrôlée, régularité des livraisons, prévisibilité des tonnages,...). Les difficultés de mise en place d'une telle mobilisation ne doivent pas être sous-estimées, en particulier le coût de la logistique de rabattement nécessaire qui diminue d'autant la valeur de marché de cette biomasse résiduelle.

Une approche similaire peut être menée pour d'autres coproduits comme la paille d'oléagineux, les résidus d'élevage, les issus de silos.

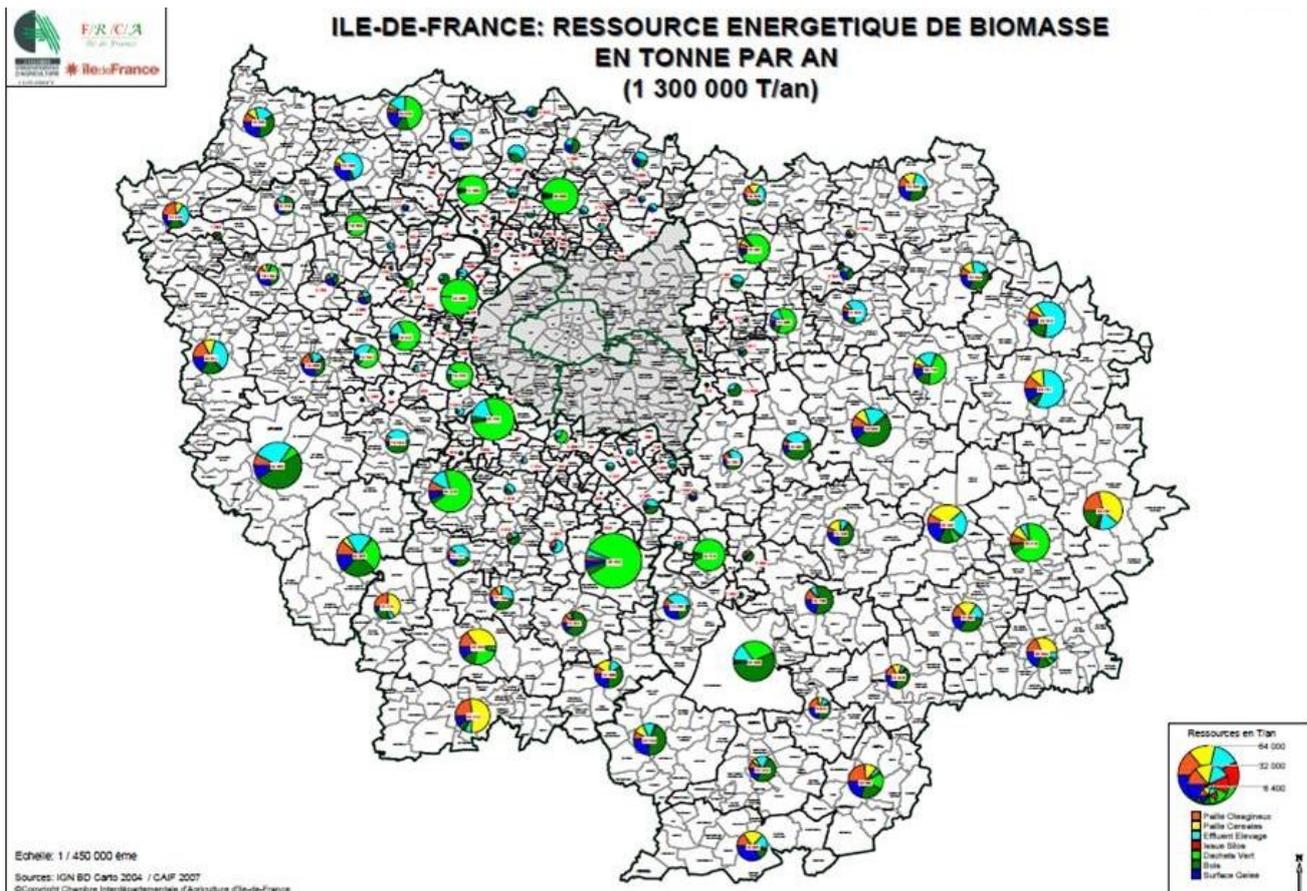
La biomasse d'origine forestière

Voici quelques chiffres pour essayer de donner un ordre de grandeur de la biomasse d'origine forestière en Ile de France potentiellement disponible pour un usage en chimie du végétal, sans empiéter sur d'autres usages comme le sciage, les panneaux ou la pâte à papier.

La croissance biologique de la forêt représente environ 1,5 millions de m³ par an dont seulement 20%, soit 300.000 m³, donnent lieu à exploitation, comme indiqué dans le rapport du Ceser relatif à la forêt et la filière bois en Ile-de-France présenté par Yves Salmon le 23 mars 2017. Il n'y a pas lieu de revenir ici sur le débat qu'un tel chiffre appelle si ce n'est pour affirmer qu'un potentiel certain reste inexploité à ce jour.

L'usage sous forme de bois énergie (sans prendre en compte l'autoconsommation qui n'a pu être chiffrée) est évaluée à 20%, soit environ 60 000 m³/an. Cet usage est considéré habituellement comme générant une valeur ajoutée moindre que celle des autres 80% (sciage, panneaux ou pâte à papier).

A partir de ces données, cartographiées à l'échelle de l'Ile de France, une addition en a été faite pour donner une estimation de la biomasse résiduelle totale (agricole + forestière) ainsi que sa répartition spatiale. Ceci ne préjuge pas de l'usage qui peut en être fait et qui dépend de très nombreux facteurs - certains cités ci-dessus. Aujourd'hui, une partie de cette biomasse est utilisée à des fins énergétiques, demain elle pourrait l'être à d'autres fins, en fonction des avancées technologiques pour sa transformation et de la chaîne de la valeur de chaque usage.

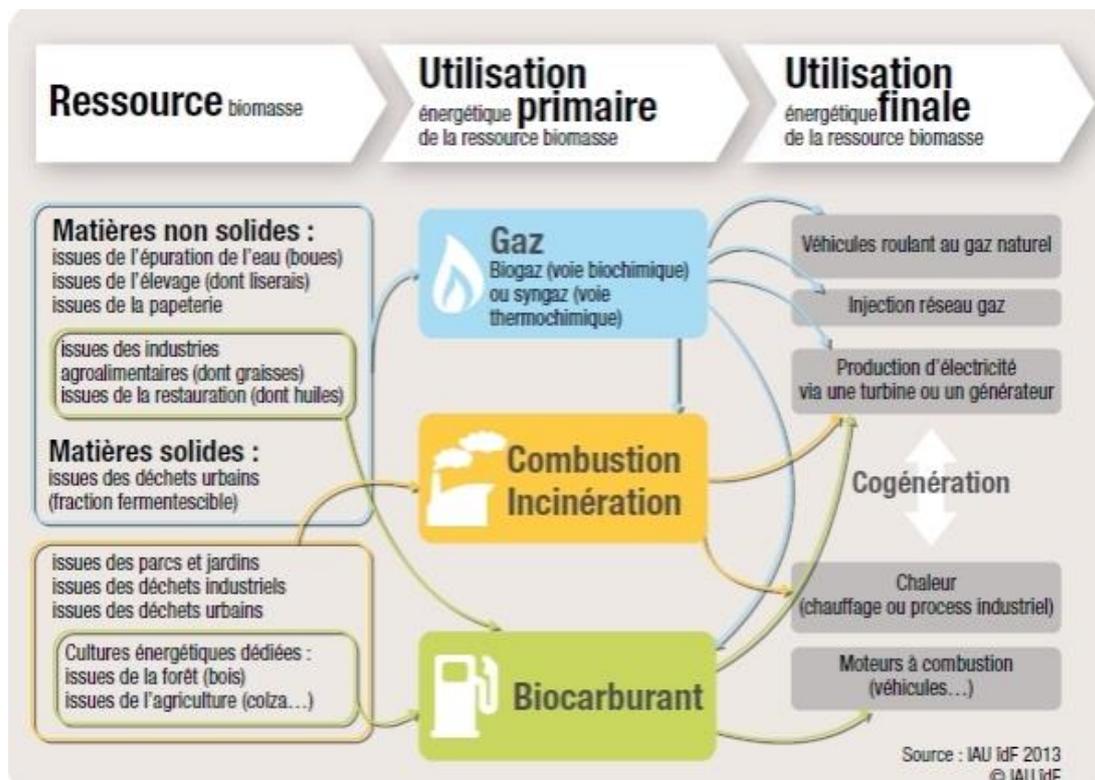


La biomasse provenant de déchets urbains

La connaissance précise de la nature des déchets est difficile pour de nombreuses raisons, notamment de par leur composition très hétérogène. Pour fixer les idées et en simplifiant les définitions et la classification utilisées, les ordures ménagères résiduelles (OMr) représentent de l'ordre de 3,5 millions de tonnes en Ile-de-France (dont papiers-cartons, déchets verts, bois), dont 2,5 millions de tonnes sont bien caractérisées. Parmi celles-ci, 2 millions de tonnes sont potentiellement recyclables. Les déchets ménagers ou assimilés sont composés pour près de 1 million de tonnes de bio-déchets et pour plus de 0,65 million de tonnes de papiers-cartons, tonnages essentiellement d'origine agricole ou forestière (la part d'origine animale est tout à fait minoritaire).

La collecte des déchets dans leur diversité est bien organisée par le service public et la qualité du tri à l'amont par la population progresse, même si certains secteurs comme les papiers-cartons recèlent une grande marge de progression. Le traitement d'une partie des bio-déchets, via la fabrication de compost ou la méthanisation, s'appuie en Île-de-France sur 47 installations de compostage et méthanisation pour une capacité de traitement autorisée supérieure à 1 million de tonnes et un traitement effectif de 0,685 million de tonnes par an, visant des déchets organiques tels que déchets verts, déchets biologiques, ordures ménagères résiduelles, produits agricoles. Cette biomasse comporte cependant des déchets soumis à restrictions, les réglementations environnementale et sanitaire, complexes, étant très vigilantes quant à l'usage de cette dernière. Le secteur papiers-cartons fait, quant à lui, l'objet d'un recyclage pour valorisation des matières. Enfin, une partie non triée des ordures ménagères résiduelles est incinérée et génère de l'énergie, tout comme le sont d'autres

déchets d'origine non biologique. Le schéma ci-après montre, pour le seul secteur de l'énergie, la variété des usages existants de la biomasse disponible.



Ces quelques éléments, qui ne prétendent pas faire le tour de la question de la gestion, de la collecte et de la valorisation des déchets de toute nature propres à la vie de la population et à l'activité économique d'une région comme l'Île-de-France, montrent cependant le potentiel de biomasse que recèlent les déchets, y compris en comparaison d'autres sources plus « classiques » de biomasse. Au-delà des efforts engagés pour mieux collecter⁶ et valoriser les déchets sur l'ensemble de la région avec les technologies actuelles, il faut d'ores et déjà s'interroger⁷ sur une possible évolution des traitements de cette source de biomasse pour accroître la valeur ajoutée de la filière « déchets ».

⁶ Le projet Sense-City, « Equipement d'Excellence » du Programme d'Investissement d'Avenir, courant sur la période 2011-2019 et porté par l'Université Paris-Est, pourrait incorporer la gestion des déchets dans son objectif de conception de la ville du futur, intelligente et durable.

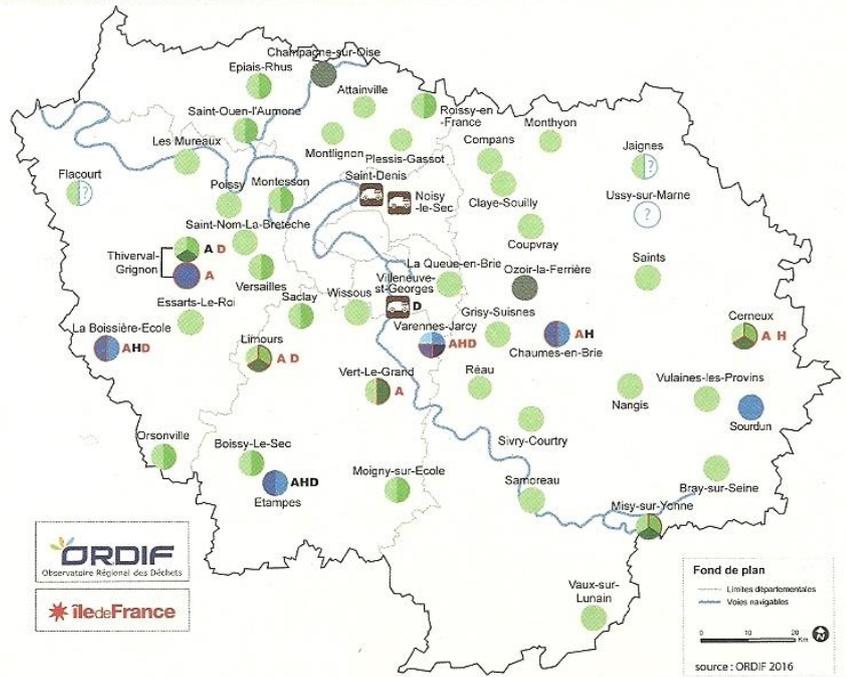
⁷ Par exemple, la ville d'Amsterdam s'est engagée dans une telle démarche, associant les concepts d'économie circulaire et de valorisation accrue de la biomasse fournie par les déchets.

Les installations de traitement des biodéchets au 1^{er} juin 2016 en Île-de-France

Bio-waste treatment facilities in the Paris Region on 1 June 2016

Type de traitement et déchets réceptionnés

Compostage	Méthanisation
A	Agrément sanitaire pour traitement des SPA 3
H	Hygiéniseur
D	Déconditionneur
AHD	En projet
	Quai de transfert



3. L'organisation du secteur en dehors de l'Ile-de-France

3.1 L'exemple de la bio-raffinerie de Bazancourt-Pomacle en région Grand-Est

La bio-raffinerie territoriale de Bazancourt-Pomacle – qui est une vraie bio-raffinerie - transforme des agro-ressources (plus de 3 millions de tonnes chaque année, principalement de betteraves, blé et luzerne) en produits utilisés en agriculture, chimie, cosmétique et bioénergie et emploie environ 1 900 personnes (1100 emplois directs et 800 emplois indirects). Elle est située à proximité de Reims et est le fruit d'une démarche collective de long terme initiée et portée par des agriculteurs regroupés dans les coopératives CRISTAL UNION et VIVESCIA. Sa zone de chalandise est le nord-est du bassin parisien.

Aujourd'hui sont localisés sur un même site des unités industrielles (des silos, une sucrerie, une distillerie d'éthanol, une amidonnerie-glucoserie, un centre de production de gaz carbonique), des structures de recherche et développement, des pilotes industriels, un démonstrateur dédié aux biotechnologies et un « campus » académique financé par les collectivités locales.

La plateforme d'innovation BRI (bio-raffinerie recherches & innovations) qui s'est déployée au cœur du complexe agro-industriel a été la première plateforme d'innovation ouverte validée par l'État en 2009, en lien avec le pôle IAR (Industries & Agro Ressources), seul pôle de compétitivité à vocation mondiale impliquant l'agriculture et s'appuyant sur les deux seules régions du Grand-Est et des Hauts-de-France (au total, 220 projets d'innovation financés, pour un montant d'investissements de 1,5 G€ dont 0,4 G€ par l'Etat).

Elle regroupe les industriels de la bio-raffinerie (Cristal Union, Cristanol, Chamtor, Air Liquide,...), le centre de recherche Agro-industrie Recherches et Développements (ARD), ainsi que des laboratoires de l'Ecole Centrale Paris, AgroParisTech et Reims Management School. La BRI regroupe ainsi tous les acteurs nécessaires au développement de procédés de fractionnement du végétal, de la biotechnologie et de la chimie du végétal, en partant de la recherche fondamentale jusqu'au prototype préindustriel. Elle bénéficie du soutien financier du Ministère de l'Industrie, du Conseil général de la Marne, de la région Champagne-Ardenne et de la Ville de Reims.

Plateforme d'innovation ouverte B.R.I

BIORAFFINERIE RECHERCHES ET INNOVATIONS

Sucres & biotechnologies industrielles



Enseignement & recherche académique



Centre Européen de la Biotechnologie et de la Bioéconomie

CEBB



Recherche appliquée



Essaimage & lobbying



Fondation d'entreprises :
Cristal Union, Cristanol,
Vivescia, Vivescia Industries,
Chamtor, ARD

Financement

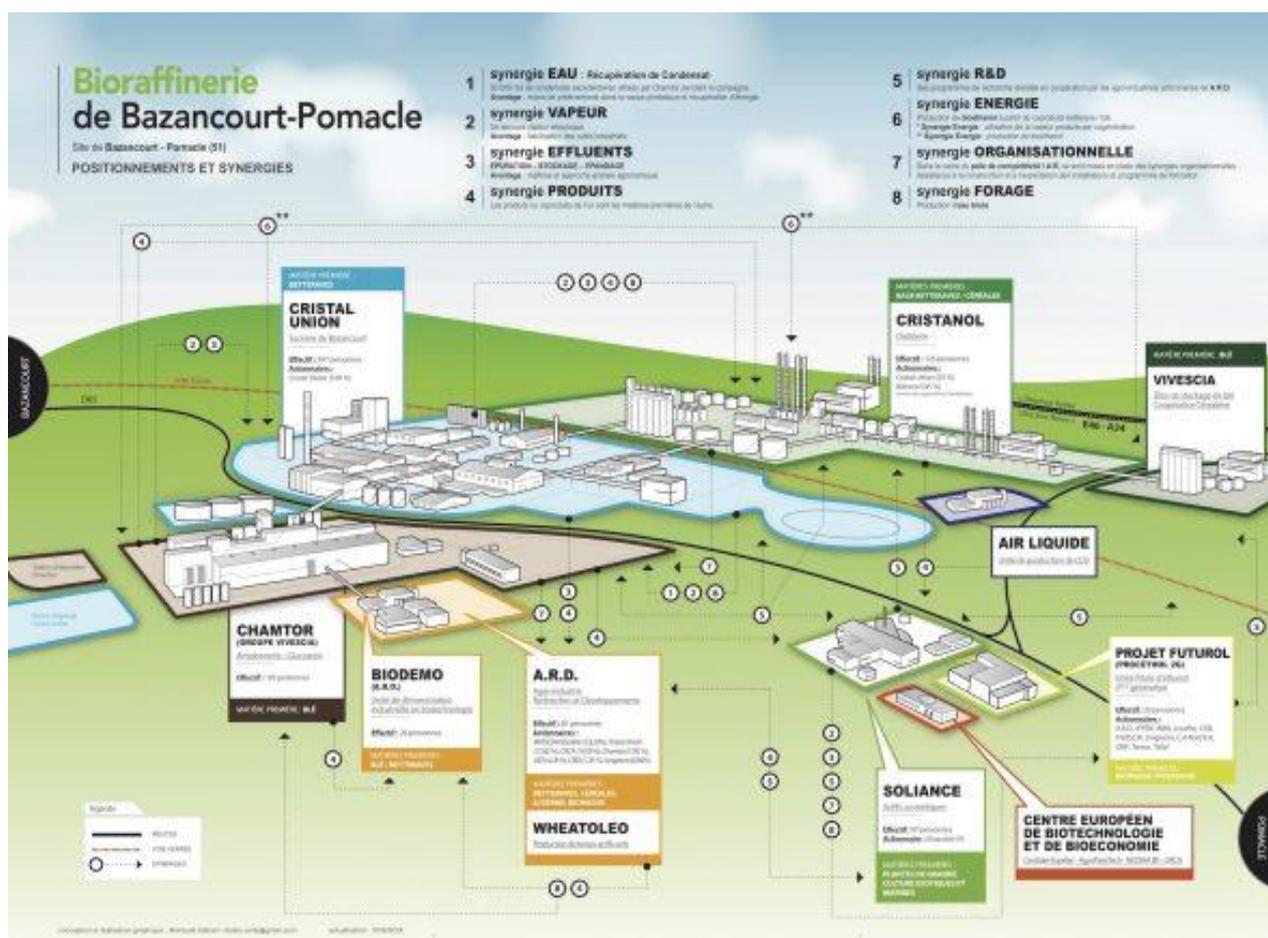


Page 1

Les objectifs du consortium agro-industriel peuvent se résumer ainsi :

- Donner, par la R&D, de la valeur et de nouveaux débouchés aux productions agricoles végétales.
- Développer des procédés innovants, compétitifs et respectueux de l'environnement s'inscrivant dans une perspective de développement durable.
- Privilégier une approche intégrée de la raffinerie végétale permettant de valoriser la plante entière.
- Utiliser les synergies entre les différentes ressources pour élaborer des molécules originales.

Le schéma suivant présente différentes synergies entre les acteurs.



L'ARD, spécialisée en recherche et développement, est un incubateur de projets dans les domaines de la raffinerie végétale, la biotechnologie industrielle et la chimie verte. Les marchés visés sont ceux des ingrédients alimentaires, de la chimie de spécialité, des intermédiaires de synthèse. L'ARD compte parmi les fondateurs du pôle de compétitivité à vocation mondiale IAR (Industries et Agro-Ressources).

L'ARD a deux activités principales, reconnues en France et à l'international :

- la mise au point de procédés du stade laboratoire au stade démonstrateur industriel dans les domaines du raffinage du végétal, des biotechnologies industrielles et de la chimie verte. L'ARD réalise ainsi des prestations pour le compte de sociétés industrielles ou de start-up. Ces sociétés bénéficient des savoir-faire développés par l'ARD et peuvent ainsi accélérer les processus de mise sur marché de leurs produits, tout en optimisant les coûts et investissements ;

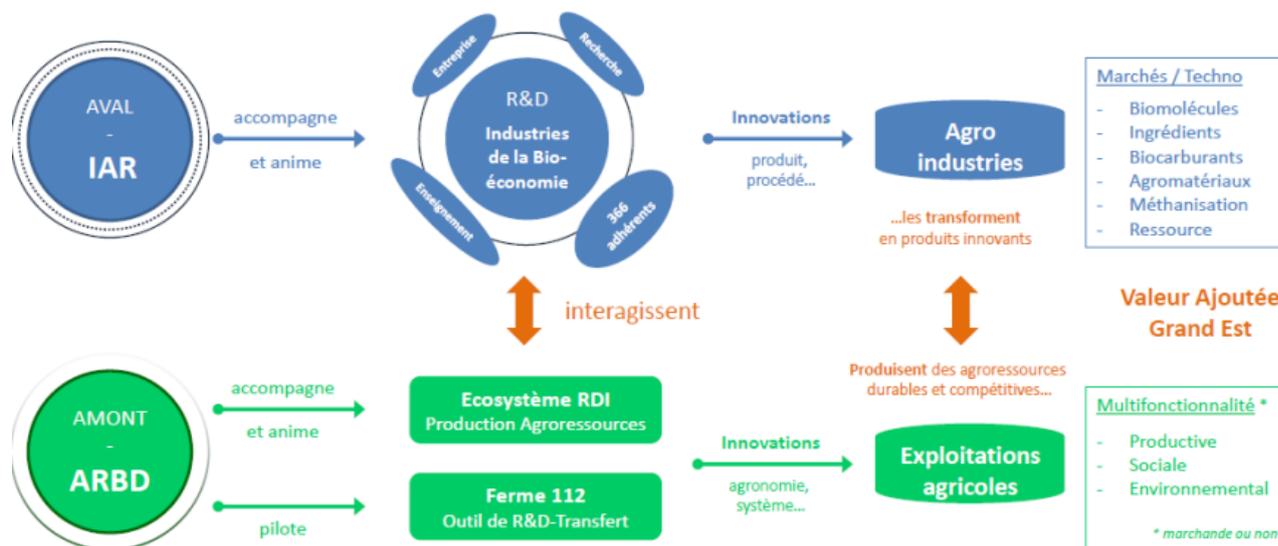
- la valorisation de ses propres sujets de recherche par la création de filiales destinées à mettre sur le marché et à industrialiser de nouveaux produits. Ce fut le cas avec SOLIANCE (ingrédients actifs pour la cosmétique), société cédée il y a un an au groupe suisse GIVAUDAN, numéro un mondial de l'industrie des arômes et parfums.

C'est le cas aujourd'hui de WHEATOLEO (ingrédients détergents et émulsionnants), détenue à 100 % par ARD.

Ses revenus proviennent ainsi de la vente de prestations de R&D et/ou démonstration industrielle, de royalties sur licence et de la valorisation de ses propres actifs.

Par ailleurs, le développement de la production de biomasse, à l'amont, est le pendant de sa transformation, à l'aval. Un cluster de la profession agricole "Agroressources et Bioéconomie Demain" (ARBD) a donc été constitué pour mieux structurer la production à l'amont et promouvoir des innovations bénéficiant au monde agricole.

ARBD au service de l'innovation



Ce cluster travaille en lien avec le pôle Industrie et Agro-Ressources (IAR). Il vise à créer un pôle d'excellence de recherche et d'innovation afin de produire une ressource agricole plus durable, moins dépendante des intrants, plus adaptable face aux aléas et à l'émergence de concurrences dans ou hors de l'Union européenne.

Avec l'aide d'un comité scientifique et technique, il développe des expérimentations grandeur réelle en partenariat avec les Chambres d'agriculture du Grand-Est, des centres de recherches et des organismes stockeurs sur les terres d'une ex-base aérienne, baptisée « Ferme 112 ». Il a pour ambition de mettre au point des systèmes de production innovants – en agronomie/agro-écologie, nouvelles technologies en agro-machinisme – de faciliter le transfert des innovations et d'assurer la formation des acteurs (agriculteurs et techniciens) pour mieux accompagner la mutation de l'agriculture régionale.

3.2 L'exemple de PIVERT en Picardie et de IMPROVE en Hauts-de-France

La SAS PIVERT a été créée en 2012 dans le cadre du programme « Investissements d'Avenir ». Il s'agit d'une société de droit privé issue d'un partenariat public-privé qui a notamment pour objet de porter l'ITE P.I.V.E.R.T. (Institut de Transition Energétique Picardie Innovations Végétales Enseignements et Recherches Technologiques). Cet institut, à l'interface de la recherche académique et du monde industriel, a pour finalité le développement d'une filière française compétitive dans le secteur de la chimie du végétal à base d'une biomasse d'origine oléagineuse et la promotion d'une filière d'excellence sur le territoire national en contribuant à la création d'emplois peu ou pas délocalisables.

La SAS PIVERT est articulée autour de quatre axes stratégiques :

- Un axe recherche, le programme GENESYS,
- Un axe développement et démonstration, la plate-forme technologique BIOGIS Center,
- Un axe industrialisation, projets de maturation,
- Un axe compétences et formation.

PIVERT développe ainsi des produits et procédés innovants destinés à être exploités par les industriels de la chimie et de l'alimentation et à offrir de nouveaux débouchés au monde agricole, tout en introduisant plus de carbone renouvelable dans les productions industrielles. La propriété intellectuelle est au cœur de la stratégie de la société et constitue un élément important de sa compétitivité : afin de générer des droits de propriété intellectuelle, la société s'est donc dotée d'un programme de recherche, le programme GENESYS.

L'ITE bénéficie du soutien financier de la région Hauts de France et de l'Agglomération de la région de Compiègne (ARC).



Parallèlement, avec le soutien de l'ITE PIVERT, le pôle IAR (Industries & Agro Ressources) et l'Union des industries chimiques Picardie Champagne-Ardenne (UIC PCA), a été mis en place un Campus des métiers et des qualifications « bio-raffinerie végétale et chimie durable » par l'Université Picardie Jules Verne, en partenariat avec la Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt et le Conseil régional des Hauts-de-France.

La **SAS IMPROVE** quant à elle, basée près d'Amiens, est la première plateforme ouverte dédiée à la valorisation des **protéines végétales**, fruit d'un **partenariat public/privé**. Elle travaille en partenariat avec de nombreuses structures académiques dont l'INRA et de multiples partenaires techniques dont PIVERT et BRI. L'expertise scientifique apportée par IMPROVE dans le domaine des protéines végétales s'étend de la recherche fondamentale à la mise sur le marché.

Elle vise à :

- permettre des innovations de rupture répondant aux besoins du marché,
- mettre au point des produits à base de protéines végétales ayant des caractéristiques comparables, voire meilleures (performance, prix, disponibilité, durabilité), par rapport aux produits existants,
- accélérer la mise sur le marché de nouveaux produits à base de protéines végétales.

Les marchés sont non seulement ceux des alimentations humaine et animale mais aussi ceux de la cosmétique, dont les tensio-actifs, et des agro-matériaux, dont les plastiques de nouvelle génération, les colles/résines en substitution d'urée formol ou formaldéhyde, les revêtements/peintures. Actuellement les valorisations non alimentaires sont encore modestes.

Les protéines végétales, en raison de leur complexité et de la diversité de leurs fractions, peuvent être utilisées pour réaliser des matériaux plastiques, des fibres, des tensio-actifs ou encore des colles possédant des propriétés fonctionnelles originales. Les produits élaborés sont biodégradables et sans émissions nocives sur l'environnement, ce qui leur donne un avantage certain sur le plan réglementaire, de plus en plus strict.

L'objectif est ainsi de promouvoir, à l'échelle du territoire, les filières professionnelles impliquées dans la bioéconomie et plus particulièrement les métiers relevant des domaines de la chimie et de la biologie. Il s'agit de construire des projets portés par tous les acteurs et susceptibles d'amener davantage de jeunes dans des formations porteuses d'emplois. Les acteurs de la bioéconomie vont ainsi bénéficier d'un ensemble de formations (de bac +3 à bac +5) et pourront promouvoir leurs besoins en compétences auprès de tous les apprenants (élèves, étudiants, personnes en reconversion...).

3.3 L'exemple d'AXELERA en région Auvergne-Rhône-Alpes

Le pôle de compétitivité Chimie-Environnement Auvergne-Rhône-Alpes – AXELERA – a pour ambition de créer de la valeur en faisant émerger des solutions innovantes et compétitives pour l'industrie, à la confluence de la chimie, de l'environnement et de l'énergie, à partir d'un fort socle régional. Au travers de ses projets et de ses actions, AXELERA est un acteur du développement et de l'attractivité du territoire Auvergne-Rhône-Alpes. Le pôle AXELERA a été créé en 2005 par 6 membres fondateurs : ARKEMA, le CNRS, ENGIE, IFP Energies nouvelles, SOLVAY et SUEZ. Il est soutenu dans son fonctionnement par 4 partenaires financeurs : l'Etat, la Région Auvergne-Rhône-Alpes, la Métropole de Lyon, Grenoble-Alpes Métropole. C'est maintenant un réseau de plus de 345 adhérents (au 31/12/2016) associant des entreprises (PME, ETI, groupes), des laboratoires de recherche et des organismes de formation de la filière chimie-environnement.

Il rassemble de multiples compétences :

- Fabricants de matériaux, substances et produits finis
- Equipementiers, assembleurs, intégrateurs
- Services à l'industrie (génie des procédés, efficacité énergétique, réglementaire)
- Services à l'environnement : eau, air, sol, déchets
- Laboratoires et centres techniques en chimie et environnement

- Organismes de formation en chimie et en environnement
- Le pôle AXELERA fédère ses adhérents autour de 5 axes stratégiques :
- Les matières premières renouvelables
- L'usine éco-efficente
- Les matériaux et produits pour les filières industrielles
- Le recyclage et la recyclabilité
- La préservation et restauration des espaces naturels et urbains

Il propose une offre de services complète pour accompagner le développement de ses adhérents :

- accompagnement à l'innovation
- aide au développement économique et international
- mise en réseau
- évolution des compétences et formation.

Le pôle AXELERA a ainsi enclenché une dynamique d'innovation, qui se traduit à fin 2016 par 286 projets de R&D, labellisés par le pôle et financés pour un montant global de 800 M€, 7 projets d'implantations et d'équipements et 6 plateformes technologiques, dont une plateforme chimie-environnement dénommée Axel'One.

Une illustration de la démarche est le récent de projet de R&D visant à créer des résines époxy non toxiques à partir de biomasse issue de la sylviculture pour des applications type revêtements des sols, applications alimentaires ou peintures industrielles, baptisé Green Epoxy. Les partenaires de ce projet sont 6 entreprises - Alliance Forêt Bois (fourniture de la biomasse), Lefrant Rubco (industrialisation des procédés d'extraction), PCAS (industrialisation des procédés de fonctionnalisation), Diam Bouchage (applications alimentaires), Resipoly (revêtements de sols), Prospa (peintures industrielles) et 3 laboratoires de recherche - UMR IATE (Ingénierie des Agro-polymères et Technologies Émergentes à fractionnement de la biomasse) et SPO (Sciences pour l'œnologie à dépolymérisation des tanins) ainsi que l'institut Charles Gerhardt (fonctionnalisation des tanins). Le budget est de 2,8 M€ dont 1,2 M€ d'aide publique, la durée du projet est de 36 mois. Le projet répond à une problématique majeure liée à la pression de plus en plus forte pour la diminution de la toxicité des produits, que ce soit pour la santé humaine ou pour l'environnement. Il vise à trouver une alternative non toxique aux résines époxy rigides à partir de biomasse. Ces résines, provenant de produits connexes de la sylviculture, seront élaborées pour des applications d'ores et déjà identifiées : revêtements des sols, applications alimentaires, peintures industrielles.

3.4 Un partenariat ouvert entre l'Ile de France et les régions voisines

Certaines des régions voisines de l'Ile-de-France se sont donc déjà fortement investies dans le domaine de l'utilisation industrielle de la biomasse d'origine agricole ou forestière. Une partie d'ailleurs de cette dernière, nécessaire au fonctionnement des unités industrielles implantées sur ces régions, provient de l'Ile-de-France. La Région Ile-de-France ne dispose pas d'avantages décisifs évidents par rapport à ces régions pour promouvoir l'implantation de telles unités industrielles sur son territoire, étant rappelé pour fixer les idées **qu'une unité**

industrielle requiert de l'ordre de 100 000 t/an au moins de biomasse régulièrement approvisionnée pour fonctionner dans des conditions économiques acceptables.

Par contre, l'Ile-de-France peut envisager de chercher à développer une coopération plus étroite à l'échelle du bassin parisien pour fournir un plus grand volume de biomasse utilisable dans les unités installées, ou en voie de l'être, dans les régions voisines. Une telle initiative aurait un impact positif sur l'emploi agricole ou forestier en Ile-de-France.

En particulier, le sud-ouest du bassin parisien ne dispose pas de bio-raffinerie territoriale comparable à celle de Pomacle-Bazancourt dont la zone de chalandise ne couvre pas cette partie du bassin. Cela peut être un véritable sujet de réflexion.

La Région Ile-de-France doit bien entendu éviter de vouloir créer tout doublon d'installations coûteuses (investissements et exploitation) qui ferait double emploi avec l'existant dans des régions voisines.

Mais la Région Ile-de-France doit mettre l'accent sur deux thèmes pour lesquels elle aurait un « avantage concurrentiel » pour participer à une transition écologique de l'économie :

- l'accroissement de la valorisation des déchets d'origine organique générés par la concentration urbaine exceptionnelle de la « mégapole » – c'est une forme de biomasse disponible - est un sujet neuf. Un appel à projets serait une voie pour aborder la question, sans préjuger des réponses qui pourraient être apportées et des arbitrages à faire entre les différents usages répertoriés.
- le rôle de « facilitateur » pour le développement des start-up engagées dans les recherches de procédés chimiques ou biotechnologiques et de produits innovants à partir de la biomasse. Le nombre et la qualité des organismes de recherche, la concentration de ressources intellectuelles de haut niveau, l'attractivité internationale de Paris,... constituent pour les futurs développeurs un excellent terreau auquel la Région doit apporter sa touche. L'exemple de l'engagement dans le Génopole d'Evry illustre très bien ce point et mérite d'être poursuivi avec constance et même amplifié.

4. Le rôle de la commande publique

La commande publique, à travers le message d'exemplarité qu'elle revêt et du fait de l'importance des fonds financiers qu'elle mobilise, est un levier clé du développement des filières de produits biosourcés.

Afin de faire face aux enjeux du changement climatique et de la surexploitation des ressources naturelles, la France s'est engagée dans la transition de son modèle économique vers une « économie verte et durable ». Ainsi, le Commissariat Général au Développement Durable du Ministère en charge de l'Écologie a identifié la valorisation des « matériaux biosourcés » et la « chimie verte » comme deux des 19 filières stratégiques de l'économie verte, porteuses de croissance et d'emplois.

La volonté d'utiliser l'achat public pour aider à la diffusion des produits biosourcés en France a été rappelée en mai 2015 par le Ministre de l'Économie et des Finances dans la deuxième phase des plans industriels, avec le projet « Industrie du futur ». Ce projet recense 9 grandes ambitions dont l'ambition « Nouvelles Ressources » qui prévoit notamment l'élaboration d'un dispositif pour soutenir le recours aux produits biosourcés dans le cadre des marchés publics.

Par ailleurs, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, publiée au journal officiel le 17 août 2015, précise à l'article 14 que « *l'utilisation des matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles. Elle est encouragée par les pouvoirs publics lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments* ». L'article 144 indique également que « *la commande publique tient compte notamment de la performance environnementale des produits, en particulier de leur caractère biosourcé* ».

Il faut signaler cependant que la composition en matière biosourcée des produits ne constitue pas pour l'heure une clause à laquelle les acheteurs publics ont concrètement recours en France (contrairement à d'autres pays comme aux États-Unis qui impose depuis 2002 une obligation réglementaire aux agences fédérales de privilégier l'achat de produits et de matériaux biosourcés).

Des dispositions quant aux politiques d'achats publics durables sont donc prises en France et en Europe, mais la thématique des produits biosourcés n'a jusqu'à présent qu'assez peu été évoquée comme un sujet à part entière.

La volonté de recourir à des produits biosourcés peut être stipulée dès la définition de l'objet du marché, à condition que cette démarche soit non discriminatoire. Cette dernière pourra notamment être justifiée par son inscription dans la stratégie générale de développement durable⁸ portée par l'acheteur public. Les exigences environnementales exactes (et en

⁸ Toutefois, il faut garder à l'esprit que la composition biosourcée d'un produit, même si elle contribue à réduire l'utilisation de ressources non renouvelables, ne suffit pas à démontrer que le produit est plus respectueux de l'environnement. Par conséquent, garantir une cohérence entre achat « durable » et achat « biosourcé », passera nécessairement par un cadrage de la notion de « produit biosourcé durable » au travers de trois axes principaux :

- Le taux d'utilisation de matières premières renouvelables dans le produit. Le recours à la norme NF EN 16785-1 devra être recommandé pour la mesure du contenu biosourcé. Les déclarations de contenu biosourcé basés sur cette norme devront faire

particulier les exigences relatives au caractère « biosourcé » des produits) devront ensuite être définies au sein des clauses techniques ou des critères d'attribution.

Il convient de recenser et caractériser les familles de produits biosourcés disponibles sur les marchés, et en particulier ceux issus de la chimie, capables de répondre à la demande des marchés publics en Ile-de-France et de participer au développement ou à la création d'activités économiques et industrielles nouvelles sur le territoire régional, voire national.

Un rapide recensement des produits biosourcés fournit une première analyse de l'offre en produits biosourcés (matériaux et produits chimiques) sur le marché français :

- Laines isolantes et bétons végétaux

Si de nombreux freins à l'usage de ces matériaux ont d'ores et déjà été levés (aujourd'hui, près de 80% de ces matériaux et techniques constructives sont couverts par des évaluations et documents techniques), renforcer la structuration des filières reste encore aujourd'hui un véritable enjeu. Sur le segment spécifique des laines et panneaux isolantes, il est toutefois à noter une forte importation de panneaux isolants rigides à base de bois, en provenance d'Allemagne notamment.

- Peintures et revêtements muraux

La croissance du segment de marché des peintures et revêtements muraux biosourcés repose sur le développement de deux pans de marché complémentaires : les produits 100% biosourcés aujourd'hui encore marginaux, et les produits classiques incorporant une part plus ou moins élevée de matières premières végétales. Dans un contexte de prise en compte croissante des enjeux liés à la qualité de l'air intérieur, les matériaux biosourcés, et *a fortiori* les peintures et revêtements muraux peuvent apporter des solutions « neutres ».

- Matériaux de construction composites

L'usage de composites biosourcés se développe depuis une quinzaine d'années en France, notamment dans le secteur du bâtiment et de la plasturgie et semble en mesure de gagner encore des parts de marché dans les prochaines années.

- Emballages, sacs plastiques et couverts jetables

Ces dernières années, le marché des plastiques biosourcés s'est développé moins rapidement qu'attendu. Les mesures de soutien aux plastiques constitués, pour tout ou partie, de matières biosourcées telles que prévues par la loi de transition énergétique, devraient toutefois concourir au développement de la vaisselle jetable dans les années à venir. Pour les collectivités territoriales, soutenir le recours à des emballages, sacs plastiques et couverts jetables biosourcés peut constituer un axe « visible » de la politique interne et renforcer le rôle d'exemplarité de l'action publique.

- Entretien des espaces verts

Même si l'offre des produits biosourcés du secteur de l'entretien des espaces verts a besoin d'être mieux structurée en France, son développement est soutenu via de nombreux textes réglementaires interdisant l'utilisation de produits nocifs pour l'homme et son environnement.

à terme l'objet d'une certification. La détermination d'une teneur minimale en biomasse qui témoigne d'une démarche significative sera à fixer famille de produits par famille de produits.

- La performance environnementale. En fonction des familles de produits biosourcés considérées, les enjeux environnementaux clés sont variés, que ce soit en termes d'étapes du cycle de vie (production, utilisation, fin de vie, etc.) ou bien d'impacts environnementaux (pollution de l'eau, de l'air, climat, etc.). À ce jour, les écolabels conformes à l'ISO 14024 sont la meilleure garantie quant aux moindres impacts environnementaux des produits.

- La durabilité de la production biomasse mise en oeuvre dans le produit. Ce point peut parfois être intégré comme une des exigences d'un écolabel. Il existe plusieurs systèmes de labellisation et de certification traitant de cette problématique. Hormis les systèmes de certification du bois, les autres dispositifs, surtout développés pour les usages biocarburants, s'étendent désormais aux usages de la biomasse dans les produits.

- Huiles et lubrifiants pour l'équipement

Les huiles et lubrifiants pour l'équipement d'origine biosourcée sont principalement utilisés dans l'industrie. Depuis ses débuts en 2005, l'industrie s'est bien structurée grâce à la mise en place de textes réglementaires qui limitent l'utilisation d'huiles non biodégradables dans les milieux naturels.

- Produits d'entretien et de nettoyage

- Les produits d'entretien et de nettoyages biosourcés sont assez développés en termes d'offre (producteurs et références). Le nombre important de guides et de fiches techniques pour l'achat public durable sur ce type de produits témoigne de l'intérêt des fonctions achats pour la prise en compte des enjeux sur ce secteur en particulier.

- Produits cosmétiques

Les produits cosmétiques (dont les produits d'hygiène) constituent une filière déjà fortement mature avec de forts volumes de production et de consommation en France et des taux de pénétration en produits biosourcés importants.

5. Les préconisations du Ceser

1 – Le Ceser souhaite que la Région participe au développement des **formations initiales et continues** pour promouvoir l'expansion de la chimie du végétal et plus généralement de la bio-économie, tant dans l'enseignement agricole ou forestier que dans les établissements d'enseignement supérieur.

L'interdisciplinarité, mettant l'accent sur les trois disciplines que sont les biotechnologies – la chimie – le génie des procédés, pourra se concrétiser via, par exemple, une contribution au financement de chaires d'enseignement spécialisées en chimie du végétal.

La coopération interrégionale dans le bassin parisien sera recherchée aux fins à la fois de promouvoir une large dynamique d'ensemble, de favoriser les économies d'échelle et de maintenir une haute qualité d'enseignement.

Cette démarche se situe dans la même ligne que celle proposée dans le rapport et l'avis du Ceser intitulés « Pour une politique ambitieuse de la Région Ile-de-France en faveur de la filière forêt-bois » présentés le 23 mars 2017 par Yves SALMON.

2 – Le Ceser estime que la **communication institutionnelle** est à orienter plus largement vers les produits biosourcés régionaux à grande valeur ajoutée. La communication tendra notamment à ce que les produits issus de la chimie du végétal soient mieux associés à une référence de qualité ou de développement durable, dès lors que le bilan carbone global des produits est meilleur.

3 – Le Ceser demande que des mesures pertinentes de **soutien à la R&D** soient prises dans le cadre d'un plan interdisciplinaire consacré à la valorisation des produits biosourcés – au travers en particulier de la construction/promotion d'un écosystème. La R&D sera conçue dans une approche interrégionale pour éviter les doublons et l'éparpillement des forces. L'exemple de l'engagement dans le Génopole d'Evry, qui vise notamment à l'encouragement/accompagnement des innovations technologiques dans le champ des biotechnologies (dont la chimie du végétal), est à saluer et à pérenniser.

4 – Le Ceser suggère le lancement, dans le domaine de la chimie du végétal, d'un **appel à projets** visant à accroître la valorisation des déchets d'origine carbonée (bio-déchets ménagers, bois,...) qui sont générés au sein de la concentration urbaine exceptionnelle de la « mégapole ».

Cette valorisation serait appelée à aller au-delà des traitements actuellement déjà pratiqués (incinération, compost, méthanisation).

5 – Le Ceser insiste sur la nécessité d'accroître les mesures **d'appui** aux entreprises innovantes, sous la forme par exemple d'une participation financière à un fonds d'investissement à caractère sectoriel destiné à soutenir/accompagner les entreprises dans leur phase de croissance "pré-industrielle". La mise en place par la Région d'un comité technique ad hoc pour l'aider à sélectionner les entreprises à soutenir/accompagner est à envisager.

6 – Le Ceser estime souhaitable une **aide financière ciblée** de la collectivité régionale à destination des start-up ou des TPE-PME dans les domaines de :

- la réalisation **d’analyses de cycle de vie (ACV)**, réglementairement nécessaires (cf. cadre réglementaire de gestion des substances chimiques REACH – règlement européen n°1272/2008). Elles représentent certes une charge financière et administrative contraignante, néanmoins indispensable, pour des start-up ou des TPE-PME cherchant à promouvoir de nouvelles molécules ou de nouveaux produits issus du végétal. Au demeurant, cette aide peut constituer une incitation à s’établir en Ile-de-France.
- la **labellisation**⁹ et/ou surtout la **certification** de produits biosourcés afin de permettre une comparaison pertinente et objective entre tous les produits disponibles, tant pour les donneurs d’ordre publics que privés. La labellisation des produits biosourcés, une opération relativement coûteuse pour des start-up ou des TPE-PME, pourrait être éligible à une aide, dans des conditions et des limites restant à préciser.

7 – Le Ceser rappelle le besoin d’une amélioration de la **connaissance des ressources de biomasse** disponibles de façon durable en Ile de France et plus généralement dans le Bassin Parisien, déduction faite de celles utilisées pour l’alimentation et des usages industriels établis de longue date. Ceci est un préalable pour rechercher les meilleures articulations possibles entre les différentes chaînes de valeur issues de cette biomasse disponible (ex. : quel est le meilleur usage possible des résidus forestiers, en tenant compte de leur volume, de leur pérennité et de leur localisation).

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 a prévu la mise en place d’un Schéma régional biomasse (SRB) qui devra comprendre cette dimension.

8 – Le Ceser rappelle que la chaîne amont-aval doit être pensée comme un tout. La transformation industrielle, située en aval, a notamment besoin d’être assurée de la disponibilité durable de la matière première fournie par l’agriculture, située en amont.

A ce titre, le Ceser demande que soit privilégiée la coopération interrégionale entre l’amont agricole et forestier et l’industrie de transformation en aval. Cette coopération est nécessaire pour une implantation pertinente d’unités de 1ère ou 2ème transformation qui soient bien et durablement positionnées vis-à-vis de la production primaire agricole et/ou sylvicole des bassins géographiques de production.

9 – Le Ceser insiste sur le **rôle de la commande publique** comme facteur de promotion de l’utilisation des produits biosourcés. L’examen des potentialités de la Région Ile de France

⁹ Dans les domaines de la qualité et de la sécurité dans un premier temps, puis progressivement sur des thématiques liées à l’environnement et à la durabilité des modes de production et des filières, sont apparus des dispositifs tels que des normes, des systèmes de certification et des labels afin d’identifier et de comparer des produits entre eux. Pour attester de sa fiabilité, un label doit se baser sur la vérification de la conformité du produit à une norme (ex : normes CEN ou NF sur le contenu biosourcé, la compostabilité ou la performance environnementale). Des organismes de certification (ex : AFNOR certification, Ecocert, etc.), préalablement accrédités, s’assurent de cette conformité (en France, le Comité Français d’Accréditation – COFRAC – est la seule instance chargée de délivrer les accréditations). Ce type d’outils permet de structurer le marché et de rendre visible auprès des consommateurs certaines caractéristiques intrinsèques d’un produit (solidité, performance environnementale, juste rétribution des producteurs, etc.) qui ne sont pas directement visibles sur celui-ci, mais également d’orienter les acteurs industriels vers des démarches d’amélioration continue.

Le caractère « biosourcé » d’un produit peut être valorisé de manière directe via des labels qui portent spécifiquement sur la teneur en matière issue de la biomasse et qui donnent donc une indication sur le caractère renouvelable de la matière composant tout ou partie du produit. Par ailleurs, les produits biosourcés peuvent également faire l’objet d’une valorisation indirecte, via des labels qui couvrent des enjeux environnementaux auxquels de nombreux produits biosourcés peuvent répondre, en particulier la biodégradabilité / compostabilité et la faible toxicité.

en tant que donneur d'ordre et l'ajustement si nécessaire des procédures d'achat pratiquées par les services seront menés - étant rappelé évidemment que tous les produits biosourcés ne pourront provenir de la seule région Ile de France.

Ce rôle est aussi un moyen de **valoriser les atouts et l'image** de la Région.

Cette démarche se situe dans la même ligne que celle proposée dans le rapport et l'avis du Ceser intitulés « Pour une politique ambitieuse de la Région Ile-de-France en faveur de la filière forêt-bois » présentés le 23 mars 2017 par Yves SALMON.

Remerciements

Le rapporteur, M. Jean Michel RICHARD, adresse ses sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce rapport et, tout particulièrement, aux membres de la commission de l'Agriculture, de l'environnement et de la ruralité du Ceser, à M Pierre CUYERS président de la commission, à M. Denis MOUSSEAU chargé de mission.

Il tient à remercier particulièrement l'ensemble des personnes qui ont permis de nourrir ce travail.

C'est ainsi que la commission de l'Agriculture, de l'environnement et de la ruralité a organisé plusieurs séances d'auditions au cours desquelles les personnes suivantes ont bien voulu accepter de lui apporter des informations et prendre part à ses réflexions :

- le 12 mai 2016, M. Claude Roy, président et fondateur du club des bio-économistes,
- le 28 juin 2016, M. Alain Brinon, Directeur du site agroindustriel de biodiesel du Mériot, SAIPOL, dans l'Aube,
- le 28 mars 2017 M. Cyril Flamin, secrétaire général de Coopénergie,
- le 27 avril 2017, M Bernard Chaud, Directeur de la Stratégie Industrielle chez GLOBAL BIOENERGIES,
- le 10 mai 2017, M. Paul Colonna, directeur de Recherche à l'INRA, professeur au Collège de France,
- le 22 mai 2017, M. Yvon Le Henaff, directeur général de ARD (Agro-Industrie Recherches et Développement),
- le 6 juin 2017, M. Jean-Marc Grognet, directeur général du Génopole d'Evry,
- le 6 juin 2017, M. Cyrille Pauthenier, Président de l'entreprise ABOLIS BIOTECHNOLOGIES.

Afin de lui permettre de recueillir de plus amples informations, les personnes suivantes ont accepté de rencontrer le rapporteur, au cours d'entretiens particuliers :

- le 15 septembre 2017, Monsieur Gilles Schang, directeur adjoint du pôle Ecotechnologies de BpiFrance,

Par ailleurs :

- le 16 novembre 2016, le rapporteur a participé à un colloque sur le thème : « développer l'achat public de produits biosourcés : une solution pour la croissance verte ».
- le 15 mars 2017, le rapporteur a participé à un colloque organisé par l'Académie d'Agriculture de France sur le thème des produits du futur à base de bois.

Liste des membres de la commission de l'Agriculture de l'environnement et de la ruralité

Pierre CUYPERS
Président de la commission

Jean Michel RICHARD
Rapporteur

Astrid BARTHELEMY

Damien GREFFIN

Thierry BÉNÉFICE

Daniel HANNOTIAUX

Eric BERGER

Jacques HUI

Micheline BERNARD-HARLAUT

Bernard LACHAUX

Maud BILLON

Stéphane LEVEQUE

Bernard BRETON

Danièle LUCCIONI

Martine COURJAUD

Gaëlle MARTINEZ

Marie-Françoise CHARON

Anne-Marie NUYTTENS

Brigitte DESINDES

Jean-Michel RICHARD

Corinne DOS SANTOS

Dominique RUFFIÉ

Dominique DUVAL

Anne SAUVEY CHEISSOUX

Patrick GAPENNE

Vincent VILPASTEUR

Eric GUERQUIN

Emmanuelle GUILMAULT

Chargé de mission : Denis MOUSSEAU

Bibliographie

Rapports

- « La chimie du végétal, une valorisation non-alimentaire et non-énergétique de la biomasse : cas de 4 molécules d'intérêt » étude réalisée par le cabinet ALCIMED pour FranceAgriMer et parue en décembre 2012.
 - . « les emplois actuels et futurs pour la filière chimie du végétal » rapport de l'ADEME paru en 2012.
 - « Les marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030 » rapport de l'ADEME paru en 2015.
- « Dynamiques de l'emploi dans les filières bioéconomiques » rapport du Conseil général de l'alimentation de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER) paru en avril 2016.
- « Une stratégie bioéconomie pour la France (enjeu et vision) » document de synthèse réalisé par le ministère de l'agriculture et de la forêt paru en janvier 2017.
- « Vers une bioéconomie durable » rapport du Conseil Economique Social et Environnemental paru en 2017

Etudes et enquêtes

- « Les bioénergies en Île-de-France » : étude de l'IAU parue en mai 2014
 - « Recensement des produits biosourcés disponibles sur le marché et identification des marchés publics cibles. » étude de l'ADEME et de la Direction Générale des Entreprises parue en mai 2016.
 - « Les enjeux de la valorisation de la biomasse non sylvicole en matériaux biosourcés » : étude réalisée par le cabinet BIO by DELOITTE et la société de recherche Fibres Recherche Développement (FRD) pour FranceAgriMer et parue en février 2016.
 - « Le panorama international des intermédiaires chimiques biosourcés ». étude de l'IAR parue en janvier 2015.
 - « Les installations de traitement des biodéchets en Île-de-France » étude de l'ORDIF parue en juin 2016 (2eme édition)
- « Données de caractérisations locales des ordures ménagères résiduelles en Ile-de-France » étude de l'ORDIF parue en mars 2017

Ouvrages

- ADEME : feuille de route R&D de la filière chimie du végétal.
- ALCIMED : l'avenir de la chimie verte en France.
- CNRS : les 12 principes de la chimie verte.
- UIC : les métiers de la chimie.

Notes et articles

- IAU : Note sur les filières industrielles des bioénergies.
- « Les potentiels de la bioéconomie » : article de Claude Roy parue en janvier 2016 dans la revue Futurable.

Annexes

Annexe 1 : Les douze principes fondateurs de la chimie verte

Annexe 2 : Usage de la lignine du bois

Annexe 1 : Les douze principes fondateurs de la chimie verte

Le concept de chimie verte est apparu aux Etats-Unis dans les années 90. A l'époque, le but recherché était de concevoir des produits et procédés chimiques permettant de réduire, voire d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses. Mais c'est en 1998 que Paul Anastas et John Warner, chercheurs à l'Agence américaine pour l'environnement (EPA), ont jeté les bases théoriques de cette nouvelle discipline en publiant un ouvrage énonçant 12 principes fondateurs :

1. Prévenir la pollution à la source : c'est imaginer un procédé chimique qui évite la production de futurs résidus qui deviendront des déchets.
2. Economiser la matière première : l'économie d'atomes, c'est être capable, au sein d'une même matière première, de récupérer toutes les molécules utilisables pour diverses applications dans l'énergie, la cosmétique, l'agro-alimentaire. Il faut pour cela des outils de séparation très puissants.
3. Travailler dans des conditions plus sûres : c'est envisageable grâce à l'utilisation de conditions opératoires douces (températures ambiante, faible pression...) et l'utilisation préférentielle de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement.
4. Concevoir des produits chimiques moins toxiques : il faut mettre au point de nouvelles molécules à la fois plus efficaces et non toxiques. L'innocuité est évaluée par des études toxicologiques à l'échelle cellulaire et au niveau de l'organisme.
5. Utiliser des solvants non toxiques : c'est rechercher des alternatives aux solvants organiques toxiques et polluants, tels que le benzène, le chloroforme, le trichloréthylène, produits chimiques de sinistre réputation.
6. Economiser de l'énergie : c'est limiter les dépenses énergétiques et mettre au point de nouveaux matériaux efficaces pour le stockage de l'énergie. C'est aussi rechercher de nouvelles sources d'énergie à faible teneur en carbone pour générer de faibles émissions de gaz à effet de serre.
7. Utiliser des ressources renouvelables : c'est préférable à l'utilisation de ressources fossiles ; La biomasse, qui représente l'ensemble de la matière organique qui compose les plantes, les arbres, les déchets animaux, agricoles ou urbains, peut judicieusement servir de matière première renouvelable. Dans le même esprit, ce concept peut être étendu à l'utilisation d'énergies renouvelables.
8. Réduire l'utilisation de molécules intermédiaires : c'est préférer (lorsque c'est possible) mettre en oeuvre des réactions directes. En effet, les étapes intermédiaires consomment des produits chimiques qui vont, fatalement devenir des déchets.
9. Préférer les procédés catalytiques aux procédés classiques : un catalyseur est une substance rajoutée à une solution chimique et qui rend possible une réaction chimique. Il accélère la vitesse de réaction en abaissant l'énergie nécessaire à apporter pour que deux

molécules réagissent entre elles. Le catalyseur sort inchangé du processus chimique, il est donc recyclable.

10. Concevoir un produit chimique en vue de sa dégradation finale : un produit chimique finira irrémédiablement par devenir un déchet. Lorsque cela est possible, il vaut mieux le concevoir avec l'idée que tout ou partie du déchet qu'il va devenir peut être recyclé. Il doit de plus être conçu de manière à ce que sa dégradation future, naturelle ou accélérée, ne conduise pas à la création de sous-produits dangereux.

11. Analyser en temps réel les produits chimiques et leur empreinte dans l'environnement : c'est prévenir la pollution, en contrôlant le suivi direct des réactions chimiques. Il faut être capable de détecter et de quantifier la présence d'agents chimiques et biologiques réputés toxiques, même à l'état de traces.

12. Développer une chimie fondamentalement plus sûre : c'est choisir judicieusement les matières premières chimiques pour prévenir les accidents, explosions, incendies et les émissions de composés dangereux. La forme du produit chimique est en outre importante : une molécule gazeuse diffuse plus dans l'environnement que la même molécule sous forme solide...

Annexe 2 usage de la lignine du bois

1 - Usage de la lignine du bois

Pare-chocs de voiture, casques de protection et briques de Lego ont une chose en commun : ils sont moulés dans une matière plastique à la fois légère et résistante, un polymère appelé ABS, pour acrylonitrile butadiène styrène. Le plastique ABS présente l'inconvénient d'être produit à l'aide de dérivés du pétrole. La situation semble ne plus convenir au géant du jouet danois Lego qui a annoncé, à l'été 2015, un investissement de quelque 135 millions d'euros et un recrutement d'une centaine d'ingénieurs pour mettre au point un nouveau plastique sans pétrole, plus respectueux de l'environnement. À en croire l'annonce de chercheurs américains de l'Oak Ridge National Laboratory, la solution pourrait venir de la lignine, l'un des principaux constituants du bois.

La lignine est un polymère naturel. Après la cellulose, elle est le deuxième biopolymère renouvelable le plus abondant sur Terre. Mais elle est loin d'être exploitée à sa juste valeur. Alors, les chercheurs de l'Oak Ridge National Laboratory se sont intéressés à l'une de ses principales caractéristiques physiques. La lignine confère en effet au bois sa rigidité. Les chercheurs américains ont donc pensé l'utiliser pour produire une matière plastique meilleur marché et plus propre que le plastique ABS avec, qui plus est, des performances au moins égales de fusibilité, de ductilité et de moulabilité et même des performances bien supérieures de résistance.

Le plastique à base de lignine conçu par les chercheurs de l'Oak Ridge National Laboratory est « vert » en ce sens qu'il compte 50 % de composants renouvelables. Il est également recyclable au moins trois fois, sans perdre de ses qualités.

La lignine, cependant, est un polymère plutôt fragile. Il fallait trouver le moyen de la « tremper », au sens que donnent à ce mot les métallurgistes. Les chercheurs américains ont dispersé des morceaux de lignine de dimensions nanométriques dans une matrice de caoutchouc synthétique. Pour coupler les deux, ils n'ont pas eu à faire appel à des solvants. En effet, le caoutchouc butadiène-acrylonitrile – encore appelé caoutchouc nitrile – qu'ils ont utilisé et la lignine présentent des groupes chimiques dans lesquels les électrons sont inégalement distribués et sont donc susceptibles d'interagir entre eux.

Après avoir malaxé le mélange en fusion, les chercheurs de l'Oak Ridge National Laboratory ont observé la formation de structures à base de lignine de 10 à 200 nanomètres de long qui se sont mises à interagir avec le caoutchouc nitrile. Le résultat : une matière plastique baptisée ABL – acrylonitrile butadiène lignine – ne présentant plus ni toutes les propriétés du caoutchouc, ni celles de la lignine mais une combinaison intéressante mêlant la rigidité de la lignine à l'élasticité du caoutchouc.

Pour préciser leurs travaux, les chercheurs américains ont étudié les conséquences de diverses variations de paramètres sur le matériau obtenu en fin de processus. Ils ont ainsi déterminé que la lignine issue de feuillus, comme le chêne, présente une stabilité thermique optimale. Ils ont aussi conclu que la proportion idéale d'acrylonitrile dans le mélange se situe autour de 41 %. Quant à la température du mélange, mieux vaut la garder entre 140 et 160 °C.

Reste désormais à pousser plus loin les investigations pour déterminer comment exploiter au mieux, par exemple, les sous-produits de l'industrie papetière pour alimenter une potentielle production industrielle d'ABL. Ou encore pour étudier les performances de cette nouvelle matière plastique dans des matériaux composites renforcés de fibres de carbone.

2 - Usage du bois sans lignine

Le bois est un matériau aux caractéristiques remarquables : faible densité, faible conductivité thermique, grande ténacité. De plus, il est plutôt bon marché et est issu de ressources renouvelables. Ceci explique pourquoi certains cherchent à fabriquer du plastique à partir de bois ou pourquoi la Suède, un pays qui concentre à lui seul quelque 18 % des forêts européennes, a choisi d'investir dans un centre de recherche dédié au bois, le Wallenberg Wood Science Center. Une équipe de ce centre vient de mettre au point une technique permettant de rendre le bois... transparent ! De quoi entrevoir toutes sortes d'applications, parmi lesquelles notamment, la fabrication de cellules solaires photovoltaïques ou, tout simplement, de vitres renouvelables.

L'idée de développer un bois optiquement transparent n'est pas tout à fait nouvelle. En effet, des études plus anciennes avaient déjà montré la possibilité de créer un papier transparent à 70 %, notamment en diminuant le diamètre des fibres de cellulose jusqu'à l'échelle nanométrique. Cependant, les échantillons mis au point n'ont jamais vraiment dépassé le stade de l'expérimentation en laboratoire. Le projet porté par les chercheurs du Wallenberg Wood Science Center, quant à lui, laisse espérer une utilisation de ce nouveau matériau à l'échelle industrielle.

Pour arriver à leurs fins, les chercheurs ont eu l'idée d'appliquer au bois un procédé chimique visant à en éliminer la lignine, l'un de ses principaux constituants. C'est elle qui est largement responsable de l'opacité du bois. Ne restait plus ensuite qu'à faire subir à ce bois quelques traitements à l'échelle nanométrique. Il a par exemple fallu ajouter un polymère transparent, le méthacrylate de méthyle (MMA), qui entre notamment dans la formulation du Plexiglas, à cette structure de base poreuse. Résultat : un matériau d'une épaisseur de 1,2 millimètre présentant une transparence optique de l'ordre de 85 %.

Les études ont montré que la transparence diminue avec l'augmentation de l'épaisseur du bois et l'augmentation de la fraction volumique de cellulose dans la matrice. Les propriétés mécaniques du matériau composite ainsi obtenu se révèlent meilleures que celles du bois ou du MMA. Ainsi, un bois transparent présentant une fraction volumique de cellulose égale à 19 % est deux fois plus résistant et rigide que le Plexiglas. L'équipe doit encore améliorer la transparence de ce nouveau matériau, explorer les possibilités offertes par différentes essences de bois et travailler à l'industrialisation du processus de production.

Toutefois, grâce à ses propriétés mécaniques structurelles et à ses nouvelles propriétés fonctionnelles de transparence, ce bio-composite nano-structuré se présente d'ores et déjà comme un excellent candidat pour des applications pratiques, notamment dans le secteur du bâtiment. Un secteur qui pourrait largement bénéficier d'un tel matériau léger, peu coûteux et susceptible de servir de base à la construction de façades semi-opaques ou encore au développement de cellules solaires transparentes.



Conseil économique, social et environnemental régional d'Île-de-France
33 rue Barbet-de-Jouy • 75007 Paris • Tél. : 01 53 85 66 25

www.ceser-iledefrance.fr • [@ceseridf](https://twitter.com/ceseridf)