

La matière organique végétale, source de nouveaux produits chimiques ?

Et en harmonie avec l'environnement ?

FICHE QUESTIONS SUR... n° 06.03.Q01

Mots clés : biomasse - biotransformation - bioraffinerie - chimie biosourcée - bioéconomie

L'utilisation massive des produits carbonés fossiles, charbon, gaz et pétrole, a permis un développement énergétique et chimique (pétrochimie notamment) sans précédent ; avec toutefois des bouleversements importants sur l'environnement, bouleversements dont l'humanité n'a pris conscience que récemment.

La consommation à grande échelle de produits carbonés fossiles importés a contribué en particulier à l'émission de gaz à effet de serre (CO₂ et méthane notamment), considérés comme responsables d'un réchauffement du climat, dont tous les effets sur notre environnement sont encore mal connus (perturbations de la flore et de la faune).

En outre, face à la croissance de l'ensemble des besoins, les ressources mondiales fossiles comme le charbon, le gaz naturel et surtout le pétrole, continuent à s'épuiser.

La France grand pays agricole et forestier

La France possède peu de ressources naturelles en pétrole et en gaz, mais développe une grande activité agricole, avec une *Surface Utile Agricole* (SAU) de 28 millions d'hectares, et un territoire forestier couvrant 16,4 millions d'hectares. La production agricole et forestière est source d'une grande quantité de matières organiques, c'est-à-dire carbonées, appelées biomasses.

Le stock de carbone renouvelable est formé essentiellement par la capacité qu'ont les plantes à fixer le carbone du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone = CO₂) atmosphérique *via* la photosynthèse. La valorisation de la biomasse donne accès non seulement aux productions alimentaires, mais également à une énergie renouvelable (transformation en agrocarburants, gaz, chaleur ou électricité) et à des biomolécules biosourcées de la chimie du végétal. L'enjeu est de valoriser cette biomasse très diverse, tout en respectant la capacité des écosystèmes à produire de manière durable.

Utilisation des produits bruts de la biomasse végétale

Jusqu'à une époque récente, la biomasse non-alimentaire n'a généralement été utilisée qu'en l'état ou après une transformation simple par fractionnement, sous forme d'amidon, de saccharose, de fibres (lignocellulose), d'huiles (acides gras), de composés phénoliques, de composés du métabolisme secondaire, etc., destinés par exemple à des divers secteurs de la chimie organique, des biomatériaux et de la pharmacie.

On distingue quelques grandes familles biochimiques, en fonction de l'origine des produits de base :

- Amidons et sucres simples (céréales, betteraves, pomme de terre, etc.) : produits de base à l'origine de l'élaboration de tensioactifs, détergents, solvants, adhésifs, cosmétiques, biopolymères.
- Cellulose, hémicelluloses (paille, bois, etc.) qui entrent dans la fabrication de papier, fibres textiles, cellophane, biopolymères, encres, peintures, isolants, mousses, cosmétiques, explosifs.
- Lignines (paroi lignocellulosique des cellules végétales, bois notamment) qui sont sources d'alcools, phénols, goudrons, biopolymères, antiseptiques.
- Acides gras, huiles (tournesol, colza, soja, lin, etc.), qui sont à la base de la fabrication de savons, lubrifiants, solvants, tensioactifs, détergents, encres, peintures, biopolymères, parfums.
- Fibres de lignocellulose (bois, lin, chanvre, etc.) : employées dans la construction, la fabrication de matériaux composites, les isolants.

Rappelons enfin que les produits animaux sont aussi sources de molécules et de matériaux (cuir, laine).

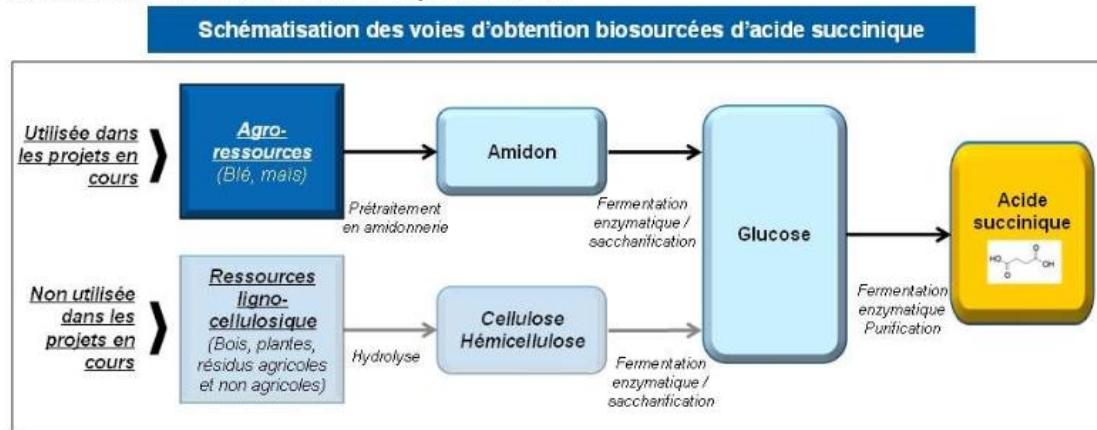
Utilisation des produits de fractionnement de la biomasse, après transformation

L'atout majeur de la biomasse est son origine biologique qui permet de mobiliser des enzymes et des micro-organismes comme catalyseurs et usines cellulaires, à la différence de la pétrochimie où les

catalyseurs sont tous de *novo*. La biomasse peut être convertie par procédés physicochimiques classiques (fermentation, et conversion enzymatique et microbiologique), en briques élémentaires de l'industrie chimique dites *synthons* ou *molécules plateformes* : acide acrylique, acide succinique, butadiène, éthanol, isobutène, glycérol, etc., Ces "briques" sont à l'origine des nombreux composés : biolubrifiants, biosolvants, biotensioactifs, bioplastiques, encres, colorants, peintures, vernis, biomatériaux, cosmétiques et produits pharmaceutiques.

La voie via l'amidon est en développement

Voies d'obtention de l'acide succinique biosourcé



Source : ALCIMED, Etude portant sur la valorisation non-alimentaire et non-énergétique de la biomasse, juillet 2012

Figure 1 : voies de synthèse d'acide succinique à partir d'amidon, de cellulose et d'hémicellulose

De nombreuses molécules peuvent être ainsi obtenues par voie pétrosourcée ou biosourcée ; cependant toutes les molécules pétrosourcées ne peuvent pas être obtenues par voie bio, et réciproquement. Ces deux origines de synthèse conduisent toutefois à un élargissement de molécules mobilisables pour répondre aux besoins d'usage (hygiène, habitat, habillement, transports...). Les produits finis de consommation sont souvent des mélanges des produits issus de ces deux voies.

La biomasse végétale une aubaine pour la chimie organique ?

La production végétale ne reste plus exclusivement à finalité alimentaire et redevient – comme aux siècles précédents – fournisseur de produits destinés à l'activité humaine. Ces molécules et ces produits d'origine biologique sont une grande chance à une époque où – sous la pression des contraintes écologiques, – les chimistes cherchent à concevoir et promouvoir une chimie dite *verte* ou *biosourcée*.

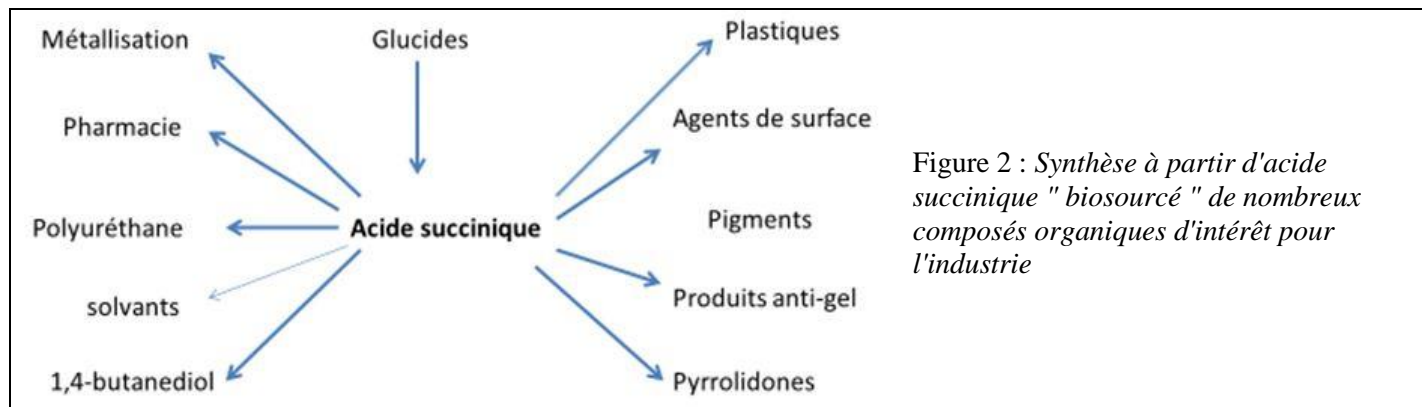


Figure 2 : Synthèse à partir d'acide succinique " biosourcé " de nombreux composés organiques d'intérêt pour l'industrie

Celle-ci évite la génération de substances toxiques, et met au point des procédés de fabrication réduisant ou éliminant l'usage et la génération de substances dangereuses pour la santé et l'environnement, comme les solvants organiques et les catalyseurs. Cette chimie biosourcée entre pleinement dans la chimie verte, à côté de la chimie pétrosourcée revue et corrigée à l'aune des objectifs de sécurité et de préservation de l'environnement.

Cette conversion de la pétrochimie à la chimie du végétal rencontre cependant plusieurs freins substantiels à tout changement. De multiples verrous, d'ordre scientifique, technologique et économique, sociétal et environnemental, subsistent encore pour en faire une industrie à grande échelle et compétitive :

elle doit au préalable résoudre de nombreux problèmes et pas des moindres. Par exemple, à l'inverse du pétrole (facilement manipulable et transportable), la disponibilité de la ressource végétale n'est pas toujours régulière et homogène, puisqu'elle dépend des conditions météorologiques, des conditions de culture et des territoires. De plus, l'outil industriel existant – historiquement développé et optimisé pour traiter des composés d'origine fossile – n'est pas toujours adapté à une mutation vers des procédés de fabrication, vers des filières de recyclage et vers le maintien de la qualité et des performances des produits élaborés. De ce fait, la formation des personnels est un enjeu majeur à prendre en compte.

L'innovation dans certains procédés de chimie biosourcée est encore au stade de la recherche (ex : la déconstruction des parois lignocellulosiques) et l'efficacité industrielle de synthèse de ces composés biosourcés renvoie à deux enjeux majeurs :

- la compétitivité économique des produits, où la chimie verte affronte une chimie pétrosourcée qui s'est améliorée depuis un siècle,
- et l'enjeu environnemental tant dans les procédés que dans la fin de vie des produits,

ce qui ouvre souvent des voies originales de recyclage et de traitement des déchets organiques.

Toutefois, le développement de nouvelles technologies – par transformation de la biomasse en produits chimiques utilisables – est en progrès constant. Les technologies de fractionnement, de purification, et surtout de fermentation et de transformation par les micro-organismes – les *biotechnologies blanches* – se sont améliorées considérablement au cours de ces dernières années ; les enzymes et micro-organismes modifiés par ces nouvelles biotechnologies apportent des solutions technologiques efficaces de conversion "biocatalyse" de la biomasse en molécules d'intérêt, ce qui élargit la palette des molécules issues du vivant.

La biocatalyse présente certains autres avantages : conditions douces de réaction (quelques dizaines de degrés), usage de l'eau comme solvant, activités de catalyse élevée, etc. La mise en œuvre de ces technologies permet de réduire (entre -20 % et -30 %) les consommations d'énergie par rapport aux produits pétroliers, ainsi que les émissions de CO₂.

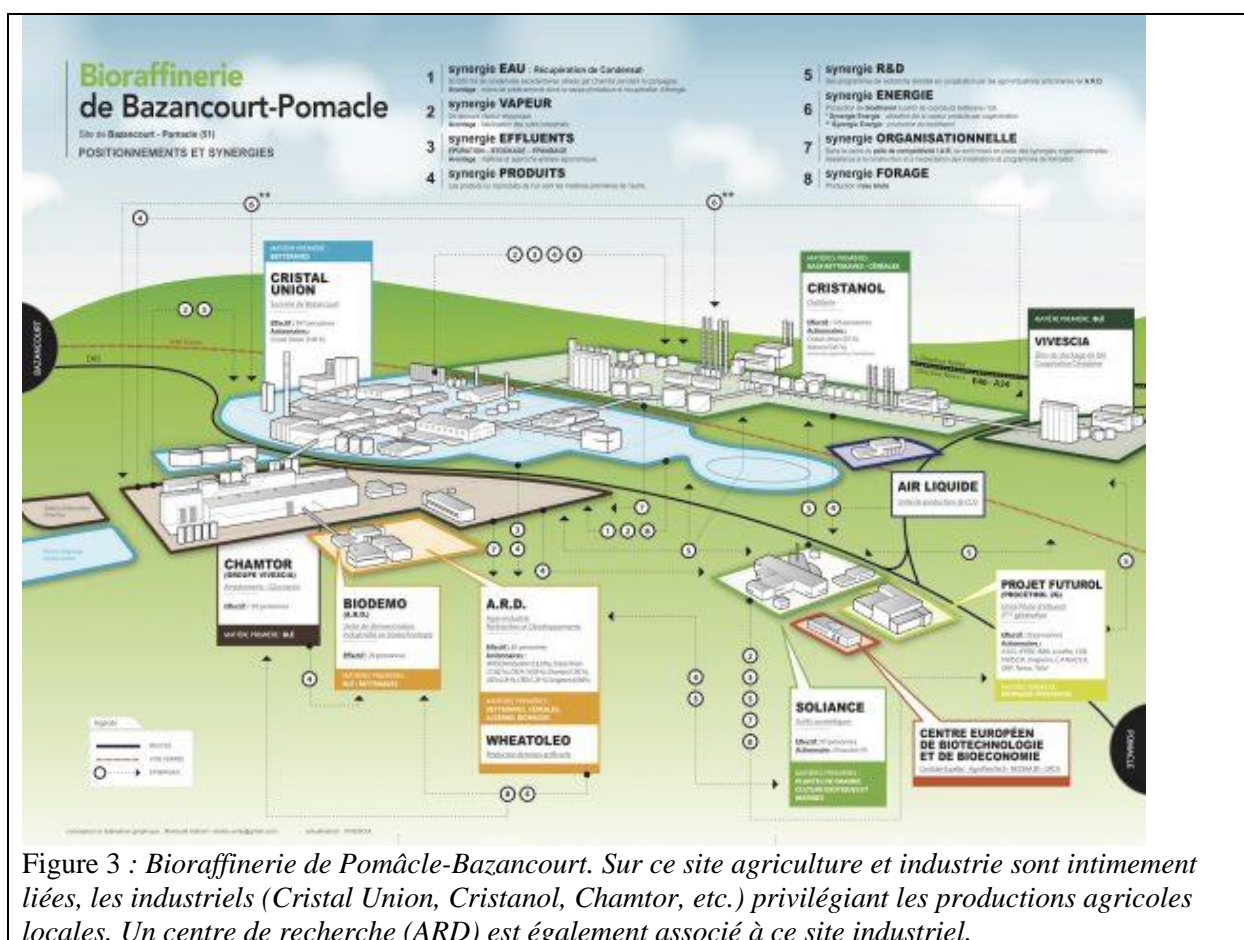


Figure 3 : Bioraffinerie de Pomacle-Bazancourt. Sur ce site agricole et industrie sont intimement liées, les industriels (Cristal Union, Cristanol, Chamtor, etc.) privilégiant les productions agricoles locales. Un centre de recherche (ARD) est également associé à ce site industriel.

La chimie du végétal ou biosourcée, compatible avec les exigences de la chimie verte, est considérée comme un secteur en début de développement, mais très prometteur, où l'innovation est importante et apporte des ruptures technologiques, insoupçonnées il y a quelques années. Si les coûts de ces bioproduits

restent souvent élevés, les marchés (encore modestes) sont en forte croissance, répondant ainsi aux préoccupations environnementales des sociétés modernes. La R&D s'accélère partout dans le monde, et les enjeux sont d'élargir la gamme des produits, d'améliorer les bilans et la productivité de la filière, et de réduire les coûts, notamment par diversification des ressources et valorisation des coproduits et déchets.

Pour valoriser au mieux les produits d'origine biologique, agricole notamment, les industriels ont construit des ensembles regroupés sur un même site : les bioraffineries, qui transforment la biomasse en produits chimiques à partir de matières premières renouvelables, de réactifs éco-compatibles – non ou peu toxiques pour la santé (*chimie blanche*) – ouvrant un rôle privilégié aux biotechnologies. L'enjeu de cette écologie agro-industrielle est de tirer parti de toutes les fractions organiques, et de valoriser les structures chimiques dans des usages en cascade, jusqu'au traitement des déchets, tendant ainsi vers un bouclage des cycles N, P et K.

Des problèmes restant à résoudre

De nombreux problèmes en particulier socio-économiques restent à résoudre :

- cycle de vie des composés biosourcés ;
- traitement des déchets organiques ;
- incidence du développement de la chimie biosourcée sur le climat et le paysage (nouvelles cultures dédiées) ;
- compétition équitable des prix entre produits biosourcés et produits issus de la pétrochimie ;
- équilibres entre satisfaction des besoins alimentaires et produits industriels.

L'évolution de notre alimentation vers une réduction de la consommation de produits animaux et vers l'implantation de l'agroécologie ouvre des perspectives de réorientation des systèmes de culture.

Les produits biosourcés vont-ils créer de nouveaux marchés et de nouveaux emplois proches du territoire où les matières biologiques sont produites (bioéconomie territoriale) ? Ou conduire au développement d'une bioéconomie portuaire à l'instar de la chimie pétrosourcée ?

L'enjeu social est majeur pour dépasser l'opposition "nouvelles technologies/compétitivité économique" :

- Comment les États développeront-ils des politiques publiques incitatrices dans ce sens ?
- Quelles formations et informations à donner aux citoyens-consommateurs ?

Conclusion

L'objectif de la chimie du végétal est donc d'atteindre le stade d'une efficacité industrielle, économique et respectueuse de l'environnement tout en répondant aux besoins humains.

Produire de l'énergie, des molécules et des matériaux à partir des ressources agricoles non alimentaires constitue un enjeu majeur dans un contexte de développement durable, c'est-à-dire dans une économie basée sur les ressources renouvelables.

Jean-François MOROT-GAUDRY et Paul COLONNA, membres de l'Académie d'Agriculture de France
septembre 2021

Ce qu'il faut retenir :

L'appauvrissement à terme des ressources fossiles naturelles (charbons, pétrole, gaz), face aux besoins d'une population mondiale croissante, nécessite une agriculture et une sylviculture véritablement durables, productives et efficaces. Elles auront à développer des produits nouveaux, tout en respectant l'environnement et en garantissant la diversité et la compétitivité de leurs filières de transformation.

Pour en savoir plus :

- J-F. MOROT-GAUDRY et J-C. PERNOLLET : *Chimie du carbone vert renouvelable : l'agriculture de demain sera-t-elle mesure de remplacer les produits pétroliers dans les domaines de la chimie, des matériaux et de l'énergie ?* Potentiels de la Science, Académie d'Agriculture de France, 2013
- J-F. MOROT-GAUDRY et collaborateurs : *Les végétaux, un nouveau pétrole ?* Editions Quae, 2016
- X. DEGLISE : *Quelle place pour le bois dans la chimie verte ?* In La Forêt et le bois en France en 100 questions. Académie d'Agriculture de France, 2019
- S. BAUMBERGER : *Chimie verte et industries agroalimentaires : Vers une bioéconomie durable*, Sciences et techniques agroalimentaires (ouvrage collectif de 21 chapitres), éditions Lavoisier, 2020.
- J. TAYEB, N. TURC, P. COLONNA : *Les Matériaux biosourcés*, Institut Carnot, II^e forum, Recherche industrie, 2014
- J. TAYEB, N. TURC, P. COLONNA : *Les Molécules biosourcées*, Institut Carnot, II^e forum, Recherche industrie, 2014