



CARTOGRAPHIE DES FLUX DE BIOMASSE DANS LES FILIÈRES DE PRODUCTION DE MOLÉCULES BIOSOURCÉES

Synthèse



FranceAgriMer

CERESCO

18, rue Pasteur - 69007 Lyon - FRANCE

Tel : +33 (0)4 78 69 84 69 | contact@ceresco.fr | ceresco.fr

SAS au capital de 7622 euros | SIRET 423 106 756 00012 | RCS Lyon | NAF 7022Z

Auteurs : Etude réalisée par Romain Joya (Ceresco) et Justine Hamon (Ceresco), avec Jérôme le Notre (Pivert) et l'appui des membres du comité de pilotage de cette étude, en particulier Pierre-Louis Guillo (B4C) et Louis Tiers (B4C).

Comment citer cette synthèse : Ceresco, Pivert, 2023. Cartographie des flux de biomasse dans les filières de production de molécules biosourcées. Synthèse. Etude financée par FranceAgriMer.

La production de molécules biosourcées se développe à échelle française et mondiale en réponse à différents enjeux tels que la **décarbonation du secteur de la chimie** et la **souveraineté des approvisionnements industriels**. Son développement est associé à une consommation croissante de biomasse. Cette étude a pour objectif **d'estimer cette consommation et d'évaluer les déterminants de sa croissance afin d'éclairer d'éventuelles complémentarités ou conflits d'usage à anticiper**. Pour cela, elle articule production de biomasse agricole et de molécules biosourcées, deux secteurs interconnectés mais rarement étudiés simultanément. Elle permet également de tester et valider une méthodologie de cartographie et d'étude des flux. Enfin, elle constitue un socle informatif destiné aux producteurs de biomasse, industriels de la production de molécules biosourcée ou encore acteurs publics sur la disponibilité en biomasse pour ces utilisations.

1. UNE DOUZAINNE DE MOLECULES BIOSOURCEES SONT PRODUITES EN FRANCE A ECHELLE INDUSTRIELLE A DES NIVEAUX SUPERIEURS A 1000 TONNES PAR AN

L'objectif de l'étude est de cartographier des flux de biomasse destinés à la production de molécules biosourcées pour une douzaine de molécules représentatives. L'étude s'est ainsi concentrée sur des **molécules produites sur le territoire français** sur la base de biomasse de **céréales, betterave et oléagineux**, produites sur le territoire national, avec des niveaux de maturité technologiques (TRL) supérieurs à 8, ce qui correspond à un "système réel achevé et qualifié par des tests et des démonstrations" et mobilisant des **volumes supérieurs au millier de tonnes**. Les molécules sélectionnées pour l'analyse sont recensées dans le tableau ci-dessous.

Bioraffinerie	Molécules	Procédés	Matière première utilisée
Sucrierie - éthanolerie	Acide glutamique	Fermentation	Sucres
	Autres acides aminés	Fermentation	Sucres
	Isobutène	Fermentation	Sucres
	Acides organiques	Fermentation	Sucres ou glycérol pour l'acide butyrique
	Bétaïnes	Extraction	Betteraves
Ethanolerie	Ethanol	Fermentation	Sucres
	1,3 butadiène	Chimie catalytique	Ethanol
Amidonnerie - Ethanolerie	Amidon	Extraction	Albumen de céréales
	Sorbitol et principaux dérivés	Chimie catalytique	Amidon
Industrie des corps gras végétaux	Glycérol / Glycérine	Chimie catalytique	Triglycérides
	1,3 Propanediol	Fermentation	Glycérol
	Esters d'acide gras et autres acides gras fonctionnalisés	Chimie catalytique	Triglycérides

Figure 1 Liste des molécules étudiées.

2. EVALUATION DES FLUX DE BIOMASSE GENERES PAR LEUR PRODUCTION

Afin de réaliser les diagrammes de flux de biomasses destinées à la production de molécules biosourcées, deux paramètres ont dû être estimés pour chaque molécule, en s'appuyant notamment sur une étude bibliographique importante de près de 250 ressources (publications, brevets, articles de presse) : les **tonnages actuellement produits** de chacune des molécules biosourcées étudiées et les **rendements** de production. Bon nombre des **ressources bibliographiques** (en particulier brevets) étant peu explicites pour des raisons de stratégie industrielle, ces données ont été soumises aux entreprises productrices ou à des **experts** de la production des molécules biosourcées pour **validation**.

La Figure 2 synthétise les rendements massiques de production des molécules étudiées. Il s'agit du ratio entre une tonne de la molécule cible et la quantité de biomasse ou de la fraction valorisable (en tonnes) nécessaire pour son obtention.

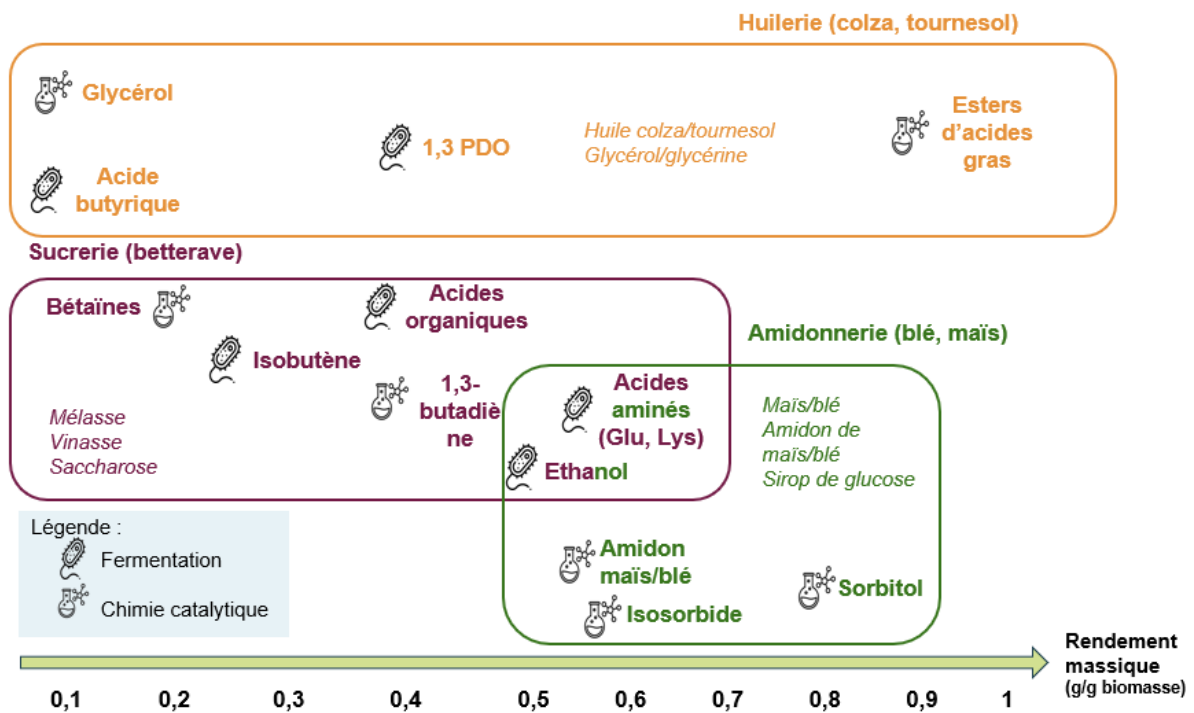


Figure 2 Rendements massiques de production des molécules biosourcées étudiées.

Considérant les volumes produits et les rendements des différentes procédés, les flux ont pu être représentés sous la forme de **diagrammes de Sankey**. Compte tenu de la diversité des biomasses utilisables et de la capacité potentielle de certains producteurs de molécules à passer d'une biomasse à l'autre, il est nécessaire de disposer d'une unité permettant de comparer différentes biomasses et différentes biomolécules. En conséquence, l'ensemble des tonnages de biomasse mobilisée (en matière sèche) et de molécule biosourcée produite (en matière sèche) a été **converti en tonnes de carbone**, considérant que cet atome peut constituer une norme de comparaison commune, en tant que constituant majeur des chaînes carbonées recherchées par les industriels de l'industrie pétrochimique ou biosourcée.

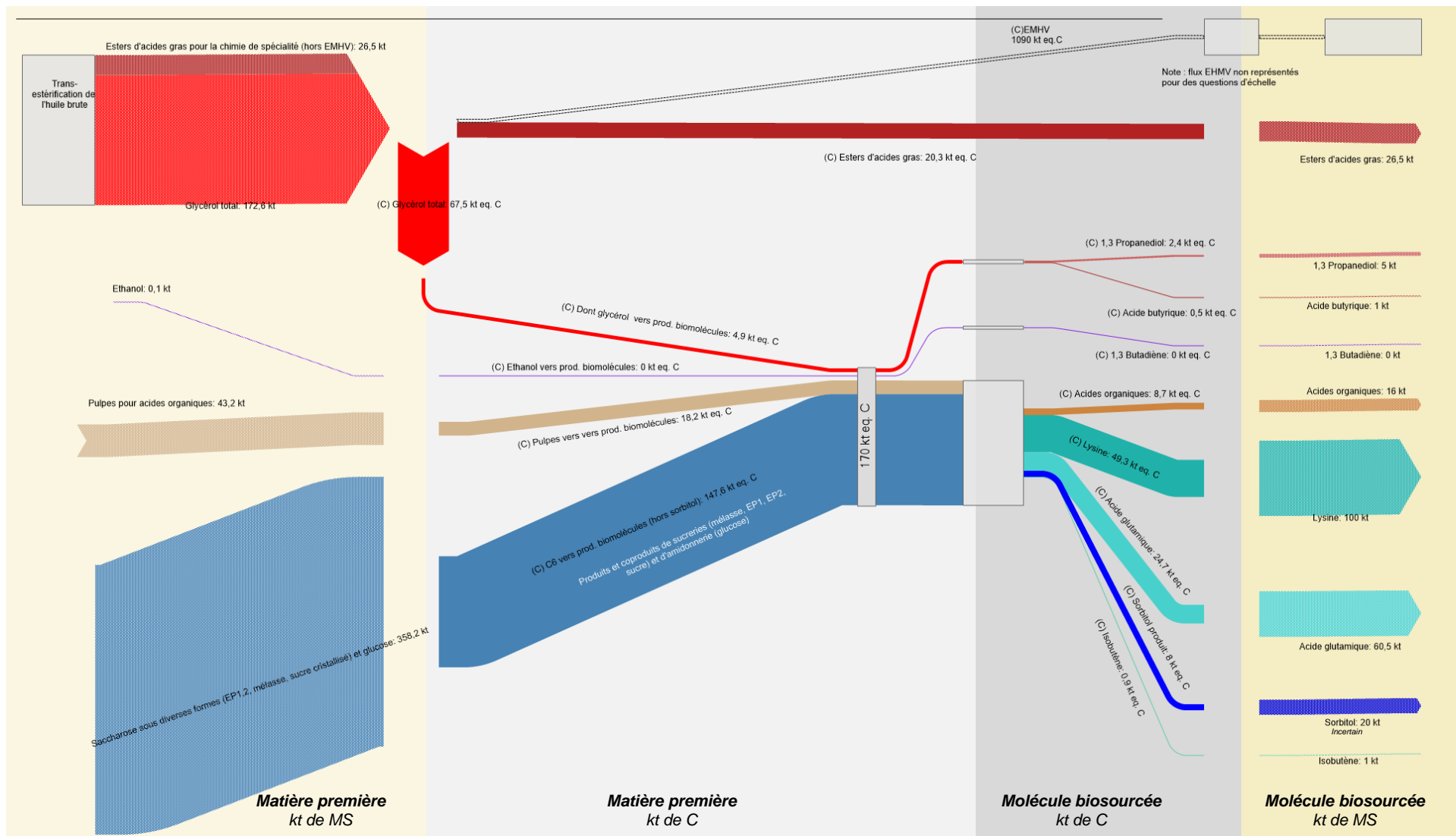


Figure 3 Bilan des utilisations en matières premières agricoles pour la production de molécules biosourcées. Données disponibles au 27/11/23.

La Figure 3 permet de constater qu'à ce jour, **ce sont surtout les utilisations du carbone sous forme de sucres** (saccharose ou glucose, flèches bleues) **qui dominent pour la production des molécules biosourcées étudiées**. La production de molécules biosourcées issues de l'industrie des corps gras représente une minorité des utilisations de carbone à destination de la production de molécules biosourcées (flèches rouges). Concernant l'utilisation des sucres, **les principales utilisations concernent pour l'instant la production des acides aminés**, historiquement implantée en France et dorénavant principalement réalisée par METEX et Ajinomoto.

3. UNE CROISSANCE MODERÉE POUR CES FLUX A COURT-TERME, MALGRÉ UN CONTEXTE FAVORABLE AU DÉVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION DE MOLÉCULES BIOSOURCÉES

Les dynamiques de croissance à prévoir sont directement liées à l'analyse des déterminants du développement de la production de molécules biosourcées réalisée et synthétisée sur la Figure 4.

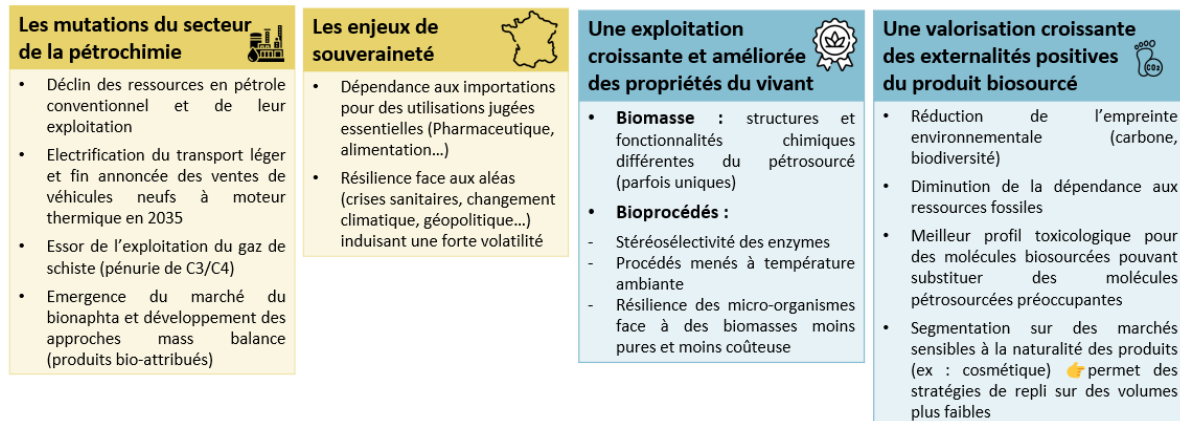


Figure 4 Principales familles de déterminants pour le développement de la production de molécules biosourcées identifiées dans la bibliographie et les entretiens réalisés.

Ces déterminants sont **globalement favorables** au développement de la production de molécules biosourcées. Ce constat est toutefois à nuancer d'après les experts car il est actuellement limité par diverses **difficultés d'ordre économique** : financement de l'industrialisation, *premium* du biosourcé pour l'instant trop faible par rapport au surcoût de production, prix actuels de l'énergie et des matières premières, etc. L'analyse a aussi permis d'observer chez certains acteurs un recentrage sur des marchés à plus forte valeur ajoutée (molécules ou services) synonymes de production plutôt revue à la baisse. **Ces déterminants laissent donc augurer une croissance modeste de la production des molécules biosourcées étudiées à court terme.**

Cette analyse est cohérente avec les annonces de croissance de production des acteurs des biotechnologies tels que METEX et Global Bioenergies. La plus forte croissance attendue concerne Michelin qui prévoit l'installation d'un site de production de 100 kt de butadiène biosourcé à horizon 2029, ce qui induirait une consommation de biomasse importante pour la production du bioéthanol (250 kt) nécessaire à la fabrication du 1,3, butadiène.

Ces ordres de grandeur en termes de consommation de biomasse pour la production de molécules biosourcées doivent à présent être confrontés aux autres utilisations existantes : quel est le poids des consommations de matières premières pour la production de molécules biosourcées par rapport aux autres utilisations des produits et co-produits des bioraffineries (alimentation humaine et animale, énergie, etc.) ?

4. UN RISQUE D'ASYMÉTRIE OFFRE - DEMANDE MIS EN EVIDENCE UNIQUEMENT POUR LA BIORAFFINERIE DU SUCRE

Un diagramme de Sankey produit pour chaque bioraffinerie (cf. rapport complet) a permis de comparer la taille du flux de biomasse destiné à la production de molécules biosourcées à celui des autres utilisations.

- **Industrie des corps gras**

L'analyse des flux met en évidence la forte part de la **production de biodiesel** dans les utilisations d'huile (supérieure à deux tiers des utilisations). Cette production est en léger déclin, et ce dernier **devrait se poursuivre** à moyen terme compte tenu de la fin annoncée de la vente de véhicules légers neufs à moteurs thermiques en 2035.

Dans ce contexte, la dynamique des acteurs est à la segmentation ou à la recherche d'applications à haute valeur ajoutée (chimie de spécialité), qui sont associées à des consommations de biomasse plus faibles. A moyen terme, il existe cependant de potentiels relais de l'utilisation des huiles végétales vers l'aviation (jet fuel), les transports lourds et une diversité de marchés valorisant le *mass-balance* (ex : bionaphta pour biopolymères alternatifs aux plastiques pétrosourcés).

La production de molécules biosourcées considérées constitue une faible part des utilisations de cette bioraffinerie, l'estérification non destinée au biodiesel représentant moins de 2% du total des huiles. Les industriels du secteur sont plutôt rassurants quant au fait que cette utilisation continuera à être servie. En ce qui concerne le glycérol, coproduit de l'estérification des huiles, la consommation de METEX pour la production de 1,3 PDO et acide butyrique représente moins de 10% de la production française. Il existe toutefois un risque de diminution de la ressource française de glycérol, la production de ce dernier étant directement corrélée à la baisse de production du biodiesel dont il est un coproduit.

🔗 L'étude n'a pas identifié de tensions à court terme pour cette bioraffinerie mais suscite des interrogations sur la disponibilité en glycérol pour la production de molécules biosourcées à moyen terme.

- **Sucrierie**

L'analyse des flux de cette bioraffinerie révèle le poids significatif de la **production de sucre cristallisé** (60% de la MS des jus bruts) et de l'**éthanol**, qui représente 15 à 20% des utilisations de la betterave et dont 35 à 40% est valorisé en biocarburants.

Cette bioraffinerie est à la fois confrontée à des **perspectives incertaines sur l'offre en betteraves** (fin des néonicotinoïdes, changement climatique, cours du sucre...) et à des **utilisations en croissance, notamment en fermentation** (dont levurerie, biotechnologies, éthanol chimie). Par ailleurs, une baisse des disponibilités en pulpes, pouvant être fermentées pour la production de molécules biosourcées (Afyren), est à prévoir compte tenu de l'essor de la méthanisation des pulpes actuellement.

Une **asymétrie entre offre et demande** est donc à anticiper pour cette bioraffinerie. La hausse à prévoir de la consommation des acteurs de la production française de molécules biosourcées à base de sucre (hors 1,3 butadiène base éthanol) ne sera pas nécessairement associée à une hausse proportionnelle de la consommation de produits de la sucrierie compte tenu d'une **certaine capacité à utiliser du carbone issu de céréales** (glucose parfois même préféré à la mélasse) **à la différence du secteur levurier**.

🔗 Une **asymétrie entre offre et demande** est donc à anticiper pour cette bioraffinerie. Ce constat mérite néanmoins d'être nuancé car la hausse à prévoir de la consommation des acteurs de la production française de molécules biosourcées sur base sucre (hors 1,3 butadiène base éthanol) ne sera pas nécessairement associée à une hausse proportionnelle de la consommation de produits de la sucrierie compte tenu d'une **certaine capacité des industriels des biotechnologies à utiliser du carbone issu de céréales** (glucose parfois même préféré à la mélasse), **à la différence du secteur levurier**.

- **Amidonnerie-éthanolerie**

Les disponibilités françaises en maïs et en blé ne sont à ce jour pas limitantes. L'**alimentation animale** (environ la moitié des utilisations) **et les exportations** (50% du blé et 34% du maïs) **représentent la majorité des utilisations. L'amidonnerie-éthanolerie représente respectivement 12 et 16% des utilisations des ressources en blé et maïs** (production, importations et stocks). L'éthanol représente 4% des utilisations dont une majorité est valorisée en biocarburants (80% pour le blé, 100% pour le maïs).

Le marché de l'**éthanol énergie** est **en croissance à court terme** (E85) même s'il **pourrait se contracter à long terme** avec la fin annoncée des ventes de véhicules neufs légers à moteurs thermiques pour 2035. Il existe des relais de marchés potentiels à plus haute valeur ajoutée pour l'éthanol en tant que **plateforme pour la chimie** (ex : projet de Michelin sur le 1,3 butadiène, polymères...). Une hausse des utilisations du glucose en fermentation compte tenu des développements annoncés de la production de molécules biosourcées pourra s'opérer ainsi qu'un **report potentiel de certains flux déjà existants vers le glucose**, en lien avec la baisse de la disponibilité en mélasse.

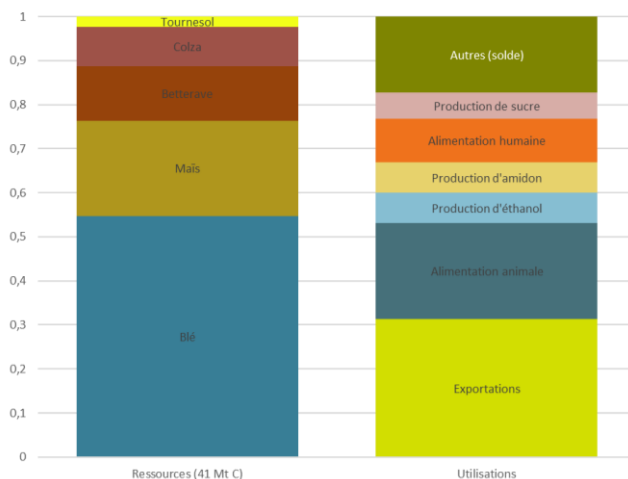
🔗 L'étude n'a pas mis en évidence de tensions sur la ressource en produits issus d'amidonnerie-éthanolerie à court ou moyen terme, d'autant plus qu'il existe de fortes marges de manœuvres pour les différents types de transformation en arbitrants les flux. Si besoin, les capacités de production du glucose pourraient évoluer à la hausse (déblocage de capacités de production) afin de pourvoir aux besoins croissant de la fermentation (biotechnologies), à la différence de la mélasse qui dépend de la production de sucre cristallisé.

5. UNE UTILISATION A CE JOUR MINORITAIRE DANS LES USAGES DES BIOMASSES

La totalité de la ressource française en carbone représentée par la production, les importations et les stocks des cultures étudiées (blé, maïs, betteraves, colza, tournesol) s'élève à **41 Mt de carbone**.

Les calculs précédemment développés permettent de calculer **que la part de ce carbone actuellement dédiée à la production des molécules biosourcées étudiées parmi la totalité du carbone disponible est de 0,5%, soit une part faible de la ressource. La progression annoncée de la production de ces molécules biosourcées ferait progresser ce pourcentage à 1%.**

Figure 5 Répartition des utilisations du carbone contenu dans les cultures étudiées.



La disponibilité de la ressource en biomasse pour la production de molécules biosourcées doit par ailleurs être relativisée au regard :

- › Des autres utilisations du carbone parmi lesquelles figurent aux deux premières places pour leur taille, les exportations (31% du carbone) et l'alimentation animale (22% du carbone), visibles sur la Figure 5.
- › De la taille relative de la ressource pour chacune des cultures étudiées, les céréales représentant à elles seules 75% de la ressource en carbone sur les 3 bioraffineries étudiées.

L'analyse réalisée pour chaque matière première (Figure 6) révèle logiquement des ratios plus élevés d'un facteur 10 en comparaison au graphe précédent car la production de molécules étudiées nécessite les plus souvent l'utilisation de fractions issues de première transformation (sucre, éthanol, glucose, glycérol, etc.) de la matière première agricole. Ces parts représentent actuellement **moins de 5% des ressources disponibles en matières premières transformées**, quelle que soit la matière considérée.

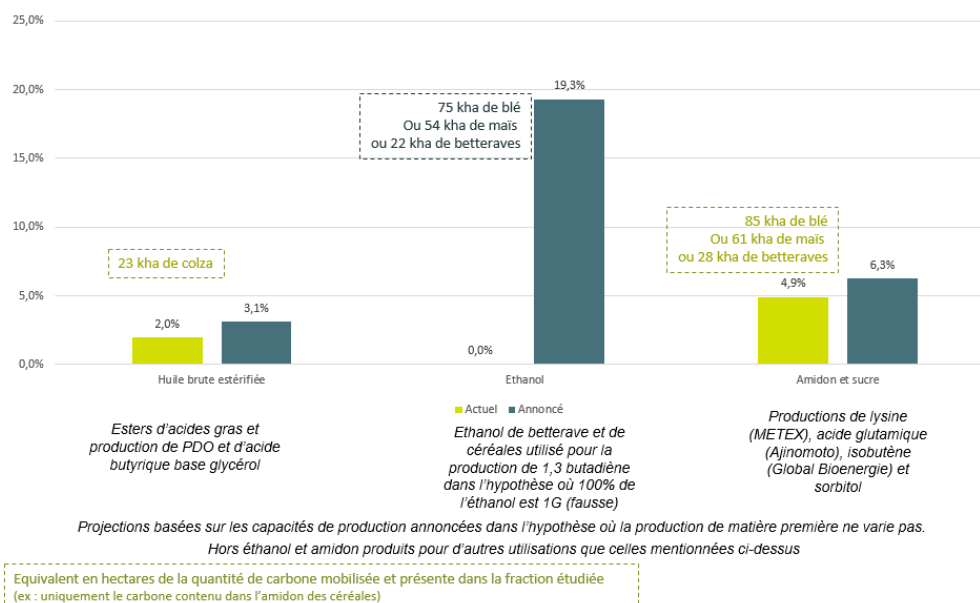


Figure 6 Part actuelle et annoncée à moyen terme de la ressource utilisée pour la production de molécules biosourcées. Unité : pourcentage du carbone contenu dans les fractions utilisées.

Enfin, pour éclairer le sujet des potentielles compétitions d'usage, le carbone biosourcé nécessaire à la production des molécules étudiées a été converti en équivalent hectare pour différents types de culture.

	Blé	Maïs	Betterave	Colza	Tournesol
Surfaces cultivées (kha)	5 031	1 462	443	1 486	581
Fraction considérée	Amidon		Saccharose	Triglycérides	
Qté de C de la fraction (t/ha)	1,73	2,40	5,80	1,05	0,74
Molécules concernées	Lysine (METEX) et acide glutamique (Ajinomoto), isobutène (Global Bioenergies), sorbitol, éthanol pour le 1,3 butadiène			1,3 PDO et acide butyrique base glycérol (METEX), esters d'acides gras	
Equivalent théorique en surfaces brutes pour la production des molécules étudiées	85 070 ha de blé	ou 61 470 de maïs	ou 28 572 de betterave	23 715 de colza	ou 33 733 de tournesol
% des surfaces de chaque cultures 📍	1,7%	4,2%	6,4%	1,6%	5,8%

Les parts des surfaces cultivées pour chaque culture et destinées à la production de molécules biosourcées, en équivalent carbone, sont d'ordres de grandeurs analogues à ceux développés dans le paragraphe précédent. Cela représente **entre 1,6% et 6,4% de la surface des cultures considérées, soit 0,19 à 0,67% des surfaces en grandes cultures françaises.**

6. CONCLUSION

La cartographie des **flux de biomasse pour la production de biomolécules** a permis de mettre en évidence la part actuellement **faible de la biomasse mobilisée par rapport aux autres usages (alimentation humaine et animale, énergie)**. Elle devrait le rester à court terme car les annonces des industriels permettent d'envisager un doublement de la production dans les années à venir. Ce constat doit être nuancé par une situation actuelle qui n'en est qu'aux prémices de l'industrialisation des procédés, avec des tailles industrielles modestes. **Dans la limite de son périmètre et des hypothèses formulées, l'étude ne permet donc pas de conclure à une quelconque menace sur les utilisations des biomasses considérées à court terme, notamment alimentaires. Il existe toutefois un risque d'asymétrie offre/demande à court terme sur les co-produits de la bioraffinerie du sucre (égouts pauvres et mélasse).**

Pour aller plus loin, un travail plus prospectif pourrait être mené pour chiffrer plus finement les évolutions potentielles des flux. En effet, pour une analyse à moyen et long termes, l'étude des déterminants a montré un **contexte tendanciellement favorable** au développement de la production des molécules biosourcées étudiées et confirme le **potentiel du secteur à répondre aux enjeux de mutation du secteur de la chimie** (décarbonation, souveraineté, etc.). La consommation de biomasse pourrait donc évoluer à la hausse avec **l'industrialisation** de certains projets déjà existants ou à venir.

Ces consommations potentielles doivent être anticipées pour accompagner la transition vers une part plus significative de matières biosourcées dans nos consommations **sans générer de compétition sur les usages** des biomasses brutes ou transformées mais aussi pour anticiper **les besoins et ainsi limiter le risque industriel** lié aux futures unités de production de biomolécules en France.

Concernant la réalisation de ce travail, recouper des données issues de sources de données contradictoires dans un contexte de secret industriel a, sans surprise, représenté la principale difficulté de l'exercice. **Percevoir la possibilité pour les industriels de passer d'une source de biomasse à l'autre** aura aussi été une des difficultés majeures. Ce point est pourtant crucial car il permet d'évaluer **le niveau de captivité d'une technologie par rapport à une biomasse donnée**, et constitue donc un enjeu clé de **l'anticipation des gisements à mobiliser et des risques de tensions à anticiper.**

Il doit aussi être rappelé que **l'étude s'est focalisée sur les principales biomolécules actuellement produites en France et utilisant des matières premières produites sur le sol français pour le secteur de la chimie.** Elle ne couvre ainsi pas tous les usages potentiels de biomasse à moyen et long pouvant être fortement consommateurs de **carbone biosourcé** (bioéthanol de seconde génération, polymères biosourcés, huiles végétales hydrogénées (HVO) en substitution de matières fossile (*jetfuels* et *bio-naphta, mass-balance*)).