



LES PRODUITS
BIOSOURCÉS
ISSUS DE LA CHIMIE
DU VÉGÉTAL,

UNE
CONTRIBUTION
À LA NEUTRALITÉ
CARBONE



Association
Chimie du
VÉGÉTAL



RÉSUMÉ

Pour lutter contre le changement climatique, la France a défini, au travers de la stratégie Nationale Bas Carbone, une **trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030** déclinée par secteurs d'activité. La Chimie, qui émet au total environ 20Mt CO₂eq (soit moins de 5 % des émissions nationales), anticipe une réduction de 26% de ses émissions en 2030 par rapport à 2015, soit une réduction de 5,7 millions de tonnes CO₂eq¹.

Parmi les leviers pour relever ce défi, la chimie du végétal, chimie qui repose sur l'utilisation de la biomasse, apporte une contribution stratégique. En valorisant des matières premières non fossiles, la chimie du végétal soutient en effet la fabrication de molécules, produits et matériaux à l'empreinte carbone souvent réduite par rapport aux équivalents pétrosourcés.

La biomasse possède la capacité spécifique et fondamentale de capter puis de transformer le CO₂ atmosphérique en matière organique (via la photosynthèse), agissant ainsi comme une « pompe à carbone ». A travers le recours à la biomasse, la chimie du végétal participe au cycle court du CO₂ biogénique dont l'effet est neutre vis-à-vis du climat : les émissions de CO₂ en fin de vie sont compensées par le prélèvement initial dans l'atmosphère.

De plus, en réduisant la demande en carbone fossile, la chimie du végétal contribue à la réduction des émissions associées aux ressources fossiles, dont l'utilisation entraîne un déstockage de carbone fossile et une augmentation du CO₂ dans l'atmosphère, accélérant le changement climatique.

La chimie du végétal peut être un fort levier d'action pour contribuer à la réduction de la dépendance aux ressources fossiles et peut permettre de diminuer l'impact des émissions de CO₂ des produits issus de l'industrie chimique. Promouvoir la chimie du végétal, c'est aider à remplacer le carbone issu de ressources fossiles par le carbone capté dans l'atmosphère par les végétaux, ce qui peut contribuer à la lutte contre le changement climatique.

La quantité de carbone contenu dans les produits biosourcés issus de la chimie du végétal en France équivaut à près de 1,5 millions de tonnes de CO₂ (1,5 MtCO₂) capté par an². Cela représente le contenu carbone d'environ 475 000 tonnes équivalent pétrole évitées.

Le secteur du biosourcé, qui bénéficie d'investissements importants en R&D et en capacité de production, connaît une croissance soutenue en France, portée par de nombreux atouts (industriels leaders en Europe, tissu de start-ups et PME dynamique, disponibilité de la biomasse, écosystème de recherche et innovation de pointe). Forte de cette accélération économique et technologique, la chimie du végétal renforcera les filières aval dans leur trajectoire de décarbonation tout en participant à leur souveraineté. Sa contribution souvent positive au défi climatique ne fera que s'accroître, faisant des produits biosourcés des leviers efficaces à la transition écologique.

L'Association Chimie du Végétal et ses membres y sont pleinement engagés.



SUMMARY

To combat climate change, France has defined, through the National Low Carbon Strategy, **a trajectory for reducing greenhouse gas emissions by 2030**, broken down by sectors of activity. The Chemistry sector, which emits a total of approximately 20 million tons of CO₂ equivalent (less than 5% of national emissions), anticipates a 26% reduction in emissions by 2030 compared to 2015, which amounts to a reduction of 5.7 million tons of CO₂eq.

Among the strategies to meet this challenge, plant-based chemistry, which relies on the use of biomass, plays a strategic role. By valorizing non-fossil raw materials, plant-based chemistry supports the production of molecules, products, and materials with a often lower carbon footprint compared to their petro-sourced counterparts.

Biomass possesses the specific and fundamental ability to capture and transform atmospheric CO₂ into organic matter (through photosynthesis), thus acting as a «carbon pump.» Through the use of biomass, plant-based chemistry contributes to the short-term cycle of biogenic CO₂, which has a neutral effect on the climate: CO₂ emissions at the end of life are compensated for by the initial uptake from the atmosphere. Furthermore, by reducing the demand for fossil carbon, plant-based chemistry contributes to reducing emissions associated with fossil resources, the use of which leads to the release of fossil carbon and an increase in atmospheric CO₂, accelerating climate change.

Plant-based chemistry can be a powerful lever to reduce dependence on fossil resources and can help decrease the carbon emissions impact of products from the chemical industry. Promoting plant-based chemistry means helping to replace carbon from fossil resources with carbon captured from the atmosphere by plants, which can contribute to the fight against climate change. The amount of carbon contained in bio-based products from plant-based chemistry in France is equivalent to nearly 1.5 million tons of CO₂ (1.5 MtCO₂) captured annually. This represents the carbon content of approximately 475,000 to 500,000 tons of avoided equivalent petroleum.



The bio-based sector, which benefits from significant investments in R&D and production capacity, is experiencing sustained growth in France, driven by numerous strengths (leading industrial players in Europe, a dynamic network of startups and SMEs, biomass availability, and a cutting-edge research and innovation ecosystem). With this economic and technological acceleration, plant-based chemistry will strengthen downstream sectors in their decarbonization journey while contributing to their sovereignty. Its often positive contribution to the climate challenge will only increase, making bio-based products effective tools for ecological transition. The Plant-Based Chemistry Association and its members are fully committed to this cause.

DÉFINITIONS

CARBONE CAPTÉ

Dans cette note, le terme "capté" est utilisé pour faire référence au carbone (présent sous forme de CO_2 dans l'atmosphère) contenu dans la biomasse puis dans le produit biosourcé. Le carbone ainsi capté correspond à un stockage temporaire de carbone, le temps de la durée d'usage du produit.

EMPREINTE CARBONE PRODUIT (ECP)

L'empreinte carbone d'un produit est, selon la norme ISO 14067, la somme des émissions et des captations de gaz à effet de serre (GES), parmi lesquels le protoxyde d'azote (N_2O), le méthane (CH_4) et le dioxyde de carbone (CO_2) relatives à la fabrication d'un produit exprimée en équivalent CO_2 et fondée sur une analyse du cycle de vie prenant pour seule catégorie d'impact le changement climatique³. A noter que la présente note se focalise uniquement sur les flux de CO_2 .

EQUIVALENT CO_2 (NOTÉ EQ CO_2)

Dans cette note de position, « équivalent CO_2 » signifie la quantité théorique de CO_2 qui a été initialement captée par la plante lors du processus de photosynthèse et qui reste dans le produit.

A ne pas confondre avec l'émission de CO_2 équivalent (ou CO_2 eq) qui est définie par le GIEC comme « la quantité émise de dioxyde de carbone (CO_2) qui provoquerait le même forçage radiatif intégré, pour un horizon temporel donné, qu'une quantité émise d'un seul ou de plusieurs gaz à effet de serre (GES) ».

NEUTRALITÉ CARBONE

Dans cette note, nous utilisons le terme « neutralité carbone » au sens de l'ADEME. Selon l'ADEME, « La neutralité carbone / vise à contrebalancer, à l'échelle du globe, toute émission de gaz à effet de serre (GES) issue de l'activité humaine par des séquestrations de quantités équivalentes de CO_2 , c'est-à-dire leur maintien en dehors de l'atmosphère sur le long terme. En d'autres mots, il s'agit de séquestrer autant de carbone que nous en émettons de manière à stabiliser son niveau de concentration dans l'atmosphère et limiter ainsi l'augmentation de la température globale de la planète⁴. ».

PRODUITS BIOSOURCÉS

D'après les standards européens et la norme EN 1675 : 2014, le terme biosourcé signifie « dérivé de biomasse ». De ce fait, on désigne par produits biosourcés les produits issus partiellement ou totalement de la biomasse (ressources végétales ou animales) qui est renouvelable. Les produits biosourcés peuvent être obtenus à partir de procédés physico-chimiques classiques et/ou de procédés biotechnologiques.

PRODUITS PÉTROSOURCÉS

A l'opposé des produits biosourcés qui valorisent la biomasse qui est renouvelable, les produits pétrosourcés sont issus exclusivement de ressources fossiles, non renouvelables.

DÉCARBONATION

La décarbonation correspond à l'ensemble des mesures et techniques permettant à un secteur d'économie ou une entité (Etat, entreprise, etc.) de réduire ses émissions de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 principalement) afin de limiter l'impact sur le climat.

CARBONE BIOGÉNIQUE, CO_2 BIOGÉNIQUE

Le carbone biogénique est le carbone contenu dans la biomasse. Il est issu du CO_2 de l'atmosphère fixé par la plante pendant sa croissance lors du processus de photosynthèse. Par extension ce CO_2 est appelé CO_2 biogénique.

CARBONE FOSSILE

Le carbone fossile est le carbone contenu dans les ressources naturelles de la croûte terrestre (lithosphère) comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel.





TABLE DES MATIÈRES

I. INTRODUCTION	5
II. LA CHIMIE DU VÉGÉTAL AU SERVICE DE LA NEUTRALITÉ CARBONE	7
1. Présentation de la chimie du végétal	7
2. Le carbone biogénique, un atout face au changement climatique	
3. Le bénéfice lié au carbone biogénique dans les filières aval est sous-valorisé	7
III. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR LA QUANTIFICATION DU CARBONE BIOGÉNIQUE DANS LES PRODUITS BIOSOURCÉS FABRIQUÉS EN FRANCE	10
1. Approche et hypothèses considérées	10
2. Périmètre des produits analysés et source des données	7
IV. RÉSULTATS DE LA QUANTIFICATION	13
1. Quantification du CO ₂ capté par type de produits au niveau européen	13
2. Résultat global au niveau français	14
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	16
ANNEXE 1 : DÉTAILS DU CALCUL DE CO₂ BIOGÉNIQUE CONTENU DANS LES PRODUITS BIOSOURCÉS EN FRANCE	18
ANNEXE 2 : AUTRES BÉNÉFICES DE LA CHIMIE DU VÉGÉTAL	26

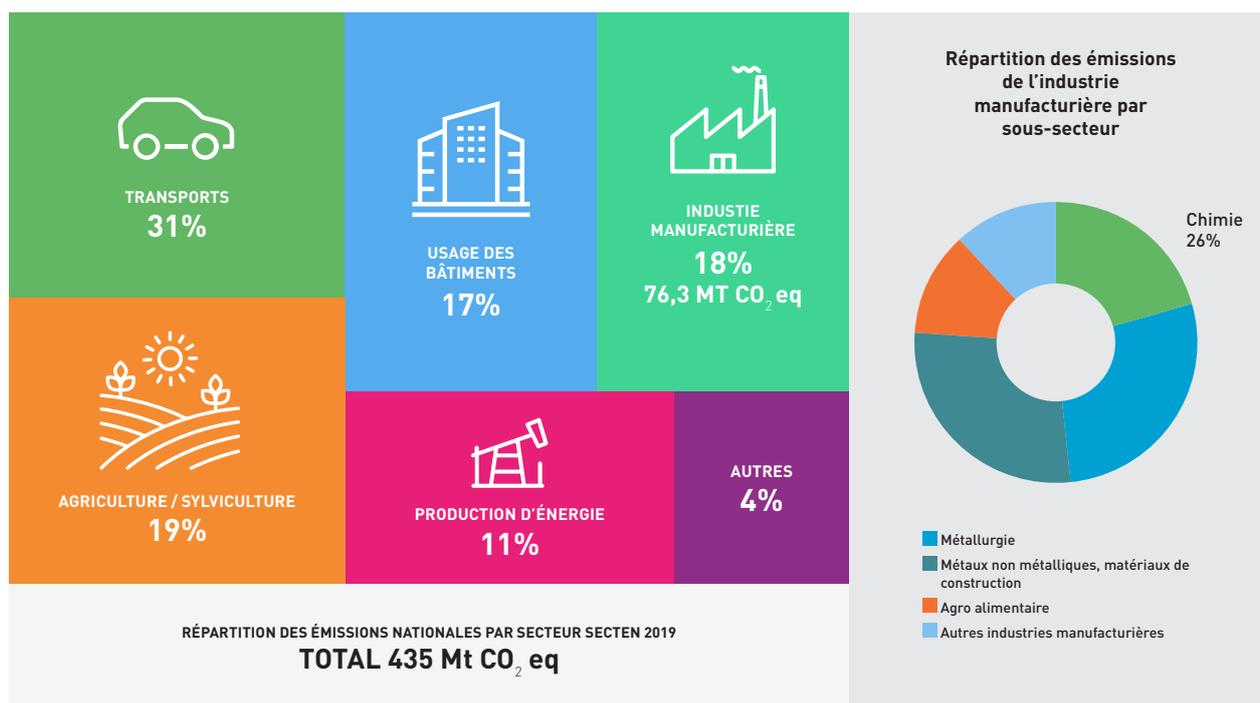
I. INTRODUCTION



A l'occasion de la publication en 2021 du paquet législatif «Fit for 55», la Commission Européenne a placé l'Union Européenne sur la voie de la neutralité climatique⁵ à l'horizon 2050.

Introduite par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'en 2050⁶ déclinée par secteurs (transports, bâtiment, agriculture, industrie, énergie).

En 2019, l'industrie manufacturière était le troisième secteur le plus émetteur au niveau national, avec 18 % des émissions⁷.



La chimie représentant 26% de ces 18%, elle émet au total environ 20Mt CO₂eq⁷ (soit moins de 5 % des émissions nationales). Sa décarbonation revêt donc un enjeu stratégique pour l'ensemble de l'économie française car elle est à la base de nombreuses industries et filières aval. L'industrie de la chimie en France anticipe une réduction de ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 26% en 2030 par rapport à 2015⁸ soit 5,7 MtCO₂eq (à production constante). Pour atteindre cet objectif, la chimie, comme les autres industries, s'appuiera sur l'amélioration de ses procédés de fabrication pour les rendre encore plus efficaces, moins consommateurs d'énergie et moins émetteurs de gaz à effet de serre. **Un autre levier majeur et spécifique, réside dans la diminution de l'empreinte carbone de ses matières premières.** Le carbone étant aujourd'hui un élément indispensable et non substituable dans les produits et matériaux, **l'enjeu consiste donc à défossiliser les ressources**, c'est-à-dire à **utiliser des intrants non-fossiles**.

La chimie du végétal, qui repose sur l'utilisation de matières premières issues de la biomasse, **répond à cet enjeu**.

En effet, grâce à la photosynthèse, les végétaux captent le CO₂ de l'atmosphère et le transforment en matière organique : biomasse. C'est cette biomasse que la chimie du végétal valorise en alternative aux ressources fossiles, permettant ainsi la fabrication de produits et matériaux biosourcés à **l'empreinte carbone très souvent réduite** par rapport à leur équivalent fossile.

Cette note se propose de **quantifier ce captage du CO₂ spécifique aux produits biosourcés** qui constitue un bénéfice indéniable au regard des enjeux liés au changement climatique.

Le périmètre de l'étude concerne l'ensemble des produits issus de la chimie du végétal fabriqués en France hors biocarburants, produits alimentaires et pharmaceutiques⁹.



II. LA CHIMIE DU VÉGÉTAL AU SERVICE DE LA NEUTRALITÉ CARBONE

1. Présentation de la chimie du végétal



La chimie du végétal désigne les activités industrielles qui utilisent les ressources végétales souvent en alternative aux ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon) pour la fabrication d'ingrédients, de matériaux et de produits finis, dits « biosourcés ».

ORIGINE DE LA BIOMASSE

La chimie du végétal utilise des sources variées de biomasse végétale : oléo-protéagineux (colza, tournesol, ...), plantes amidonnées (maïs, blé, pommes de terre...) et sucrières (betterave, ...), plantes à fibres (lin, chanvre), microalgues et macroalgues, ressources sylvicoles (forêt, bois), plantes herbacées pérennes, co-produits ou déchets issus de la transformation de la biomasse.

TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE

La valorisation de la biomasse végétale dans la chimie implique différents procédés (ceux-ci pouvant d'ailleurs être combinés) :

- Des procédés physico-chimiques et thermiques classiques de transformation de la biomasse (fractionnement, ...)
- Des réactions chimiques classiques
- Des procédés de biotechnologies industrielles (fermentation bactérienne ou de levure, réaction enzymatique)

MARCHÉS

Les marchés applicatifs de la chimie du végétal sont variés : les produits biosourcés sont en effet utilisés dans un large éventail d'applications et de domaines ; on peut citer entre autres et de manière non exhaustive : textiles et matériaux, plastiques, produits chimiques, peintures, encres, lubrifiants, cosmétiques et produits d'hygiène, transports et énergie¹⁰.

2. Le carbone biogénique, un atout face au changement climatique

Depuis l'ère industrielle, les activités humaines entraînent des répercussions sur le cycle naturel du carbone en augmentant la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'atmosphère¹¹ cause du réchauffement climatique.

La combustion ainsi que la décomposition de produits contenant du carbone émettent du CO₂ dans l'atmosphère. Qu'il soit d'origine biogénique ou fossile, le CO₂ agit de la même façon sur l'effet de serre¹².

Cependant, il existe des différences majeures entre CO₂ biogénique et CO₂ fossile :

- L'origine du gisement de provenance de ce CO₂ : atmosphérique pour le CO₂ biogénique et réservoirs géologiques pour le CO₂ fossile

Le CO₂ biogénique correspond au carbone issu du végétal ; c'est le CO₂ capté de l'atmosphère par la plante lors de sa croissance par le processus de photosynthèse¹³.

Le CO₂ fossile correspond au carbone contenu dans les ressources naturelles extraites de la croûte terrestre (lithosphère) comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel.

- L'échelle temporelle du cycle du carbone considéré : quelques mois à quelques décennies pour le carbone biogénique (échelle de temps humaine), contre plusieurs millions d'années pour le carbone fossile (échelle de temps géologique).

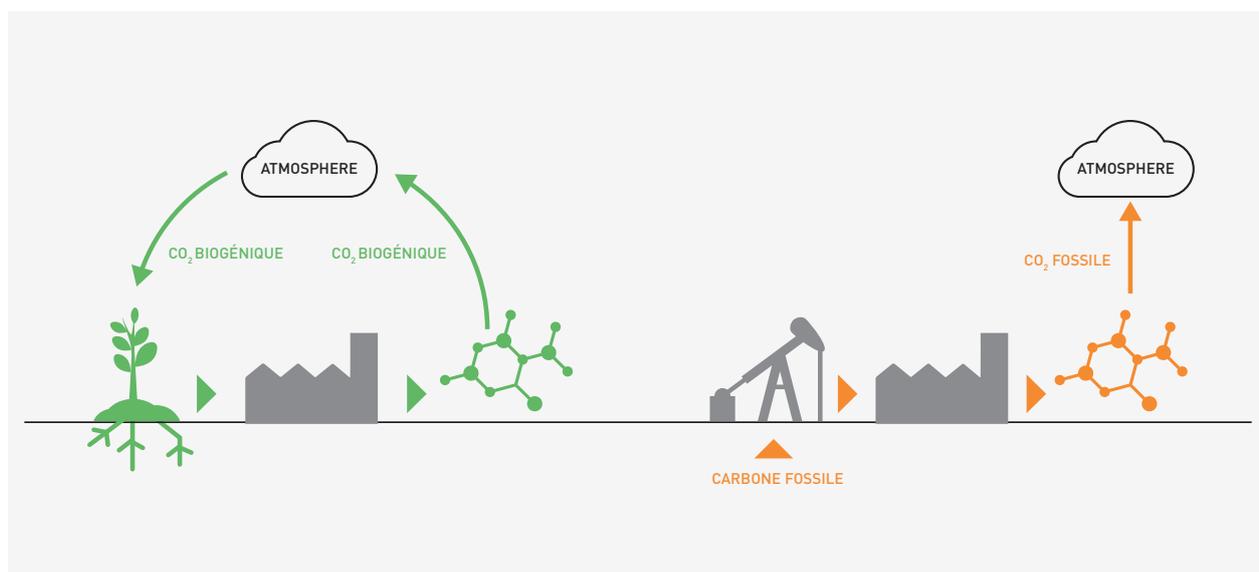


Figure 1 : Illustration de la différence entre le biosourcé faisant intervenir le cycle court du carbone (à gauche) et le pétrosourcé faisant intervenir le cycle long du carbone (à droite)

Ainsi, les produits et matériaux issus de la transformation de la biomasse par la chimie du végétal contiennent du carbone qui était déjà présent dans le système biosphère-atmosphère et qui n'a pas eu besoin d'être extrait de la lithosphère.

Le CO₂ biogénique issu de la combustion des produits biosourcés ne contribue donc pas au changement climatique car il provient de CO₂ capté par la plante lors de sa croissance et, à ce titre, **a un impact compensé par ce prélèvement initial dans l'atmosphère** (neutralisation de l'émission par le captage).

En complément du bénéfice potentiel sur le changement climatique, la chimie du végétal génère d'autres externalités positives, notamment environnementales et sociétales, qui sont présentées en annexe (cf. ANNEXE 2 : Autres bénéfices de la chimie du végétal).

L'utilisation de carbone biogénique contenu dans les produits biosourcés issus de la chimie du végétal permet de réduire d'autant l'utilisation de carbone issu de l'extraction de ressources fossiles.

En cas d'émission en fin de vie, le CO₂ biogénique contenu dans la matière ne contribue pas à l'augmentation de l'effet de serre contrairement au CO₂ fossile (neutralisation de l'émission par le captage).

3. Le bénéfice lié au carbone biogénique dans les filières aval est sous-valorisé

Mis à part dans le secteur du bâtiment où le stockage du carbone biogénique est pris en compte dans les FDES, (déclarations environnementales des produits de construction et de décoration), la spécificité des produits biosourcés liée au caractère renouvelable du carbone est insuffisamment valorisée.

Par exemple, à ce jour, le Product Environmental Footprint (PEF) cité par diverses réglementations européennes¹⁴ ne permet pas une valorisation adéquate du carbone biogénique en masquant l'avantage spécifique des produits biosourcés¹⁵ le long de la chaîne de valeur. Sur cet aspect, l'ACDV est en soutien de l'appel commun rédigé par un collectif de 9 organisations européennes¹⁶ pour une meilleure prise en compte du carbone biogénique dans la méthodologie de Product Environmental Footprint.

D'autres normes ou initiatives (norme ISO 14067 : 2018, guide écrit par Together for sustainability¹⁷ (Tfs), recommandent d'ores et déjà de prendre en compte le CO₂ capté dans l'atmosphère au travers de l'utilisation d'un « crédit biogénique ». Ceci permet de rendre compte de l'avantage spécifique des produits biosourcés (captage du CO₂ atmosphérique) et d'en conserver l'information pour sa transmission le long de la chaîne de valeur, tout en facilitant les calculs d'empreinte carbone produit (ECP) au périmètre de chaque utilisateur (« à la gate »).

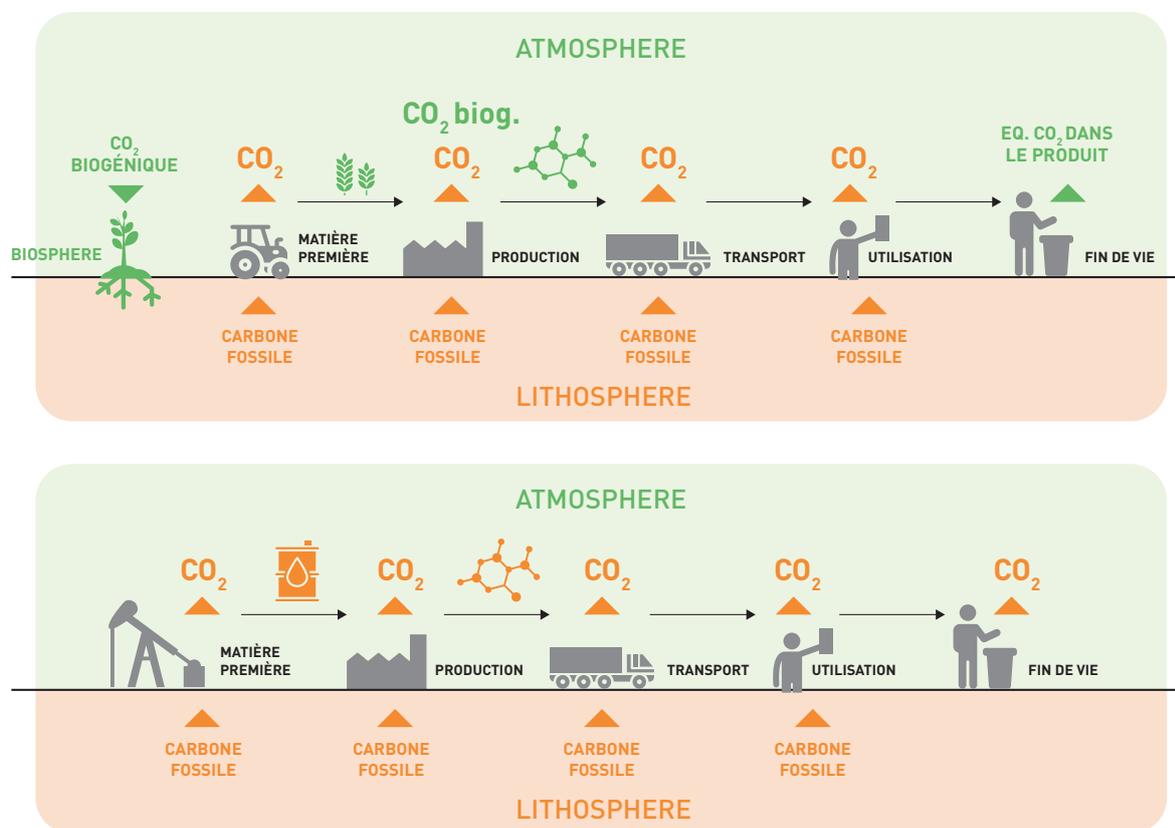


III. APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA QUANTIFICATION DU CARBONE BIOGENIQUE DANS LES PRODUITS BIOSOURCES FABRIQUES EN FRANCE

1. Approche et hypothèses considérées

Le cycle de vie complet d'un produit biosourcé comprend plusieurs étapes de transformations depuis la matière première végétale (blé, maïs, betterave, colza,...) qui a capté une certaine quantité de dioxyde de carbone au cours de sa culture jusqu'au produit fini (voir Figure 2 ci-dessous).

Comparaison des cycles du carbone entre produit biosourcé (haut) et produit pétro-sourcé (bas)

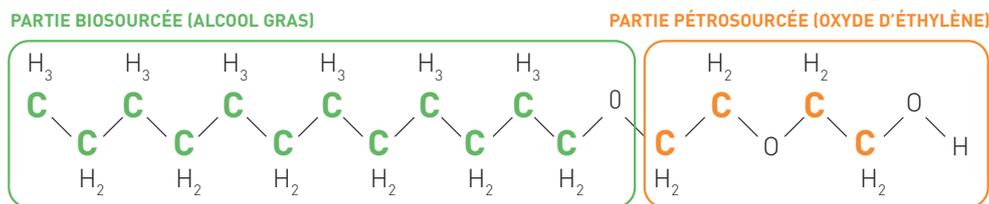


Légende : ▶ Carbone au CO_2 fossile ▶ Carbone au CO_2 biogénique

Figure 2 : Illustration des captages et émissions de CO_2 nets de la chimie du végétal en comparaison de la chimie pétrosourcée. Les flèches en pointillés représentent les différents flux de carbone fossile du cycle de vie du produit qui ne sont pas pris en compte dans ce document. Par ailleurs tous les flux de carbone ne sont pas représentés (respiration de la plante, éventuel stockage carbone au sol, etc.)

Dans cette note, on comptabilise le CO_2 capté équivalent au carbone contenu dans le produit biosourcé¹⁸. Le calcul de cette **teneur en carbone biogénique** dans les produits et matériaux biosourcés se fonde sur la formule chimique (masse molaire et nombre d'atomes de carbone biosourcé) du produit considéré.

Les produits pouvant être totalement ou partiellement biosourcés, la figure 4 illustre le mode de calcul pour un produit partiellement biosourcé.



► 0,53 kg de carbone biosourcé dans 1 kg diethylene glycol monododecyl éther

Ce qui équivaut à 1,93 kg de **dioxyde de carbone capté par la plante initialement** car 1 kg de carbone biosourcé correspond à 3,67 kg de CO₂ capté par la plante

Figure 3 : Schéma explicatif pour le calcul de carbone biogénique capté dans un produit biosourcé. Exemple avec le diethylene glycol monododecyl ether

Le détail du calcul est présenté en annexe 1.

2. Périmètre des produits analysés et source des données

Le périmètre de l'étude (cf Figure 5) **concerne l'ensemble des produits issus de la chimie du végétal fabriqués en France hors biocarburants, produits alimentaires et pharmaceutiques.**

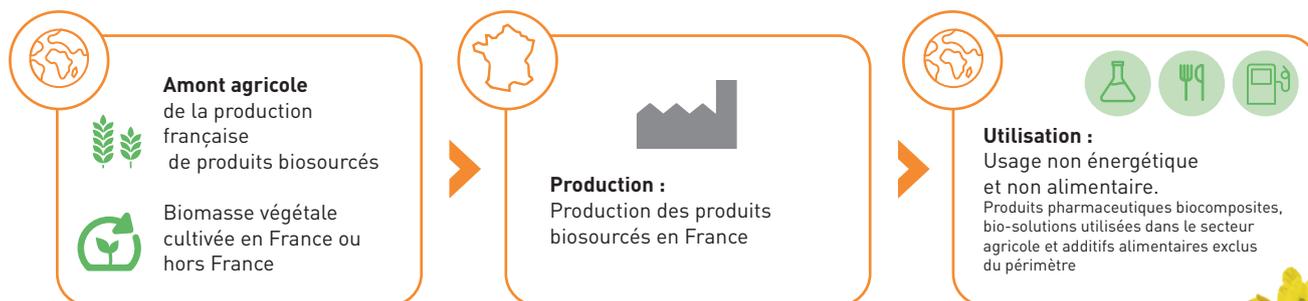


Figure 4 : Périmètre de l'étude¹⁹

En l'absence de base de données spécifiques à la production de molécules biosourcées sur le territoire français, il a été fait recours à des données européennes, à partir desquelles la part de la production française a été estimée.

Les deux études utilisées sont les suivantes :

1

Insights into the European market for bio-based chemicals, JRC, 2019²⁰ :

Ce rapport donne une vision globale et détaillée du secteur biosourcé en Europe, représenté par 10 catégories de produits. Les produits pharmaceutiques et les compléments alimentaires (additifs) sont exclus du périmètre de cette étude²¹.

Une estimation de la production européenne de chaque catégorie de produit est réalisée (basée sur des bases de données statistiques, sur de la bibliographie ou sur des dires d'experts)²².

Sur une liste de 208 produits disponibles à échelle commerciale en Europe (TRL²³>8), 50 produits biosourcés sont identifiés comme représentatifs de ces catégories de produits (sélection par rapport à leur maturité technologique). Leur production annuelle en Europe est renseignée et une analyse de marché détaillée est réalisée²⁴.

2

Bio-based value chains for chemicals, plastics and pharmaceuticals, JRC, 2021²⁵:

Ce rapport scientifique s'intéresse aux parts de marché des produits biosourcés. Les produits biosourcés sont divisés en 3 catégories : produits pharmaceutiques, plastiques et produits chimiques (catégorie retenue ici).

Ces sources ont été précisées et/ou complétées par les membres de l'ACDV lorsqu'ils étaient en mesure de fournir des chiffres de production actualisés (par exemple, Arkema, seul producteur mondial de PA11, fabriquant la totalité de la production européenne de PA11 en France, la part de la production française a été corrigée en conséquence).

IV. RESULTATS DE LA QUANTIFICATION

1. Quantification du CO₂ capté par type de produits au niveau européen

Dans un premier temps, il a été calculé le CO₂ capté par les produits biosourcés en **Europe** en s'appuyant **sur la liste des 50 produits** proposée par le JRC dans son rapport scientifique « Insights into the European market for bio-based chemicals »²⁶. Le CO₂ capté a été calculé à partir de la formule chimique de chaque molécule (masse molaire et nombre d'atomes de carbone biosourcé). En annexe 1 sont présentées plus en détails les hypothèses méthodologiques et les molécules retenues. Le tableau 1 compile l'ensemble des calculs et des résultats.



Catégorie de produits	Production européenne biosourcée (kt/a)	Masse de CO ₂ captée (kt)
Molécules plateformes	181	275
Solvants	75	211
Polymère pour plastique	268	411
Peintures, revêtement, encres et colorants	1002	1619
Surfactant	1500	3524
Cosmétique et produits de soins personnels	558	1281
Adhésifs	237	637
Lubrifiant	237	634
Plastifiants	67	115
Fibres synthétiques	600	1016
Masse de CO₂ totale captée par les produits biosourcés transformés en Europe (en kt/an)		9 722

Tableau 1 : Résultats de calcul du CO₂ capté par les produits biosourcés européens d'après étude JRC 2019

2. Résultat global au niveau français

Dans un deuxième temps, on détermine la part de marché française en comparant la production de la France en produits chimiques biosourcés et en plastiques biosourcés par rapport à la production européenne (cf Tableau 2), qu'on applique au calcul précédent pour quantifier la masse de CO₂ totale captée par les produits biosourcés transformés en France (cf Tableau 3).

	Europe ²⁷	France ²⁸	Parts de marché françaises
Volumes annuels de production de produits chimiques biosourcés	6,4 kt/an	0,6 kt/an	9,40%
Volumes annuels de production de plastiques biosourcés	709 kt/an	195 kt/an	27,5%

Tableau 2 : Calcul des parts de marché françaises des produits chimiques biosourcés et des plastiques biosourcés d'après JRC 2021

Catégorie de produits	Masse de CO ₂ captée par les molécules biosourcées en Europe (kt)	Part de marché appliquée	Masse de CO ₂ captée par les molécules biosourcées produits en France (kt)
Molécules plateformes	275	9,40%	26
Solvants	211	9,40%	20
Polymère pour plastique	411	27,5%	113
Peintures, revêtement, encres et colorants	1 619	9,40%	152
Surfactant	3 524	9,40%	331
Cosmétique et produits de soins personnels	1 281	9,40%	120
Adhésifs	637	9,40%	60
Lubrifiant	634	9,40%	60
Plastifiants	115	27,50%	32
Fibres synthétiques	1 016	27,50% Et 100% pour le PA11	313
Masse de CO₂ totale captée par les produits biosourcés transformés en France (en kt/an)			1226

Tableau 3 : Quantification de la masse de CO₂ captée par les molécules biosourcées produites en France

Ces données ont été complétées par :

- une actualisation de la quantité de CO₂ captée par l'éthanol biosourcé pour les usages considérés dans l'étude, à savoir hors biocarburants, industrie alimentaire et pharmaceutique (estimée à partir d'une source bibliographique donnant les valeurs spécifiques pour la France²⁹),
- les données relatives à la production d'ester gras et de polyol produites par un membre de l'ACDV (100kt d'équivalent CO₂ (non prise en compte dans les deux sources du JRC)).
- La part de la production française de PA11 a été corrigée : Arkema, seul producteur mondial de PA11, fabrique la totalité de la production européenne de PA11 en France.

Au final, la quantification de la masse de CO₂ totale captée par les produits biosourcés transformés en France est donc estimée à près de 1,5 Mt CO₂eq/an (tous les chiffres détaillés figurent en Annexe 1).

Au périmètre français, le carbone contenu dans les produits biosourcés issus de la chimie du végétal permet de réduire l'utilisation de carbone fossile équivalent à environ 1,5 Mt CO₂ par an

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En utilisant des matières premières renouvelables, le carbone contenu dans les produits biosourcés contribue à réduire la demande en carbone fossile et les émissions de gaz à effet de serre associées. Les produits biosourcés constituent ainsi un levier pour la transition écologique et la neutralité carbone.

La quantité de carbone contenu dans les produits biosourcés issus de la chimie du végétal en France équivaut à près 1,5 millions de tonnes de CO₂ (1,5 MtCO₂) capté par an. Cela représente environ 475 000 tonnes équivalent pétrole évitées³⁰.

En proposant des produits à l’empreinte carbone généralement réduite par rapport aux produits pétrosourcés, **la chimie du végétal renforce les filières aval dans leur trajectoire de décarbonation, contribue à leur souveraineté et représente un relais de croissance.** La chimie du végétal répond ainsi à un double impératif : environnemental en permettant une défossilisation de l’industrie chimique, et économique en apportant des leviers de réindustrialisation et de souveraineté économique. Une meilleure prise en compte du bénéfice sur le changement climatique des produits biosourcés lié au captage du carbone biogénique et plus largement des externalités positives de la filière doit être défendue pour valoriser à sa juste hauteur sa contribution et appuyer son développement. Cette note devrait y contribuer.

L’industrie chimique française qui représente 26% des émissions totales de l’industrie³¹, anticipe une réduction de ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 26% en 2030 par rapport à 2015³² soit une réduction de 5,7 MtCO₂eq. **L’utilisation de carbone biogénique en alternative à l’utilisation de carbone fossile est donc un levier efficace de l’industrie chimique pour atteindre cet objectif.** A titre de comparaison, les Etats-Unis qui pratiquent un programme de soutien public au développement local des produits biosourcés (Programme fédéral « Biopreferred »), estiment ainsi avoir réduit leurs émissions de CO₂ de près de 13 millions de tonnes par an.

La part du biosourcé étant encore relativement faible (4,9% en France³³ et 3% en Europe en volume de production³⁴), **la chimie du végétal dispose donc d’une marge de progression importante.** L’importance des investissements pour l’industrialisation des procédés et l’augmentation des capacités de production dans ce domaine illustrent une accélération économique et technologique, qui va favoriser la transition vers une économie plus durable, résiliente et innovante.



ANNEXE 1 :

DÉTAILS DU CALCUL DE CO₂ BIOGÉNIQUE CONTENU DANS LES PRODUITS BIOSOURCÉS EN FRANCE

Méthodologie de calcul du CO₂ contenu dans une molécule biosourcée

Exemple avec l'acide lactique :



INFORMATIONS LIÉES À LA MOLÉCULE BIOSOURCÉE, L'ACIDE LACTIQUE :

Masse molaire de l'acide lactique = 90 g/mol

Formule brute = C₃H₆O₃

Nombre de carbones biosourcés = 3



CALCUL DE LA MASSE DE CARBONES BIOSOURCÉS DANS LA MOLÉCULE :

m carbones biosourcés = nb_C * M[C] / M(acide lactique) = 3 * 12 / 90
= **0,4 kt C biosourcé/kt acide lactique**



CHAQUE ATOME DE CARBONE BIOSOURCÉ CORRESPOND À UNE MOLÉCULE DE CO₂ CAPTÉE PAR LA PLANTE :

m CO₂ capté par kt d'acide lactique = m carbone biosourcé * M[CO₂] / M[C]
= **0,4 * 44 / 12 = 1,47 kt CO₂ / kt d'acide lactique**



Détails méthodologiques liés à la quantification du CO₂ capté

Lorsque le produit biosourcé considéré correspond à **une classe de molécules** (par exemple les esters méthyliques d'acide gras), **une molécule jugée représentative de cette classe** est choisie, comme présenté ci-dessous :

Produit	Molécule choisie pour représenter ce produit
Térébenthine	Alpha pinene
PHA (polyhydroxyalcanoate)	P3HB (The poly-3-hydroxybutyrate)
Glycolipides	Rhamnolipides
Esterquats	Dioleoyl-3-trimethylammonium propane (DOTAP)
Sophorolipides	Acide stéarique + saccharose avec retrait d'un H2O
APG	Lauryl glucoside
Alcools gras ethoxylés	diethylene glycol monododecyl ether
Methacylates	Acide méthacrylique
Tall oil rosin	Acide résinique (en particulier, l'acide abiétique)
Tall oil fatty acids	Acide oléique
FAME	Oléate de méthyle
Ester d'acide gras PEG	Polyoxyethylene dioleate
Rayon	Cellulose

Lorsque le produit n'est que **partiellement biosourcé (l'autre partie étant pétrosourcée)**, **seule la partie biosourcée est prise en compte** (sur la base du nombre de carbones biosourcés). C'est le cas pour les molécules suivantes :

Produits	Composition
Alkyd resins	Polyol (glycérine) + Polyacide (acide phtalique) + acide gras (acide palmitique) + stoppeur de chaîne (acide benzoïque) Le stoppeur de chaîne est négligé. La glycérine et l'acide palmitique sont biosourcés, l'acide phtalique est pétrosourcé.
Alcool gras éthoxylés	Choix de l'alcool gras ethoxylé : le diethylene glycol monododecyl ether. Ethoxylation entre 2 oxydes d'éthylène et un alcool gras (le 1-dodecanol) : seul l'alcool gras est d'origine naturelle.
Résines époxy	Bisphenol A diglycidyl ether (BADGE), composé de bisphénol A (pétrosourcé) et d'épichlorohydrine (biosourcé)
Ester d'acide gras PEG	Exemple sur le Polyoxyethylene dioleate. Ethoxylation entre 2 oléates et 1 oxyde d'éthylène. Seuls les 2 oléates sont d'origine naturelle.
Rayon	Réaction entre la cellulose et un composé qui peut être soit pétrosourcé, soit biosourcé. Seule la cellulose est considérée comme biosourcée, dans une approche conservatrice.
Polyamide 4,10	Polycondensation entre l'acide sébacique et le diaminobutane : seul l'acide sébacique (dérivée d'huile de ricin) est d'origine naturelle. L'acide sébacique constitue 70% du polymère. ³⁵

Table 1: Calcul de la masse de CO₂ contenue dans les produits biosourcés transformés en Europe puis en France.

Product category	Source : JRC 2019	Source : JRC 2019		Calcul	Source : PubChem			Calcul				
	EU-bio-based production (kt/a)	Product	EU-bio-based production (kt/a)	% of production	Chemical formula	Number of bio-based carbon	Molar mass (g/mol)	Fictional volume production (kt/a)	CO ₂ storage by the bio-based product in EUROPE (kt)	Market share applied	CO ₂ storage by the bio-based product in FRANCE (kt)	
Platform chemicals	181	Ethylene	0	0%				0		9,40%	0	
		Ethylene glycol	0	0%				0		9,40%	0	
		1,2-propanediol	20	12%		C3H8O2	3	76,1	22,21	39	9,40%	3,62
		1,3-propanediol	8	5%		C3H8O2	3	76,1	8,88	15	9,40%	1,45
		Acetic acid	24,5	15%		CH ₃ COOH	2	60,05	27,21	40	9,40%	3,75
		Acetic anhydride	10	6%		C4H6O3	4	102,09	11,1	19	9,40%	1,8
		Sabacic acid	0	0%					0		9,40%	0
		lactic acid	64,5	40%		C3H6O3	3	90,08	71,62	105	9,40%	9,87
Solvents	75	Epichlorohydrin	36	22%		C3H5ClO	3	92,52	39,98	57	9,40%	5,36
		Butanol	0	0%				0		9,40%	0	
		Ethyl acetate	36	34%		C4H8O2	4	88,11	25,47	51	9,40%	4,78
		Ethyl lactate	0	0%		C5H10O3	5	118,13	0	-	9,40%	0
		Acetone	0	0%					0		9,40%	0
Polymers for plastics	268	Wood turpentine	70	66%		C10H16	10	136,24	49,53	160	9,40%	15,04
		PE	0	0%				0		27,50%	0	
		PET	0	0%				0		27,50%	0	
		PHA	2	1%		[C4H5O2] _n	4	93	3,86	7	27,50%	2,01
		PLA	7	5%		[C3H4O2] _n	3	78	13,5	23	27,50%	6,28
Paints, coating, inks and dyes	1002	Starch used for plastic	130	94%		C6H10O5	6	174	250,65	380	27,50%	104,62
		Ricinoleic acid	0	0%				0		9,40%	0	
		PUR	39	8%		C3H8N2O	3	88,11	82,97	124	9,40%	11,69
Surfactant	1500	Alkyd resins	432	92%		C3H8O3 + C8H6O4 (pétro) + C16H32O2	19	514	919,03	1 495	9,40%	140,54
		Glycolipids	10	4%		C32H58O13	32	650,8	56,6	122	9,40%	11,51
		Esterquats	130	49%		C42H80NO4Cl	42	698,56	735,85	1 947	9,40%	183,03
		Sophorolipids	50	19%		CH3(CH2)16COOH + C12H22O11	30	626,78	283,02	596	9,40%	56,04
		APG	50	19%		C18H36O6	18	348,48	283,02	643	9,40%	60,48
Cosmetics and personal care products	558	Carboxy methyl starch	25	9%		C10H19NaO8	10	290,24	141,51	215	9,40%	20,17
		Limonene	4	1%		C10H16	10	136,24	4,56	15	9,40%	1,38
		Lauryl Alcohol	100	20%		C12H26O	12	186,34	113,99	323	9,40%	30,37
		Stearic alcohol	100	20%		C18H38O	18	270,49	113,99	334	9,40%	31,38
		Vanillin	1,5	0%					1,71		9,40%	0
		Xanthan	44	9%		C35H49O29	35	933,75	50,16	83	9,40%	7,78
		Ethoxylated fatty alcohols	240	49%		C16H34O3	12	274,44	273,59	526	9,40%	49,49
Adhesives	237	N-acetyl glucosamine	0	0%			8	221,21	0		9,40%	0
		Methacrylates	10	5%		[C5H8O2] _n	5	100,12	12,15	27	9,40%	2,51
		Furfuryl alcohol	40	21%		C5H6O2	5	98,1	48,62	109	9,40%	10,25
		Epoxy resins	4	2%		[C18H21O3] _n	6	285	4,86	2	9,40%	0,21
Lubricants	237	Tall oil rosin	141	72%		C19H29COOH	20	302,46	171,37	499	9,40%	46,88
		Alkanes (iso-)	0	0%					0		9,40%	0
		Tall oil fatty acids	2	1%		C18H34O2	18	282,47	2,82	8	9,40%	0,74
		FAME (e.g : methyl palmitate)	116	69%		C19H36O2	16	296,5	163,64	437	9,40%	41,1
Plasticisers	67	Fatty acid PEG ester (e.g polyoxyethylene oleate)	50	30%		C38H70O4	36	591	70,54	189	9,40%	17,77
		Azelaic acid	13	36%		C9H16O4	9	188,22	24,19	51	27,50%	14
		Succinic acid	23	64%		C4H6O4	4	118,09	42,81	64	27,50%	17,55
Man-made fibres	600	ESBO	0	0%				0		27,50%	0	
		PTT	0	0%						27,50%	0	
		Rayon	600	76%		[C6H10O5] _n	6	162,14	456,27	743	27,50%	204,37
		Polyamide 11	23	3%		[NHC10H20CO] _n	11	183	23*	46	100%*	46,27
		Polyamide 4,10	1	0,10%		70% C10H16O2 30% C4H12N2	10	168,02	0,76	2	27,50%	0,55
Cellulose acetate	165	21%		C10H14O7	10	246	125,48	224	27,50%	61,74		
Masse de CO₂ totale stockée par les produits biosourcés transformés en EUROPE (en kt) :									9 722			
Masse de CO₂ totale stockée par les produits biosourcés transformés en FRANCE (en kt) :									1 226			

*Market share corrected by Arkema

Explication du tableau de calcul

La deuxième colonne « EU bio-based production » correspond à la production estimée de produits biosourcés en Europe pour chaque catégorie de produit.³⁶

Pour chaque catégorie de produit, JRC a sélectionné quelques molécules que le JRC juge représentatives (en fonction de la maturité de la technologie entre autres)³⁷. Cette liste de molécules correspond à la 3^{ème} colonne et les volumes de production associés sont dans la 4^{ème} colonne.

Dans une même catégorie de produit, il y a d'importantes différences de volume de production entre les molécules : par exemple, dans la catégorie de produit « Platform chemical », le volume de production de propanediol biosourcé (PDO) est de 8kt alors que celui de l'acide lactique biosourcé est de 64,5 kt, soit 8 fois plus que le PDO.

Pour prendre en compte ces différences, la part de production des molécules dans chaque catégorie de produit a été calculée (5^{ème} colonne).

Ensuite, cette part a été appliquée au volume de production total de la catégorie de produit (colonne 9).

Par exemple, dans la catégorie « platform chemical », au total, 181 kt de produits sont produits. Les JRC a sélectionné 9 molécules pour cette catégorie. Ces 9 molécules représentent 163 kt des 180kt. Prenons exemple sur l'acide lactique biosourcé : la part de production de l'acide lactique biosourcé est donc de 64,5/163, soit 40%. En appliquant cette part de production au 181kt de molécules plateformes biosourcées, on trouve un volume de production fictif de 71,6 kt.

Ces volumes de production pour chaque molécule sont ensuite convertis en équivalents CO₂ par stœchiométrie (nombre_carbones_biosourcés * masse_molaire_CO₂ * volume_production_moléculeA / masse_molaire_moléculeA) en colonne 10.

Enfin, les parts de marché des produits chimiques biosourcés français et des plastiques biosourcés français sont appliquées à la masse de CO₂ captée par les produits biosourcés en Europe pour obtenir la masse de CO₂ captée par les produits biosourcés en France.

Il existe deux catégories pour lesquelles la somme des quantités (4^{ème} colonne) des produits listés est supérieure à la quantité totale (2^{ème} colonne) de la catégorie : la catégorie « Solvants » et la catégorie « Man-made fibers ». Pour les solvants cela s'explique par le fait que les 70 kt de térébenthine ne sont pas utilisés pour produire uniquement des solvants, c'est-à-dire pourquoi, la somme des volumes des produits de la catégorie solvants est supérieure à l'estimation de volume de production des solvants biosourcés en Europe. Pour la catégorie « Man-made fibers » la somme des produits est égale à 600+23+1+165 = 789kt, ce qui est supérieur à 600kt de la catégorie. Aucune explication à cette différence n'a été trouvée dans le document du JRC, 2019. Le calcul est donc basé sur le total des 600kt et chaque produit a été ramené à une « valeur fictionnelle de production » (colonne 9) selon le même calcul que détaillé précédemment. Le calcul est donc basé sur le total des 600kt et chaque produit a été ramené à une « valeur fictionnelle de production » (colonne 9) selon le même calcul que détaillé précédemment.

Cependant, les quantités d'éthanol et d'ester gras semblent sous estimées dans l'étude du JRC



Les quantités d'**éthanol** produites ont donc été rajoutées et estimées à partir de l'**étude de l'ADEME (2015)** (éthanol, hors biocarburant et application alimentaire). D'après cette étude, environ 90kt d'éthanol biosourcé serait produit en France chaque année³⁸. L'étude du JRC prend en compte des molécules dérivées de l'éthanol : l'éthylène, l'éthylène glycol, l'acide acétique et l'acétique anhydride. Pour éviter un double comptage, le volume de production de ces 4 molécules (34,5 kt) multiplié par la part de marché de produits biosourcés de la France en Europe (9,4%) (soit 3,2 kt) a été soustrait au volume total de production d'éthanol biosourcé français (90 kt). Ce qui donne un total de **86,8 kt d'éthanol biosourcé en France**.

Pour les **esters gras**, des **membres de l'Association de la Chimie du Végétal ont communiqué les volumes de production de leurs produits**. Ils sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous.

Source	Produit	Vo-lume (kt/a)	Formule brute	Nombre de carbone biosourcé	Masse molaire (g/mol)	Masse de CO ₂ captée par le produit (kt/a)
ADEME, "Marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030", 2015	Ethanol	86,8	C ₂ H ₆ O	2	46,07	166
Membre de l'ACDV	Glycérine raffinée	40	C ₃ H ₈ O ₃	3	92	57
Membre de l'ACDV	Triméthylolpropane trioléate	7,5	C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆	54	927	19
Membre de l'ACDV	Sorbitan monooléate	4,5	C ₂₄ H ₄₄ O ₆	24	428	11
Membre de l'ACDV	2-Ethyl hexyl oleate	2,5	C ₂₆ H ₅₀ O ₂	18	394	5
Membre de l'ACDV	Glyceryl monooléate	1,4	C ₂₁ H ₄₀ O ₄	21	356	4
Membre de l'ACDV	Pentaerythritol tetraoléate	0,8	C ₇₇ H ₁₄₀ O ₈	77	1194	2
Membre de l'ACDV	Sorbitan monolaurate	0,75	C ₁₈ H ₃₄ O ₆	18	346	2
Masse totale de CO₂ captée par l'éthanol et les esters gras biosourcés en France (en kt)						266

Table 2 : Calcul de la masse de CO₂ captée par l'éthanol et les esters gras biosourcés transformés en France

En additionnant la masse de CO₂ captée par les produits issus de la chimie du végétal calculée à partir de l'étude du JRC (1226kt) avec la masse de CO₂ stockée par l'éthanol et les esters gras biosourcés français, la masse de CO₂ captée par les produits français issus de la chimie de végétal est estimée à 1,5 millions de tonnes par an.

Limites de calcul

Le JRC semble également sous-estimer la quantité de glycérine même si certaines molécules dérivées de la glycérine sont prises en compte (PDO, propylène glycol, alkyd resin). Un membre de l'ACDV a communiqué ses volumes de production de glycérine mais ce volume ne couvre probablement pas l'intégralité de la production française. De même, le JRC semble sous-estimer les composés issus d'amidon (par exemple, le sorbitol). Celui-ci a été pris en compte à travers le volume d'esters gras produits par un membre de l'ACDV et à travers certaines molécules plateformes mais ce volume ne couvre probablement pas l'intégralité de la production française.

ANNEXE 2 : AUTRES BÉNÉFICES DE LA CHIMIE DU VÉGÉTAL

La présente étude s'est limitée à la mesure et à la quantification du bénéfice sur le changement climatique. Or la chimie du végétal génère d'autres « externalités positives » qu'il convient de rappeler.

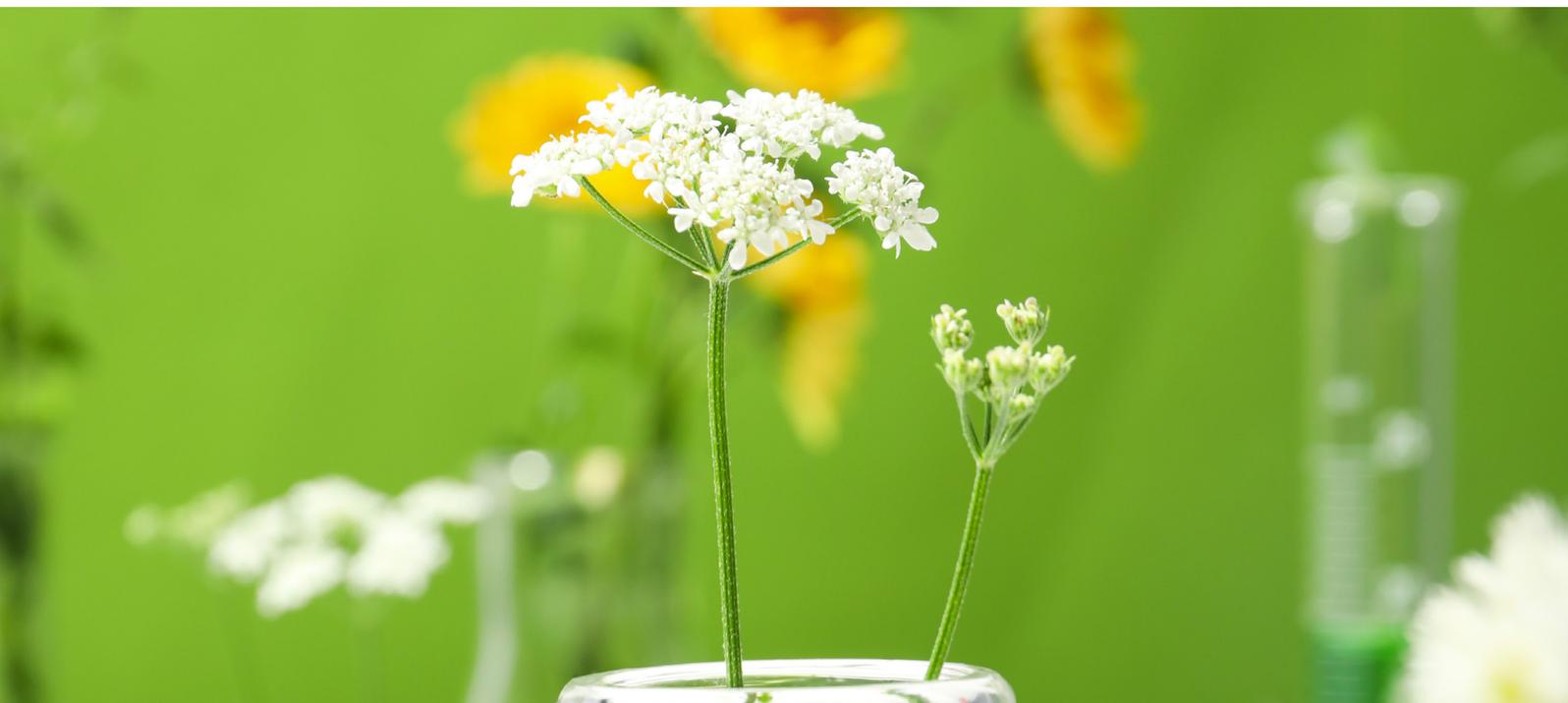
Le développement en France de la filière des produits biosourcés permet notamment de :

- **Réindustrialiser des territoires** par une transition vers des activités industrielles nouvelles
- **Réduire la dépendance** aux matières fossiles et rééquilibrer notre balance commerciale
- **Créer des emplois** : La filière industrielle des produits biosourcés représente aujourd'hui 165 000 emplois directs et indirects en France³⁹. Il s'agit d'emplois très qualifiés, enracinés au sein des territoires et difficilement délocalisables. Ces atouts placent clairement cette filière du côté de celles qui permettront la réindustrialisation du pays.
- **Sécuriser les revenus des agriculteurs et sylviculteurs nationaux**, par un accroissement de la demande industrielle de matières premières végétales françaises pour fabriquer des produits biosourcés et par le développement de la production nationale de biomasses (agricole, forestière, et algale notamment) compétitives et durables ;
- **Valoriser la recherche française dans de nombreuses disciplines** (chimie organique, biologie moléculaire, biotechnologies industrielles, fermentation, génie des procédés) et développer en cascade d'autres secteurs en fournissant matières premières et matériaux innovants et différenciants valorisant de nouvelles fonctionnalités chimiques.

Les produits biosourcés mettent en œuvre, via leur contenu carbone, un CO₂ circulaire par nature : en réduisant le recours aux matières premières fossiles, ils constituent un levier possible d'éco-conception.

La filière des produits biosourcés s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire en développant des produits utilisant des matières premières renouvelables.

- **En début du cycle de vie**, le recours à des matières premières d'origine végétale contribue à la réduction de l'exploitation des ressources fossiles et optimise la valorisation des produits agricoles en utilisant déchets et co-produits de l'agriculture et de l'industrie (concept de bioraffinerie) ;
- **En fin de cycle de vie**, les produits issus de la chimie du végétal et des biotechnologies industrielles peuvent être, exactement de la même manière que leurs homologues issus d'autres chimies, recyclables, ré-utilisables, et/ou compostables. Tout est question d'usages, de formes (solide/ liquide) du produit fini et de filière de recyclage établi.



NOTES DE BAS DE PAGE

- 1 A production constante. Source Conseil national de l'industrie, Feuille de route de décarbonation de la filière chimie. https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/csf/chimie-et-materiaux/feuille_de_route_de_decarbonation_de_la_filiere_chimie.pdf. Une version actualisée de la feuille de route prévoit une baisse de -36% entre 2015 et 2030, soit -7,9 Mtéq.CO2/an.
- 2 Le terme "capté" est utilisé pour faire référence au carbone (présent sous forme de CO2 dans l'atmosphère) contenu dans la biomasse puis dans le produit biosourcé. Le carbone ainsi capté correspond à un stockage temporaire de carbone, le temps de la durée d'usage du produit.
- 3 NF EN ISO 14067_2018_Gaz à effet de serres- Empreinte carbone des produits - Exigences et lignes directrices pour la quantification (p18).
- 4 L'ADEME, Les avis de l'ADEME : la neutralité carbone, 07/2021.
- 5 La neutralité climatique, au sens de la commission Européenne, est l'équilibre de toutes les émissions de gaz à effet de serre avec leurs captations/séquestrations sur le territoire européen.
- 6 Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) – « La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone - Synthèse ». 2020.
- 7 Source: CITEPA, Rapport national d'inventaire format Secten, édition 2022.
- 8 Conseil national de l'industrie, Feuille de route de décarbonation de la filière chimie. https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/csf/chimie-et-materiaux/feuille_de_route_de_decarbonation_de_la_filiere_chimie.pdf. Une version actualisée de la feuille de route prévoit un objectif de -36% entre 2015 et 2030, soit -7,9 Mt CO2 éq./an.
- 9 Plus de détails sur le périmètre en III. 2 Périmètre des produits analysés et source des données (p14)
- 10 Pour la quantification du captage de CO2, le périmètre d'étude a été restreint à certains marchés applicatifs de la chimie du végétal du fait de l'absence de données bibliographiques. Voir partie III. 2 Périmètres des produits analysés et source des données (p14).
- 11 Ainsi que d'autres gaz à effet de serre (GES) tels que méthane (CH4), protoxyde d'azote (N2O), etc.
- 12 Cherubini, Francesco, Glen P. Peters, Terje Berntsen, Anders H. Strømman, et Edgar Hertwich. 2011. « CO2 Emissions from Biomass Combustion for Bioenergy: Atmospheric Decay and Contribution to Global Warming: GLOBAL WARMING POTENTIAL OF CO2 FROM BIOENERGY ». *GCB Bioenergy* 3 (5): 413-26. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x>.
- 13 Un hectare de céréales capte environ 20 tonnes de CO2 au cours de sa croissance (source Intercéréales).
- 14 Directive sur les emballages, initiative sur les justifications des allégations environnementales, initiative sur le cycle du carbone durable, règlement sur l'éco-conception pour des produits durables.

NOTES DE BAS DE PAGE

- 15 Voir paragraphe II.2 : La capture du CO₂ biogénique, un atout face au changement climatique.
- 16 « POSITION PAPER - Towards an accurate accounting for carbon from biomass in the Product Environmental Footprint (PEF) ». 2022. APAG, BioChem Europe, European Bioplastics, CEDS, EuropaBio, FEDIOL, HARRPA, Plastics Europe, Starch Europe.
- 17 TFS. 2022. « The Product Carbon Footprint Guideline for the Chemical Industry. Specifications for suppliers' product carbon footprint calculation ». version 1.0.
- 18 Les autres flux de CO₂ et autres GES (N₂O, CH₄, etc.) liés aux différentes étapes du cycle de vie tant du point de vue des émissions (aux étapes de production, transport et utilisation, matérialisées par les flèches en pointillés marron dans la Figure 2) que des potentiels puits ne sont pas pris en compte dans cette quantification.
- 19 Les produits pharmaceutiques biosourcés sont exclus du périmètre car non pris en compte dans les bibliographies sélectionnées, de même que les biocomposites. Les additifs sont considérés comme des produits alimentaires, ils ne sont donc pas pris en compte.
- 20 Spekreyse, J., Lammens, T., Parisi, C., Ronzon, T., Vis, M., *Insights into the European market of bio-based chemicals. Analysis based on ten key product categories*, EUR 29581 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-98420-4, doi:10.2760/549564, JRC112989.
- 21 Détails p13 du rapport JRC 2019: *Insights into the European market of bio-based chemicals*.
- 22 Détails p37 du rapport JRC 2019: *Insights into the European market of bio-based chemicals*.
- 23 TRL (Technology readiness level) évalue le niveau de maturité d'une technologie ; elle compte neuf niveaux.
- 24 Détails p30 à 36 du rapport JRC 2019: *Insights into the European market of bio-based chemicals*.
- 25 Spekreyse, J., Vikla, K., Vis, M., Boysen-Urban, K., Philippidis, G. and M'barek, R., *Bio-based value chains for Chemicals, plastics and pharmaceuticals*, EUR 30653 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-32459-1, doi:10.2760/712499, JRC124141.
- 26 Pour chacune de ces catégories de produits (solvants, surfactants, etc.), une liste de molécules est fournie ainsi que des volumes de production associés, par molécule (cf Table 1).
- 27 Spekreyse, J., Vikla, K., Vis, M., Boysen-Urban, K., Philippidis, G. and M'barek, R., *Bio-based value chains for Chemicals, plastics and pharmaceuticals*, EUR 30653 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-32459-1, doi:10.2760/712499, JRC124141.

NOTES DE BAS DE PAGE

- 28 Spekreijse, J., Vikla, K., Vis, M., Boysen-Urban, K., Philippidis, G. and M'barek, R., *Bio-based value chains for Chemicals, plastics and pharmaceuticals*, EUR 30653 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-32459-1, doi:10.2760/712499, JRC124141.
- 29 ADEME, «Marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030», 2015.
- 30 Un baril de pétrole équivalent (bpe) équivaut à 0,43 tonne de CO2 équivalent et 1 tonne de pétrole équivalent (tpe) équivaut à 7,33 bpe. Site de l'EPA, «Greenhouse Gases Equivalencies Calculator - Calculations and References», consulté le 14/02/23 <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>. Site de Chemeurope, «tonne of oil equivalent», consulté le 14/02/23 https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Tonne_of_oil_equivalent.html.
- 31 « L'ACTION DE L'ÉTAT EN FAVEUR DE LA DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE » - Les Thémas de la DGE – mars 2023 - <https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/en-pratique/etudes-et-statistiques/themas/themas-dge-n8-decarbonation.pdf>.
- 32 Conseil national de l'industrie, *Feuille de route de décarbonation de la filière chimie*. https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/csf/chimie-et-materiaux/feuille_de_route_de_decarbonation_de_la_filiere_chimie.pdf.
- 33 Page 15, Spekreijse, J., Vikla, K., Vis, M., Boysen-Urban, K., Philippidis, G. and M'barek, R., *Bio-based value chains for chemicals, plastics and pharmaceuticals*, EUR 30653 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-32459-1, doi:10.2760/712499, JRC124141.
- 34 Page 5 du rapport JRC 2019: *Insights into the European market of bio-based chemicals*.
- 35 Samantaray et Satapathy, « Ultratoughening of Biobased Polyamide 410 ».
- 36 Spekreijse, J., Lammens, T., Parisi, C., Ronzon, T., Vis, M., *Insights into the European market of bio-based chemicals. Analysis based on ten key product categories*, EUR 29581 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-98420-4, doi:10.2760/549564, JRC112989, p37 à 38.
- 37 Spekreijse, J., Lammens, T., Parisi, C., Ronzon, T., Vis, M., *Insights into the European market of bio-based chemicals. Analysis based on ten key product categories*, EUR 29581 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-98420-4, doi:10.2760/549564, JRC112989, p4.
- 38 ADEME, «Marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030», 2015.
- 39 Source Roland Berger 2019.



www.chimieduvegetal.com

S'ENGAGER ENSEMBLE DURABLEMENT

POUR DES SOLUTIONS BIOSOURCÉES RÉPONDANT AUX ENJEUX
LIÉS AU CLIMAT ET AUX RESSOURCES

Follow us!



@ChimieVegetal

@Association Chimie
du Vegetal



www.evea-conseil.com/fr

