

# La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?

Ilyas Mourjane  
Julien Fosse





**FRANCE STRATÉGIE**

ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

# **La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?**

---

**Document de travail**

Ilyas Mourjane  
Julien Fosse

Juillet 2021



## Table des matières

<b>Résumé</b> .....	7
<b>Introduction</b> .....	9
<b>Chapitre 1 – Contexte</b> .....	11
1. Politiques et stratégies climatiques : un état des lieux.....	11
2. La situation énergétique française.....	12
3. Principales stratégies françaises en terme de climat.....	15
3.1. La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC).....	15
3.2. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).....	18
4. La place de la biomasse dans ces stratégies .....	20
4.1. Biomasse et production d'énergie.....	20
4.2. Biomasse, sols et stockage carbone.....	22
4.3. La mobilisation de la biomasse en France.....	23
5. La biomasse en France.....	24
5.1. Définition et premier aperçu.....	24
5.2. Gisements et utilisations de la biomasse agricole.....	26
5.3. Une source d'énergie renouvelable .....	29
6. Les déterminants d'évolution de la biomasse agricole.....	31
6.1. Le dérèglement climatique.....	31
6.2. Les changements de pratiques agricoles .....	31
6.3. Des mutations sociétales en cours.....	33
6.4. Interactions entre les systèmes urbains, forestiers et agricoles.....	34
6.5. Aspects socio-économiques liés à la mobilisation de la biomasse.....	35
7. Des nouveaux usages en compétition avec les autres voies de valorisation de la biomasse agricole : l'exemple des biocarburants.....	39
7.1. Panorama des différents types de biocarburants .....	39
7.2. Biocarburants avancés : filières et approvisionnement.....	41
7.3. Des arbitrages à prendre en compte.....	42

8. Concilier les usages de la biomasse agricole dans un champ de contraintes accru.....	45
8.1. Des perspectives d'utilisation à préciser .....	45
8.2. Des défis spécifiques à la biomasse agricole .....	45
<b>Chapitre 2 – Méthodologie.....</b>	<b>47</b>
1. Collecte de données.....	47
1.1. Revue bibliographique.....	47
1.2. Entretiens .....	48
2. Identification et quantification des gisements de biomasse .....	48
2.1. Approche méthodologique.....	48
2.2. Sources de données retenues.....	49
2.3. Estimations, exhaustivité et limites des données.....	49
2.4. Données présentées.....	50
3. Estimation du potentiel de la biomasse agricole.....	52
3.1. Paramètres étudiés .....	53
3.2. Deux scénarios principaux.....	53
<b>Chapitre 3 – Une quantification des gisements de biomasse agricole.....</b>	<b>55</b>
1. Un état des lieux des gisements de biomasse existants.....	55
1.1. Effluents d'élevage .....	55
1.2. Résidus de cultures annuelles.....	57
1.3. Cultures intermédiaires .....	60
1.4. Surplus d'herbes.....	63
1.5. Cultures dédiées pérennes .....	65
1.6. Issues de silos .....	67
1.7. Plantes à parfum.....	68
1.8. Plantes à fibres (lin et chanvre).....	69
1.9. Résidus de vignes et vergers.....	71
1.10. Bois issus des haies, bocages et de l'agroforesterie .....	73
1.11. Cultures alimentaires dédiées.....	74
2. Synthèse des résultats.....	79
3. Une offre inférieure aux besoins estimés.....	84
4. Limites de l'analyse.....	86

<b>Chapitre 4 – Étude prospective des gisements de biomasse agricole</b> .....	89
1. Développement des projections.....	89
2. Résultats.....	93
2.1. Synthèse des résultats .....	102
2.2. Les enjeux agronomiques de la mobilisation des gisements et du retour au sol....	104
3. Limites de l'exercice .....	109
<b>Conclusion et recommandations</b> .....	113
1. Un potentiel de biomasse agricole qui reste à identifier plus précisément.....	113
2. Des objectifs ambitieux confrontés à plusieurs défis .....	114
<b>Bibliographie</b> .....	117
<b>Annexe 1 – Détails des estimations des différents volumes</b> .....	123
<b>Annexe 2 – Potentiel énergétique des ressources agricoles</b> .....	129
<b>Annexe 3 – Caractéristiques des résidus de cultures étudiés</b> .....	133



## Résumé

La biomasse agricole est une ressource multifonctionnelle qui peut être considérée comme une source d'énergie ou de matériaux renouvelables à faible empreinte carbone dans la limite des disponibilités en sols, en matière organique et en eau, et dans la limite des compétitions d'usage. La diversité des ressources naturelles disponibles en France et les objectifs de lutte contre le réchauffement climatique font de cette ressource un atout potentiel pour la « décarbonation » des activités dans de multiples secteurs de l'économie.

L'utilisation accrue de la biomasse pour la production d'énergie ou de produits biosourcés est actuellement soutenue par les pouvoirs publics. L'ambition de la France en la matière, pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050, passera nécessairement par une augmentation de la production de biomasse parallèlement au développement des « puits de carbone » naturels. Conjuguée à la demande d'une production agricole plus durable qui remet en cause le modèle agricole conventionnel, la mobilisation de la biomasse nécessite de nombreux arbitrages en termes d'utilisation des terres, d'accessibilité des gisements ainsi que d'intégration des enjeux de séquestration du carbone et de biodiversité.

À partir de données issues d'études, de rapports et d'entretiens, cette étude apporte des éléments d'éclairage à ces enjeux, d'une part en identifiant et en quantifiant les principaux gisements de biomasse agricole et, d'autre part, en tentant d'évaluer leur potentiel d'évolution sur le long terme. Cette démarche vise à établir des projections de production intégrant certains des facteurs pouvant avoir un impact sur la disponibilité de la biomasse et donc sur sa mobilisation, comme la transition vers un système alimentaire et agricole plus durable ou encore le dérèglement climatique.

Le potentiel maximum de disponibilité en biomasse ainsi obtenu révèle que les objectifs fixés par la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) ne seront pas atteints si on prend uniquement en compte les disponibilités supplémentaires actuelles (qui ne sont pas encore valorisées). Une mobilisation accrue de la biomasse agricole, notamment à des fins énergétiques, serait nécessaire mais elle devra tenir compte de l'évolution plus globale de notre système alimentaire ainsi que des impératifs de préservation des écosystèmes. Ces constats montrent que la mobilisation de la biomasse agricole pour atteindre la neutralité carbone est possible mais qu'elle nécessite le développement d'un programme agricole de long terme intégrant une vision transversale des défis connexes, ainsi que la mobilisation des autres gisements de biomasse, notamment forestiers<sup>1</sup>.

**Mots clés** : France, biomasse, agriculture, énergie, utilisation des terres

---

<sup>1</sup> Ce document de travail a fait l'objet d'une synthèse : voir Mourjane I. et Fosse J. (2021), « [La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel ?](#) », *Note de synthèse*, n° 2021-03, juillet. »



## Introduction

La biomasse est une ressource multifonctionnelle qui peut fournir de la nourriture, de l'énergie et des matériaux. Fondée sur la photosynthèse, elle représente une part importante du cycle global du carbone et joue un rôle majeur dans la régulation du climat, *via* deux voies principales. Elle peut d'abord capter le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et stocker ce carbone pendant de longues périodes dans les sols, les plantes ou les arbres<sup>2</sup>. Ensuite, lorsqu'elle est gérée et récoltée de manière réfléchie et durable, elle peut réduire les émissions de combustibles fossiles dans l'atmosphère en se substituant au pétrole, au charbon ou au gaz naturel ou en remplaçant les matériaux à forte teneur en carbone tels que l'acier et le ciment<sup>3</sup>.

Cependant, la fonction première de la biomasse n'est pas la production d'énergie, mais l'alimentation, humaine ou animale. Bien que potentiellement utile à plus grande échelle dans le mix énergétique, la biomasse doit être utilisée en tenant compte de la durabilité des écosystèmes. Sa mobilisation doit faire face à des défis tels que la préservation de la biodiversité ou la transition des systèmes alimentaires vers des modes de production durables (impact du changement climatique, évolution des régimes alimentaires, développement de l'agroécologie dans un contexte de croissance démographique, etc.). L'émergence de nouveaux usages technologiques comme les biocarburants avancés est aussi susceptible de valoriser différemment une même ressource naturelle et d'ajouter de nouvelles utilisations pouvant accroître la compétition entre usages<sup>4</sup>.

Ainsi, une gestion prudente des stocks de biomasse est nécessaire au regard de l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050. L'atteinte de cet objectif, en plus d'un recours plus important à la biomasse-énergie, devra aller de pair avec le développement des « puits de carbone » naturels. Les forêts, les terres agricoles et les produits du bois font à ce titre partie intégrante de la stratégie française de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Dans ce contexte, le but de cette étude est de préciser le potentiel d'utilisation de la biomasse agricole à travers l'évaluation des gisements mobilisables. Fondé sur l'analyse des travaux et données statistiques actuellement disponibles, ce travail doit permettre d'évaluer la compatibilité de ces gisements avec les orientations de développement de la biomasse-énergie prévues par la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Enfin, pour mieux évaluer le potentiel d'utilisation de la biomasse sur le long terme, un essai de projection est réalisé à l'aide de scénarios de mobilisation à l'horizon 2050.

---

<sup>2</sup> Houghton R. G, Hall F. et Goetz S. J. (2009), « [Importance of biomass in the global carbon cycle](#) », *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, Issue G2.

<sup>3</sup> Committee on Climate Change-CCC (2018), [Biomass in a Low-Carbon Economy](#), novembre.

<sup>4</sup> Cruciani M. (2020), « [Bioénergies : quelle contribution à l'objectif européen de neutralité climatique ?](#) », *Études de l'Ifri*, juillet, 49 p.



## Chapitre 1

### Contexte

#### 1. Politiques et stratégies climatiques : un état des lieux

Face aux défis globaux du dérèglement climatique et de l'effondrement de la biodiversité, la communauté internationale s'est mobilisée en adoptant dès 1992 la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques et la Convention sur la diversité biologique. En 1997 est adopté le protocole de Kyoto, avec 195 États et l'Union européenne (UE) parmi les parties signataires. Cet accord international est souvent considéré comme le point de départ de la promotion des puits de carbone ainsi que des systèmes agricoles plus durables<sup>5</sup>. Un autre pas en avant dans la lutte mondiale contre le réchauffement climatique a été l'entrée en vigueur en novembre 2016 de l'accord de Paris. Bien qu'il ne soit pas juridiquement contraignant, cet accord reste ambitieux et vise à atteindre la neutralité carbone dans la seconde moitié du siècle. Ces différents éléments d'orientations politiques ont conduit l'Union européenne et la France à adopter des stratégies de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) ces dernières années.

L'Union européenne a en effet un rôle important dans la définition des politiques et des lignes directrices en matière d'énergie par le biais des paquets (ou plans d'actions) climat-énergie. Le dernier en date, adopté en 2014 et modifié par plusieurs directives<sup>6</sup>, vise d'ici 2030 à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % par rapport aux niveaux de 1990, à réduire la consommation énergétique d'au moins 32,5 % et à porter la part des énergies renouvelables à au moins 32 % de la consommation totale d'énergie. Il appartient aux États de fixer leurs contributions nationales afin d'atteindre collectivement ces objectifs, leur part d'énergie produite à partir d'énergies renouvelables dans la consommation finale brute devant être supérieure au niveau de référence figurant dans les annexes de la directive 2009/28/CE, soit 23 % pour la France. La vision stratégique à long terme de la Commission européenne est donc de parvenir à une économie climatiquement neutre d'ici à 2050. Récemment, à travers le « Greenddeal » ou pacte vert pour l'Europe, l'Union européenne a rehaussé ses ambitions climatiques en visant une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> d'au moins 55 % en 2030 (par rapport à 1990). Plusieurs pays de l'UE se sont déjà fixé un objectif de neutralité climatique, comme par exemple la Suède (d'ici à 2045) ou la France (d'ici à 2050), sans compter le Royaume-Uni, qui s'est également engagé dans cette démarche.

<sup>5</sup> Courteau R. et Fugit J.-L. (2020), [L'Agriculture face au défi de la production d'énergie](#), rapport n° 646 (2019-2020), fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, juillet, 211 p.

<sup>6</sup> Directives [UE 2018/2001](#) et [2018/2002](#).

Pour contribuer à ces politiques globales, plusieurs réglementations et directives relatives au stockage du carbone et à l'utilisation de combustibles de substitution (bioénergies) ont été adoptées. Datant de 2018 et couvrant la période 2021-2030, la réglementation UTCAF sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie met l'accent sur la compensation des émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'utilisation des terres par des absorptions équivalentes et place le stockage carbone dans les sols parmi les objectifs climatiques de l'UE<sup>7</sup>. Les directives successives sur les énergies renouvelables RED I et II<sup>8</sup> visent également à promouvoir l'utilisation des biocarburants et fixent un objectif de 14 % d'incorporation d'énergies renouvelables dans les transports d'ici à 2030, avec une limite de 7 % pour les biocarburants de première génération et un objectif minimum de 3,5 % pour les biocarburants de deuxième génération.

À l'échelle nationale, la France s'est engagée dans le cadre de ces paquets climat-énergie. Conformément à la stratégie européenne, deux lois ont été promulguées ces dernières années. La première, dite LTECV<sup>9</sup>, date de 2015 : elle vise principalement à réduire les émissions de GES et la consommation finale d'énergie (notamment pour les combustibles fossiles), à développer la rénovation énergétique et la part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie tout en réduisant la part du nucléaire dans la production d'électricité. La deuxième loi, dite loi énergie-climat, promulguée en 2019, stipule que la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie doit atteindre 33 % d'ici à 2030, dont 40 % pour l'électricité, 38 % pour la chaleur, 15 % pour les combustibles et 10 % pour le gaz<sup>10</sup>. La LTECV, en plus de donner un cap à la stratégie française de transition énergétique et de lutte contre le changement climatique, prévoit l'élaboration d'une Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et d'une Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Après une présentation rapide de la situation énergétique française, un aperçu de ces stratégies permettra de mieux comprendre l'articulation des politiques françaises en matière de transition énergétique et de biomasse.

## 2. La situation énergétique française

En France, selon les dernières données disponibles du ministère de la Transition écologique<sup>11</sup>, la consommation d'énergie primaire<sup>12</sup> est estimée à près de 2 893 térawattheures (TWh) – données corrigées des variations climatiques –, dont 11,7 % d'énergies renouvelables (contre 6 % en 2006 et 11 % en 2016). Le mix énergétique primaire français est dominé par 40 % de nucléaire, 29 % de pétrole, 16 % de gaz naturel, 4 % de charbon et 1 % de déchets non renouvelables. Les énergies renouvelables sont la quatrième source d'énergie primaire en 2019.

---

<sup>7</sup> Règlement [UE 2018/841](#).

<sup>8</sup> Directive [UE 2018/2001](#).

<sup>9</sup> Loi [n° 2015-992](#) du 17 août 2015 [relative à la transition énergétique pour la croissance verte](#).

<sup>10</sup> Loi [n° 2019-1147](#) du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.

<sup>11</sup> SDES (2019), [Chiffres clés de l'énergie](#), Datalab Énergie, Édition 2019, septembre, 80 p.

<sup>12</sup> L'énergie primaire est directement produite à partir de ressources naturelles et fait référence à l'énergie pouvant être utilisée sans transformation ou procédé de conversion. Elle diffère de l'énergie finale, délivrée prête à l'emploi au consommateur et qui tient compte des pertes et transformations.

**Tableau 1 – Consommation d'énergie primaire par type**

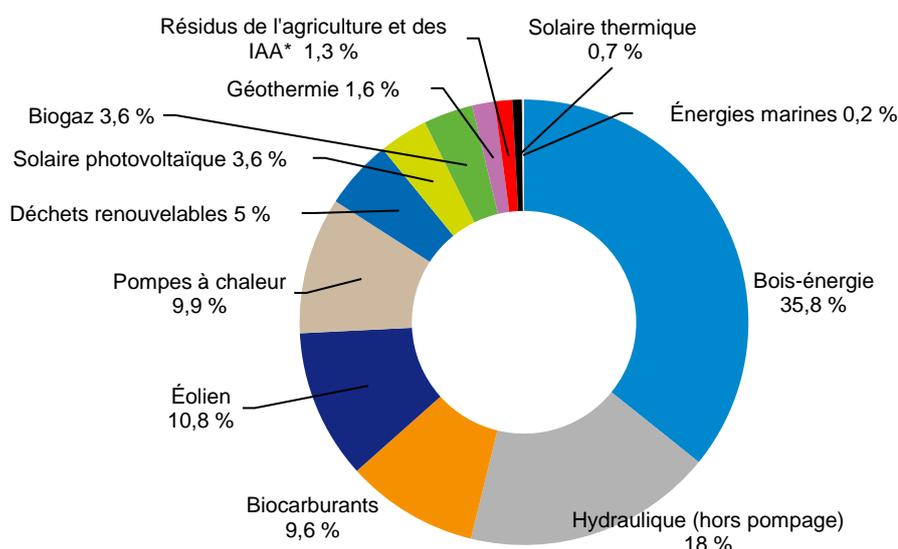
Type	Consommation (TWh)	Part (%)
Nucléaire	1 157	40
Pétrole	833	28,8
Gaz naturel	454	15,7
Énergies renouvelables	339	11,7
Charbon	87	3
Déchets non renouvelables	23	0,8
<b>Total</b>	<b>2 893</b>	<b>100</b>

Lecture : TWh = térawattheure. La conversion entre les unités de mesure s'effectue comme suit : 1 kWh =  $3,6 \cdot 10^6$  J ; 1 tep =  $4,186 \cdot 10^{10}$  J ; 1 tep = 11 630 kWh ; 1 kWh =  $8,5985 \cdot 10^{-5}$  tep. Ici, les données ont été corrigées pour tenir compte des variations climatiques.

Source : Service de la donnée et des études statistiques-SDES, 2019

Le nucléaire ainsi que les produits pétroliers et le gaz restent les principales sources d'énergie en France. La moitié de l'énergie consommée a été produite en France. Au total, la consommation finale d'énergie s'élève à 154 Mtep (millions de tonnes d'équivalent pétrole). La production d'électricité, qui représentait 538 TWh en 2018, provient à plus de 70 % de l'énergie nucléaire, les énergies renouvelables se répartissant entre l'hydroélectricité (11,2 % de la production), l'énergie éolienne (6,3 %), le solaire photovoltaïque (2,2 %) et les bioénergies (1,8 %). Ces dernières prennent en compte la production d'électricité à partir de biogaz, de biomasse solide et de déchets ménagers<sup>13</sup>.

**Figure 1 – Production primaire d'énergie renouvelable par type, en %, en 2019**



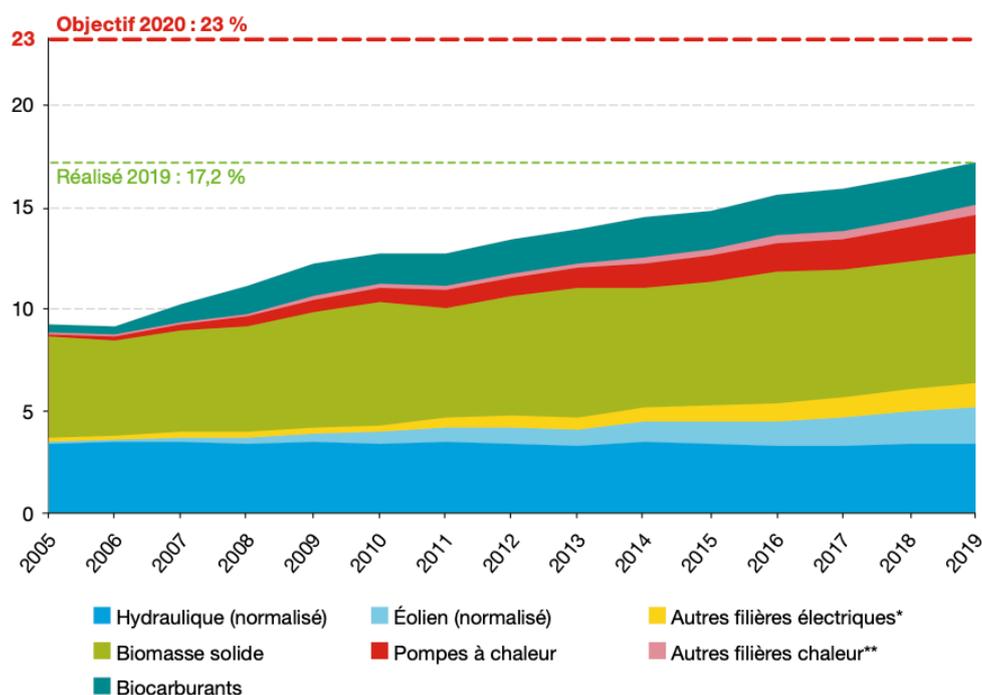
\* IAA : industries agroalimentaires.

Source : SDES, 2019

<sup>13</sup> SDES (2020), [Chiffres clés des énergies renouvelables](#), Datalab Énergie, Édition 2020, juillet, 92 p.

En 2019, la production primaire d'énergie renouvelable était d'environ 320 TWh, inférieure à la consommation primaire en raison des importations d'énergie (les échanges extérieurs de bois-énergie et de biocarburants présentent un solde importateur). La biomasse solide (représentée en quasi-totalité par la filière bois-énergie, utilisée pour le chauffage) est la première source d'énergie renouvelable consommée en France (près de 40 % en 2019), devant l'hydroélectricité (environ 20 %). Près de 50 % de l'énergie primaire renouvelable produite provient de la biomasse. Cependant, la biomasse majoritairement agricole – biocarburants, résidus agricoles, biogaz – ne représente qu'environ 14 % de l'énergie produite (44,8 TWh).

Figure 2 – Part d'énergie renouvelable dans la consommation finale brute par type (en %)



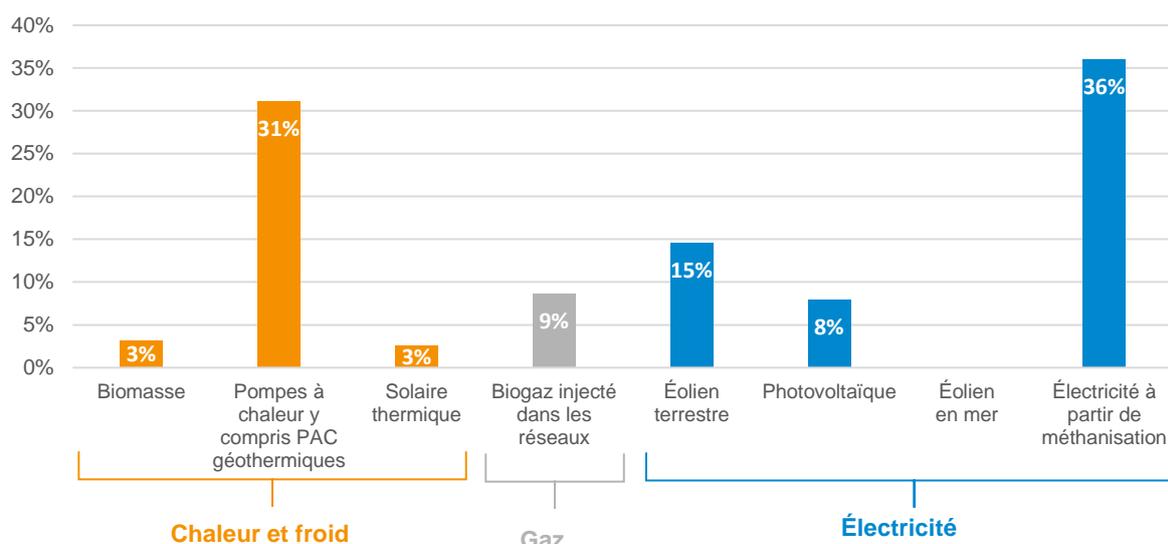
\* Solaire photovoltaïque, énergies marines et électricité à partir de biomasse et de géothermie.

\*\* Solaire thermique, géothermie et biogaz.

Source : SDES, 2019

La directive européenne 2009/28/CE fixait un objectif pour la France d'au moins 23 % d'énergie renouvelable dans la consommation finale brute d'énergie d'ici à 2020. En 2017, cette part n'était que de 16 %, pour passer à 17,2 % en 2019, en dessous des cibles du plan d'action national en faveur des énergies renouvelables. Ce retard sur les objectifs fixés en 2010 concerne à la fois les filières électricité et chaleur. Seul le secteur des transports atteint les siens, avec une part d'énergies renouvelables dépassant la trajectoire prévue pour 2017 (9,1 % en 2017 pour un objectif de 10,5 % en 2020).

Figure 3 – Part de l'accroissement prévu entre 2018 et 2023 réalisé en 2019



Lecture : les objectifs relatifs à la chaleur et au froid ainsi qu'au gaz renouvelable sont exprimés en production d'énergie renouvelable, tandis que ceux relatifs à l'électricité renouvelable le sont en puissance installée. En 2019, s'agissant de la production de chaleur renouvelable issue des pompes à chaleur, 31 % de l'accroissement nécessaire pour atteindre l'objectif fixé en 2023 a été effectué.

Champ : France métropolitaine continentale (champ défini par la PPE).

Source : SDES, 2019

En 2019, seules les filières de production d'électricité à partir de méthanisation et des pompes à chaleur semblent en phase avec les hausses de production prévues, avec plus d'un tiers de la hausse fixée déjà réalisée. On note une forte disparité entre les filières. La biomasse, tout comme le solaire thermique, accuse un retard important : seulement 3 % des objectifs d'accroissement de production sont atteints en 2019 par rapport à la cible 2023. Ces filières représentent les principaux leviers mobilisables avec le biogaz, l'éolien et l'hydroélectricité. Les retards dans la mise en service des parcs éoliens offshore ainsi que les conditions climatiques ayant un impact sur la consommation de biomasse pour la production de chaleur peuvent expliquer en partie ces résultats. La valorisation thermique du biogaz fait également l'objet d'un développement potentiellement insuffisant pour atteindre les objectifs français. L'enjeu de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), qui se veut le fondement de l'avenir énergétique, est de prendre en compte la situation actuelle afin d'adapter et d'optimiser les objectifs de production pour chaque secteur énergétique.

### 3. Principales stratégies françaises en matière de climat

#### 3.1. La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC)

La SNBC, publiée en 2015, est une feuille de route définissant une trajectoire de réduction des émissions de GES jusqu'en 2050 et fixant des objectifs à court et moyen termes – les budgets carbone –, tout en formulant des recommandations d'action. Les budgets carbone sont des plafonds d'émissions à ne pas dépasser pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050.

Outre l'objectif à long terme de neutralité et la trajectoire à suivre pour y parvenir, la SNBC présente 45 lignes directrices couvrant tous les secteurs d'activité et portant également sur les aspects de gouvernance (nationale et territoriale) et sur certains aspects transversaux (empreinte carbone<sup>14</sup>, investissements, R & D, éducation, etc.). Les lignes directrices de cette stratégie sont à mettre en relation avec ses principaux objectifs, que sont la décarbonation de la production d'énergie, la réduction de moitié de la consommation énergétique et l'augmentation des puits de carbone.

Le scénario développé pour la SNBC a été conçu lors d'un exercice de projection conjoint avec la PPE. Il prend en compte les mesures de politique publique qui permettraient à la France de respecter ses objectifs énergétiques et climatiques. Pour réduire la consommation d'énergie, l'amélioration de l'efficacité énergétique des logements et des équipements est cruciale, tout comme la réduction des émissions de l'agriculture reposant sur le développement de l'agroécologie, de l'agroforesterie et de l'agriculture de précision.

Pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, il faudra également renforcer les puits de carbone naturels et développer les technologies de capture et de stockage du carbone. Dans sa version révisée, la SNBC fixe un objectif d'émissions « incompressibles » en 2050 égal à 80 Mt CO<sub>2eq</sub> hors secteurs d'utilisation des terres<sup>15</sup>. Ces émissions ont été estimées à 546 Mt CO<sub>2eq</sub> en 1990 et 458 Mt CO<sub>2eq</sub> en 2015. L'objectif exige donc de diviser par sept des émissions par rapport à la référence de 1990. Pour atteindre la neutralité carbone, ces émissions devront être compensées par un puits de carbone qui absorbera au moins 80 Mt CO<sub>2eq</sub> par an à partir de 2050, puits principalement composé des forêts et terres agricoles ainsi que des produits du bois. En 2050, comme le montre le Graphique 4 page suivante, les principales émissions proviendront des secteurs non énergétiques (agriculture, industrie). Le scénario fait également appel à un certain nombre de nouvelles technologies (par exemple, le captage artificiel et le stockage du CO<sub>2</sub>) qui pourraient permettre d'équilibrer les émissions résiduelles non énergétiques et énergétiques.

En ce qui concerne les budgets carbone, l'étude de la période 2015-2018 réalisée par le Citepa (centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique)<sup>16</sup> montre un dépassement estimé à 65 Mt CO<sub>2eq</sub> sur l'ensemble de la période, soit 16 Mt CO<sub>2eq</sub> par an hors UTCF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie). Le taux moyen de diminution des émissions durant cette période (1 %) est inférieur au taux prévu par la SNBC, qui était de 2,2 % (Citepa, 2020). La version révisée de la stratégie fixe de nouveaux budgets carbone pour les périodes 2019-2023 et 2024-2028, en plus de l'adoption d'un quatrième budget carbone (2029-2033) (Graphique 5).

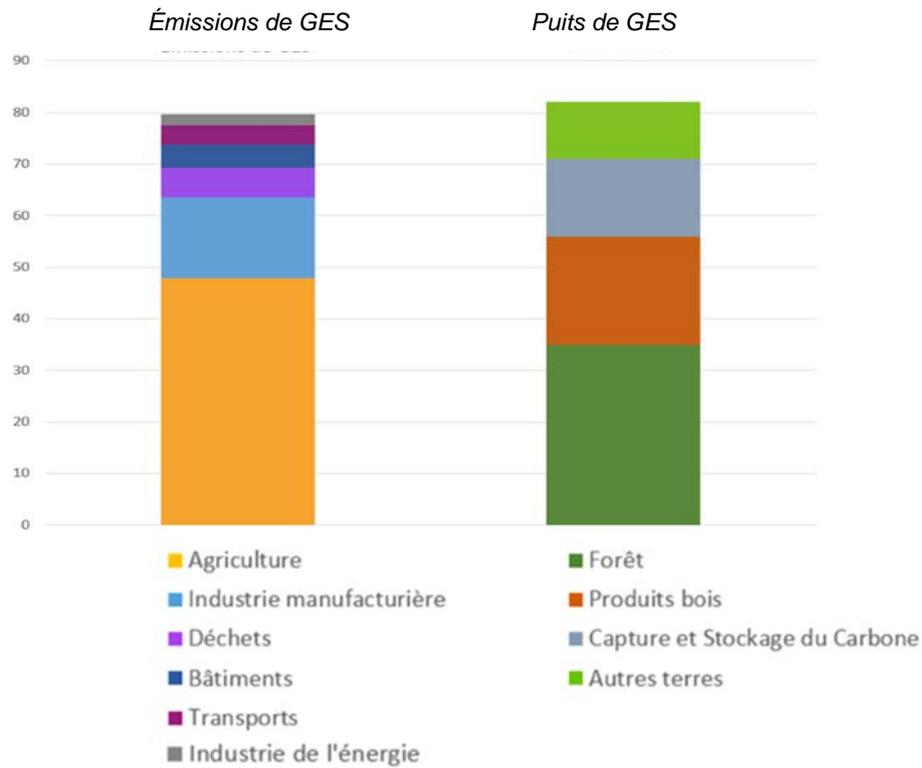
---

<sup>14</sup> Selon l'Insee, l'empreinte carbone représente la quantité de gaz à effet de serre (GES) induite par la demande finale intérieure d'un pays (consommation des ménages, administrations publiques, organismes à but non lucratif, investissement), que ces biens ou services soient produits sur le territoire national ou importés. Voir la définition [sur le site de l'Insee](#).

<sup>15</sup> Ministère de la Transition écologique (2020), [Stratégie nationale bas-carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone](#), mars, 192 p.

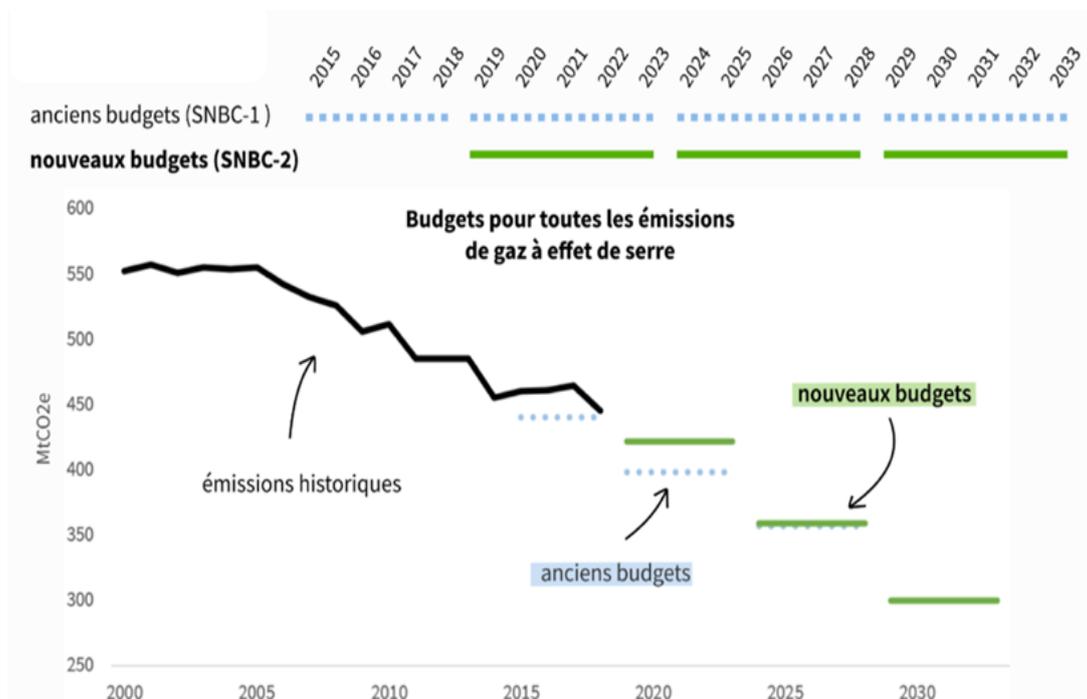
<sup>16</sup> Citepa (2020), [Adoption formelle de la 2<sup>e</sup> Stratégie nationale bas-carbone et des trois prochains budgets carbone](#), mai.

Figure 4 – Puits de carbone et émissions en France en 2050



Source : SNBC, 2020

Figure 5 – Nouveaux budgets carbone de la SNBC (hors UTCF)



UTCf : utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie.

Source : Citepa, 2019

La version révisée en 2020 de la SNBC est encore plus ambitieuse, avec un taux de réduction des émissions de gaz à effet de serre plus élevé : la réduction attendue était de -20 % en 2015 entre le premier et le troisième budget, elle est de -30 % en 2020 entre le deuxième et le quatrième budget. Ces efforts concerneront tous les secteurs de notre économie et nécessiteront un recours accru à la biomasse.

### **3.2. La Programmation pluriannuelle de l'énergie**

La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) « fixe les priorités d'action des pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie afin d'atteindre les objectifs de politique énergétique définis par la loi »<sup>17</sup>. Elle est élaborée de manière concertée avec la SNBC pour fixer des objectifs de production à chaque secteur énergétique.

Les priorités d'action dans le secteur de l'énergie sont les suivants :

- réduction des émissions de GES de 40 % entre 1990 et 2030 ;
- réduction de la consommation finale d'énergie (-20 % en 2030) et en particulier de la consommation de combustibles fossiles (-40 % en 2030) ;
- augmentation de la part des énergies renouvelables à 33 % de la consommation brute d'énergie finale en 2030 ;
- réduction de la part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité à 50 % d'ici à 2035.

La PPE présente différents thèmes tels que la sécurité d'approvisionnement, l'amélioration de l'efficacité énergétique, le développement des énergies renouvelables, les enjeux des réseaux/distribution (stockage, transformation, pilotage), la mobilité propre mais aussi la préservation du pouvoir d'achat et la compétitivité des prix de l'énergie. S'aligner sur la trajectoire de neutralité carbone implique non seulement de réduire l'utilisation des combustibles fossiles, mais aussi de diversifier le bouquet énergétique. Pour y parvenir, la PPE prévoit de doubler la capacité installée d'énergies renouvelables par le biais de différents leviers : augmentation des aides financières pour la chaleur renouvelable, nouveaux appels d'offres pour l'électricité renouvelable, consolidation de l'obligation d'acheter du gaz renouvelable à un tarif réglementé, etc.

Les objectifs associés aux énergies renouvelables consistent à augmenter la capacité installée de 48,6 GW fin 2017 à 73,5 GW en 2023 pour atteindre entre 101 et 113 GW en 2028. Le tableau 2 page suivante résume ces objectifs par type d'énergie à partir de données extraites de la PPE 2016-2020 par l'OPECST<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Ministère de la Transition écologique (2020), [Stratégie française pour l'énergie et le climat. Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023, 2024-2028](#), novembre, 399 p.

<sup>18</sup> Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

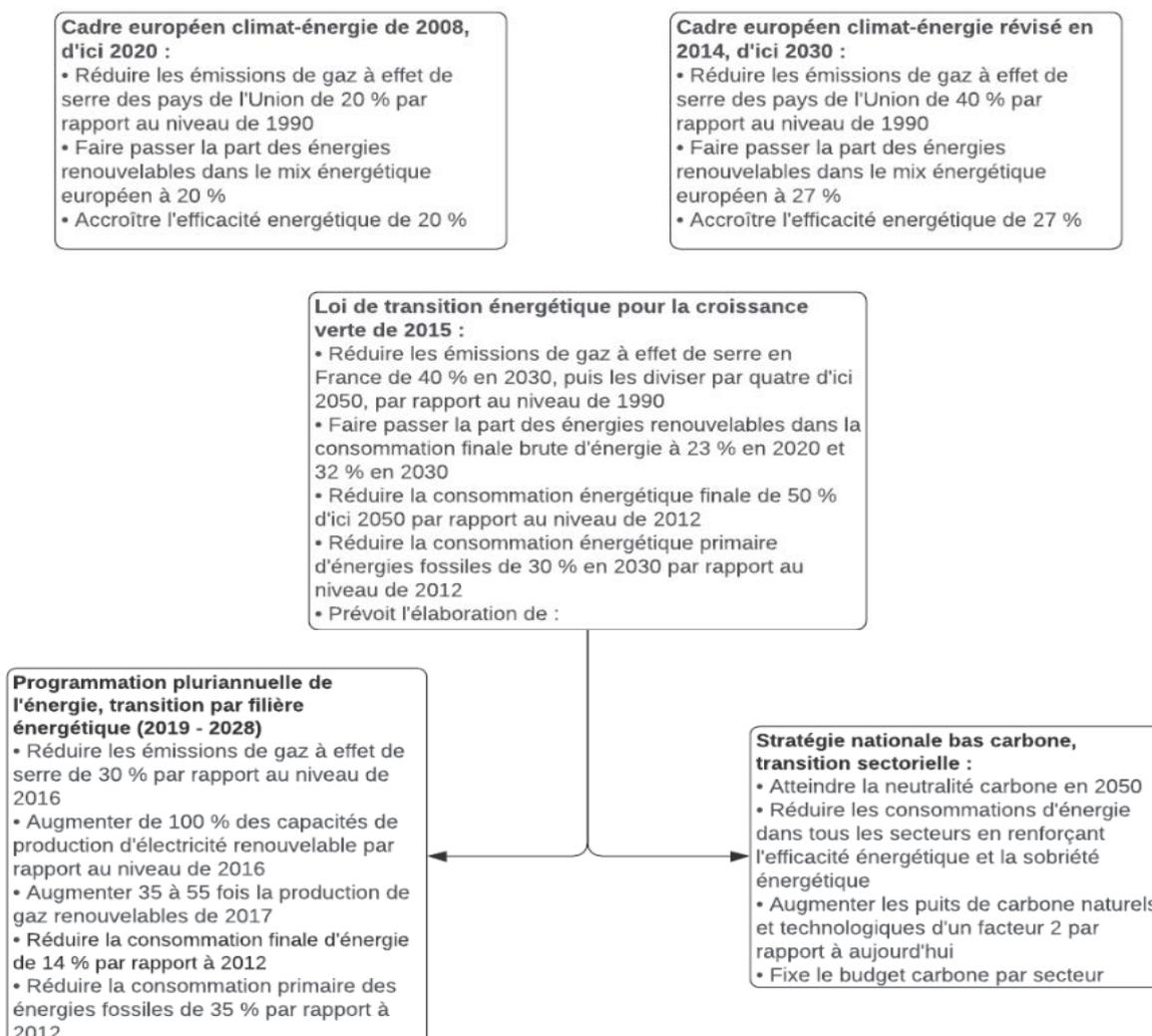
Tableau 2 – Objectifs de la PPE pour la capacité installée d'énergies renouvelables, en GW

Capacité installée en GW	2018 (PPE 2016)	2023 (PPE 2016)	2023 (PPE 2020)	2028 (PPE 2020)
Hydroélectricité	25,3	25,8 - 26,05	25,7	26,4 - 26,7
Éolien terrestre	15	21,8 - 26	24,1	33,2 - 34,7
Éolien en mer	0,5	3	2,4	5,2 - 6,2
Photovoltaïque	10,2	18,2 - 20,2	20,1	35,1 - 44
Biomasse solide	0,54	0,79 - 1,04	0,9	0,8
Biogaz	0,137	0,237 - 0,3	0,27	0,34 - 0,41
Géothermie	0,008	0,053	0,024	0,024
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>70 - 77</b>	<b>73,5</b>	<b>101 - 113</b>

GW = gigawatt.

Source : PPE (2016-2017), OPECST (2019)

Figure 6 – Synthèse des politiques et stratégies en matière de climat



Source : Courteau et Fugit (2020)

## 4. La place de la biomasse dans ces stratégies

Les objectifs nationaux et européens en matière d'énergies renouvelables (hausse des capacités de production et de la consommation finale brute) et de puits de carbone naturels (doublement du niveau actuel tel qu'indiqué par la SNBC<sup>19</sup>) nécessitent une utilisation renforcée de la biomasse à des fins énergétiques et agronomiques (retour au sol conséquent afin de contribuer à la fertilité des sols), sans oublier les utilisations pour les filières chimie et matériaux. La biomasse est donc appelée à jouer un rôle de plus en plus important, entraînant ainsi une mobilisation accrue. En effet, pour atteindre l'objectif de neutralité, il est nécessaire de décarboner presque entièrement la production d'énergie d'ici à 2050<sup>20</sup>, ce qui passera par une augmentation de l'utilisation de la biomasse-énergie (cultures, résidus/coproduits agricoles, produits du bois, bois énergie, etc.) La SNBC prévoit une production énergétique de biomasse 2,5 fois supérieure à celle d'aujourd'hui, en essayant de tenir compte de tous les enjeux sous-jacents (biodiversité, ressources, conditions économiques) et en favorisant les usages locaux.

### 4.1. Biomasse et production d'énergie

La SNBC prévoit un besoin énergétique final d'environ 1 060 TWh en 2050<sup>21</sup>. Sur ce total, 110 TWh seraient fournis par des combustibles solides utilisant 110 TWh de ressources en biomasse brute (comme le bois). À cela s'ajoutent 100 TWh d'énergie qui seraient couverts par des combustibles liquides (biocarburants) utilisant 140 TWh de biomasse brute. Enfin, 180 TWh seraient fournis par des combustibles gazeux utilisant 200 TWh de biomasse brute. Ainsi, environ 450 TWh de ressources de biomasse brute pourraient être mobilisés à des fins énergétiques d'ici à 2050, contre environ 180 TWh en 2016.

Toujours selon le cadre estimé par la SNBC, près de 250 TWh de biomasse agricole (agroforesterie comprise), 100 TWh de biomasse forestière et 100 TWh de déchets (bois inclus), effluents d'élevage et autres résidus devront être utilisés à des fins énergétiques. Ces chiffres sont très ambitieux et supposent un niveau de mobilisation élevé ainsi qu'une valorisation optimale des ressources. Les tableaux ci-dessous résument les différents objectifs énergétiques fixés par la PPE et impliquant potentiellement une mobilisation accrue de la biomasse.

### Chaleur et froid renouvelables et récupérables

Tableau 3 – Objectifs liés à la chaleur renouvelable, PPE 2020, en TWh

Indicateur	Périmètre	Source	2015	2016	2017	2018	2023	2028
Biomasse	Métropole	SDES	110	118	114	113	145	157-169

Source : PPE (2020)

<sup>19</sup> Scénario AMS (« Avec mesures supplémentaires »), servant de base à la réflexion pour l'élaboration de la SNBC et de la PPE.

<sup>20</sup> Rappelons que sans une diminution de la consommation d'énergie, les gisements d'énergie décarbonée et de biomasse ne suffiront pas à remplacer la consommation actuelle de combustibles fossiles.

<sup>21</sup> À titre de comparaison, la consommation finale de 2017 s'élevait à 1 644 TWh.

En 2017, la chaleur représentait près de 42 % de la consommation d'énergie finale (741 TWh) dont 114 TWh issus de la biomasse. L'objectif est de porter cette consommation à 169 TWh en 2028 (trajectoire haute).

### Gaz renouvelable

Tableau 4 – Objectifs liés au gaz renouvelable, PPE 2020, en TWh

Indicateur	Périmètre	Source	2015	2016	2017	2018	2023	2028
Part de gaz renouvelable dans la consommation totale de gaz, en %	Métropole	SDES	1,1	1,1	1,2	1,4	3	6-8
Biogaz injecté dans les réseaux, en TWh	Métropole	SDES	0,07	0,19	0,37	0,64	6	14-22

Source : PPE (2020)

La PPE vise, à terme, à remplacer le gaz naturel par du biogaz ou du gaz de synthèse. Elle ambitionne également d'augmenter la part du biogaz dans la consommation totale de gaz. Cette part devrait atteindre 8 % de la consommation en 2030 (si les réductions de coûts visées sont réalisées), le volume de biogaz injecté passant de 0,4 TWh en 2017 à près de 22 TWh en 2028 en trajectoire haute.

### Électricité

Tableau 5 – Objectifs liés à l'électricité renouvelable, PPE 2020, en mégawatts

Indicateur	Périmètre	Source	2015	2016	2017	2018	2023	2028
Électricité à partir de biomasse	Métropole	SDES	467	557	566	735	800	800
Électricité à partir de biogaz	Métropole	SDES	109	126	150	166	270	340-410

Source : PPE (2020)

Les énergies renouvelables représentaient 20 % de la production nationale d'électricité en 2018 (selon la version 2020 de la PPE). L'hydroélectricité, l'énergie solaire photovoltaïque et l'éolien terrestre sont les principales filières qui contribueront à porter cette part à 40 % d'ici 2030<sup>22</sup>. Comme vu précédemment, la capacité installée devrait également passer de 48,6 GW fin 2017 à près de 110 GW en 2028. Le rôle de la biomasse dans la production d'électricité est limité (environ 0,3 % de la capacité totale installée en 2023) compte tenu de son coût élevé et de sa faible efficacité énergétique<sup>23</sup>. La PPE réserve principalement ses régimes d'aide à la production de chaleur à partir de biomasse.

<sup>22</sup> Objectif de la LTECV.

<sup>23</sup> En ce qui concerne la production électrique seule à partir de biomasse, le rendement associé est de l'ordre de 20 % à 25 %, d'où l'intérêt de la cogénération, permettant la production en parallèle de chaleur avec un rendement total (chaleur + électricité) pouvant atteindre entre 60 % et 75 % au maximum.

## Carburants liquides renouvelables

En ce qui concerne les carburants liquides, la PPE insiste sur une transition vers des biocarburants en limitant les impacts négatifs sur l'environnement. En 2028, les combustibles liquides devraient représenter 432 TWh. L'objectif maximum d'incorporation de biocarburants de première génération (1G), fabriqués principalement à partir de cultures alimentaires (céréales, cannes à sucre, betteraves, autres huiles végétales) étant fixé à 7 %, les biocarburants de deuxième génération (2G), produits à partir de cultures non alimentaires (cultures lignocellulosiques<sup>24</sup>, résidus forestiers et autres coproduits) devraient principalement contribuer au développement de la filière. Toutefois, les critères de durabilité et de traçabilité de ces carburants restent à définir. D'ici à 2028, les parts des biocarburants avancés incorporés dans l'essence et le diesel devraient être respectivement de 3,8 % et 2,8 %.

La biomasse apparaît donc comme indispensable à l'atteinte des objectifs énergétiques français. Sa production devra être développée sans épuisement des ressources et en tenant compte des enjeux critiques associés (biodiversité, ressources, conditions climatiques et environnementales, etc.).

## 4.2. Biomasse, sols et stockage carbone

Selon la SNBC, d'ici à 2050, les puits de carbone naturels devront être multipliés par 2 pour atteindre environ 65 Mt CO<sub>2eq</sub>. Les technologies et procédés industriels de captage<sup>25</sup>, de stockage et de réutilisation du carbone représenteraient une absorption de 15 Mt CO<sub>2eq</sub> en 2050. Le puits total, estimé à 80 Mt CO<sub>2eq</sub>, repose donc en grande partie sur le stockage naturel du carbone, dans les forêts (35 Mt CO<sub>2eq</sub>), les produits du bois (20 Mt CO<sub>2eq</sub>) et les autres terres (10 Mt CO<sub>2eq</sub>). La réalisation de ces objectifs nécessite à la fois de préserver le bon fonctionnement des différents puits de carbone et de développer le stockage dans les sols et la biomasse. Ce stockage pourra s'appuyer sur différents leviers tels que l'utilisation accrue de matériaux biosourcés (bois, fibres, etc.), l'optimisation de la filière bois (reboisement, augmentation des récoltes), la limitation de l'artificialisation des terres et le développement de l'agroécologie (pour augmenter le stockage carbone des sols par de nouvelles pratiques).

Il existe une grande diversité de sols. La quantité maximale de matière organique qu'ils contiennent peut varier fortement d'un écosystème à l'autre, en fonction du type de sol, de la nature et de la quantité des apports en matière organique, de l'activité biologique (dont dépendent à la fois l'humification et la minéralisation) ou encore de la température<sup>26</sup>. De grandes différences en termes de stockage carbone sont donc visibles entre les sols forestiers, les sols agricoles, les sols dégradés ou artificiels<sup>27</sup>. Tout comme la biomasse, les sols peuvent être une ressource non renouvelable à l'échelle temporelle des activités

<sup>24</sup> Cultures à forte teneur en cellulose, hémicellulose et lignine, notamment le miscanthus, le panic érigé, la fétuque, le sorgho fibre, le maïs fibre et le chanvre.

<sup>25</sup> Capture artificielle de CO<sub>2</sub>, utilisée en complément des puits de carbone naturels.

<sup>26</sup> Courteau R. et Fugit J.-L. (2020), *L'Agriculture face au défi de la production d'énergie*, rapport n° 646 (2019-2020), fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, juillet, 211 p. Ontl T. A. et Schulte L. A. (2012), « [Soil Carbon Storage](#) », *Nature Education Knowledge*, vol. 3, issue 10, janvier.

<sup>27</sup> Pellerin S., Bamière L. et al. (2019), *Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ?*, Rapport d'étude, INRA, 114 p.

humaines. En effet, la dégradation des sols, due à la surexploitation, réduit le rendement agricole et forestier ainsi que la capacité de stockage carbone, et peut alors entraîner des pertes fonctionnelles. La dynamique des stocks de carbone dans les sols est encore très incertaine et la capacité maximale de stockage carbone reste difficile à estimer précisément<sup>28</sup>. Un stockage supplémentaire n'est pertinent qu'à moyen terme et de manière limitée dans le temps, car les sols atteindraient un nouvel équilibre après quelques décennies. La durée nécessaire pour atteindre ce nouvel équilibre peut être de vingt ans ou plus de cent ans, selon les conditions.

Si on exclut la forêt guyanaise, les écosystèmes agricoles et forestiers représentant environ 75 % du territoire français stockeraient actuellement 4 à 5 Gt de carbone (soit 15 à 18 Gt de CO<sub>2</sub>), dont près d'un tiers dans la biomasse (principalement par le biais des arbres) et plus de deux tiers dans les sols au sens strict<sup>29</sup>. Ce chiffre peut atteindre 25 Gt de CO<sub>2</sub> avec les quelque 8 millions d'hectares de la forêt guyanaise. Toute variation positive ou négative de ce stock aura une incidence sur les émissions nationales de GES. Un stockage supplémentaire est possible, particulièrement dans les terres arables et les prairies temporaires, ces types de sols présentant le plus fort potentiel de stockage carbone<sup>30</sup>. Ceci peut s'expliquer par le fait que les sols des prairies et forêts présentent déjà un haut niveau de stockage contrairement aux terres arables (grandes cultures) où le stockage carbone est faible. Ce stockage peut être accru et préservé à condition de s'appuyer sur plusieurs pratiques agricoles (développement de couvertures végétales, agroforesterie, prairies temporaires, plantation de haies, réutilisation du compost et des déchets organiques, etc.), qui présentent des co-bénéfices potentiels sur la production et le niveau de biomasse (hausse de la production et de la disponibilité).

### 4.3. La mobilisation de la biomasse en France

Résultant de l'application de la LTECV, une Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (SNMB) a été publiée en 2018 pour « préciser les objectifs nationaux de mobilisation de la biomasse, tant qualitativement que quantitativement »<sup>31</sup>. Elle définit les orientations, les recommandations et les actions relatives à la production et à l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques, chimiques et pour des usages matériaux (construction en bois, fibres et dérivés). La stratégie vise donc à accroître la mobilisation de la biomasse – en particulier pour l'approvisionnement énergétique – tout en veillant à ce que ses utilisations soient coordonnées (limiter les conflits d'usage) et en atténuant les éventuels impacts négatifs (socioéconomiques, environnementaux, etc.).

La SNMB est un « document-cadre » sans portée juridique particulière mais tient compte des orientations et des objectifs nationaux ainsi que des indicateurs régionaux. Cette stratégie présente différentes échelles de temps (2018 et 2023 puis 2030 et 2050) et doit être révisée périodiquement, au plus tard un an après chaque révision de la PPE. Une seule version datant de 2018 est actuellement disponible. La production de biomasse étant

<sup>28</sup> Commissariat général au développement durable et EFSE (2019), [La séquestration du carbone par les écosystèmes français](#), Paris, La Documentation française, coll. « Théma Analyse », 102 p.

<sup>29</sup> Courteau R. (2018), « Stocker plus de carbone dans les sols : un enjeu pour le climat et pour l'alimentation », *Les Notes scientifiques de l'office*, note n°3, OPECST, mars.

<sup>30</sup> Pellerin S., Bamière L. et al. (2019), [Stocker du carbone dans les sols français](#), op. cit.

<sup>31</sup> Ministère de la Transition écologique (2018), [Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse](#), 131 p.

un enjeu intrinsèquement lié aux territoires, la SNMB présente une vision décentralisée. En effet, elle précise les objectifs nationaux de mobilisation de la biomasse au niveau qualitatif et quantitatif et les détaille à l'échelle régionale afin d'estimer dans quelle proportion chaque région peut contribuer à l'atteinte des objectifs nationaux. Ce sont les régions, par les schémas régionaux de biomasse (SRB), qui décident finalement des objectifs opérationnels adaptés aux spécificités de leur territoire. Ces plans déterminent les actions à mettre en œuvre pour le développement des filières de production et de valorisation de la biomasse à moyen terme.

## 5. La biomasse en France

### 5.1. Définition et premier aperçu

Étymologiquement, la biomasse se réfère à la masse totale des organismes vivants, soit à l'ensemble des matières organiques, d'origine végétale ou animale<sup>32</sup>. Le décret du 19 août 2016 et l'instruction de décembre 2016 se référant au Code de l'énergie en donnent une vision précise et large : la biomasse y est définie comme la « fraction biodégradable des produits, déchets et résidus de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales provenant de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers ». Elle peut donc provenir des milieux forestiers, marins et aquatiques, mais aussi des résidus de cultures ou des effluents d'élevage, des parcs et jardins, des déchets organiques ou des industries générant des résidus ou des coproduits (comme l'industrie alimentaire).

Selon les dernières statistiques agricoles annuelles<sup>33</sup>, le territoire métropolitain français se répartit approximativement comme suit :

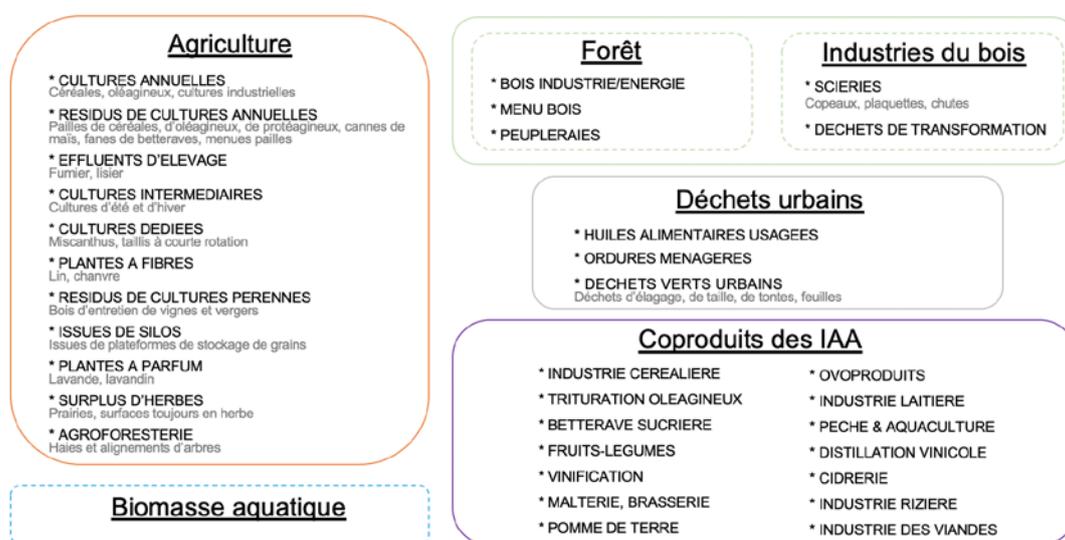
- 13 % de territoire non agricole ;
- 7 % de terres agricoles non cultivées ;
- 31 % de peupleraies, bois et forêts ;
- 2 % de vignobles, vergers et autres ;
- 14 % de surfaces en herbe ;
- 33 % de terres arables.

La France présente donc une grande variété de ressources en biomasse qui peuvent être classées selon leur origine en trois grandes catégories : la biomasse forestière, la biomasse agricole et la biomasse issue des déchets urbains. La biomasse des milieux aquatiques et marins (mers et océans par exemple), bien que jouant un rôle très important dans l'alimentation, contribue peu à la collecte de biomasse pour des usages non alimentaires. On peut également distinguer la biomasse sèche (plantes récoltées) de la biomasse humide (déchets, effluents d'élevage, etc.), les principales différences résidant dans les utilisations et traitements associés.

<sup>32</sup> Bichat H. et Mathis P. (2013), *La biomasse, énergie d'avenir ?*, Paris, Quae, coll. « Enjeux sciences ».

<sup>33</sup> Agreste (2020), *Statistique agricole annuelle, 2018-2019. Données provisoires*, coll. « Chiffres et données », n° 2, mai, 63 p.

Figure 7 – Aperçu des différents types de biomasse



Source : FranceAgriMer, 2020

En France métropolitaine, les surfaces boisées et peupleraies, représentant 17 millions d'hectares en 2019, couvrent environ 31 % de la surface totale (estimée à 55 millions d'hectares par l'Institut national de l'information géographique et forestière - IGN)<sup>34</sup>. Selon la SNMB, l'exploitation forestière en France équivaut actuellement à près de la moitié de la croissance naturelle des forêts recensées. Elle se concentre sur les forêts gérées (une grande majorité des forêts publiques et un tiers des forêts privées disposant de documents de gestion durable), les autres zones n'étant peu ou pas gérées (hormis les coupes de bois importantes des particuliers). La biomasse forestière est une source de bois principalement à destination des secteurs de l'énergie et de la construction<sup>35</sup>. L'utilisation du bois peut être très différente selon ses caractéristiques (essence, taille, caractéristiques mécaniques, etc.) et les besoins associés. Les principaux produits dérivés de la biomasse forestière sont le bois d'œuvre (ébénisterie, menuiserie, charpenterie, sciage, etc.), le bois industriel et énergétique (broyage, déchiquetage, grumes, copeaux, etc.), les petits produits du bois (utilisation énergétique) ainsi que les déchets et coproduits de l'industrie de transformation du bois.

La biomasse agricole couvre l'ensemble des matières organiques provenant des systèmes agricoles (cultures, zones herbeuses, résidus de cultures, effluents d'élevage, etc.). La production agricole est principalement destinée à l'alimentation – humaine et animale – mais peut également répondre à d'autres besoins (matériaux, énergies, litière/paillage, etc.). La France est le premier producteur agricole de l'Union européenne tant pour la production végétale (18 % de la valeur de la production européenne) que pour la production animale (15 %). Le pays est aussi le premier producteur européen, en valeur, de céréales, de plantes fourragères, de vin, de pommes de terre et de bétail<sup>36</sup>.

<sup>34</sup> Agreste (2020), [Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires](#), coll. « Chiffres et données », n°2, avril, 63 p.

<sup>35</sup> IFN, FCBA et SOLAGRO (2009), [Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020](#), rapport final, novembre, étude réalisée pour le compte de l'ADEME, 106 p.

<sup>36</sup> Insee (2018), « [L'agriculture française en Europe de 2000 à 2015](#) », *Insee Première*, n° 1704, juillet, 4 p.

La troisième grande catégorie de biomasse concerne les déchets et résidus industriels. Elle est composée de déchets verts urbains, de boues de stations d'épuration, de biodéchets provenant des ménages et de la restauration ainsi que des résidus de l'industrie agroalimentaire<sup>37</sup>. Les biodéchets urbains verts proviennent de déchets lignocellulosiques (feuilles, résidus d'élagage et de tonte), des collectivités ou des entreprises. Les déchets alimentaires des ménages et des restaurants (composés de restes de cuisine) constituent une ressource de biomasse potentiellement importante qui est actuellement peu valorisée. Les résidus de l'industrie agroalimentaire sont principalement utilisés dans l'alimentation animale ou dans la production de matériaux biosourcés et de biocarburants. Le coût de leur valorisation doit être comparé à celui de leur élimination (souvent inférieur), pouvant expliquer une valorisation limitée.

## 5.2. Gisements et utilisations de la biomasse agricole

Selon les données recueillies<sup>38</sup>, la surface agricole utilisée française (SAU) est estimée à 28,6 millions d'hectares en 2019, soit 48 % du territoire métropolitain. Cette SAU se divise entre terres arables (17,9 Mha), cultures permanentes (1 Mha) et surfaces toujours en herbes (9,7 Mha). Le détail des 17,9 Mha de terres arables françaises au niveau métropolitain est présenté dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 6 – Répartition des terres arables, France 2019**

Type	Surface (Mha)	Part (%)
Céréales	9,4	52,4
Prairies artificielles et temporaires	3,13	17,5
Oléagineux	1,9	10,6
Fourrages annuels	1,53	8,5
Jachères	0,47	2,6
Betteraves industrielles	0,45	2,5
Protéagineux	0,24	1,3
Légumes frais	0,22	1,2
Pommes de terre	0,2	1,1
Plantes à fibres	0,14	0,8
Légumes secs	0,07	0,4
Semences et plants divers	0,08	0,4
Plantes aromatiques, médicinales et à parfum	0,05	0,3
Cultures industrielles diverses	0,01	0,1
Fleurs et plantes ornementales	0,01	0,1
Choux, racines et tubercules fourragers	0,02	0,1
Jardins et vergers des exploitants	0,01	0,1

Mha = millions d'hectares.

Source : Agreste (2018-2019)

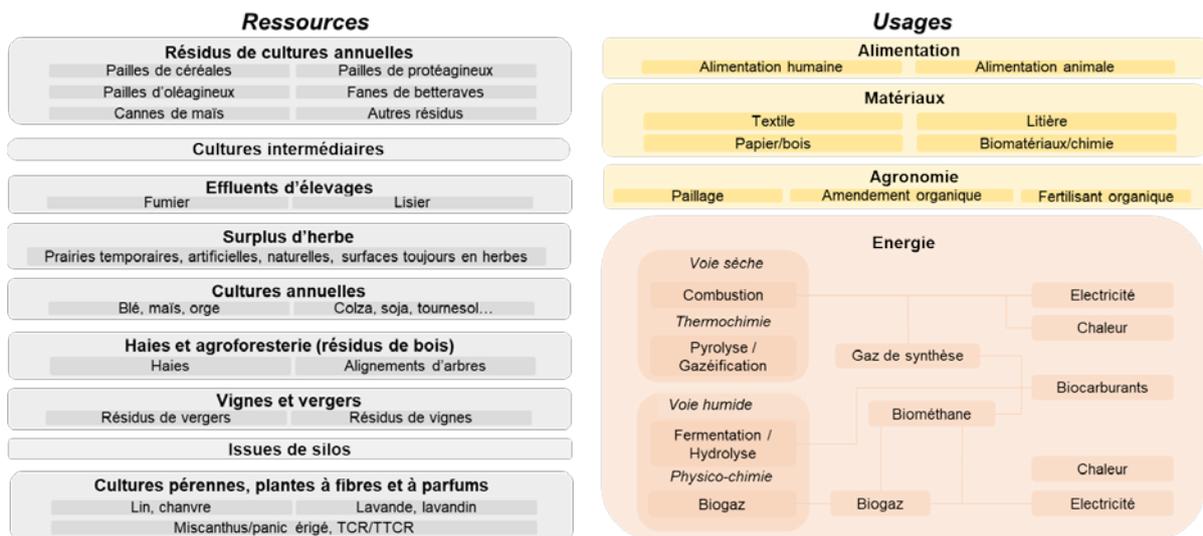
<sup>37</sup> ONRB (2016), [Évaluation des ressources disponibles en France](#), Observatoire national des ressources en biomasse, décembre, 126 p.

<sup>38</sup> Agreste (2020), [Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires](#), op. cit.

La biomasse agricole produite en France apparaît très diversifiée. Une typologie peut être établie selon son type (cultures annuelles, cultures dédiées, résidus, effluents) ou selon son utilisation principale. L'exploitation de la biomasse concerne un grand nombre de secteurs industriels correspondant à autant de technologies de conversion et de valorisation. On peut distinguer plusieurs grandes catégories d'utilisation : alimentaire (humaine et animale), agronomique (retour au sol), énergétique (chaleur, biogaz, électricité), chimique (molécules, etc.) ou biomatériaux (bâtiment, textile, industrie).

Par exemple, les résidus de cultures annuelles comme les pailles sont utilisés pour les besoins animaux (litières, alimentation) tout en assurant un retour au sol lors de la récolte (utilisation agronomique). Ces résidus peuvent également être utilisés à des fins énergétiques (par combustion et pour la production de biogaz). Un autre exemple de ressources à usages multiples concerne les cultures annuelles (blé, maïs, colza...) : leur usage principal est alimentaire mais elles contribuent aussi à la production de biocarburants, de biogaz et de matériaux biosourcés.

Figure 8 – Ressources en biomasse agricole et principaux usages



Source : France Stratégie, 2020

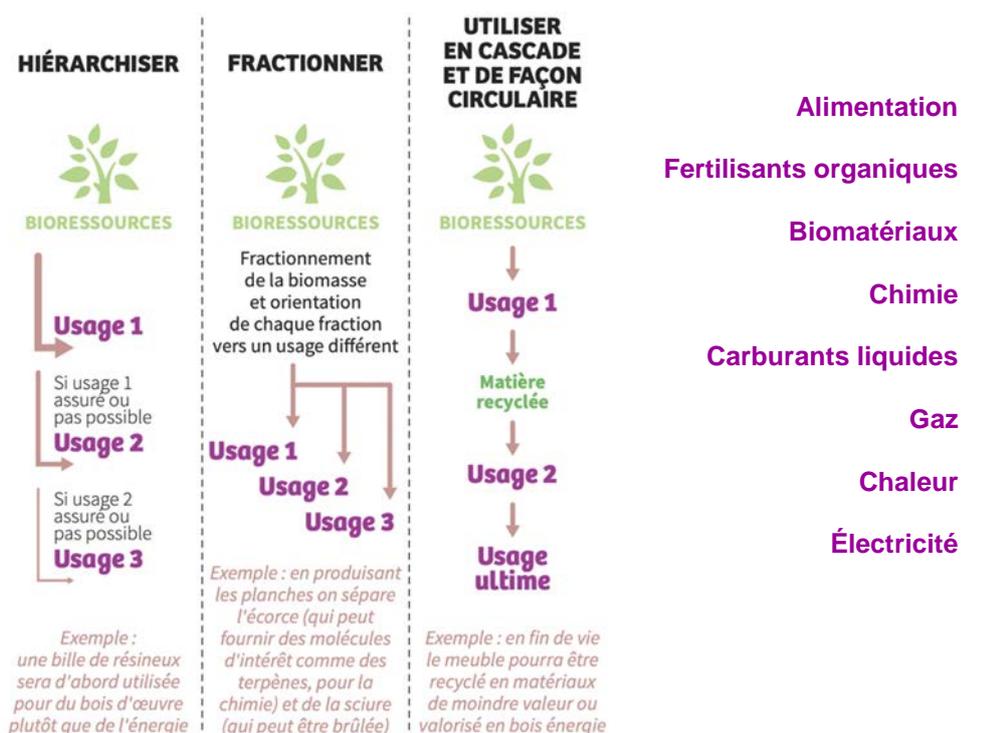
Les effluents d'élevage, les résidus de bois ou encore les cultures pérennes et dédiées présentent également des usages multiples. Ces différentes utilisations possibles étant de plus en plus recherchées, une meilleure prise en compte des conflits ou concurrences liés aux ressources agricoles apparaît nécessaire. Pour permettre une mobilisation accrue de la biomasse, et notamment le développement de ses usages énergétiques, une attention particulière doit être portée à l'articulation et à la hiérarchisation des usages. Ces deux concepts ont été développés pour prévenir les conflits potentiels liés à la biomasse en raison de ses nombreux usages non alimentaires qui « ne reposent pas sur des secteurs interconnectés et [sont] liés à des marchés d'échelles, de règles et de niveaux de maturité différents »<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Ministère de la Transition écologique (2018), [Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse](#), op. cit.

Le développement rapide du secteur de la valorisation de la biomasse peut conduire à des tensions ou à des concurrences (risques de hausse des prix ou d'insuffisance de l'offre). Pour répondre à ces incertitudes, mais aussi prévenir d'éventuels conflits d'usage, la notion de hiérarchisation est importante. Elle repose sur un principe d'utilisation en cascade de la biomasse afin de « maximiser la valeur des produits et d'atteindre une meilleure efficacité globale d'un point de vue de l'utilisation des ressources, en prenant en compte l'ensemble des étapes de la chaîne de valeur et de transformation »<sup>40</sup>. L'émergence de nouveaux secteurs technologiques, susceptibles de donner une valeur différente à la même ressource, peut également être considérée comme une source de concurrence. Les biocarburants avancés pourraient ainsi exploiter divers résidus agricoles (actuellement principalement utilisés à des fins agronomiques et valorisés par combustion ou méthanisation).

Cette vision de la hiérarchisation des usages reste un objectif théorique qui doit faire face aux réalités des filières. La SNMB, dont la vision est centrée sur l'amont des filières, montre une évolution vers la notion d'articulation des usages qui fait partie intégrante de ses objectifs. Elle vise à permettre une offre satisfaisante de valorisation (dans des conditions économiques raisonnables). La hiérarchisation représente alors une voie à atteindre à long terme en utilisant de manière pragmatique l'articulation des usages à court terme pour stimuler et optimiser la mobilisation.

Figure 9 – Hiérarchisation et articulation des usages



Source : *Stratégie nationale bioéconomie (2017), Une stratégie bioéconomie pour la France : enjeux et vision, 36 p.*

<sup>40</sup> *Id.*, p. 30.

À titre d'exemple, l'utilisation du miscanthus et de certains résidus agricoles illustre la manière dont une mise en place opérationnelle de l'articulation des utilisations peut s'opposer au principe de hiérarchisation. En effet, l'utilisation du miscanthus en cascade pour la fabrication de biomatériaux puis comme carburant s'oppose aux pratiques privilégiant la production de biocarburants 2G. Dans le cas des résidus agricoles, une fois les différents besoins de retour au sol satisfaits, la paille par exemple ne peut être en principe utilisée pour la valorisation énergétique qu'en l'absence de débouchés pour des usages agricoles ou de matériaux biosourcés. L'économie bas carbone repose en effet sur le développement des utilisations de la biomasse comme biomatériaux, ce qui implique à terme des tensions dans l'utilisation des résidus agricoles.

### **5.3. Une source d'énergie renouvelable**

La biomasse, sous toutes ses formes, trouve directement ou indirectement son origine dans la photosynthèse, qui permet à la plante de produire de la matière vivante à partir de la lumière du soleil (énergie solaire). Au cours de ce processus, la biomasse capture le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère et utilise la lumière du soleil et l'eau pour le transformer en énergie et en oxygène. Le bilan énergétique final simplifié de la biomasse peut être considéré comme une équation lumière → chaleur<sup>41</sup>. Le carbone n'apparaît pas dans le bilan car ce qui est libéré lors de la combustion provient de ce qui a été précédemment capturé dans l'atmosphère. Participant au cycle biogéochimique du carbone, la biomasse stocke le CO<sub>2</sub> lorsqu'elle est produite et le réémet soit à la fin du cycle (naturellement), soit lors de son utilisation. La seule comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> au point de combustion entre biomasse et énergies fossiles apparaît incomplète. Contrairement aux combustibles fossiles (hydrocarbures) qui, bien que dérivés de la biomasse accumulée dans les sous-sols, ne permettent pas une utilisation renouvelable à l'échelle de la vie humaine et dont la combustion augmente la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, la combustion de la biomasse est censée ne libérer que la quantité de CO<sub>2</sub> préalablement accumulée par les plantes et ne se traduit pas par un ajout net de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Cette notion de « neutralité carbone » appliquée à la biomasse peut néanmoins se révéler inexacte dans certains cas et nécessite plusieurs éclaircissements. Il est en effet bien établi que la valorisation énergétique de la biomasse (notamment dans le cas de la combustion) relâche le carbone absorbé pendant la phase de croissance, correspondant à l'échange continu de carbone entre la biosphère<sup>42</sup> et l'atmosphère. Cependant, bien que valable pour des cultures présentant des cycles courts (cultures annuelles, intermédiaires, etc.), ce raisonnement doit être nuancé dans le cas de l'exploitation forestière du fait des cycles de renouvellements associés plus importants. Une intensification des prélèvements pourrait en effet avoir comme conséquence immédiate la diminution du stockage carbone des forêts. Cette diminution peut être compensée sur le long terme par une gestion optimisée des puits de carbone naturels (forêts, produits bois, etc.), permettant une séquestration additionnelle. Cependant, la durée nécessaire pour obtenir un bilan carbone positif en cas d'augmentation des prélèvements, couramment appelée « dette carbone », peut varier entre dix et cent ans. Passé ce délai, la forêt atteint un état stable où la régénération compense la mortalité.

---

<sup>41</sup> Bichat H. et Mathis P. (2013), *La biomasse, énergie d'avenir ?*, op. cit.

<sup>42</sup> Ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie.

Un maintien de cet état, associé à une mobilisation durable et optimisée, permettrait d'éviter les émissions fossiles de manière globale.

La biomasse-énergie peut donc être considérée comme une énergie décarbonée et renouvelable dont la disponibilité pourrait être permanente dans les limites de la disponibilité des sols, de la matière organique, de l'eau et des usages existants. Il est donc important, lors de l'utilisation de la biomasse-énergie, de veiller à ce que les impacts négatifs sur la biomasse et sa durabilité (biodiversité, propriétés des sols, disponibilité en eau) soient minimisés. De plus, l'utilisation de la biomasse doit être égale à sa formation par photosynthèse pour un bilan carbone nul. La régénération de la biomasse doit donc être au moins égale à sa consommation, en tenant compte des échelles de temps spécifiques (contexte, culture, etc.). Par ailleurs, les procédés agricoles et industriels, mais aussi les transports utilisés lors de la production et de l'utilisation de la biomasse (machines, engrais, transports) peuvent être à l'origine d'émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> mais aussi N<sub>2</sub>O) et donc accroître le bilan carbone global. La réalisation d'études et d'analyses de cycle de vie (évaluations globales et multicritères des impacts environnementaux) au cas par cas est nécessaire pour estimer les impacts des différentes formes de biomasse-énergie (combustible liquide, gaz, chaleur, etc.). Le risque de surexploitation de la ressource est le plus susceptible de nuire à l'aspect renouvelable et décarboné de la biomasse-énergie.

Les différentes stratégies présentées précédemment et mises en œuvre pour atteindre les objectifs français en matière de lutte contre le changement climatique impliquent une mobilisation accrue de la biomasse pour différents usages (énergie, matériaux, agronomie, etc.). La SNBC vise à développer les externalités positives liées à la mobilisation de la biomasse, telles que l'effet de substitution associé (moins d'utilisation d'énergies fossiles), la gestion durable de la biomasse (augmentation de son potentiel de stockage carbone), la résilience<sup>43</sup> de l'agriculture et de la forêt, et la contribution à l'indépendance énergétique (la France dispose d'un potentiel important en biomasse). Bien que potentiellement utile pour une utilisation à plus grande échelle dans le mix énergétique, la biomasse doit être utilisée en tenant compte de la durabilité des écosystèmes.

Il est donc important, comme l'indique la SNBC, de développer la production de biomasse sans épuiser les ressources, en fonction de la dynamique des filières et en équilibre avec les enjeux de préservation de l'environnement (biodiversité, etc.). Diverses questions telles que le stockage carbone dans les sols et dans la biomasse, les impacts de l'utilisation des terres, la hiérarchisation et l'articulation des usages, sont intrinsèquement liées à l'utilisation de la biomasse et figurent parmi les points d'attention visés par les différentes stratégies. La mobilisation accrue de la biomasse implique donc une meilleure définition et quantification de cette ressource renouvelable. Il s'agit ainsi de prendre en compte l'état actuel des ressources et leurs besoins (paramètres techniques, environnementaux et économiques) mais aussi les besoins d'adaptation des années à venir (climats futurs, évolution des pratiques agricoles et alimentaires). L'objectif est de développer l'utilisation de la biomasse pour répondre à de nouveaux besoins potentiels tout en garantissant l'aspect multifonctionnel de ses utilisations actuelles et à venir.

---

<sup>43</sup> « Capacité d'un système à absorber les perturbations et à conserver ses fonctions et structures de base » (Walker B. et Salt D. [2006], *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*, Washington, Island Press).

## 6. Les déterminants d'évolution de la biomasse agricole

### 6.1. Le dérèglement climatique

L'agriculture, compte tenu de sa dépendance structurelle à l'égard du climat, est le secteur le plus directement vulnérable au changement climatique. En effet, dans un contexte de perturbation, tous les facteurs bioclimatiques qui régissent le fonctionnement de l'agriculture sont susceptibles d'être modifiés (augmentation de la température, modification du régime des précipitations, sécheresse, etc.) avec de nombreuses conséquences sur la qualité des sols et l'activité agricole<sup>44</sup>. Cette vulnérabilité pourrait se traduire par une forte variation du volume et de la qualité de sa production.

L'une des principales conséquences du changement climatique est la diminution des rendements agricoles dans la plupart des régions, pouvant s'expliquer par les pertes pendant les jours les plus chauds<sup>45</sup> et par la prolifération d'insectes ou de bactéries attaquant les cultures<sup>46</sup>. L'aggravation du stress hydrique dans certaines régions serait le principal facteur influençant la productivité de la biomasse. Les baisses de rendement sont principalement observées lorsque le stress hydrique l'emporte sur d'autres paramètres. Cette baisse de rendement serait partiellement compensée par l'augmentation de la concentration de carbone atmosphérique qui pourrait, sous certaines conditions, avoir un impact « fertilisant »<sup>47</sup>. Le changement climatique risque également d'entraîner une variabilité accrue des rendements agricoles au fil du temps. Les travaux publiés par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)<sup>48</sup> comme ceux de Müller & Robertson<sup>49</sup> vont dans ce sens, indiquant une très probable hausse du coefficient de variation interannuel dans les années à venir. En France, le changement climatique impliquerait des disparités sur le territoire, avec des effets légèrement positifs au nord mais aussi des baisses de rendement au sud, induites par la combinaison de températures excessives et de sécheresses.

### 6.2. Les changements de pratiques agricoles

Le développement futur de nouveaux modes de production fondés sur les principes de l'agroécologie<sup>50</sup> conduit aussi à repenser les systèmes agricoles avec un changement de pratiques. Ces changements visent à optimiser les mécanismes naturels (fonctionnalités et

---

<sup>44</sup> Agence européenne pour l'environnement [AEE] (2017), [Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016](#), EEA Report vol. 1/2017, 424 p.

<sup>45</sup> Carleton T. A. et Hsiang S. M. (2016), « Social and economic impacts of climate », *Science*, vol. 353, n° 6304, septembre.

<sup>46</sup> Deutsch C. A., Tewksbury J. J. *et al.* (2018), « [Increase in crop losses to insect pests in a warming climate](#) », *Science*, vol. 361, n° 6405, août, p. 916-919.

<sup>47</sup> Drake B. G., González-Meler M. A. *et al.* (1997), « More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>? », *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 48, p. 609-639.

<sup>48</sup> GIEC (2014), [Changement climatique 2014 : rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport du GIEC](#), 161 p.

<sup>49</sup> Müller C. et Robertson R. D. (2014), « Projecting future crop productivity for global economic modeling », *Agricultural Economics*, vol. 45, n° 1, décembre.

<sup>50</sup> Conception des systèmes de production s'appuyant sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes ; s'oppose à l'agriculture conventionnel issue de la transformation technologique et structurelle des années soixante (se caractérisant par l'emploi de variétés végétales à haut rendement, l'utilisation massive d'engrais et de produits phytosanitaires).

interactions) mais aussi l'utilisation des ressources pour développer une agriculture qui utilise le moins possible d'intrants de synthèse (pesticides, engrais, etc.) et assurer l'autonomie des exploitations. Pour ce faire, plusieurs leviers peuvent être activés comme l'optimisation des rotations de cultures, la diversification des cultures, le développement de mélanges céréales-légumineuses, la polyculture-élevage (combinant cultures et élevage), l'agroforesterie (associant arbres, cultures et/ou élevage sur une même parcelle), le déploiement de couverts végétaux, ou la réduction des émissions de l'élevage<sup>51</sup>. Ces pratiques font l'objet de diverses formes de soutien comme la PAC (politique agricole commune), notamment à travers la composante environnementale des aides directes ou « paiement vert », dont le versement est subordonné au respect de critères environnementaux (maintien de prairies permanentes, diversité des cultures et maintien ou création d'infrastructures agroécologiques).

Le développement de ces pratiques a un impact direct sur la production mais aussi sur la mobilisation future de la biomasse. D'une part, l'adoption de pratiques agroécologiques pourrait favoriser la production de biomasse pour certaines ressources (cultures intermédiaires, prairies, haies) et développer sa mobilisation. D'autre part, une des hypothèses les plus plausibles et les plus prudentes associées à une généralisation de l'ensemble des pratiques agroécologiques sur le long terme semble être une baisse des rendements<sup>52</sup>. Cette baisse ne tient pas compte des avancées techniques et autres innovations que l'agroécologie pourrait promouvoir dans les années à venir, notamment via une plus grande diversification agricole. Cette baisse des rendements pourrait donc être à l'origine d'une diminution des volumes de cultures. La mobilisation de certains types de ressources agricoles à des fins énergétiques pourrait donc théoriquement être limitée (d'autant plus si on tient compte d'une augmentation du retour au sol de résidus agricoles du fait d'une moindre utilisation d'intrants chimiques). Actuellement, la tendance est à une adoption croissante de pratiques agroécologiques par un nombre assez important d'exploitations (agriculteurs et éleveurs). La mise en œuvre de ces pratiques peut avoir un impact sur la productivité de la biomasse à court terme en raison du passage de l'agriculture conventionnelle (où les sols labourés et compactés sont assez pauvres en matière organique) à une agriculture qui limite les intrants (comme l'agriculture biologique par exemple) et maximise la couverture végétale. Il est donc nécessaire de prendre en compte une période de transition permettant aux sols de devenir plus productifs malgré la diminution d'intrants chimiques.

L'agriculture biologique, mode de production excluant l'usage de produits chimiques de synthèse, d'OGM et limitant l'introduction d'intrants, a également connu une croissance soutenue au cours des dernières années. En 2019, selon l'Agence Bio (Agence française de développement de l'agriculture biologique), plus de 8,5 % de la surface agricole est concernée par la production biologique, avec toutefois des taux de conversion variables en fonction des spécificités agricoles et régionales<sup>53</sup>. Ce développement s'inscrit dans le cadre du plan Ambition Bio 2022 qui vise à convertir théoriquement 15 % de la surface agricole au

---

<sup>51</sup> Wezel A., Casagrande M. *et al.* (2014), « [Agroecological practices for sustainable agriculture. A review](#) », *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 34, septembre, p.1-20.

<sup>52</sup> Poux X., Aubert P.-M. *et al.* (2018), « [Une Europe agroécologique en 2050 : Une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine](#) », *IDDRI Study*, n° 09/18, septembre.

<sup>53</sup> Agence Bio (2020), [Les chiffres 2019 du secteur bio](#), dossier de presse, juillet, 32 p.

bio d'ici à 2022<sup>54</sup>. Des taux de conversion plus élevés vers l'agriculture biologique pourraient avoir un impact sur la production de biomasse agricole et sa mobilisation. L'agriculture biologique est souvent associée à des rendements plus faibles que l'agriculture conventionnelle (pour les productions végétales, une diminution d'environ 20 % est estimée). Ce phénomène est encore plus marqué dans les pays où une agriculture conventionnelle intensive/très productive est déjà en place. La tendance est similaire pour les productions animales avec des dynamiques différentes selon les espèces<sup>55</sup>.

Cette baisse de rendement varie en fonction des cultures. Le différentiel de rendement entre agriculture biologique et conventionnelle peut atteindre jusqu'à 50 %, voire 60 % selon les études pour le blé tendre, le maïs, l'orge et le colza<sup>56</sup>. Un développement accru de l'agriculture biologique sur les surfaces céréalières (représentant environ 11 millions d'hectares, selon les dernières statistiques agricoles annuelles) pourrait donc être la cause de baisses de rendement non négligeables. La combinaison de plusieurs leviers comme l'allongement et la diversification des rotations de cultures sur une même parcelle –nécessaires pour réaliser la transition vers une agriculture biologique – offrent néanmoins une place plus importante aux cultures de légumineuses et augmenter les quantités de biomasse globalement produites sur une exploitation agricole donnée. Selon certaines études, l'inclusion de ces cultures dans les différentes comparaisons de rendement entre agriculture biologique et conventionnelle serait susceptible de réduire l'écart de rendement observé.

À moins de changer les régimes alimentaires des consommateurs, une plus grande promotion de l'agriculture biologique semble conduire à une augmentation des surfaces cultivées afin de compenser les pertes de rendement. En outre, les pratiques biologiques pourraient avoir un impact sur la mobilisation de certains types de ressources. Par exemple, les effluents « industriels » issus de grandes exploitations d'élevages sur caillebotis (élevages intensifs de ruminants ou de monogastriques) ne peuvent pas être utilisés comme engrais pour les sols car seuls les effluents conformes à la certification biologique (critères de taille et de conditions d'exploitation) sont autorisés<sup>57</sup>. La dynamique d'utilisation de ces effluents pourrait donc évoluer fortement avec le déploiement de l'agriculture biologique.

### 6.3. Des mutations sociétales en cours

Les engagements politiques et les tendances sociétales ont également un impact important sur la disponibilité future en biomasse. La volonté des pouvoirs publics d'accroître la souveraineté alimentaire et de limiter la dépendance extérieure pour l'approvisionnement en protéines végétales pourrait jouer un rôle sur les types de ressources en biomasse disponibles sur le long terme et notamment sur la disponibilité des résidus de culture et des effluents d'élevage. Actuellement, la France importe près d'un quart des protéines végétales utilisées pour l'alimentation animale, et près de la moitié des matières riches en protéines,

<sup>54</sup> Voir le [Programme Ambition Bio 2022](#), plan d'action des acteurs de l'agriculture et de l'alimentation en France, 12 p.

<sup>55</sup> Voir les travaux de A. Houpert et Y. Boutrel sur l'évaluation de la politique de développement de l'agriculture biologique ([La politique de développement de l'agriculture biologique : une évaluation](#), rapport d'information n° 277 [2019-2020], janvier 2020).

<sup>56</sup> Guyomard H. et al. (2013), [Vers des agricultures à hautes performances. Analyse des performances de l'agriculture biologique](#), Commissariat général à la stratégie et à la prospective, vol. 1, septembre, 372 p.

<sup>57</sup> Voir le communiqué de presse de l'INAO (2018), « [Dernières conclusions du comité national de l'agriculture biologique](#) ».

principalement sous forme de soja<sup>58</sup>. La stratégie de « souveraineté protéinique » vise à limiter la vulnérabilité des élevages, notamment en ce qui concerne leurs approvisionnements en protéines végétales. La réintroduction des légumineuses et la relocalisation de l'alimentation animale ont pour but de mieux s'adapter non seulement aux contraintes climatiques futures mais aussi à la transition alimentaire en cours, qui se caractérise par l'augmentation de la part des légumineuses et des protéines végétales et par la diminution de la part de la viande dans les assiettes.

Cette politique s'accompagne d'une augmentation de la superficie consacrée aux légumineuses, parallèlement à une diminution des cultures de colza – compensée par une augmentation des rendements – et du bétail. D'ici à 2028, la demande d'aliments de substitution pourrait doubler, entraînant un doublement de la superficie consacrée aux légumineuses et une augmentation totale de 500 000 hectares de la superficie de production de protéines<sup>59</sup>. Selon les dernières statistiques agricoles<sup>60</sup>, la superficie plantée en légumineuses a déjà été multipliée par six en vingt ans et témoigne d'une dynamique déjà établie.

#### 6.4. Interactions entre les systèmes urbains, forestiers et agricoles

Les interactions entre les différents écosystèmes, notamment en ce qui concerne l'utilisation des terres, peuvent avoir un impact sur les gisements de biomasse. Un phénomène important à prendre en compte lors de l'évaluation de la disponibilité en biomasse est l'artificialisation des terres. Cette notion recouvre trois caractéristiques liées : la consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers ; le changement d'utilisation de ces espaces sous l'effet de l'activité humaine ; et enfin la transformation des caractéristiques des sols conduisant à leur imperméabilisation partielle ou totale<sup>61</sup>. L'artificialisation des sols peut être considérée comme l'une des principales causes de dégradation des sols et de changement d'utilisation des terres en France car elle affecte de potentielles terres agricoles fertiles, met en danger la biodiversité et augmente les risques d'inondation et de pénurie d'eau.

En France, l'augmentation de l'artificialisation des sols mesurée à partir des données du cadastre a été en moyenne de l'ordre de 20 000 hectares par an sans qu'aucune tendance ne se dégage. Depuis 1981, selon la méthode d'analyse Teruti-Lucas<sup>62</sup>, les terres artificialisées sont ainsi passées de 3 millions d'hectares à 5,1 millions d'hectares, ce qui représente une croissance de 70 %, bien supérieure à la croissance démographique (+19 %) sur la même période. En 2018, dans le cadre du Plan biodiversité, le gouvernement français a fixé un objectif de zéro artificialisation nette.

---

<sup>58</sup> Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2020), « [Stratégie nationale sur les protéines végétales](#) » (consulté en septembre 2020).

<sup>59</sup> Terres Univia (2020), « [Vers une stratégie nationale pour améliorer notre souveraineté en protéines végétales](#) », 4 p.

<sup>60</sup> Agreste (2020), [Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires](#), op. cit.

<sup>61</sup> Voir le rapport de Fosse J. et al. (2019), [Objectif « zéro artificialisation nette » : quels leviers pour protéger les sols](#), France Stratégie, juillet, 54 p.

<sup>62</sup> Enquête annuelle réalisée par les services statistiques du ministère en charge de l'Agriculture ayant pour objectif de suivre l'évolution de l'occupation et de l'usage des sols sur tout le territoire national.

## **6.5. Aspects socioéconomiques liés à la mobilisation de la biomasse**

L'intérêt d'une hausse de la production de biomasse agricole parallèlement à celui du développement de nouvelles ressources doit être considéré en tenant compte de plusieurs aspects : techniques (surfaces, rendements, temps de travail, moyens de récolte, etc.), environnementaux (rendement énergétique, bilan d'émissions, stockage carbone, fertilité des sols, biodiversité) mais aussi économiques (coûts de production, rentabilité, etc.) et sociaux (emploi, acceptabilité, etc.). Ces deux derniers aspects sont indispensables à une mobilisation accrue. Cependant, leur prise en compte reste complexe pour l'ensemble des ressources en biomasse agricole du fait de la faiblesse des données disponibles et de la grande diversité des facteurs sous-jacents.

La mobilisation de la biomasse agricole et sa valorisation énergétique sont souvent associées à une augmentation du revenu des exploitants. Cette diversification des revenus pourrait à terme asseoir l'équilibre économique des exploitations agricoles, particulièrement dépendantes de facteurs de risque impactant les cours mondiaux des productions agricoles (aléas climatiques, absence de stocks, spéculation sur les marchés à terme des commodités, etc.).

En contrepartie, la mobilisation accrue de la biomasse agricole à des fins énergétiques pourrait renforcer les interdépendances entre production alimentaire et non alimentaire. En effet, dans le cas d'arbitrages entre production alimentaire et énergétique (cultures dédiées par exemple), l'augmentation des prix de l'énergie conduirait à produire plus de cultures énergétiques aux dépens de la production alimentaire, en baisse. Cette baisse de production risquant dès lors d'augmenter les prix alimentaires par diminution de l'offre : par exemple, de grandes exploitations peu autonomes en céréales et disposant d'une unité de méthanisation seraient amenées à acheter auprès d'autres exploitations en n'hésitant pas à faire monter les prix, au détriment des petites exploitations d'élevage utilisant ces céréales pour l'alimentation animale. Le développement de l'usage énergétique de la biomasse risque donc de renforcer la volatilité des prix du secteur agricole. Par ailleurs, à cette interdépendance directe s'ajoute une interdépendance indirecte liée aux besoins énergétiques pour la fabrication des intrants et pour les transports du secteur agricole.

La production supplémentaire de biomasse ainsi que son utilisation sont conditionnées à un retour financier à la hauteur des investissements. Il est donc important de tenir compte du surcoût ainsi que de la rentabilité associée. La production de biomasse engendre un coût correspondant à l'ensemble des charges de productions. Ces charges sont alors opérationnelles (semences, engrais, produits phytosanitaires, travail du sol), liées à la mécanisation (machinerie, carburants), à la main-d'œuvre ou encore aux autres dépenses d'exploitation (capitales, foncier, frais de gestion). La marge nette est obtenue après soustraction de l'ensemble des coûts cités précédemment au prix de vente. Pour certains types de ressources, il est tout aussi important de considérer, d'un côté, le manque à gagner qu'entraînerait l'introduction de nouvelles cultures/pratiques<sup>63</sup> et de l'autre, les bénéfices

---

<sup>63</sup> Par exemple, l'introduction de cultures intermédiaires peut entraîner des pertes de production pour les autres cultures précédant ou suivant la culture intermédiaire.

systémiques associés<sup>64</sup> qui impacteraient les coûts de production. Ces coûts de production dépendent du type d'exploitation et du contexte pédoclimatique. Plus la productivité est élevée (rendement matière), plus ce coût complet par tonne de matière sèche diminue. Les épisodes climatiques extrêmes (sécheresse, gel) pèsent sur la production agricole (baisse des récoltes, pertes, réajustement des surfaces) et de fait, sur la disponibilité de certaines ressources (comme les pailles). Ces aléas peuvent dès lors impacter le potentiel de production des ressources en biomasse ainsi que le prix minimum de mise sur le marché.

Les coûts de production sont aussi à mettre en parallèle des capacités de stockage et de transport. La biomasse agricole est composée de ressources variées, présentes sous la forme de gisements diffus sur l'ensemble du territoire et se caractérisant par sa saisonnalité. Sa mobilisation apparaît complexe sur de grandes distances à un coût réduit sans compromettre sa qualité<sup>65</sup>. Son usage local est donc plus pertinent mais nécessite un changement radical de structuration des infrastructures de transport et de production d'énergie, impliquant de nouveaux investissements et coûts d'exploitation. Accéder physiquement et durablement à cette ressource requiert en effet un maillage plus important en termes d'infrastructures, afin de limiter les transports et de permettre une valorisation à l'échelle du territoire pour une vision décentralisée. En termes de stockage, plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre selon les caractéristiques de stockage désirées (bord de champs, dalle béton sous bâche, hangar, silo vertical, etc.). Ces solutions peuvent cependant nécessiter un investissement important avec un coût variant de 5 à 20 €/t/an selon le type de stockage et les volumes stockés<sup>66</sup>. Les ressources stockées se présentent alors en vrac ou sous forme de balles ou de granulés. Ces estimations restent à consolider car peu d'informations sont disponibles sur les coûts et les technologies correspondant aux étapes de valorisation à partir du champ (parcelle agricole) jusqu'au site de valorisation<sup>67</sup>.

Pour une valorisation hors parcelle en méthanisation, les coûts de transports, non négligeables, peuvent atteindre jusqu'à 15 % des coûts totaux d'exploitation<sup>68</sup>, soit entre 60 000 et 300 000 euros par an selon les volumes mis en jeu, le type d'approvisionnement, le mode de transport et les distances parcourues. En comparaison, les coûts d'achat de matière représenteraient entre 6 % à 22 % des coûts d'exploitation pour une unité de méthanisation (représentant un montant annuel compris entre 100 000 et 300 000 euros selon le type d'unité). Selon les données de la Commission de régulation de l'énergie (CRE)<sup>69</sup>, la totalité des coûts liés aux intrants est estimée à près de 44 % des dépenses d'exploitation. En termes d'investissements, les montants liés au stockage des intrants représentent environ 20 % des investissements totaux (entre 5 et 12 millions d'euros selon le type d'unité). Ces estimations, issues de travaux de l'ADEME et de GRDF, détaillent la composition des coûts de production de biométhane en se fondant sur 12 cas types d'unités de méthanisation. Si on considère à présent les coûts unitaires qui en découlent, l'étude rend

---

<sup>64</sup> La diversification des rotations et l'introduction de couverts végétaux peut réduire la pression phytosanitaire et limiter l'apport d'intrants. L'utilisation de digestat de méthanisation peut aussi diminuer le besoin en intrants chimiques.

<sup>65</sup> Notamment dans le cas des effluents d'élevage par exemple.

<sup>66</sup> RMT Biomasse et Territoires (2016), *Optimisation des filières logistiques biomasse agricole*.

<sup>67</sup> Les projets recensés, liés à des filières relativement nouvelles, restent assez isolés et ponctuels.

<sup>68</sup> ADEME et GRDF (2018), [Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ? Étude de faisabilité technico-économique](#), rapport de l'étude, janvier, 283 p.

<sup>69</sup> Comité de prospective de la CRE (2019), [Le verdissement du gaz](#), juillet, 52 p.

compte d'un OPEX matière<sup>70</sup> allant de 12 à 33 €/MWh et d'un coût actualisé de l'énergie (LCOE)<sup>71</sup> compris entre 80 et 110 €/MWh. Ces estimations montrent une grande diversité de coûts reflétant des situations différentes en termes de taille et de ressources utilisées<sup>72</sup>.

Actuellement, la mobilisation de la biomasse agricole à des fins énergétiques est encore limitée du fait de la compétitivité des énergies carbonées. Par exemple, le coût de production du biométhane tel qu'indiqué par la CRE (entre 90 à 100 €/MWh) est encore très supérieur à celui du gaz naturel (environ 25 €/MWh, hors prix du CO<sub>2</sub> en 2018). La viabilité économique des filières de valorisation dépend en grande partie des soutiens publics et les équilibres économiques sont principalement assurés par des appuis et des aides (dispositifs d'incitation, tarifs d'achat, etc.). En effet, la valorisation énergétique de la biomasse agricole représente des coûts d'investissements élevés pour de nombreuses exploitations agricoles et une rentabilité économique encore incertaine sur le long terme. Pour favoriser le développement de la biomasse énergie et l'atteinte des objectifs fixés par la PPE, plusieurs incitations fiscales ont été mises en place (amortissements dégressifs, subventions, simplifications réglementaires, tarifs d'achat).

Les principales incitations liées à la valorisation de la biomasse agricole concernent les tarifs d'achats en méthanisation. Mécanismes de soutien aux investissements, ces tarifs offrent des contrats à long terme pour la filière biogaz avec une priorité donnée à l'injection. Ce dernier facteur pourrait cependant favoriser le développement d'unités de méthanisation importantes au profit d'exploitations plus modestes, l'injection nécessitant des unités de plus grande taille et un investissement supérieur à la cogénération (4,8 millions d'euros en moyenne contre 1,9 million d'euros)<sup>73</sup>. Tendre vers une homogénéisation des modèles de méthanisation favoriserait ainsi la diversification des revenus des céréaliers, dont l'assolement permet l'atteinte de tonnages plus importants notamment grâce aux cultures intermédiaires, mais limiter celle des éleveurs qui ne contribueraient qu'à l'apport de matière première : les projets de méthanisation mis en place par de petites exploitations agricoles d'élevages tendent ainsi à présenter une rentabilité limitée, voire nulle. Le tout dans un contexte de hausse croissante de la place des acteurs non agricoles dans la filière, du fait des contraintes techniques propres aux distributeurs de gaz et tendant à favoriser de grands projets, ce qui limite la capacité des agriculteurs à tirer un revenu satisfaisant de cette activité et aller à l'encontre des intérêts des installations agricoles plus modestes.

Au vu de ces premiers éléments, l'aspect socioéconomique lié à la mobilisation de la biomasse agricole apparaît donc non négligeable. Il est cependant difficile à ce stade de quantifier de manière globale son impact réel sur la mobilisation du fait des nombreux paramètres sous-jacents (nature du gisement, accessibilité, distance, type de valorisation, accès au foncier, proximité des réseaux, nature du porteur de projet, capacité d'investissement, etc.). Néanmoins, l'atteinte des objectifs de la SNBC en matière de mobilisation de la biomasse devra nécessairement s'accompagner de signaux économiques

---

<sup>70</sup> Dépenses d'exploitation (déduction faite valorisations hors énergie).

<sup>71</sup> *Levelized cost of energy* (à 10 % d'actualisation). Le détail des différents types de coûts pour chaque cas type est disponible dans l'étude.

<sup>72</sup> Le débit en biométhane considéré dans cette étude varie de 173 m<sup>3</sup>/h à plus de 700 m<sup>3</sup>/h (le débit moyen des unités de méthanisation en France est estimé à environ 150 m<sup>3</sup>/h en 2019).

<sup>73</sup> Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2020), « [Revenus issus de la méthanisation agricole dans un contexte de développement de l'injection – Analyse n°153](#) », août.

pertinents soutenant les différentes filières et favorisant une trajectoire lisible fondée sur la hausse du prix du carbone.

Permettre un recours accru à la biomasse reviendrait, à terme, à donner aux différents exploitants agricoles l'assurance de revenus suffisants et pérennes. Un retour financier à la hauteur de l'enjeu pourrait réellement permettre la mise en place à grande échelle de nouvelles pratiques et valorisations agricoles non alimentaires et diminuer les réticences face aux risques trop importants actuellement liés à la biomasse-énergie. Une vision globale serait alors requise pour prendre en compte un coût intégrant toutes les externalités positives associées à la ressource (production de biomasse, entretien des sols et de l'eau, stockage carbone, préservation de la biodiversité). Par exemple, dans le cas de la filière méthanisation, l'intégration du potentiel de réduction des émissions de GES, de la limitation des pollutions diffuses associées à l'utilisation d'effluents bruts<sup>74</sup>, ou encore du moindre recours aux engrais azotés, présenterait un intérêt certain pour le développement de la filière et permettrait de rendre le prix du biométhane plus compétitif.

À cela s'ajoute l'importance du prix du carbone, et notamment du coût par tonne de CO<sub>2</sub> évitée, dont l'évolution conditionne la mobilisation de biomasse sur le long terme (dans le cadre d'un remplacement progressif des énergies fossiles). Le coût par tonne de CO<sub>2</sub> évitée est encore assez faible, le gaz naturel restant très compétitif, ce qui limite le recours à la biomasse. Une généralisation du système d'échange de quotas d'émissions européen à l'ensemble des secteurs avec un prix du carbone en augmentation pourrait renforcer significativement la compétitivité de la biomasse. Respecter les objectifs fixés par la SNBC nécessiterait une forte hausse de la valeur tutélaire du carbone<sup>75</sup> telle qu'indiquée par le rapport Quinet II<sup>76</sup>. Celui-ci met en avant une revalorisation à la hausse de cette valeur passant de 54 €<sub>2018</sub>/tCO<sub>2eq</sub> aujourd'hui à 250 €<sub>2018</sub>/tCO<sub>2eq</sub> en 2030, 500 €<sub>2018</sub>/tCO<sub>2eq</sub> en 2040 pour finalement atteindre 775 €<sub>2018</sub>/tCO<sub>2eq</sub> à l'horizon 2050. Plus cette valeur est élevée, plus les projets effectivement entrepris, car considérés comme rentables, auront une faible empreinte carbone. La mobilisation de la biomasse serait alors encouragée, favorisant ainsi la mise en place de nouvelles pratiques agricoles ainsi que le développement de nouvelles filières de valorisation donnant plus de débouchés aux ressources et aux résidus agricoles.

Il est finalement important de placer les exploitations agricoles, acteurs principaux de l'économie de la biomasse, au cœur des enjeux liés à une mobilisation accrue. Il apparaît en effet crucial d'impliquer les agriculteurs afin de déterminer comment mettre en œuvre les nécessaires adaptations techniques progressives (accompagnement technique, aides au financement, etc.) et l'évolution des modèles économiques existants, tout en trouvant une place aux nouvelles productions dans les filières territoriales. Le développement de la biomasse-énergie agricole doit également favoriser l'autoconsommation et la valorisation

---

<sup>74</sup> Potentiel encore à confirmer et à quantifier sur le long terme.

<sup>75</sup> Prix de référence de la tonne de carbone évitée (et par extension, de CO<sub>2</sub>) à intégrer dans l'évaluation des choix d'investissements. Fixée par des calculs intégrant les résultats de plusieurs modèles, cette notion se distingue de la valeur « de marché » du carbone (résultant directement de la confrontation offre/demande sur le marché des permis d'émissions). Elle permet de prioriser et de planifier les investissements (valeur guidant l'action pour le climat).

<sup>76</sup> Quinet A. (2019), [La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques](#), rapport, France Stratégie, février, 190 p.

locale dans le respect de la hiérarchie des usages<sup>77</sup>, permettant une meilleure autonomie énergétique tout en réduisant les émissions de GES et le recours aux intrants synthétiques.

D'un point de vue social, l'acceptation de nouvelles voies et unités de valorisation représente aussi un aspect à ne pas négliger. La vision de territoires maillés de méthaniseurs peut se heurter à de nombreuses oppositions liées aux nuisances olfactives et aux impacts environnementaux. Une meilleure compréhension des impacts associés (impacts rapatriés, impacts délocalisés en cas d'utilisation de gaz naturel), combinée à des chartes aux critères transparents associant énergéticiens, agriculteurs, collectivités et riverains, peut accroître l'acceptabilité et favoriser l'essor de nouvelles filières.

## 7. Des nouveaux usages en compétition avec les autres voies de valorisation de la biomasse agricole : l'exemple des biocarburants

### 7.1. Panorama des différents types de biocarburants

Les biocarburants peuvent être définis comme « l'ensemble des carburants et combustibles liquides, solides ou gazeux produits à partir de la biomasse et destinés à une valorisation énergétique dans les transports et le chauffage »<sup>78</sup>. Malgré une grande multiplicité d'intrants et de techniques de production, trois grandes catégories (ou générations) de biocarburants se distinguent en fonction du type de biomasse utilisée ainsi que des procédés de transformations associés.

#### ***Les carburants de première génération ou « agrocarburants »***

Les biocarburants de première génération (conventionnels), qui sont les seuls produits actuellement développés à l'échelle industrielle, représentent la quasi-totalité des biocarburants. Ils sont obtenus en utilisant les portions alimentaires de grandes cultures (huiles végétales, cultures sucrières et amidonnières principalement)<sup>79</sup>. Deux types de biocarburants 1G peuvent être identifiés : le bioéthanol, provenant de la fermentation de sucre de betterave ou de canne, ou de l'amidon des céréales, et le biodiesel/biogazole, composé d'esters méthyliques (EMHV/EMAG/HVO)<sup>80</sup> et produit à partir de différentes sources d'acides gras/huiles végétales (produites grâce à la trituration de graines de plantes oléagineuses par exemple). Ces biocarburants conventionnels sont néanmoins sujets à plusieurs critiques, environnementales et sociétales, du fait de la compétition entre alimentation et énergie (conflits d'usages et problématiques d'affectation des sols impactant leur empreinte carbone) ou encore de rendements énergétiques limités.

---

<sup>77</sup> Priorité donnée à l'alimentation puis à l'agronomie, aux biomatériaux, à la chimie verte et enfin à l'utilisation énergétique (carburants liquides, chaleur, électricité).

<sup>78</sup> Voir la fiche biocarburants sur [le site du ministère de la Transition écologique](#). Le biométhane n'est pas considéré dans cette partie.

<sup>79</sup> ADEME et Réseau Action Climat (2020), *Usage des biocarburants « avancés » dans les transports*.

<sup>80</sup> Esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV), d'acides gras (EMAG) et huiles végétales hydro traitées (HVO).

### **Les carburants de deuxième génération ou « avancés »**

La deuxième génération de biocarburants (avancés) vise à mobiliser des ressources n'entrant pas en concurrence avec l'alimentation. Cette nouvelle génération peut être produite à partir de ressources lignocellulosiques (miscanthus, taillis, résidus de cultures, bois et coproduits du bois, etc.), d'algues mais aussi de déchets et de coproduits d'industries. À l'heure actuelle, seuls quelques types de biocarburants avancés, tels que les biodiesels produits à partir de graisses animales ou d'huiles végétales alimentaires usagées, commencent à faire l'objet d'une production industrielle<sup>81</sup>. En ce qui concerne les filières de valorisation de ressources lignocellulosiques, les technologies de transformations restent très majoritairement au stade du développement ou de la démonstration.

### **Les carburants de troisième génération ou « algocarburants »<sup>82</sup>**

Cette dernière catégorie se fonde essentiellement sur la culture et l'utilisation de microalgues ou d'organismes microscopiques producteurs d'acides gras et de sucre pouvant être extraits et transformés en bioéthanol ou biodiesel (EMHV). Cette voie n'est cependant pas encore très développée commercialement et les perspectives associées restent lointaines. En effet, les technologies disponibles ne permettent pas à ce stade une production importante à des coûts compétitifs. Une mise en œuvre à l'échelle industrielle impliquerait de disposer de très grandes surfaces de production, de l'ordre de plusieurs centaines d'hectares par installation.

La directive sur les énergies renouvelables (dite RED II) limite l'utilisation de biocarburants 1G dans la consommation finale d'énergie des transports ferroviaires et routiers, et encourage le développement des biocarburants avancés (2G et 3G). Pour ces derniers, elle comporte des objectifs différenciés. Deux listes de matières premières sont établies<sup>83</sup>. Les biocarburants produits à partir des matières premières de la partie A (algues, paille, résidus de bois et de vignes, cultures non alimentaires, etc.), devront représenter 1 % de l'énergie des transports en 2025 et au moins 3,5 % en 2030. En revanche, les biocarburants utilisant des huiles de cuisson usagées et certaines graisses animales (partie B de l'annexe) ne devront pas dépasser une part de 1,7 % en 2030.

Le développement de biocarburants avancés apparaît donc comme une solution alternative aux agrocarburants de première génération issus de cultures alimentaires. Mobilisant des ressources n'entrant pas directement en concurrence avec l'alimentation humaine et animale (déchets, résidus, cultures dédiées, etc.) et présentant un potentiel de réduction des émissions de GES plus important que les biocarburants 1G, cette nouvelle génération de biocarburants pourrait constituer un levier important de réduction des émissions du secteur des transports. Néanmoins, les biocarburants avancés soulèvent encore des interrogations d'ordre technique (technologies et rendements, volumes de biomasses disponibles, utilisation des terres, bilan GES, etc.) et leur potentiel de développement reste lié aux autres usages de la biomasse, qu'ils soient énergétiques (chaleur, gaz, électricité) ou non (agronomie, matériaux, etc.).

---

<sup>81</sup> Voir le [rapport d'information n° 2609](#) de la mission d'information sur les « agrocarburants ».

<sup>82</sup> Aussi considérés comme biocarburants avancés.

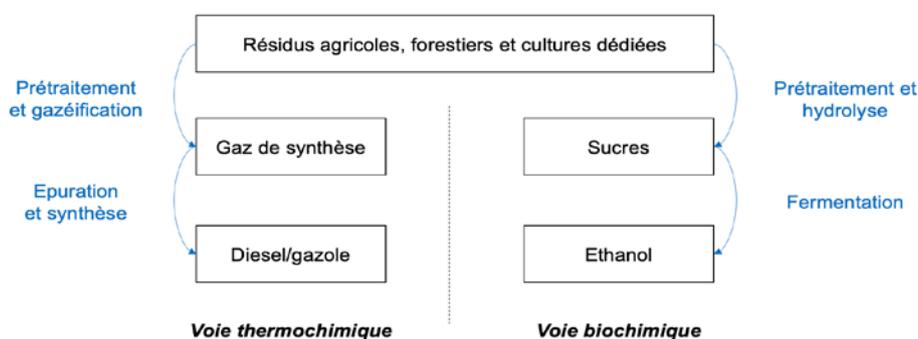
<sup>83</sup> Annexe IX partie A et B de la directive RED II.

## 7.2. Biocarburants avancés : filières et approvisionnement

Les biocarburants de deuxième génération peuvent être obtenus à partir de biomasse lignocellulosique (majoritairement composée de cellulose, d'hémicellulose et de lignine). Cette ressource, non alimentaire, peut se présenter sous forme de bois (forêts, haies et alignements), de résidus de bois (déchets ligneux), de résidus agricoles et vinicoles (pailles, herbes, résidus de vignes et vergers) ou encore de cultures dédiées (miscanthus, taillis, cultures intermédiaires). Les biomasses forestière et agricole sont donc amenées à contribuer grandement à la production de biocarburants 2G.

Deux voies de valorisations sont actuellement envisagées pour la production à grande échelle de biocarburants à partir de ressources lignocellulosiques<sup>84</sup> : la voie biochimique et la voie thermochimique (BtL)<sup>85</sup>. Le premier procédé vise à produire du bioéthanol par hydrolyse de la lignocellulose (par le biais d'enzymes) suivi d'une étape de fermentation. L'éthanol obtenu est similaire à celui de première génération. La voie BtL utilise plusieurs techniques permettant de décomposer la matrice lignocellulosique en différents combustibles. La méthode la plus répandue se base sur une gazéification de la biomasse en un gaz de synthèse qui est ensuite transformé en biocarburant. Une synthèse des deux principales voies de valorisation de la biomasse agricole en biocarburants 2G est illustrée ci-dessous.

**Figure 10 – Principales voies de valorisation de la biomasse lignocellulosique en biocarburants**



Source : les auteurs

L'utilisation de ressources alimentaires pour la production de biocarburants reste très majoritaire. En effet, les biocarburants avancés « lignocellulosiques » n'ont pas encore atteint un stade de production industrielle mature, qui implique notamment la maîtrise de la chaîne d'approvisionnement et l'optimisation des opérations de préparation des matières premières<sup>86</sup>. Les technologies et voies de valorisations présentées restent majoritairement au stade de la R & D ou de la démonstration (pilote industriel, par exemple). Plusieurs retours d'expérience recensés et compilés par l'ADEME<sup>87</sup> rendent compte d'une situation

<sup>84</sup> Vaitilingom G., Mouloungui Z. *et al.* (2021), « [Vers une génération plus verte de biodiesels](#) », OCL, vol. 28, n° 1, janvier. Pour l'estimation de l'empreinte carbone des différents biocarburants, les émissions liées aux potentiels changements d'affectation des sols ont été prises en compte.

<sup>85</sup> *Biomass to Liquid* (biomasse à liquide).

<sup>86</sup> Kargbo H., Harris J. S. *et al.* (2021), « [“Drop-in” fuel production from biomass: critical review on techno-economic feasibility and sustainability](#) », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, janvier, p. 110-168.

<sup>87</sup> ADEME (2017), [Comparaison et retours d'expériences au niveau international des pratiques concrètes d'approvisionnement des démonstrateurs et unités commerciales de biocarburants de deuxième génération et de bioraffineries de biomasse lignocellulosique](#), avril, 10 p.

différenciée entre valorisation biochimique, plus avancée<sup>88</sup>, et valorisation thermochimique. La valorisation BtL par gazéification semble plus limitée du fait d'obstacles techniques et économiques. Ainsi, à l'heure actuelle, assurer la rentabilité d'un projet, avec réduction des pertes thermiques et économies d'échelle, nécessiterait une capacité de production supérieure à 100 000 tonnes de biocarburants par an<sup>89</sup>, impliquant de fait une quantité bien plus importante de biomasse.

En termes d'approvisionnement en matière première, plus de 85 % des projets – démonstrateurs et unités commerciales de biocarburants 2G, raffineries lignocellulosiques – utilisent des résidus lignocellulosiques de culture, avec une prédominance des biomasses d'origine agricole. La composition détaillée des intrants diffère selon les zones géographiques : les projets recensés en Europe du Nord et de l'Ouest utilisent principalement de la paille de céréales (50 % des intrants) et du bois (résineux, copeaux, bûches)<sup>90</sup>, et l'utilisation de plantes herbacées est plus développée dans le sud de l'Europe.

Une première estimation peut être réalisée pour une valorisation thermochimique (BtL) exclusivement à partir de biomasse lignocellulosique, en prenant en compte un rendement massique de production (ensemble de la chaîne) estimé aux alentours de 20 % et une efficacité énergétique comprise entre 35 % et 40 %<sup>91</sup>. La production de 100 000 tonnes de biocarburants reviendrait à disposer d'un approvisionnement annuel en biomasse de l'ordre du million de tonnes, volume conséquent qui viendrait de fait en concurrence avec les autres usages possibles de cette biomasse. Les données utilisées en termes de rendements massiques et énergétiques restent néanmoins des estimations pouvant évoluer en fonction des avancées technologiques. À l'horizon 2050, ces rendements pourraient atteindre respectivement 30 % et 55 %.

Outre un approvisionnement plus diversifié permettant d'optimiser le choix de biomasse (empreinte environnementale et rendement améliorés), un des principaux avantages associés aux biocarburants 2G réside dans des potentiels de production par hectare plus élevés. En effet, contrairement à ce qui se fait pour les agrocarburants, l'ensemble de la plante – dans le cas d'une ressource lignocellulosique – est valorisable, ce qui améliore de fait les rendements énergétiques par hectare<sup>92</sup>.

### 7.3. Des arbitrages à prendre en compte

Un premier travail de prospective, mené par l'ADEME et FranceAgriMer<sup>93</sup>, analyse plusieurs scénarios de développement de biocarburants et permet d'estimer la mobilisation potentielle en biomasse associée. Trois scénarios à l'horizon 2030 de substitution partielle des biocarburants de première génération par des biocarburants « avancés » et autres carburants alternatifs ont été analysés, dans le but d'atteindre les objectifs de 15 % d'énergies

---

<sup>88</sup> En tenant compte du nombre d'unités pilotes et commerciales existantes.

<sup>89</sup> Vaitilingom G., Mouloungui Z. *et al.* (2021), « [Vers une génération plus verte de biodiesel](#) », *op. cit.*

<sup>90</sup> ADEME et Réseau Action Climat (2020), *Usage des biocarburants « avancés » dans les transports*, *op. cit.*

<sup>91</sup> ADEME (2011), « [Feuille de route biocarburants avancés](#) », feuille de route stratégique, janvier, 60 p.

<sup>92</sup> La prise en compte de la part énergétique des coproduits agricoles dans le cas des biocarburants 1G réduit cette différence.

<sup>93</sup> FranceAgriMer et ADEME (2019), *Évaluation des impacts de 3 scénarios de développement des biocarburants pour la LTECV*, rapport, juin, 73 p.

renouvelables dans les transports en 2030<sup>94</sup>. Un premier scénario se veut aligné avec les objectifs fixés par la directive RED II, soit 7 % de biocarburants conventionnels, 3 % de biocarburants avancés et 5 % de biocarburants « annexes ou autres »<sup>95</sup>. Un deuxième scénario vise une adoption plus importante des biocarburants 2G via un « recours massif aux nouvelles technologies lignocellulosiques ». Cela se traduit principalement par une part plus importante des biocarburants avancés dans la consommation totale (7 % contre 3 % pour les biocarburants 2G). Le troisième scénario table, lui, sur un développement plus marqué du recours aux huiles usagées et aux graisses animales. Le tableau suivant vise à rendre compte de la traduction énergétique des deux premiers scénarios tout en donnant un aperçu des estimations de ressources en biomasse mobilisées (les ressources de type huiles usagées et graisses animales ne sont pas incluses).

**Tableau 7 – Présentation simplifiée de deux scénarios de développement de biocarburants**

Présentation simplifiée des scénarios		Scénario 1	Scénario 2
		7 % conventionnels	3 % conventionnels
Répartition de la consommation par catégorie		3 % avancés	7 % avancés
		5 % autres	5 % autres
<b>Mobilisation énergétique des catégories (Mtep)</b>			
Biocarburants conventionnels	Essence		
	Diesel	2,37	1,02
	Kérosène		
Biocarburants avancés	Essence		
	Diesel	1,02	2,37
	Kérosène		
Biocarburants « annexes »	Gaz		
	Essence		
	Diesel	1,7	1,7
	Kérosène		
	Gaz		
<b>Mobilisation par type de biomasse (Mt)</b>			
Biomasse pour la production de biocarburants 1G	Betterave	5,38	2,17
	Céréales à pailles	1,16	0,47
	Maïs	0,77	0,31
	Colza	4,53	1,97
	Tournesol	marginal	marginal
	Import d'huile de colza	0,8	0,35
	Marc et lies	0,02	0,02
Biomasse pour la production de biocarburants avancés	Import d'éthanol lignocellulosique	0,16	-
	Cultures lignocellulosiques, bois et pailles	1,83	8,54
	Déchets organiques pour bio GNV	2,55	9,28
	Imports d'huiles	0,4	0,47

Source : travaux de l'ADEME et FranceAgriMer

<sup>94</sup> Objectifs fixés par la LTECV.

<sup>95</sup> Huiles de cuissons usagées et graisses animales.

Un développement accru des biocarburants avancés à l'horizon 2030 semble aller de pair avec une utilisation massive d'une large variété de ressources en biomasse (bois, ressources lignocellulosiques, résidus de cultures, effluents ou encore biodéchets) et d'une forte augmentation des rendements énergétiques associés (pour la production de biocarburants). En effet, dans le cas d'un scénario favorisant les biocarburants 2G, les technologies sont considérées comme disponibles sans tenir compte des contraintes techniques et blocages actuels.

La production de biocarburants 2G à partir de biomasse lignocellulosique devrait donc se fonder sur un approvisionnement réparti entre plusieurs ressources : cultures dédiées et intermédiaires, résidus de cultures ou bois. La répartition des différentes matières premières restant cependant incertaine, il apparaît nécessaire de tenir compte d'hypothèses assez contrastées pour essayer d'estimer leur mobilisation potentielle. Plusieurs variantes d'approvisionnement entre les différents types de biomasse sont donc possibles, allant de la mobilisation exclusive d'une ressource à un équilibre entre deux, voire trois catégories de ressources.

Cependant, comme en témoigne le scénario 2, un développement prononcé des biocarburants 2G nécessiterait des volumes en biomasse nettement plus importants. Cette mobilisation pourrait dès lors se confronter à certaines contraintes de faisabilité. En effet, certaines ressources en biomasse présentent un potentiel limité et les usages déjà existants remettent en question la possibilité d'une mobilisation massive pour la production de biocarburants. Par exemple, une mobilisation centrée sur de la biomasse forestière pourrait représenter la majorité des disponibilités en bois à l'horizon 2033. Pour les résidus de cultures, si l'on considère un approvisionnement équivalent entre bois, cultures et résidus, les volumes nécessaires en pailles semblent représenter une grande part, voire la totalité des ressources disponibles. Une mobilisation de biomasse lignocellulosique devra donc nécessairement reposer sur un approvisionnement diversifié. Un scénario intégrant des biocarburants 2G de manière progressive et limitée (comme le scénario 1) semble plus faisable et pourrait réduire la pression sur les ressources. Cependant, des ajustements restent à trouver afin de tenir compte des limites propres à chaque ressource.

Il est aussi important de considérer que pour chaque scénario étudié par l'ADEME, un développement des biocarburants s'accompagnera d'une hausse de la surface dédiée en plus d'une nouvelle répartition des surfaces entre cultures dédiées lignocellulosiques et cultures dédiées alimentaires (notamment dans le cas d'un recours accru aux biocarburants 2G). Des efforts significatifs seraient donc à mettre en œuvre en termes de surfaces et de pratiques agricoles (un développement des cultures lignocellulosiques sur plus de 700 000 ha est à envisager pour le scénario 2 sur un total d'environ 1,44 Mha)<sup>96</sup>.

Le développement des biocarburants 2G et principalement lignocellulosique présente donc des enjeux similaires à la valorisation par méthanisation – enjeux liés à l'utilisation de la ressource. D'où la nécessité de tenir compte, en amont de la phase d'industrialisation, des arbitrages possibles entre approvisionnements en cultures dédiées, résidus de cultures ou bois, et ce à partir des contraintes propres à chaque filière et ressource. Des conflits d'usages sont en effet susceptibles d'apparaître entre d'un côté les usages énergétiques

---

<sup>96</sup> FranceAgriMer et ADEME (2019), *Évaluation des impacts de 3 scénarios de développement des biocarburants pour la LTECV*, op. cit.

déjà existants (combustion, méthanisation) et, de l'autre, l'utilisation durable de résidus de cultures et de la filière bois (gestion des forêts et des écosystèmes agricoles, conservation de l'équilibre des sols et de la fertilité, etc.). Les problématiques d'approvisionnement au niveau des cultures lignocellulosiques semblent moins importantes et ces dernières apparaissent comme le principal levier d'un développement important de la filière 2G. Pour chaque type de ressources et procédé de transformation, des travaux semblent nécessaires pour mieux quantifier l'impact d'une intensification de la production de biocarburants 2G. En effet, à l'heure actuelle, la capacité d'intensification de l'utilisation de ces biocarburants pouvant présenter une saine concurrence d'usage reste incertaine, avec des impacts très variables en fonction du type de ressources utilisées et de la technologie prise en compte.

## **8. Concilier les usages de la biomasse agricole dans un champ de contraintes accru**

### **8.1. Des perspectives d'utilisation à préciser**

Dans un contexte prévisible d'augmentation de la demande alimentaire à l'échelle mondiale, le compromis entre l'utilisation alimentaire et non alimentaire des terres agricoles sera un élément essentiel des futures politiques agricoles. Les ressources en biomasse, provenant des forêts, des cultures et des déchets, restent des ressources limitées à la fois par les contraintes naturelles et par la concurrence entre ses utilisations potentielles. En effet, l'usage de la biomasse pour la production d'énergie ou de matériaux biosourcés est aujourd'hui soutenu par les pouvoirs publics. Dans le même temps, la croissance démographique en France, en Europe et dans le monde, conjuguée à la demande d'une production agricole plus durable, fondée notamment sur les principes de l'agroécologie, appelle à repenser nos modes de production agricole et de consommation alimentaire, ce qui aura un impact sur l'utilisation des terres et soulèvera de nouveaux défis environnementaux (séquestration du carbone dans les sols, érosion de la biodiversité, etc.). Une mobilisation accrue de la biomasse, et plus particulièrement de la biomasse agricole, ressource renouvelable mais limitée, peut donc être source de tensions et de conflits d'usage. À cet égard, les notions de hiérarchisation (à long terme) mais aussi d'articulation (à court terme) des usages apparaissent centrales pour atteindre les objectifs fixés par les politiques publiques et pour combiner performance technique et socioéconomique et respect de l'environnement, tout en évitant la surexploitation des ressources.

**Dans ce contexte, la biomasse agricole pourrait-elle contribuer aux différents besoins croissants en matériaux et en énergies renouvelables tout en continuant à assurer une production agricole plus durable ? Quelles pourraient être les conséquences prévisibles de ces nouvelles demandes sur ses gisements ?**

### **8.2. Des défis spécifiques à la biomasse agricole**

Notre étude se concentre sur la quantification des gisements de biomasse agricole. En effet, les terres agricoles et les zones de pâturage représentent respectivement environ 20 millions et 10 millions d'hectares, soit près de 50 % du territoire métropolitain français, alors que les zones forestières représentent environ 17 millions d'hectares (31 % du territoire). L'utilisation

des terres agricoles à des fins de production de biomasse soulève donc des questions majeures en termes d'aménagement du territoire et de préservation de l'environnement. L'écosystème agricole est ainsi au croisement de nombreux enjeux : production de nourriture, production d'énergie et de matériaux, maintien de la fertilité des sols, régulation du climat par la séquestration du carbone dans la biomasse et les sols.

À la différence de la biomasse forestière, la quantification des ressources de biomasse agricole et plus particulièrement des volumes potentiellement disponibles est en pratique limitée et difficile à estimer de manière isolée. Les différentes études menées par les agences et observatoires français tels que l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB) et les objectifs mis en avant par la stratégie française de mobilisation de la biomasse pointent une ressource théoriquement importante, mais dont la mobilisation paraît complexe. Les données relatives à la biomasse agricole restent assez peu transparentes, avec un suivi limité. Préciser les limites de ces données constitue un préalable indispensable à la définition de trajectoires d'utilisation accrue, donc à l'atteinte des objectifs fixés par la SNBC.

## Chapitre 2

# Méthodologie

### 1. Collecte de données

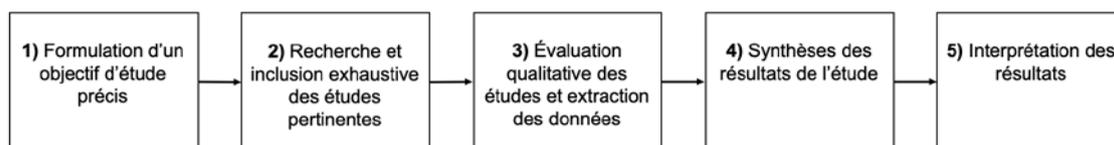
La quantification des gisements de biomasse en France et un essai de projection du potentiel associé à horizon 2050 sont les deux principaux objectifs de ce travail. Dans cette optique, une revue de la littérature complétée par des avis d'experts ont permis de recueillir les données sur lesquelles seront fondés les calculs, les choix et les hypothèses pour l'élaboration de scénarios et de projections.

#### 1.1. Revue bibliographique

Une revue bibliographique a d'abord été réalisée. Un tel exercice peut se faire selon plusieurs approches : systématique, semi-systématique et intégrative<sup>97</sup>. Pour identifier et quantifier les gisements de biomasse agricole, nous avons choisi de suivre un format systématique. Principalement utilisé dans les sciences médicales, ce format constitue une manière intéressante de combiner les résultats de différentes études<sup>98</sup>. L'analyse systématique se veut fondée sur des études quantitatives et vise à synthétiser les résultats et à comparer les données de manière systématique, transparente et reproductible. Les études systématiques s'accompagnent souvent d'une méta-analyse statistique générale, ce qui n'a pas été possible ici en raison du nombre limité de données disponibles.

La quantification des gisements de biomasse a donc suivi une méthodologie en cinq étapes adaptée aux caractéristiques de l'étude.

Figure 11 – Principales étapes de l'analyse systématique



<sup>97</sup> Snyder H. (2019), "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines", *Journal of Business Research*, vol. 104, novembre, p. 333-339.

<sup>98</sup> Davies J., Mengersen K. *et al.* (2014), « [Viewing systematic reviews and meta-analysis in social research through different lenses](#) », *SpringerPlus*, vol. 3, article 511.

Parallèlement à ce processus de collecte et d'analyse de données quantitatives, l'analyse documentaire est également un moyen de recueillir des informations supplémentaires plus qualitatives à partir d'ouvrages, d'articles scientifiques, d'études ou de documents publics. Ces informations permettent de mieux caractériser la biomasse agricole et d'ajouter différentes perspectives à l'étude grâce, par exemple, à l'analyse des leviers et des freins à une mobilisation accrue.

## 1.2. Entretiens

À cette analyse bibliographique s'ajoute une collecte de données qualitatives sur la base d'entretiens<sup>99</sup>. C'est une source précieuse de connaissances, notamment au vu du peu d'informations disponibles sur les gisements de biomasse agricole en France. Les entretiens avec des experts sont un moyen d'acquérir plus d'éléments de compréhension technique et d'interprétation<sup>100</sup>. On peut distinguer ici deux types d'approches : les entretiens non structurés et les entretiens semi-structurés. L'approche semi-structurée vise à obtenir des réponses adéquates et à approfondir un sujet, tout en permettant une plus grande souplesse dans les échanges<sup>101</sup>, car elle laisse aux personnes interrogées la possibilité de développer leurs réponses et à l'enquêteur la liberté d'obtenir des informations additionnelles. Cette approche est celle retenue dans le cadre de ce travail.

## 2. Identification et quantification des gisements de biomasse

### 2.1. Approche méthodologique

L'ensemble des ressources en biomasse agricole a d'abord été répartie en 11 catégories selon le type de ressources : résidus de cultures annuelles, cultures intermédiaires, effluents d'élevage, surplus d'herbes, cultures annuelles dédiées, haies et agroforesterie, résidus de vignes/vergers, résidus de silos, cultures dédiées, plantes à fibres et plantes à parfum. Un examen systématique des données disponibles a été effectué. Cette étape peut être considérée comme un inventaire de toutes les données statistiques disponibles concernant la biomasse agricole, complété par des hypothèses spécifiques et des données obtenues après calculs. La phase de quantification a été menée comme suit (voir Figure 12). Tout d'abord, une collecte de données et méthodologies associées a été effectuée. Ensuite, une analyse critique de ces méthodologies a été réalisée, suivie d'une correction ou d'une mise à jour des données si nécessaire (dans le cas de nouveaux rendements ou de nouvelles superficies par exemple). Enfin, les résultats les plus fiables ou les plus récents sont sélectionnés et présentés dans cette étude.

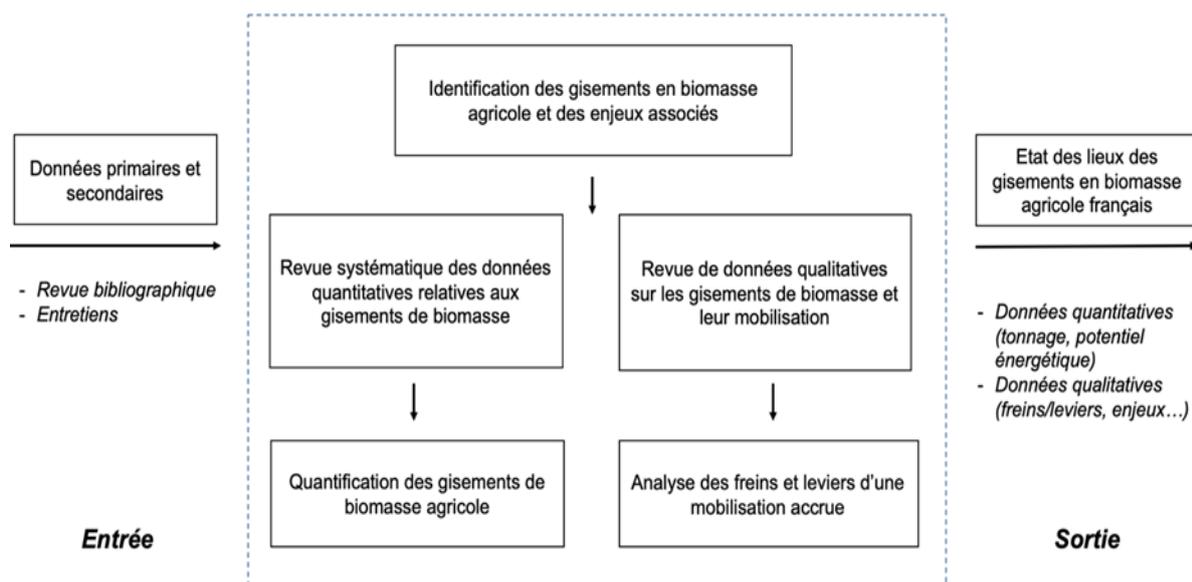
---

<sup>99</sup> Kallio H., Pietilä A.-M. *et al.* (2016), « Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide », *Journal of Advanced Nursing*, vol. 72, n° 12, p. 2954-2965.

<sup>100</sup> Mergel I., Edelman N. *et al.* (2019), « [Defining digital transformation: Results from expert interviews](#) », *Government Information Quarterly*, vol. 36, n° 4, octobre, p. 101-385.

<sup>101</sup> Harrell M. C. et Bradley M. A. (2009), *Data Collection Methods. Semi-Structured Interviews and Focus Groups*. National Defense Research Institute, Santa Monica (CA), RAND Corporation.

Figure 12 – Méthodologie relative à la phase de quantification



Source : France Stratégie

## 2.2. Sources de données retenues

Cette étape a été principalement fondée sur des études concernant la biomasse en France (données statistiques) et sur des schémas régionaux de biomasse (données à l'échelle territoriale). D'autres données telles que les rendements et les superficies ont été collectées par le biais d'études ou d'articles spécifiques avec l'aide du SSP (service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture). En ce qui concerne la démarche d'entretiens, des contacts ont été établis avec l'ONRB de FranceAgriMer (établissement national des produits agricoles et de la mer) qui propose un suivi des marchés et des filières de valorisation de la biomasse tout en publiant une estimation des ressources en biomasse (évaluation des ressources disponibles et supplémentaires). Les échanges ont porté sur ses différentes publications et sur les données actualisées concernant la biomasse agricole. Des discussions ont également été conduites avec l'ADEME, le bureau de la bioéconomie du ministère de l'Agriculture, SOLAGRO et le WWF.

## 2.3. Estimations, exhaustivité et limites des données

Les données disponibles et les volumes de biomasse estimés dans les études existantes sont similaires à certains égards car reposant sur un petit nombre de sources, tout particulièrement sur les statistiques agricoles annuelles établies par le ministère de l'Agriculture et relatives aux surfaces et productions agricoles. Ils peuvent néanmoins être très différents dans certains cas. Ces variations dépendent des choix, des méthodes et des hypothèses utilisés dans les calculs, mais aussi des données prises en compte (année, rendements, cheptel, etc.). En outre, la pauvreté relative des informations disponibles et le manque de suivi régulier font que, dans certains cas, les données sont assez anciennes avec des volumes estimés sur la base d'une unique étude, ce qui limite la précision des estimations (la biomasse étant caractérisée par sa grande saisonnalité, avec des niveaux de

productions très variables selon les années). Par ailleurs, les aspects socioéconomiques évoqués précédemment, tels que la volonté de fournir des ressources ou le prix minimum à mettre sur le marché, souvent difficiles à évaluer en raison du manque de statistiques publiques, n'ont pas pu être pris en compte quantitativement dans les estimations.

Ce premier inventaire est donc destiné à refléter les connaissances partagées par les différentes études analysées, en capitalisant sur les données existantes tout en identifiant les lacunes. En effet, une partie des volumes estimés pour certains types de ressources provient de données en attente de mise à jour. Notre étude constitue donc le point de départ d'une analyse amenée à évoluer en fonction des mises à jour et des nouvelles dynamiques associées à la mobilisation de la biomasse.

## **2.4. Données présentées**

Pour chaque ressource, trois volumes sont présentés. L'estimation des volumes de biomasse disponibles repose sur une approche qui part d'une estimation des gisements bruts et aboutit à un gisement supplémentaire potentiellement mobilisable. La méthodologie appliquée est fondée sur celle utilisée par l'ONRB, dont l'objectif est d'estimer le volume supplémentaire disponible pour les nouveaux projets de biomasse. Ce volume est donné soit en tonnes de matière brute (tMB), en tonnes de matière sèche (tMS) ou en mètres cubes selon le type de ressources. Toutes les estimations présentées par la suite décrivent des volumes annuels, à l'échelle nationale.

### ***Volume total produit (gisement brut)***

Un premier « volume brut » est estimé. Il correspond au volume total produit pour une ressource donnée sur un territoire donné. Il peut également être considéré comme le gisement produit à l'état brut sans aucune transformation ni perte (ressource potentielle maximale). Ce volume peut être estimé à partir des données de la politique agricole commune (PAC), des statistiques agricoles et des paramètres des cultures ou des exploitations (surfaces, rendements, main-d'œuvre, etc.)

### ***Volume disponible (gisement net)***

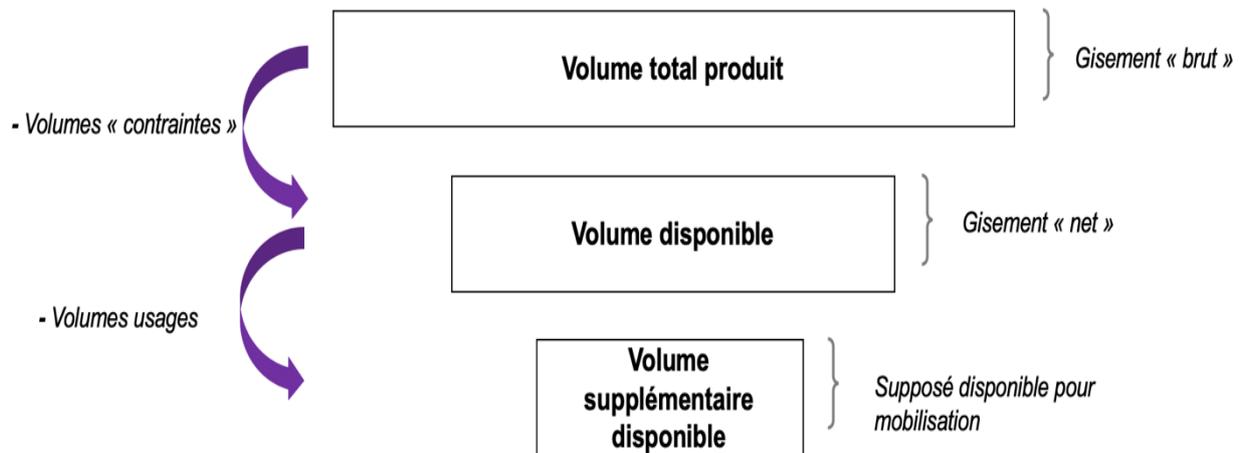
Une fois le volume total produit estimé, il est nécessaire de quantifier les volumes qui ne peuvent être collectés pour des raisons physiques (non accessibles par exemple) ou pour des raisons agronomiques ou de gestion durable (retour au sol de résidus). Ces différents volumes sont soustraits, pour chaque type de ressource, du volume total produit pour donner un volume disponible qui peut représenter un gisement techniquement maîtrisable et prêt à être utilisé en sortie d'exploitation.

### ***Volume supplémentaire disponible (pour la mobilisation)***

Enfin, un volume « disponible » supplémentaire (disponibilités supplémentaires potentiellement mobilisables) est identifié en tenant compte des volumes de biomasse déjà valorisés ; le principe étant de ne pas remettre en cause les usages actuels, du moins les usages prioritaires sur l'échelle hiérarchique. Les volumes « disponibles » supplémentaires visent donc à représenter les volumes de biomasse actuellement non collectés, non triés et

non valorisés qui pourraient faire l'objet d'une mobilisation supplémentaire ou d'une meilleure valorisation.

Figure 13 – Différents volumes estimés



Source : France Stratégie

Parallèlement à ces premiers volumes, une estimation du potentiel énergétique primaire des volumes supplémentaires disponibles en biomasse agricole a été réalisée. La biomasse agricole peut être convertie en énergie de différentes manières. Actuellement, les principales voies de valorisation énergétique sont la combustion ou la méthanisation qui permettent de récupérer et d'utiliser l'énergie produite lors du traitement de la biomasse.

Technologie la mieux établie, la valorisation de la biomasse par combustion permet de transformer la biomasse en chaleur ou en électricité (cogénération). Le bois est la matière première la plus utilisée, mais d'autres ressources peuvent aussi être valorisées par combustion. Il s'agit notamment de cultures dédiées (miscanthus, panic érigé, TCR/TTCR<sup>102</sup>, etc.) de résidus et de sous-produits (pailles, résidus d'écorce, sciure, copeaux provenant des scieries, etc.). La méthanisation vise à produire du biogaz (méthane) par digestion anaérobie (en l'absence d'oxygène) de substrats organiques fermentescibles. Les installations de méthanisation agricoles utilisent majoritairement des sous-produits agricoles (effluents et résidus de cultures) auxquels sont ajoutés cultures intermédiaires et cultures dédiées. Le biogaz et le digestat résultant de cette décomposition de matière organique peuvent être valorisés de différentes manières. Après épuration, le biogaz peut être injecté dans les réseaux de distribution ou de transport de gaz, il peut aussi être utilisé pour produire de la chaleur ou de l'électricité par cogénération (avec cependant un rendement énergétique inférieur) mais aussi du biocarburant liquide (bioGNV). Le digestat, quant à lui, peut être valorisé par épandage/fertilisation selon sa qualité, il devient un coproduit pouvant contribuer à une gestion plus fine du cycle d'azote. La méthanisation, contrairement à la combustion directe, permet donc la production énergétique tout en permettant un retour au sol de matière organique.

<sup>102</sup> Taillis à courte rotation (TCR) ou très courte rotation (TTCR).

De manière très schématique, la combustion est plus adaptée aux ressources « sèches », présentant un faible taux d'humidité quand la méthanisation permet de valoriser une plus large gamme de ressources (humides, voire liquides). Pour donner le potentiel énergétique des volumes supplémentaires de biomasse disponibles, il a été nécessaire d'identifier pour chaque ressource ou catégorie de ressources les taux de conversion énergétique ainsi que le type de valorisation associé (combustion/méthanisation).

Aucun potentiel énergétique sur le long terme n'a été identifié pour les cultures annuelles utilisées pour les biocarburants 1G, car on n'anticipe pas de mobilisation accrue (pas de disponibilité supplémentaire)<sup>103</sup>. En outre, pour d'autres types de récupération d'énergie comme la production de biocarburants 2G et la pyrogazéification (pouvant représenter une alternative à la production de biogaz par méthanisation), aucune estimation énergétique n'a été faite, en raison de leur développement et de leur utilisation encore très limités. La pyrogazéification, qui consiste à obtenir un gaz de synthèse à partir de déchets chauffés à très haute température en présence d'une faible quantité d'oxygène, utilise majoritairement des ressources ligneuses (bois et résidus de bois) relativement sèches mais peut aussi recourir à divers résidus agricoles (cultures dédiées, intermédiaires, pailles, etc.). La technologie associée est encore en développement, avec plusieurs installations pilotes et démonstrateurs en France.

La conversion énergétique est fondée sur différents taux de conversion tels que le pouvoir méthanogène (volume de méthane pouvant être obtenu à partir d'une tonne de matière organique exprimé en mètres cubes normaux de méthane par tonne, dans des conditions normales de pression et de température) ou le pouvoir calorifique inférieur et supérieur (quantité d'énergie thermique libérée par la combustion exprimée en MWh par tonne). À des fins d'harmonisation, un autre taux de conversion énergétique a été utilisé : il vise à traduire, pour chaque ressource, l'équivalent énergétique en tonne d'équivalent pétrole (tep) par unité de masse. À partir de ces données et de deux unités de conversion principales<sup>104</sup>, il devient possible d'estimer le potentiel énergétique primaire des volumes supplémentaires disponibles de biomasse agricole (énergie exploitable et transformable directement après son extraction).

### 3. Estimation du potentiel de la biomasse agricole

Ce travail de quantification est complété par l'élaboration de projections/scénarios. Selon Peterson *et al.* (2003)<sup>105</sup>, les scénarios représentent des comptes rendus d'un avenir plausible. Le développement de projections consiste à utiliser des scénarios contrastés pour explorer l'incertitude entourant l'avenir. Trois grandes catégories de scénarios peuvent être définies : prédictifs, exploratoires et normatifs<sup>106</sup>. Chacune vise à répondre à une question spécifique : que va-t-il se passer, que pourrait-il se passer et comment atteindre un objectif spécifique ?

<sup>103</sup> Afin de ne pas remettre en cause à ce stade la priorité donnée à l'usage alimentaire de ces ressources.

<sup>104</sup> 1 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> = 9,7 kWh, 1 TWh = 85 984,5 tep, soit 1 tep = 0,00001163 TWh.

<sup>105</sup> Peterson G. D., Cumming G. S. *et al.* (2003), « Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world », *Conservation Biology*, vol. 17, n° 2, mars, p. 358-366.

<sup>106</sup> Börjeson L., Höjst M. *et al.* (2006), « Scenario types and techniques: Towards a user's guide », *Futures*, vol. 33, n° 7, p. 723-739.

Une méthodologie en trois étapes, proche de celle exposée par Peterson *et al.* (2003), est utilisée pour développer des projections pertinentes sur les gisements de biomasse agricole en France et pour apporter des éléments de réponse à la problématique de cette étude (l'enjeu central des scénarios). La première étape vise à identifier les changements, les processus externes et les facteurs pouvant avoir un impact important sur la biomasse agricole. La deuxième étape a pour but d'analyser les différentes manières dont le système agricole pourrait évoluer. La dernière étape consiste en un essai de projections sur la base des données disponibles et des travaux d'évaluation précédents. Chaque caractéristique des scénarios devant être claire et accompagnée d'indicateurs/variables clés.

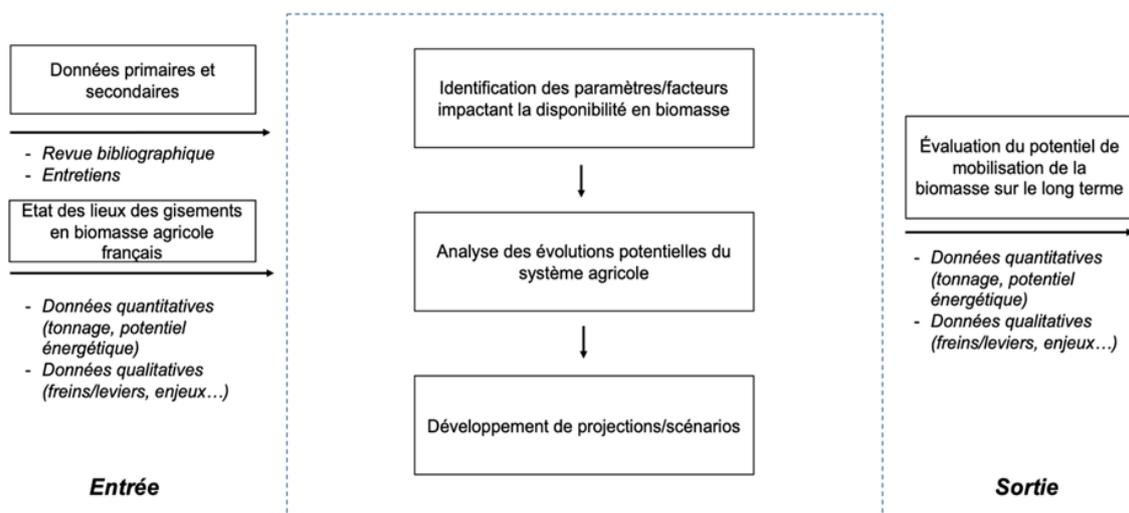
### **3.1. Paramètres étudiés**

Pour évaluer le potentiel des gisements de biomasse agricole sur le long terme, il est important d'examiner les facteurs externes susceptibles d'avoir un impact sur la disponibilité de la biomasse et donc sur sa mobilisation. L'élaboration de projections à long terme nécessite en effet la prise en compte de plusieurs facteurs (globaux et spécifiques). Une première analyse a donc été menée afin d'identifier les principaux paramètres affectant la disponibilité en biomasse agricole (type de cultures, surfaces cultivées, rendements, potentiel de mobilisation). Ce travail s'appuie sur une revue de littérature ainsi que sur les entretiens réalisés. L'analyse bibliographique permet de recueillir le plus d'informations pertinentes et de données initiales. Ces données visent à apporter des premiers éléments de réponse aux questions suivantes : quelles productions sur quelle surface agricole utilisée (terres arables) ? quels changements dans l'utilisation des terres ? En parallèle, des entretiens avec des experts du ministère de l'Agriculture, de l'INRAE (Institut national de recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et de l'ADEME ont permis d'obtenir plus de données sur ces paramètres.

### **3.2. Deux scénarios principaux**

Afin d'estimer le potentiel de biomasse agricole à long terme (d'ici à 2050), deux scénarios ont été élaborés en tenant compte de toutes les informations recueillies au cours de l'étude. Le premier est un scénario de base (« tendanciel ») qui vise à estimer la disponibilité et la mobilisation de la biomasse avec des pratiques agricoles proches des pratiques actuelles. Il ne prend en compte que certains facteurs susceptibles d'affecter la biomasse agricole, tels que l'impact du changement climatique et les tendances concernant l'évolution du cheptel, les surfaces et les rendements des cultures. Le second scénario est proche d'un scénario exploratoire « agroécologique » puisqu'il intègre de nouvelles pratiques culturales à plus grande échelle. Dans ces scénarios, des projections ont été réalisées afin d'estimer les nouvelles surfaces agricoles et les rendements. À partir de ces données, des estimations ont été faites sur le volume total de biomasse produit et le volume disponible pour la mobilisation.

Figure 14 – Aperçu de la méthodologie relative à la phase de projection



Source : France Stratégie

## Chapitre 3

# Une quantification des gisements de biomasse agricole

### 1. Un état des lieux des gisements de biomasse existants

Ces premières estimations sont le résultat d'une revue systématique des études ou des données existantes liées aux gisements et aux usages de la biomasse agricole en France. Un aperçu des références utilisées et données fournies est disponible en annexe 1. Les volumes présentés sont une agrégation d'estimations concernant la biomasse produite (surfaces, rendements, cheptels, etc.), disponible (en tenant compte des pertes, usages agronomiques, etc.) et utilisée (après comptabilisation des volumes usages pour alimentation, litière, paillage, énergie, etc.). Pour chaque catégorie de ressources – 11 au total –, un premier aperçu de son potentiel de mobilisation est détaillé.

#### 1.1. Effluents d'élevage

Les déchets et coproduits organiques des exploitations d'élevage sont constitués de fumier (forme solide) et de lisier (liquide). La nature et les quantités d'effluents d'élevage sont liées au type d'animal, au logement du bétail et au temps de séjour en étable (durée de stabulation). La production d'effluents est relativement stable dans le temps, le cheptel étant resté globalement constant en France ces dernières années. L'évolution du cheptel conditionnera les niveaux de disponibilité en effluents sur le long terme. Les ressources en effluents d'élevage sont principalement concentrées dans les régions de l'ouest de la France.

**Tableau 8 – Quantification des effluents d'élevage**

Ressource	Unité	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Fumier	ktMB	98 076	93 173	93 161
Fumier (estimation)	ktMS	≈ 26 000	≈ 25 000	≈ 25 000
Lisier	ktMB	201 523	40 385	38 030
Lisier (estimation)	ktMS	≈ 2 300	≈ 1 600	≈ 1 400

Note : ktMB : kilotonne de matière brute ; ktMS : kilotonne de matière sèche. L'estimation des volumes en matière sèche (fumier) est un ordre de grandeur, fondé sur des ratios de production de fumier par type d'animal et des caractérisations agronomiques

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Pour obtenir le volume total produit, le cheptel (ensemble de l'effectif) est multiplié par les ratios de production de fumier solide et de fumier liquide par type d'animal et par jour. Les données sélectionnées ci-dessus sont extraites de la dernière évaluation de l'ONRB<sup>107</sup> qui tient compte des effectifs du bétail de 2018 déclarés par les agriculteurs pour la PAC 2020 et après étude des données de l'ADEME à travers, entre autres, son outil ELBA de quantification de la biomasse agricole<sup>108</sup>. Le volume disponible est obtenu en retirant d'abord le volume physiquement inaccessible (en particulier dans le cas des effluents d'élevage). Ces volumes correspondent notamment à la production de fumier lorsque les animaux sont au pré. Ensuite, 5 % du volume total produit a été considéré comme non valorisable, car supposé non disponible pour des raisons sanitaires (présence d'agents pathogènes dans les excréments interdisant leur épandage). Le niveau actuel de mobilisation énergétique des effluents d'élevage est très faible : la grande majorité de cette ressource est épandue sur les sols et seul un pourcentage de la ressource disponible est valorisé (en méthanisation). Selon l'ADEME<sup>109</sup>, au moins 2,4 millions de tonnes d'effluents étaient utilisées pour la production de biogaz en 2016, dont 45 000 tonnes de fumier, sur une production disponible de 133 millions de tonnes, soit une mobilisation d'1,8 %.

### **Potentiel de mobilisation**

Les taux de mobilisation potentielle des effluents varient d'une étude à l'autre. Ils sont principalement estimés sur la base de la faisabilité technique et économique des unités de méthanisation agricole. Selon l'ADEME, SOLAGRO et INDIGGO<sup>110</sup>, un taux de mobilisation de 60 % pour les effluents d'élevage liquides et 50 % pour les effluents solides serait possible en 2030 en fonction de l'accessibilité technique, économique et sociale de la production de biogaz. D'autres instituts techniques ou de recherche agricoles<sup>111</sup> estiment la ressource mobilisable actuellement en se fondant sur des taux de mobilisation d'environ 30 % pour le lisier et 9 % pour le fumier (à dire d'experts). À court terme (horizon 2030), une mobilisation comprise entre 20 % et 30 % du lisier et de 10 % de fumier solide semble réaliste (sur la base des chiffres les plus récents), une mobilisation à grande échelle n'étant envisageable qu'à plus long terme (2050), sous réserve du développement des technologies de récupération adéquates.

Les paramètres économiques associés à la valorisation des effluents d'élevage sont nombreux. Au-delà de l'investissement nécessaire et des coûts d'exploitation liés à une unité de méthanisation (dépendants de nombreux paramètres comme le modèle choisi, la taille de l'unité, le type d'intrants, l'implantation, etc.), les prix de vente et les coûts de stockage et d'épandage sont aussi à prendre en compte. Ils sont très variables selon le type de fumier ou de lisier mais aussi selon sa qualité. Dans la plupart des cas, ils sont évalués entre le producteur et le repreneur. La possibilité d'un échange entre effluents et digestats est aussi à considérer dans certains cas.

<sup>107</sup> ONRB (2020), [Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition 2020](#), Observatoire national des ressources en biomasse, 93 p., à partir de données du SSP (Agreste) et d'Eurostat.

<sup>108</sup> Marsac S., Heredia M. *et al.* (2018), [ELBA : un outil de référence pour l'évaluation de ressource en biomasse agricole en France](#), rapport d'expertise, ADEME/GAO/IFIP/Institut de l'Élevage/ITAVI, mai, 33 p.

<sup>109</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), [Mobilisation de la biomasse agricole : état de l'art et analyse prospective](#), 184 p.

<sup>110</sup> ADEME, SOLAGRO et INDIGGO (2013), [Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation](#), rapport final, avril, 117 p.

<sup>111</sup> Comme l'IDELE - Institut de l'élevage ou encore l'IFIP - Institut du porc.

## Les effluents d'élevage : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumes disponibles très importants</li> <li>• Volumes relativement stables à court terme</li> <li>• Priorité donnée à la valorisation des biodéchets/effluents en méthanisation</li> <li>• Développement des réseaux biogaz</li> <li>• Mécanismes de soutiens économiques – prime « lisier »</li> <li>• Potentiel d'atténuation et de substitution aux GES</li> <li>• Retour au sol du digestat (carbone plus stable)</li> <li>• Ajustement des dosages d'épandages (meilleur contrôle, stockage)</li> <li>• Diversification des revenus (éleveurs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource très dispersée (transport)</li> <li>• Ressource peu méthanogène</li> <li>• Évolution des pratiques, développement des élevages en extérieur (pâturage)</li> <li>• Baisse des cheptels à long terme</li> <li>• Compétition avec l'épandage d'effluents bruts (analyse comparative nécessaire, pollution diffuse) + déstabilisation à court terme de la valorisation actuelle → substitution possible par un amendement chimique</li> <li>• Qualité du digestat issu de la « méthanisation industrielle » encore incertaine</li> <li>• Freins techniques (intensification des procédés, prétraitement, adaptation des exploitations, manques/problèmes d'étanchéité des équipements)</li> <li>• Freins économiques (coûts complets)</li> <li>• Baisse des tarifs d'achats, projets moins rentables (notamment pour la méthanisation agricole)</li> <li>• Acceptabilité sociale des projets de méthanisation d'effluents (nuisances, etc.)</li> </ul>

### 1.2. Résidus de cultures annuelles

Les résidus de cultures annuelles quantifiés dans cette étude sont constitués de pailles de céréales, d'oléagineux ou de protéagineux, de menue paille (composée de débris formés lors de la récolte et de mauvaises herbes présentes dans le champ), de cannes de maïs et de fanes de betteraves. Tous ces résidus n'ont pas les mêmes caractéristiques ni les mêmes utilisations. Ils peuvent être ou bien broyés et laissés aux sols, ou bien collectés pour répondre aux besoins de l'élevage (à des fins de litière animale ou plus occasionnellement comme alimentation animale).

La disponibilité de cette ressource est très variable, tant quantitativement que qualitativement, en raison des variations de rendement d'une année sur l'autre, ce qui entraîne des tensions sur le marché (résultats des phénomènes de sécheresse, par exemple) et de grandes incertitudes sur les volumes estimés. Cette ressource est disponible en volume important mais très peu valorisée dans la production d'énergie et de produits biosourcés du fait de l'importance des usages agronomiques et de la faible structuration des filières de valorisation.

Tableau 9 – Quantification des résidus de cultures annuels, en ktMS

Ressource	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Pailles de protéagineux	533	-	-
Pailles d'oléagineux	14 667	1 098	1 094
Pailles de céréales	50 841	13 303	2 991
Fanes de betteraves	2 187	-	-
Cannes de maïs	12 044	1 728	1 716
Menues pailles	nd (non déterminé)	nd	573

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Comme pour les effluents d'élevage, le volume total produit est obtenu à partir d'une méthodologie assez similaire dans les études disponibles, à partir des surfaces développées et du rendement par hectare. Les données les plus récentes sont aussi celles de l'ONRB, obtenues à partir des déclarations de 2018 pour la PAC concernant les superficies et à partir de données du service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture et de l'alimentation<sup>112</sup>. Les estimations présentées prennent notamment en compte l'indice de récolte (noté IR) et le rendement en grains pour calculer le rendement en paille (selon le type de grain/paille)<sup>113</sup>. L'estimation du rendement en paille est obtenue par ce calcul :

$$\text{Rendement en paille} = \text{Rendement en grains} \times \frac{(1 - IR)}{IR}$$

Le volume théorique disponible est égal au volume produit moins les volumes contraints (volumes qui ne peuvent être récoltés et volumes retournés au sol). Les volumes non récoltables sont obtenus en multipliant le volume total produit par le taux de biomasse non récoltable par les moyens techniques actuels (qui peuvent être associés à des pertes lors de la récolte : fauchage, broyage, etc.). Si ce taux est égal à 1, aucun résidu n'est récolté. Les volumes retournés au sol sont également pris en compte. Ils sont obtenus à partir des taux de retour au sol de chaque ressource estimés à partir de la fréquence de récolte ne pénalisant pas la fertilité du sol. La paille récoltée et non retournée au sol est principalement utilisée à des fins animales (litière et alimentation animale, dont les besoins totaux ont été estimés à environ 10 millions de tonnes). Viennent ensuite les autres utilisations (combustibles, granulés, isolation, etc.)<sup>114</sup>. Après retrait de ces volumes considérés comme déjà mobilisés, si le solde est négatif, la disponibilité est estimée comme nulle. Dans ce cas, le recours à l'importation de paille provenant des zones excédentaires est privilégié.

Aucun volume supplémentaire de pailles de protéagineux ou de fanes de betteraves n'est disponible pour une mobilisation future. Ces résidus sont aujourd'hui laissés sur les sols des parcelles. En revanche, pour les pailles d'oléagineux et de céréales, ainsi que pour les

<sup>112</sup> Données relatives aux cultures développées hors fourrage, prairies, fruits, fleurs et vigne (Agreste, 2019).

<sup>113</sup> À partir des données de l'ONRB basées sur l'étude du GIE GAO (Arvalis, Terres Univia, Terres Inovia) portant sur la fourniture de paramètres techniques permettant la quantification régionale de la production et de la valorisation des pailles, octobre 2018.

<sup>114</sup> Sur la base de données de l'ONRB, issues d'enquêtes, d'outils (ELBA) de dire d'experts et d'études.

cannes de maïs, un volume supplémentaire mobilisable a été identifié. S'agissant des usages énergétiques, environ 72 ktMS de résidus sont actuellement utilisés sans distinction entre les types de résidus<sup>115</sup>. Afin de prendre en compte cette estimation, l'étude a choisi de répartir cette part énergétique pour chaque type de résidus, proportionnellement au volume disponible. En ce qui concerne la ressource en menue paille, un volume supplémentaire disponible de 573 ktMS a été identifié grâce à ELBA, un outil statistique d'estimation des ressources de biomasse en France (voir encadré).

#### Encadré – L'outil ELBA

L'outil ELBA (évaluation de la biomasse agricole) a été conçu à des fins d'évaluation et de représentation géographique des ressources en biomasse (effluents d'élevage, résidus de cultures et cultures dédiées) à l'échelle du territoire métropolitain. Il est issu de la collaboration de plusieurs instituts techniques agricoles : GIE GAO associant Arvalis – Institut du végétal, Terres Inovia et Terres Univia, IDELE, IFIP et ITAVI, avec le soutien de l'ADEME.

L'approche méthodologique se fonde sur la mise en commun de données statistiques (recensement agricole, déclarations PAC, enquêtes bâtiments d'élevage et cheptel, etc.) et de résultats d'expérimentations (rendements, fréquence d'exportation de pailles, part de biomasse récoltable, ratios de production d'effluents, etc.).

L'outil distingue les ressources brutes (sur pied ou sous l'animal, n'ayant subi aucune transformation ou perte) de celles qui sont durablement disponibles à la ferme. Il tient compte des quantités minimales de résidus de récolte à laisser sur les champs. Les données peuvent être présentées à différentes échelles géographiques (cantonale, départementale, régionale).

ELBA est disponible en ligne à l'adresse suivante : <https://elba.arvalis-ext.com>

### Potentiel de mobilisation

Les résidus de culture, facilement stockables et qui bénéficient d'un fort pouvoir méthanogène, représentent un gisement important à court et moyen terme. La mobilisation de cette ressource pourrait être modifiée par le développement de différents systèmes de production agricole (comme l'agriculture biologique) et par une moindre production de résidus de culture, notamment de paille. Les changements dans le secteur du bâtiment et l'évolution des modes d'hébergement des animaux pourraient entraîner un besoin accru de paille et autres résidus dans les années à venir. D'autres débouchés « matériaux » peuvent être développés. Toutefois, la disponibilité de la paille à des fins énergétiques/matériaux reste tributaire des besoins en litière du bétail. Cette ressource fait l'objet d'une concurrence intense pour son utilisation, d'autant que les épisodes de sécheresse sont appelés à se multiplier<sup>116</sup>, avec des impacts sévères sur la disponibilité en paille. Pour éviter de potentiels conflits et créer une complémentarité entre les usages matériaux et énergie, il apparaît nécessaire de prendre en compte la temporalité liée au développement actuellement différencié des secteurs de valorisation (le développement de l'usage matériau est plus lent que l'usage énergétique). En cas de développement rapide des secteurs matériaux et énergie, des compétitions d'usage pourraient aussi apparaître. En effet, un facteur de rigidité

<sup>115</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), [Mobilisation de la biomasse agricole](#), op. cit.

<sup>116</sup> Agreste (2020), « [Des productions de blé et d'orges en fort recul et des cultures d'été estimées en nette progression](#) », *Agreste Conjoncture – Grandes cultures*, n° 2020-107, août, 5 p.

important lié au développement d'unités de valorisation énergétique (investissements, fonctionnement) pourrait limiter le gisement de paille pour d'autres usages.

Les prix de base associés aux résidus de cultures sont estimés aux alentours de 15 à 30 €/tMB pour la paille en andain et de 50 à 100 €/tMB pour la paille départ ferme<sup>117</sup>. Ces estimations restent des ordres de grandeur servant de base de discussions : elles varient grandement avec la situation géographique et n'incluent pas les coûts de stockage associés. Une hausse de la récolte en résidus nécessite un développement des matériels de récolte qui sont majoritairement peu adaptés, avec de faibles rendements horaires. Le niveau actuel de mobilisation des résidus s'explique en partie par une plus-value limitée n'incitant pas les agriculteurs à mobiliser cette ressource. En parallèle, comme indiqué plus haut, la ressource en paille dépend largement des conditions climatiques pouvant créer une tension au niveau de cette ressource (rendement à la baisse, forte demande, sécheresse, etc.) et conduisant à des prix en forte hausse et à des concurrences d'usage amplifiées.

### Les résidus de cultures annuelles : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouvoir méthanogène important</li> <li>• Simplicité d'usage (stockage notamment)</li> <li>• Développement des cultures de légumineuses</li> <li>• Développement de l'usage matériaux</li> <li>• Diversification des revenus (exploitants)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilité quantitative et qualitative de la ressource (rendements variables)</li> <li>• Impact du changement climatique (sécheresse) et de l'agriculture bio sur les rendements et assolements</li> <li>• Difficulté (technique) de récolte pour certains résidus</li> <li>• Compétition d'usage (énergie, agronomie, litière, alimentation animale)</li> <li>• Gisements diffus + disparités territoriales (exportations)</li> <li>• Raccourcissement possible des pailles dans un objectif d'accroissement du rendement en grains</li> </ul>

### 1.3. Cultures intermédiaires

Implantées entre deux cultures principales, les cultures intermédiaires peuvent assurer différentes fonctions agronomiques et environnementales, en plus d'une vocation énergétique : piégeage de l'azote résiduel, limitation des adventices, lutte contre l'érosion, amélioration de la biodiversité et de la structure des sols. On distingue plusieurs types en fonction des débouchés : cultures intercalaires (restructuration du sol), cultures dérobées (fourrages), cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) et cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE). Outre ces services écosystémiques, la mise en place de

<sup>117</sup> Valeurs indicatives obtenues auprès de plusieurs chambres d'agriculture (2020).

cultures intermédiaires représente une source de biomasse additionnelle valorisable énergétiquement (majoritairement par méthanisation en raison d'un fort potentiel méthanogène).

Il existe deux grands types de cultures intermédiaires : les cultures d'automne/hiver (ray-grass, triticale, seigle, avoine, etc.) plantées après une culture de printemps, et les cultures d'été, plantées à la mi-juillet et récoltées à la mi-octobre (sorgho, avoine, pois, tournesol, maïs, etc.). Très peu d'études estiment les gisements de cultures intermédiaires et la part de cette ressource actuellement valorisée. Les chiffres disponibles reposent exclusivement sur une estimation du potentiel à l'horizon 2030<sup>118</sup>. En effet, il reste difficile de comptabiliser précisément les gisements de cultures intermédiaires en l'absence notamment de définition « réglementaire ». Ces cultures présentent un potentiel important mais elles sont actuellement encore peu utilisées dans la production d'énergie.

**Tableau 10 – Quantification des cultures intermédiaires – potentiel de mobilisation, en ktMS**

Ressource	Volume total produit (potentiel)	Volume disponible (potentiel)	Volume supplémentaire disponible (potentiel)
Cultures d'automne	9 900	2 992	2 924
Cultures d'été	13 860	1 386	1 354

ktMS : kilotonnes de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Cette première estimation du volume total produit à l'horizon 2030 a été réalisée en multipliant les estimations en termes de surface disponible et de rendement moyen à l'hectare. La surface potentielle considérée pour les cultures intermédiaires est la surface totale des cultures de printemps après déduction des pratiques incompatibles telles que la récolte tardive ou l'absence de cultures intercalaires. La surface potentielle retenue est de 4 millions d'hectares pour les cultures d'automne et de 3,4 millions d'hectares pour les cultures d'été. Ces estimations ne tiennent pas compte des superficies actuellement sans couverture, de celles consacrées aux CIPAN et d'autres cultures destinées à l'alimentation animale. Les rendements restent très aléatoires et dépendent du climat local et des conditions du sol. Ils peuvent varier de 3 à 8 tMS/ha selon les estimations. Avec ces données, le potentiel volume total produit a été estimé à 23 826 ktMS, avec un taux de matière sèche retenu de 22 %.

Le gisement théoriquement disponible représente la part des cultures intermédiaires pouvant être mobilisée. Il est obtenu avec un taux de mobilisation de 30 % pour les cultures d'automne et de 10 % pour les cultures d'été. Ce taux de mobilisation vise un horizon 2030 en projetant les données techniques résultant des pratiques actuelles à cette date. Il a été obtenu en tenant compte de plusieurs facteurs et contraintes. En effet, très peu d'informations sont accessibles sur le gisement actuel, ce qui explique l'utilisation de données à l'horizon 2030. En 2016, les CIVE ou cultures intermédiaires à vocation énergétique représentaient 8 % du tonnage total d'intrants utilisés dans les unités de méthanisation agricole et 2 % du tonnage total d'intrants

<sup>118</sup> ADEME, SOLAGRO et INDIGGO (2013), [Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation](#), op. cit.

utilisés dans les unités centralisées<sup>119</sup>. Cela équivaut à un total d'environ 100 ktMS. D'une manière générale, malgré quelques références dans la littérature à des projets régionaux de mise en place de CIVE et de valorisation par méthanisation, la quantification du volume actuellement mobilisé reste très incertaine.

### **Potentiel de mobilisation**

Les cultures intermédiaires présentent un fort potentiel de mobilisation sur le long terme. En effet, leur implantation pourrait ouvrir la voie à un développement considérable de la production de biogaz. Actuellement, en raison notamment de leur saison de croissance plus longue, ce sont les cultures d'automne qui contribuent majoritairement au potentiel énergétique des cultures intermédiaires. Cependant, le changement climatique devrait favoriser le développement de cultures d'été d'ici à 2050. Le taux de mobilisation retenu par l'ADEME pourrait donc être encore plus ambitieux, vision partagée par la SNMB. Toutefois, par rapport à d'autres cultures intermédiaires, les CIVE ne sont pas enfouies ou laissées dans le sol (la biomasse prélevée est destinée à la méthanisation). Avant d'augmenter le taux de mobilisation de cette ressource, il est nécessaire de s'assurer que la biomasse restante et les digestats issus de la méthanisation peuvent compenser les pertes en matière organique. Comme pour toute ressource, la disponibilité future en eau et l'impact du changement climatique doivent également être pris en compte, ce qui accentue la concurrence entre les utilisations énergétiques et fourragères des cultures intermédiaires. En effet, l'utilisation de cultures à vocation énergétique a des conséquences en termes de changement d'affectation des terres, de concurrence directe avec la production alimentaire et d'éventuels impacts environnementaux négatifs par une utilisation excessive d'intrants (fertilisation, produits phytosanitaires).

Peu d'études chiffrées sont disponibles sur les coûts complets, c'est-à-dire incluant la totalité des charges liées aux cultures intermédiaires. Ces coûts varient fortement avec les conditions pédoclimatiques, le type de culture et les rendements associés. À titre d'exemple, les coûts de production complets d'une culture d'avoine dans des conditions pédoclimatiques similaires au Béarn et au Lauragais varient entre 120 et 140 €/tMS pour un rendement de 6 tMS/ha<sup>120</sup>. Ce coût diminue très fortement lorsque la productivité augmente (70 à 110 €/tMS pour un gain d'1 à 2 tMS/ha) et augmente lorsque la productivité diminue (160 €/tMS pour les rendements les plus faibles). Ces données, issues du projet OPTICIVE mené par Arvalis ont permis de déterminer – toujours dans ces contextes spécifiques – un seuil de rentabilité. Ce seuil est significatif car il décrit le rendement nécessaire pour équilibrer les charges de cette culture et couvrir ainsi le coût complet. Pour un prix d'achat de biomasse (par un méthaniseur par exemple) de 75 €/tMS, le rendement seuil de méthanisation est fixé à 10 tMS/ha. Ce rendement diminue presque linéairement lorsque le prix d'achat augmente (pour atteindre 4 tMS/ha pour un prix d'achat de 175 €/tMS).

<sup>119</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), *Mobilisation de la biomasse agricole*, op. cit.

<sup>120</sup> Arvalis (2020), « [Cultures intermédiaires](#) », *Perspectives agricoles*, janvier.

### Les cultures intermédiaires : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Services écosystémiques/agronomiques, s'inscrit dans le développement à venir des couverts végétaux</li> <li>• Soutien des politiques publiques au développement des cultures intermédiaires/ couverts végétaux</li> <li>• Pouvoir méthanogène important</li> <li>• Diversification des revenus (agriculteurs)</li> <li>• Potentiel de développement des cultures d'été (à long terme)</li> <li>• Amélioration de l'efficacité énergétique des rotations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité future en eau, impact du changement climatique sur les rendements</li> <li>• Concurrence avec d'autres cultures intermédiaires (appauvrissement du sol en matière organique)</li> <li>• Concurrence avec d'autres usages (notamment alimentaire)</li> <li>• Utilisation supplémentaire possible d'intrants (fertilisation, produits phytosanitaires)</li> <li>• Baisse des tarifs d'achats méthanisation + primes CIVE à l'arrêt (méthanisation agricole)</li> </ul>

#### 1.4. Surplus d'herbes

Cette catégorie de ressources tient compte du surplus d'herbes issu des prairies permanentes et temporaires. Très peu d'études existent sur sa disponibilité pour des usages énergétiques. L'entretien, la gestion et les différents intrants associés à ces gisements (traitements phytosanitaires, engrais, fauchage, pâturage, broyage) peuvent varier selon le type de surface et son statut réglementaire. Les ressources en herbes peuvent être utilisées, au cas par cas, pour l'alimentation animale ou l'énergie (combustion, méthanisation), mais leur mobilisation énergétique dépend notamment de leur statut (en l'occurrence si le fauchage ou l'exportation de résidus sont autorisés).

Les disponibilités présentées traduisent un gisement théorique potentiellement mobilisable à l'échelle nationale (aucune estimation précise de la ressource disponible pour des usages énergétiques n'a été identifiée).

Théoriquement, l'herbe pourrait être disponible en grande quantité, mais le surplus reste peu utilisé pour la production d'énergie, pour diverses raisons : faible rendement en matière sèche, freins techniques, rentabilité limitée des filières, enjeux agronomiques de l'herbe, etc. Cette ressource peut être considérée à l'heure actuelle comme un gisement « d'opportunité » en complément des principaux gisements de biomasse agricole.

**Tableau 11 – Quantification des surplus d’herbes – potentiel de mobilisation, en ktMS**

Ressource	Volume total produit	Volume disponible*	Volume supplémentaire disponible**
Prairies artificielles	3 274	327	327
Prairies temporaires	16 430	1 643	1 643
Surfaces toujours en herbe	33 146	3 315	3 315

\* Le volume estimé disponible ici représente un volume théorique potentiellement mobilisable.

\*\* Volume supplémentaire potentiel.

ktMS : kilotonnes de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Le volume total produit est estimé d’après les données du service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l’Agriculture<sup>121</sup>. Ces données concernent toutes les superficies de prairies, quelle que soit leur utilisation. La production disponible sur les prairies non permanentes (temporaires et artificielles) est estimée à 19,7 millions de tonnes et la production des surfaces toujours en herbe s’élève à 33,1 millions de tonnes. Le surplus d’herbes représente ici le volume en herbe pouvant être mobilisé sans nuire aux usages alimentaires du bétail et en garantissant un maintien de la qualité des prairies (stockage carbone, régulation et épuration de l’eau, fixation de l’azote atmosphérique, etc.). Dans cette étude, un taux de mobilisation limité à 10 % du volume total produit a été retenu pour les prairies sur la base d’estimations issues de travaux prospectifs à l’horizon 2030 et de dires d’experts. En l’absence d’autres données, ce taux a été utilisé pour estimer un volume potentiellement mobilisable. Actuellement, l’utilisation des surplus d’herbes est assez limitée. Cette ressource est en partie laissée en pâturage pour le bétail, dans le cas des prairies, ou fauchée et laissée sur le sol. Le volume supplémentaire disponible peut être estimé égal au volume théorique disponible, car aucune autre utilisation de ce surplus n’a pu être identifiée.

### **Potentiel de mobilisation**

Le surplus en herbe représente un gisement bien réparti sur l’ensemble du territoire. Sa mobilisation à des fins énergétiques reste cependant encore marginale aujourd’hui et sa contribution à la production de biogaz à grande échelle est incertaine à court terme. La disponibilité future des ressources en herbe est également très dépendante des conditions climatiques et des besoins de l’élevage (pour l’alimentation). L’année 2020, par exemple, connaît un déficit de production d’herbe qui s’aggrave pour une grande partie de la France<sup>122</sup>.

Les prix associés à la ressource en herbe dépendent, entre autres, des conditions pédoclimatiques, du type de surfaces (prairies permanentes, temporaires, etc.) ainsi que de la ressource prélevée (foin, herbe sur pied, etc.). Les principales charges associées aux surplus d’herbes couvrent les étapes de fauchage, fanage, andainage, pressage. Les prix

<sup>121</sup> Agreste (2020), [Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires](#), op. cit.

<sup>122</sup> Agreste (2020), « [Une production d’herbe ralentie en juillet 2020](#) », *Agreste Conjoncture – Prairies*, n° 2020-106, juillet, 3 p.

peuvent ainsi varier entre 70 et 170 €/tMS<sup>123</sup> et, selon le niveau de spéculation (comme les résidus de cultures), peuvent atteindre des niveaux plus élevés, ces chiffres n'étant qu'indicatifs, en l'absence de cours officiels.

### Le surplus d'herbes : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gisement bien réparti sur l'ensemble du territoire</li> <li>• Disponibilité continue (printemps-automne) liée aux coupes successives</li> <li>• Développement des bandes enherbées comme couvert environnementaux</li> <li>• Alternative au recours aux cultures énergétiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freins techniques (récupérations + prétraitements à mettre en œuvre dans certains cas)</li> <li>• Valorisation en biomatériaux présente un potentiel limité</li> <li>• Compétition d'usage (entre énergie et alimentation animale)</li> <li>• Appauvrissement possible du sol en matière organique</li> <li>• Implique dans certains cas une fauche précoce de l'herbe pouvant perturber les écosystèmes</li> <li>• Disponibilité de la ressource fortement dépendante des conditions climatiques</li> </ul>

## 1.5. Cultures dédiées pérennes

Cette catégorie correspond aux cultures dont le but principal est la valorisation énergétique. Elles sont également utilisées de façon marginale pour la litière ou le paillage. Ces ressources sont des cultures lignocellulosiques : miscanthus, switchgrass (panic érigé), taillis à courte rotation (TCR) ou très courte rotation (TTCR) comme les saules, robiniers, peupliers. Ces ressources présentent un gisement limité, principalement composé de miscanthus et situé autour de l'Île-de-France et dans l'Ouest de la France.

Tableau 12 – Quantification des cultures dédiées pérennes, en tMS

Ressources	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Miscanthus/switchgrass	58 000	58 000	-
TCR/TTCR	41 000	41 000	-

tMS: tonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

La surface totale des cultures pérennes a été estimée à environ 10 000 hectares sur la base de données 2020 de l'ONRB (dont 6 400 hectares pour le miscanthus)<sup>124</sup>. Le rendement des

<sup>123</sup> Estimations obtenues à partir de données issues de plusieurs chambres d'agriculture.

différentes ressources est multiplié par la surface associée. En l'absence de volumes contraints identifiés, la totalité du volume produit est disponible pour la mobilisation. Les dernières données obtenues de l'ONRB en 2020 montrent que la plupart des ressources disponibles sont actuellement utilisées à des fins énergétiques (60 % pour l'énergie, 20 % pour la litière animale et 20 % pour le paillage).

### **Potentiel de mobilisation**

Les cultures dédiées sont principalement utilisées à des fins énergétiques : la quasi-totalité des volumes sont destinés à la combustion, avec peu de méthanisation à l'heure actuelle. Leur rendement élevé en biomasse et leur aspect pérenne permettent un approvisionnement plus sûr des chaudières ou des bioraffineries. Les surfaces en cultures dédiées connaissent un essor rapide – hausse de 18 % des surfaces en miscanthus entre 2018 et 2019<sup>125</sup> – qui rend indispensable le développement de nouveaux débouchés. La filière biocarburants 2G pourrait fortement intensifier la production ainsi que la mobilisation de ces ressources. L'usage matériaux de ces cultures pourrait aussi augmenter dans les années à venir notamment si les débouchés en matière de matériaux composites se développent. Les caractéristiques des cultures lignocellulosiques, notamment un faible taux d'humidité, rendent aussi possible leur utilisation en tant que constituants de litières animales. Le déploiement des cultures pérennes à des fins énergétiques peut cependant soulever des interrogations sur la concurrence avec l'usage alimentaire des sols agricoles : l'implantation de miscanthus par exemple implique une réorganisation des rotations sur le long terme. Le choix de dédier une surface spécifique pour la mise en place de cultures énergétiques (potentiellement aux dépens de surfaces alimentaires) est aussi à mettre en parallèle avec la possibilité d'utiliser des résidus ou coproduits de cultures annuelles sur des surfaces plus importantes, ces deux types de cultures présentant des rendements et des pouvoirs calorifiques similaires). Les monocultures dédiées à la production de biomasse énergie affectent également la biodiversité. La mise en place de ces cultures sur des terres marginales ou sur des sols pollués pourrait néanmoins être intéressante (et sans concurrence) mais impliquerait une baisse de rendements en biomasse.

L'intérêt économique des cultures dédiées est hautement dépendant du rendement associé ainsi que du prix des énergies fossiles, des cultures agricoles et du bois. Les cultures pérennes présentent un coût complet de 50 à 165 €/tMS<sup>126</sup> (pour un rendement compris entre 8 et 12 tMS/ha). Ces valeurs, indicatives, sont très variables selon le type de culture (environ 65 €/tMS pour le miscanthus, plus de 100 €/tMS pour certains taillis). Les charges d'implantations et celles générées par la récolte sont les plus importantes. Pour le miscanthus, les coûts moyens avant la première récolte sont estimés à plus de 3 000 €/ha<sup>127</sup>.

---

<sup>124</sup> ONRB (2020), [Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition 2020](#), op. cit., à partir de données de déclaration PAC 2019, d'études de FranceAgriMer, de l'ADEME et de RMT Biomasse ([Lignoguide - Guide d'aide au choix des cultures lignocellulosiques](#), 2013).

<sup>125</sup> FranceAgriMer (2020), [Étude sur la formation des prix dans la filière française de production de miscanthus](#), rapport, août, 60 p.

<sup>126</sup> Besnard A., Ferchaud F. et al. (2014), « [Le lignoguide : une aide au choix des cultures biomasse](#) », *Innovations agronomiques*, n° 34, p. 35-50.

<sup>127</sup> FranceAgriMer (2020), [Étude sur la formation des prix dans la filière française de production de miscanthus](#), op. cit.

## Les cultures dédiées pérennes : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>Haut rendement en biomasse</li> <li>Itinéraires techniques simples (peu d'interventions)</li> <li>Implantation possible sur des terres marginales (délaissés) ou polluées (dépollution)</li> <li>Développement des usages biomatériaux et des biocarburants 2G</li> <li>Changement d'usage des terres agricoles (biocarburants 1G, pâturages ? ETC.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concurrence d'usages : matériaux et énergie</li> <li>Concurrence d'usage des sols (production alimentaire)</li> <li>Problématiques associées aux monocultures énergétiques (biodiversité, pollution diffuse)</li> </ul>

### 1.6. Issues de silos

Les issues de silos sont des sous-produits des opérations de tri des grains au sein des coopératives agricoles (grains cassés, poussière, grains non adaptés). Ils sont produits tout au long de l'année et se présentent sous différentes formes : résidus secs de céréales à paille (pour l'alimentation animale), résidus humides de maïs, etc.

Tableau 13 – Quantification associée aux issues de silos, en ktMS

Ressource	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Issues de silos	377	377	-

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

En 2020, la méthode d'estimation de la production de résidus de silos repose sur les chiffres de collecte de FranceAgriMer<sup>128</sup>. L'étude porte sur plusieurs types de céréales (protéagineux, céréales, maïs, riz) avec un taux de collecte spécifique à chaque type (variant de 0,1 % à 1,7 %). Cependant, la non-comptabilisation de certains types de résidus (blé, tournesol, etc.) pourrait sous-estimer le volume total produit. En l'absence d'indications contraires provenant des sources analysées, le volume disponible est considéré comme égal au volume total produit (aucune perte n'est prise en compte ici). Les dernières données disponibles de l'ONRB, sur la base d'enquêtes professionnelles menées par une coopérative agricole<sup>129</sup>, identifient différents volumes mobilisés : 55 % des issues de silos sont utilisés pour l'alimentation animale, 40 % pour la production de biogaz, 2,5 % pour le compostage et 2 % pour la combustion et autres usages marginaux. Le volume supplémentaire disponible est considéré comme nul après déduction de ces différentes utilisations.

<sup>128</sup> Données 2020 de l'ONRB à partir des chiffres collecte campagne 2018/19 (outil VisioNET) de FranceAgriMer.

<sup>129</sup> La Coopération agricole [ex-Coop de France] (2019), « [Maîtrise de la qualité des issues de silos et de leurs débouchés](#) », *Les enquêtes de Coop de France*, septembre, 12 p.

## Potentiel de mobilisation

La quantification des issues de silos disponibles pour une mobilisation énergétique additionnelle apparaît limitée, voire incertaine en l'absence de données consolidées au niveau national pour tous les types de résidus. Les résidus de silos disponibles représentent de faibles volumes et, sans changements significatifs à l'avenir, leur mobilisation pour l'énergie continuera à dépendre des volumes utilisés pour l'alimentation animale. D'un point de vue économique, les prix de ventes des écarts de tri sont similaires (plus de 20 €/t) pour les deux principales voies de valorisation (alimentation animale et méthanisation).

### Les issues de silos : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité continue sur l'année (approvisionnement sur toute l'année)</li> <li>• Réduction de l'usage des issues de silos pour l'alimentation animale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût de valorisation par combustion (concurrence avec les granulés de bois moins chers)</li> <li>• Gisements diffus (problématiques de transports, valorisation locale)</li> <li>• Variabilité annuelle des quantités disponibles qui limite le développement d'une filière de valorisation</li> <li>• Compétition d'usage entre énergie et alimentation animale (représentant 70 % des issues de silos valorisés)</li> </ul>

## 1.7. Plantes à parfum

La biomasse issue des plantes à parfum considérée dans cette étude est fondée sur la classification de l'ONRB. Elle comprend les pailles de lavandin et de lavande ainsi que leurs résidus. Ces derniers proviennent des opérations de renouvellement des parcelles ayant lieu tous les dix ans. Les résidus inclus dans cette catégorie peuvent provenir à la fois des cultures mais aussi, en partie, de l'industrie de transformation. Une fois distillée, la quasi-totalité de ces résidus agro-industriels est stockée à proximité des distilleries.

Tableau 14 – Quantification des plantes à parfum, en ktMS

Ressource	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Lavandin	57,1	55,7	2,5
Lavande	5,7	5,7	0,1

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Les surfaces en lavandin et lavande couvrent près de 25 000 hectares, dont 82 % de lavandin<sup>130</sup>. Le calcul de la quantité totale de paille de lavandin et de lavande produit a été effectué sur la base des surfaces et des rendements en paille considérés par l'ONRB (6 tMB/ha pour la paille de lavandin et 2 tMB/ha pour la paille de lavande à 65 % d'humidité). En termes de volume de biomasse issus des renouvellements, un ratio de production de paille fixé à 58 % a été pris en compte par l'ONRB, ce qui correspond à la partie aérienne de la biomasse. Le renouvellement étant effectué tous les dix ans, la quantité de biomasse a été étalée dans le temps.

Le volume théorique disponible est estimé à peu près égal au volume total produit. Ces volumes sont néanmoins très faibles, de sorte que l'impact sur le volume disponible est marginal. La paille de lavandin est principalement utilisée pour le compost (environ 40 000 tMS). Viennent ensuite les utilisations énergétiques (pour les chaudières). Une partie de ces tonnages est également utilisée comme épandage, même si cette utilisation n'est pas très répandue et correspond plutôt à une volonté de se débarrasser des pailles. La quasi-totalité de la paille de lavande est utilisée en compostage, broyage ou brûlage sur parcelle.

### Potentiel de mobilisation

La mobilisation de la paille des plantes à parfum ne devrait pas changer de manière significative dans les années à venir (majoritairement utilisée à des fins agronomiques soit par le biais de compost ou par broyage et retour au sol). Cependant, un certain volume de pailles (difficilement évaluable) est brûlé sur place à l'air libre sans aucune production d'énergie. La valorisation énergétique des pailles de lavande et lavandin pourrait donc s'effectuer une fois les usages agronomiques respectés et à l'échelle locale (valorisation par combustion) nécessitant la mise en place d'un matériel spécifique. Les utilisations devraient donc rester locales avec des volumes limités.

### Les plantes à parfum : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"><li>Valorisation énergétique par combustion des volumes brûlés sur place</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Volumes faibles</li><li>Intérêt de la valorisation directe sur parcelle (agronomie, compétitivité)</li></ul>

## 1.8. Plantes à fibres (lin et chanvre)

Le lin et le chanvre sont des ressources en biomasse pouvant être valorisées de diverses manières : textile, litière, paillage, matériaux biosourcés, etc. Peuvent être récupérés les graines et les produits de la paille (fibres, poussière) pour le lin ; les fibres et la poussière pour le chanvre (les ressources disponibles à partir d'autres parties de la plante comme les

<sup>130</sup> ONRB (2020), [Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition 2020](#), *op. cit.*, à partir de données du SSP (cultures développées hors fourrage, prairies, fruits, fleurs et vigne, Agreste, 2018), du CRIEPPAM (étude technico-économique sur la valorisation de la biomasse issue de la filière lavande-lavandin, 2008) et de FranceAgriMer (dires d'experts, 2020).

graines ne sont pas estimées ici). La production de plantes à fibres est très localisée dans le nord de la France.

**Tableau 15 – Quantification associée aux plantes à fibres, en ktMS**

Ressource	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Pailles de lin	808	808	-
Pailles de chanvre	66	66	15

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

La France est le deuxième producteur mondial de chanvre et le leader européen de la production de lin<sup>131</sup>. Les estimations présentées sont fondées sur les surfaces (relativement stables) identifiées en 2018<sup>132</sup> et sur certaines données de l'ONRB<sup>133</sup>. Un rendement en paille de 89 % pour le chanvre et de 98 % pour le lin a été pris en compte (part de la plante entière) en plus d'un taux d'humidité moyen de 15 %. Seuls les travaux de l'ONRB estiment les différents volumes utilisés, aucun volume contraint n'a été estimé, ce qui a permis de considérer le volume disponible au même niveau que le volume total produit. Les volumes mobilisés estimés en 2020 concernent principalement des utilisations dans la production textile et de matériaux biosourcés. Pour la paille de lin, près de 84 % des volumes disponibles sont mobilisés pour ces usages, les 16 % restants sont utilisés à des fins énergétiques. Quant au chanvre, 34 % des volumes sont utilisés pour une valorisation en biomatériaux, 25 % pour la litière animale et 11 % pour le paillage horticole. Le volume supplémentaire disponible de paille de chanvre est estimé à environ 15 000 tMS.

### **Potentiel de mobilisation**

L'utilisation du lin et du chanvre dans la production de matériaux biosourcés devrait augmenter. Les chiffres prospectifs d'une étude des centres de ressources technologiques dédiés à l'utilisation industrielle des fibres végétales prévoient une augmentation de la surface développée (pour les utilisations en matériaux) de 22 % d'ici à 2035, suite à une augmentation probable de certaines utilisations (isolation, plastiques, béton, etc.) liée à l'impact de nouveaux projets de R & D<sup>134</sup>. La spécificité des cultures de plantes à fibres réside dans des coûts de récolte élevés mais qui sont à mettre en parallèle d'un soutien financier (aide de la PAC couplée à la surface pour la production de plantes à fibre).

<sup>131</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), *Mobilisation de la biomasse agricole*, op. cit.

<sup>132</sup> Agreste (2020), *Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires*, op. cit.

<sup>133</sup> Données basées sur la déclaration 2019 des surfaces PAC, du SSP et d'analyse menées par FRD et le Pôle IAR (*Panorama des marchés. « Fibres végétales techniques en matériaux » (hors bois) en France*, vol. 1, coll. « Mémento 2020 », 25 p.).

<sup>134</sup> IAR et FRD (2020), *Panorama des marchés. « Fibres végétales techniques en matériaux » (hors bois) en France*, op. cit.

## Les plantes à fibres (lin et chanvre) : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultures nécessitant peu, voire pas de fertilisants et pesticides</li> <li>• Cultures intéressantes en têtes d'assolement (amélioration du rendement des cultures suivantes)</li> <li>• Apports agronomiques (lutte contre la maladie, structure le sol, limite l'érosion)</li> <li>• Soutien de la PAC (chanvre)</li> <li>• Développement de la filière biomatériaux (matériaux composites, automobiles, construction)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût de production élevé et demande fluctuante impactant les choix d'implantation des agriculteurs</li> <li>• Concurrence avec les cultures alimentaires pour l'accès à de nouvelles surfaces (utilisation des sols)</li> <li>• Récolte potentiellement contraignante</li> </ul>

### 1.9. Résidus de vignes et vergers

Cette catégorie de biomasse agricole comprend les résidus de vergers et de vignes. Ceux-ci sont issues des opérations d'entretien (taille, élagage, ébranchage, etc.), de renouvellement des parcelles mais aussi après arrachage sans replantation.

Tableau 16 – Quantification associée au bois agricole (vignes et vergers), en ktMS

Ressource	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Résidus de vignes	8 393	7 346	-
Résidus de vergers	525	nd (non défini)	nd

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Les volumes présentés sont basés sur les données du SSP<sup>135</sup> et sur certaines estimations issues d'une analyse menée par l'ADEME et SOLAGRO en 2008<sup>136</sup> et reprises par l'ONRB et l'ADEME<sup>137</sup>. Ces données ne portent que sur les ressources disponibles pour la valorisation énergétique. Les ressources disponibles en bois d'olivier et de châtaignier par exemple ne sont pas estimées (car utilisées principalement comme bois d'œuvre). La ressource produite est égale à la surface issue des statistiques agricoles annuelles de 2018 multipliée par la productivité de la biomasse, exprimée pour chaque région et pour chaque type de bois de taille ou de renouvellement.

<sup>135</sup> SSP – Production de raisin (anciennes régions), Agreste, 2018, déclarations PAC, 2018.

<sup>136</sup> IFN, FCBA et SOLAGRO (2009), *Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020*, op. cit.

<sup>137</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), *Mobilisation de la biomasse agricole*, op. cit. ; ONRB (2020), *Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition 2020*, op. cit.

Les différentes études analysées n'ont pas évalué les ressources disponibles, néanmoins plusieurs estimations peuvent être faites. Les gisements totaux de résidus s'élèvent à près de 8 MtMS pour les résidus de vignes et 500 ktMS pour les résidus de vergers. Une utilisation de 79 % des sarments de vigne comme amendement est indiquée par l'ONRB, soit un retour au sol d'environ 1,1 million de tMS/an. Les ceps de vigne, potentiellement vecteurs de maladies, ne sont pas retournés au sol. Enfin, aucune information n'est disponible sur la mobilisation des résidus de vergers. Comme aucun volume contraint n'a été estimé, ces données sont considérées comme non disponibles (notés « nd » pour « non défini »). Selon l'ONRB, la totalité du volume de sarments et de ceps de vigne est utilisée à des fins de chauffage (autoconsommation) ou brûlée directement sur place sans statistique sur le ratio des différents usages. Le volume supplémentaire disponible est donc considéré comme nul même si certains usages pourraient être optimisés afin de privilégier la production d'énergie aux dépens du brûlage sur parcelle. Pour les résidus de vergers, l'absence de données disponibles sur de potentiels usages conduit à un volume supplémentaire disponible impossible à estimer (non défini). L'utilisation possible de ces résidus pourrait être énergétique (combustion) mais aussi agronomique (retour au sol).

### Potentiel de mobilisation

La mobilisation des résidus de bois des vignes et des vergers dépend beaucoup de facteurs socioéconomiques qui n'ont pas été pris en compte jusqu'à présent dans cette étude (coûts logistiques et techniques, volonté des opérateurs, etc.). La valorisation de cette ressource nécessite la prise en compte de coûts logistiques liés, entre autres, à la récolte, au broyage/pressage, déchiquetage, séchage... Les probables pénuries et carences en paille au niveau régional pourraient développer une utilisation supplémentaire de certains résidus comme litière ou paillage horticole. Enfin, le développement de la filière biocarburants 2G pourrait également mobiliser certains types de résidus de bois.

### Les résidus de vignes et de vergers : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valorisation énergétique par combustion = source de diversification des revenus</li> <li>• Certains résidus non récoltés/exportés peuvent être à l'origine de maladies (ceps de vigne)</li> <li>• Brûlage sur parcelle limité par la réglementation</li> <li>• Retour au sol de certains résidus (bois de taille) non efficaces sur certains types de sols</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freins techniques (récolte des sarments et ceps et des résidus de vergers)</li> <li>• Mobilisation des résidus nécessite dans certains cas un amendement alternatif des sols plus coûteux</li> <li>• Pollution associée à la valorisation par combustion (bois agricole de moins bonne qualité)</li> <li>• Coût de mobilisation élevé, compétition avec la filière bois forestier</li> <li>• Compétition d'usage (combustion, retour au sol, compost, paillage)</li> </ul>

## 1.10. Bois issus des haies, des bocages et de l'agroforesterie

Le bois issu de haies et alignements d'arbres ainsi que d'autres pratiques agroforestières peut représenter une autre catégorie de biomasse agricole. Le bois issu des haies et alignements d'arbres est la seule ressource « forestière » présente sur les terres agricoles qui a fait l'objet d'un premier suivi statistique. Ce bois peut résulter aussi de pratiques agroforestières qui combinent arbres, cultures ou bétail sur une même parcelle, un même champ ou une même lisière de champ. Il s'agit d'un gisement encore limité mais à fort potentiel qui est actuellement principalement utilisé pour le chauffage domestique ou industriel.

**Tableau 17 – Quantification associée aux haies et à l'agroforesterie**

Ressource	Unité	Volume total produit	Volume disponible	Volume supplémentaire disponible
Bois énergie	milliers de m <sup>3</sup>	2 352	2 216	18
Bois énergie	ktMS	1 172	1 104	9
Menu bois	milliers de m <sup>3</sup>	1 267	1 213	1 027
Menu bois	ktMS	631	604	512

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Le volume total produit a été estimé à partir d'une étude menée par l'ADEME en 2008<sup>138</sup>. Une mise à jour de ces données a été réalisée en 2014<sup>139</sup>. L'étude s'appuie sur des inventaires de terrains boisés hors forêt (observation par photo-interprétation). Des ratios de productivité ont été établis et adaptés dans toutes les régions en fonction de critères pédoclimatiques. Après avoir estimé la ressource brute (volume total produit), l'étude de l'ADEME évalue également les volumes contraints. Ces volumes sont principalement liés aux gisements dont l'exploitation n'est pas rentable. Les contraintes liées à l'appauvrissement des sols n'ont pas été considérées comme limitantes car l'étude indique qu'il y a peu de risques que l'exploitation et la valorisation aient un impact sur la fertilité des sols. Le volume supplémentaire disponible a été calculé en estimant les différentes utilisations du bois analysé (ces données gagneraient en précision avec une meilleure estimation des volumes déjà mobilisés pour des usages énergétiques comme le chauffage domestique ou industriel).

### Potentiel de mobilisation

L'agroforesterie occupe une place importante dans le projet agroécologique qui se développe en France. La mobilisation du bois issu des pratiques agroforestières présente un important potentiel de croissance, notamment en vue du développement des plantations intraparcellaires. Selon les estimations de l'INRAE, 5,9 millions d'hectares (3,9 millions de cultures et 2 millions de prairies) pourraient être techniquement utilisés pour des plantations intraparcellaires<sup>140</sup>. D'ici à 2030, les surfaces intraparcellaires pourraient représenter entre

<sup>138</sup> IFN, FCBA et SOLAGRO (2009), [Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020](#), op. cit.

<sup>139</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), [Mobilisation de la biomasse agricole](#), op. cit.

<sup>140</sup> Balny P., Domallain D. et al. (2015), [Promotion des systèmes agroforestiers. Propositions pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux productions agricoles](#), CGAAER, rapport public n° 14094, février, 79 p.

230 000 et 590 000 hectares à ajouter à une surface de haies (linéaires) comprise entre 1,2 et 2,4 millions d'hectares, contre environ 1 million au total actuellement. Cela pourrait permettre d'augmenter la mobilisation possible, principalement pour la production d'énergie. Néanmoins, d'autres utilisations plus marginales ne doivent pas être négligées (paillage, litière, retour au sol) en vue de réduire les intrants et d'augmenter le stockage du carbone.

Les coûts associés à la mise en place d'agroforesterie intraparcellaire et à l'implantation de haies varient grandement en fonction des régions considérées ainsi que des pertes ou gains de revenus liés aux nouvelles pratiques. Une estimation du coût technique unitaire associé a cependant été réalisée par l'INRA<sup>141</sup>. Elle rend compte d'un coût de 120 €/ha/an pour l'agroforesterie intraparcellaires et de 73 €/ha/an pour les haies. Ces pratiques présentent les coûts les plus élevés en comparaison d'autres pratiques favorisant le stockage carbone (couverts végétaux, intensification modérée des prairies permanentes, semis direct, etc.).

### Les bois issus des haies, des bocages et de l'agroforesterie : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"><li>• Développement de l'agroécologie (haies et alignements)</li><li>• Services environnementaux (stockage carbone, biodiversité, qualité de l'air)</li><li>• Soutien des politiques publiques au développement des haies</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estimation des ressources disponibles difficile (manque d'informations)</li><li>• Droits de mobilisation de la ressource bocagère</li><li>• Coût de mobilisation et d'entretiens élevés, rentabilité faible (bois-énergie, matériaux), concurrence avec le bois importé</li><li>• Compétition d'usage (bois broyé pour litière animale et combustion)</li></ul>

#### 1.11. Cultures alimentaires dédiées

La spécificité de cette catégorie réside dans le fait que ces cultures sont destinées à l'alimentation (blé, maïs, colza, betteraves, etc.). Pour tenir compte de la prévalence de ces usages, l'étude prend ici le parti de ne pas considérer ce gisement au même titre que les précédents. Cela se traduit par une disponibilité additionnelle supposée nulle (afin de ne pas remettre en cause leur rôle dans l'alimentation humaine et animale). Les données récentes estimant la part des cultures alimentaires dédiée à un usage énergétique à l'échelle nationale sont très limitées. L'utilisation de cultures annuelles dédiées pour la production d'énergie fait actuellement l'objet d'un débat vif, alors que le contexte climatique et démographique présage des tensions fortes sur la sécurité alimentaire mondiale.

Avant de présenter les données statistiques collectées, il est nécessaire de rappeler qu'en raison de la spécificité de cette ressource (principalement à usage alimentaire), la méthode d'estimation du gisement diffère des catégories précédentes. En effet, le volume théorique disponible ainsi que le volume supplémentaire disponible sont difficiles à estimer.

<sup>141</sup> Pellerin S., Bamière L. *et al.* (2019), [Stocker du carbone dans les sols français](#), *op. cit.*

La disponibilité supplémentaire de cultures alimentaires dédiées à des fins énergétiques a été considérée comme nulle afin de ne pas interférer avec les besoins alimentaires futurs. Le volume théorique disponible a lui été assimilé aux volumes mobilisés pour la production d'énergie (biocarburants et biogaz). Pour cette catégorie, l'étude vise donc à donner une estimation du niveau des ressources utilisées à des fins énergétiques (biogaz et biocarburants), en considérant que le niveau d'utilisation de ressource doit rester au maximum constant (avec un point d'attention sur l'optimisation des procédés) afin de ne pas accentuer la concurrence avec les usages alimentaires.

**Tableau 18 – Production de cultures annuelles, en ktMS**

Type	Volume total produit en 2015	Volume total produit en 2018
Maïs	11 677	12 726
Blé	36 309	35 841
Betteraves	25 125	39 914
Colza	4 829	4 980
Tournesol	1 079	1 239
Autres	777	nd

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : données extraites de la statistique agricole annuelle (2014-2015 et 2018-2019)

Les données disponibles concernant les cultures annuelles n'évaluent pas spécifiquement la quantité disponible pour la production d'énergie tout en assurant un approvisionnement suffisant à destination de l'alimentation humaine. Les volumes présentés dans le tableau 18 ci-dessus sont tirés des données du service de la statistique et de la prospective agricole (SSP) et représentent la production annuelle récoltée en 2015 et 2018<sup>142</sup>.

**Tableau 19 – Cultures annuelles dédiées à la production énergétique (2015-2017)**

Ressources	Volume usage (ktMS)		Part de la production totale (%)	
	Fourchette basse	Fourchette haute	Fourchette basse	Fourchette haute
Maïs	0,1	385	0,001	3,3
Blé	586	764	1,6	2,1
Betteraves	2 255	3 213	9,0	12,8
Colza	1 121	2 294	23,2	47,5
Tournesol	46	187	4,2	17,3
Autres	777	777	nd	nd

ktMS : kilotonne de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir de la statistique agricole annuelle 2014-2015 et de données de FranceAgriMer (2017)

<sup>142</sup> Agreste (2017), [Statistique agricole annuelle 2014 définitive – 2015 définitive](#) ; id. (2020), [Statistique agricole annuelle, 2018-2019. Données provisoires](#), op. cit.

Le tableau 19 présente une estimation des volumes utilisés pour la production d'énergie (méthanisation et biocarburants) pour les différents types de ressources considérés<sup>143</sup>. Des différences significatives sont visibles dans les volumes présentés (présence de fourchettes hautes et basses). Ces écarts peuvent être liés à la méthodologie utilisée :

- Les données du SSP (fourchettes basses) concernent les cultures récoltées non utilisées à des fins alimentaires et assimilées à la production d'énergie (jachères industrielles et cultures industrielles). Les estimations des volumes reposent sur la superficie développée et les rendements associés (à partir de données datant de 2015).
- Les estimations fondées sur les données de FranceAgriMer (fourchettes hautes) ne concernent que la ressource utilisée pour la production de biocarburants de première génération. Les données sont basées sur une estimation des volumes de biocarburants produits en France en 2017, du mix de matières premières utilisées pour cette production et des rendements de production des matières premières en 2017. La production de bioéthanol a été estimée à 10 832 432 hectolitres et la production de biodiesel à 1 287 240 tonnes. Ces données (issues de la production de biocarburants en France) fournissent également une estimation de la SAU brute et nette allouée à la production de biocarburants 1G (la SAU nette est obtenue une fois la part énergétique des coproduits valorisés dans l'alimentation animale retirée)<sup>144</sup>. Au total, la SAU brute allouée aux biocarburants s'élèverait à 1 048 224 hectares et la SAU nette à 690 199 hectares, soit respectivement 3,65 % et 2,40 % de la SAU totale française en 2017.

**Tableau 20 – Surfaces destinées à la production de biocarburants**

Ressource	SAU brute (ha)	SAU nette (ha)
Maïs	44 896	39 957
Blé	42 912	36 046
Betteraves	144 938	94 210
Colza	729 012	466 568
Tournesol	83 466	53 418

SAU : surface agricole utile.

Source : les auteurs, en se fondant sur la méthodologie de calcul de FranceAgriMer

Ces chiffres peuvent être actualisés en tenant compte de la production de biocarburants en 2018<sup>145</sup>. Ainsi, en conservant constant le mix de matières premières utilisé, une nouvelle estimation des cultures dédiées à la production d'énergie peut être envisagée. En 2018, la production totale de cultures annuelles (maïs, blé, colza, tournesol et betterave) s'élevait à 94 700 kilotonnes de matière sèche (ktMS) pour une surface développée d'environ

<sup>143</sup> Agreste (2017), [Statistique agricole annuelle 2014 définitive – 2015 définitive](#) ; FranceAgriMer (2017), « [Proposition d'une méthodologie de calcul de la SAU allouée à la production de biocarburants](#) », *Études biocarburants*, 2 p.

<sup>144</sup> Selon une méthodologie proposée par l'ADEME en 2010.

<sup>145</sup> Obtenue à partir des données de FranceAgriMer (fiches filières bioéthanol-biogazole).

9,3 Mha<sup>146</sup>. Sur ce total, près de 9 700 ktMS seraient mobilisés sur une surface brute de 1,5 Mha, correspondant à une surface nette de 1 Mha en prenant en compte la part énergétique des coproduits valorisés en alimentation animale. Cette surface brute représente environ 5 % de la surface agricole utile (3 % pour la surface nette). Ces chiffres, relativement plus élevés que ceux des années précédentes, découlent d'une estimation plus importante de la production de biocarburant en 2018 (d'environ 15 % selon les derniers chiffres de FranceAgriMer). Ces estimations peuvent cependant être affinées et revues à la baisse en détaillant la part de coproduits et résidus de cultures alimentaires utilisés dans la production de biocarburants 1G (issus de la production d'huiles, par exemple). En effet, à court terme, un recours croissant à des sous-produits de l'industrie du sucre et de l'amidon (comme la mélasse par exemple) semble attendu.

Peu d'informations sont disponibles sur la quantification des cultures annuelles utilisées dans la production de biogaz. Une estimation des surfaces utilisées pour la méthanisation peut être faite sur la base de plusieurs hypothèses. Le nombre d'unités de méthanisation en France est en constante progression, passant de 600 unités en 2018<sup>147</sup> à plus de 1 000 fin 2020<sup>148</sup>. 70 % d'entre elles sont des installations agricoles, autonomes ou collectives. Ce nombre comprend en fait deux types d'unités : des unités historiques agricoles misant principalement sur la valorisation des effluents d'élevage et des unités plus récentes mais à croissance rapide et avec un recours plus important aux cultures énergétiques. En tenant compte d'une capacité de production de 150 Nm<sup>3</sup>/h de biométhane, ce qui correspondrait à la moyenne française, l'approvisionnement en intrants peut être estimé compris entre 10 000 et 15 000 tonnes par an<sup>149</sup>.

L'utilisation de cultures dédiées en méthanisation est limitée à un seuil de 15 %, quantité maximale autorisée en France<sup>150</sup>, soit un maximum de 2 250 tonnes par unité de méthanisation (0,15 x 15 000 = 2 250). En considérant un rendement de culture dédié égal à 36 tMB/ha (correspondant à une culture de maïs ensilage), la surface agricole associée serait égale à environ 62 hectares par unité de méthanisation, soit un total d'environ 43 400 hectares au maximum (0,2 % de la SAU française). Un autre raisonnement prenant le rendement des cultures par hectare peut aussi être utilisé ici. En considérant toujours un rendement en maïs ensilage de 12 tMS/ha (36 tMB/ha), correspondant à un potentiel en méthane d'environ 100 Nm<sup>3</sup>/tMB, on peut estimer la productivité en méthane par hectare. Celle-ci serait ici égale à 3 600 m<sup>3</sup>/ha soit environ 36 000 kWh/ha<sup>151</sup>. En se fondant sur ces hypothèses, la production d'1 TWh de biogaz nécessiterait environ 30 000 hectares de maïs dédiés à la production énergétique. Toutefois, ces chiffres ne représentent qu'une estimation peu précise et purement théorique qui ne repose pas sur la réalité des unités actuelles (certaines unités n'utilisent pas de maïs, voire aucune culture végétale). Cette surface pourrait augmenter dans les années à venir avec le développement des unités de

<sup>146</sup> À partir des données du SSP - Agreste (2020), [Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires](#), *op. cit.*

<sup>147</sup> WWF et GRDF (2020), [Méthanisation agricole. Quelles conditions de durabilité pour la filière en France ?](#), mars, 43 p.

<sup>148</sup> Syndicat énergies renouvelables (2021), [Panorama annuel du gaz renouvelable](#), 32 p.

<sup>149</sup> Sia Partners (2020), [Observatoire du biométhane. État des lieux de la filière biométhane en France](#), mai, 29 p. Le tonnage est ici considéré pour la suite des calculs comme brut (et non sec).

<sup>150</sup> Décret du 7 juillet 2016 pris pour l'application de l'article L. 541-39 du Code de l'environnement.

<sup>151</sup> La valeur énergétique du méthane retenue ici est de 35 MJ/m<sup>3</sup> (1 kWh étant égal à 3 600 kWh).

production de biogaz si la part des cultures dédiées reste la même. La mobilisation accrue des cultures intermédiaires en méthanisation pourrait cependant limiter le recours aux cultures dédiées qui devraient jouer un rôle de variable d'ajustement dans l'approvisionnement des méthaniseurs.

### **Potentiel de mobilisation**

La première fonction des cultures annuelles est la production alimentaire (humaine et animale). Le développement des usages énergétiques et celui des usages matériaux, encore marginal, peuvent venir concurrencer cet usage alimentaire. La production de biocarburants 1G (bioéthanol, biodiesel) est le principal débouché de l'usage énergétique des cultures annuelles. Le secteur agricole contribue presque exclusivement à la production de biocarburants en France hors exportations (le reste provenant des déchets organiques). La production de biocarburants 1G à partir de ce type de ressource est donc susceptible de créer des tensions sur les marchés des matières premières alimentaires et d'accroître la compétition avec l'alimentation pour l'usage des sols par la conversion de terres précédemment utilisées pour la production de denrées alimentaires. Cette compétition peut aboutir à l'extension de terres agricoles sur d'autres terres présentant un intérêt environnemental (comme les forêts ou les prairies).

En France, la production de biocarburants à partir de cultures annuelles (colza, betterave, tournesol, etc.) a offert un nouveau débouché aux agriculteurs tout en développant une production de coproduits utilisés à des fins d'alimentation animale (tourteaux, drèches, pulpes, etc.). La filière biocarburants peut donc contribuer à la compétitivité du secteur agricole et au développement de la souveraineté alimentaire (dans le cas du colza par exemple). Les biocarburants font l'objet d'un encadrement réglementaire plafonnant l'utilisation de biocarburants conventionnels<sup>152</sup>. Ceci se traduit par un encadrement des surfaces limitant le risque de développement des assolements et des changements d'affectation des terres. La production de biocarburants 1G se tourne plus vers la complémentarité avec les usages alimentaires (par exemple *via* l'optimisation de la valorisation des résidus de betteraves sucrières en biocarburants). Au vu du développement limité des biocarburants avancés, l'usage énergétique biocarburants 1G est amené à rester constant sur le court terme.

D'un point de vue économique, les coûts de production des cultures annuelles englobent l'ensemble des charges/facteurs de production (charges opérationnelles, structurelles, capitaux propres et rémunération). Ces coûts sont très variables selon l'année considérée, la localisation ou encore les types de systèmes agricoles. Les principales estimations disponibles se basent des sources de données comme l'observatoire Arvalis-Unigrain<sup>153</sup>, et visent à donner un ordre de grandeur des coûts associées à ces grandes cultures. Ces coûts peuvent être estimés (en se basant sur les cinq dernières années) entre environ 200 et 300 €/t pour le blé, entre 450 et 500 €/t pour le colza, 500 €/t pour le tournesol et environ 200 €/t pour le maïs.

---

<sup>152</sup> Directive RED II limitant à 7 % de la consommation finale l'utilisation de biocarburants 1G à l'horizon 2023-2028.

<sup>153</sup> À partir de données CerFrance sur un échantillon de 4 500 exploitations couvrant 16 départements.

## Les cultures alimentaires dédiées : freins et leviers à la mobilisation

Leviers à la mobilisation	Freins à la mobilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentiel méthanogène élevé</li> <li>• Possibilité de stockage des ressources (maïs ensilé) pour un approvisionnement continu des méthaniseurs</li> <li>• Applications émergentes (biocarburants à destination de l'aéronautique)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compétition d'usage (alimentation humaine et animale, énergie, matériaux)</li> <li>• Pression sociétale forte contre l'usage énergétique des cultures alimentaires</li> <li>• Limitation à 15 % des intrants en méthanisation pour ce type de ressources (cultures principales)</li> <li>• Impacts environnementaux des cultures annuelles (fertilisants, consommation d'eau), bilan potentiellement contrasté des biocarburants 1G</li> <li>• Émergence de nouvelles filières de biocarburants avancés</li> <li>• Fluctuation des prix en matières premières</li> <li>• Plancher d'incorporation des biocarburants 1G</li> </ul>

## 2. Synthèse des résultats

Cette première synthèse permet de faire le point sur le taux actuel de mobilisation des ressources en biomasse agricole à des fins de production d'énergie et de matériaux biosourcés. Les données présentées dans le tableau 21 page suivante sont censées refléter une situation antérieure à 2018 (en raison des données disponibles).

En termes de ressources disponibles non alimentaires<sup>154</sup>, les effluents d'élevage, les résidus de cultures annuelles et les résidus de vignes et vergers présentent les volumes disponibles les plus élevés<sup>155</sup>. Viennent ensuite les potentiels en termes de disponibilités à l'horizon 2030 associés aux surfaces en herbes et cultures intermédiaires. La mobilisation effective (ressources utilisées pour la production d'énergie et de matériaux) apparaît très variable selon les types de biomasse, avec des taux de mobilisation très élevés pour le lin/chanvre, les cultures pérennes et le bois de vigne, dont l'utilisation énergétique est très développée. En revanche, la mobilisation des effluents d'élevage, résidus de cultures, cultures intermédiaires ou surplus d'herbes reste très limitée (de 0 % à 2 % des volumes disponibles). Ces faibles taux peuvent être liés à des usages non énergétiques importants (besoins agronomiques des sols, usages pour l'élevage, etc.), à un manque de connaissances précises sur la disponibilité des gisements ou encore à des difficultés techniques et à des contraintes économiques qui ne permettent pas actuellement une plus grande mobilisation.

<sup>154</sup> La biomasse issue des cultures alimentaires représente les volumes disponibles les plus importants du fait de son rôle dans l'alimentation.

<sup>155</sup> Les effluents d'élevage représenteraient un volume de matière sèche oscillant entre 20 et 30 MtMS. Le tonnage retenu en matière brute est le plus précis.

**Tableau 21 – Tableau de synthèse (volumes disponibles et mobilisés)**

Ressource	Unité	Volume disponible	Volume disponible à des fins énergétiques/matériaux*	Volume mobilisé**	Taux de mobilisation (%)
Cultures annuelles	ktMS	94 700	non défini	max. 9 700	Max. 10 %
Effluents d'élevage <sup>1</sup>	ktMB	133 558	133 558	2 400	≈ 2 %
Résidus de cultures annuelles	ktMS	16 129	5 920	72	≈ 1 %
Résidus de vignes et vergers	ktMS	min. 7 346	nd	7 346	nd
Surplus d'herbes	ktMS	4 985	4 985	qq projets	marginal
Cultures intermédiaires <sup>2</sup>	ktMS	23 800	4 378	100	≈ 2 %
Haies et agroforesterie	ktMS	1 708	1 615	1 095	≈ 67 %
Lin / chanvre	ktMS	874	844	829	≈ 98 %
Issues de silos	ktMS	377	155	155	≈ 100 %
Cultures dédiées pérennes	ktMS	121	-	121	≈ 100 %
Plantes à parfum	ktMS	62	3	0,4	≈ 13 %

\* Volume disponible en excluant les usages non énergétiques et non matériaux.

\*\* Volumes mobilisés pour des usages énergétiques et matériaux.

<sup>1</sup> Les effluents sont majoritairement épandus mais cet usage n'est pas considéré ici (car potentiellement transformé en méthanisation).

<sup>2</sup> Les volumes estimés disponibles sont issus de potentiel à l'horizon 2030.

Lecture : le volume disponible présenté dans ce tableau rend compte des quantités de biomasse disponibles pour tous types d'usages (litières, matériaux, compost, énergie, etc.) en tenant compte des volumes inaccessibles et des besoins agronomiques des sols. Le volume disponible à des fins énergétiques/matériaux prend en compte les usages non énergétiques de la biomasse avec pour seule exception l'épandage des effluents (les volumes épandus sont considérés comme disponibles pour une meilleure valorisation, ici énergétique). Enfin, le volume mobilisé estime les ressources mobilisées pour la production d'énergie ou de matériaux biosourcés.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentés en annexe 1

La valorisation énergétique de la biomasse agricole repose principalement sur la production de biocarburants qui nécessiterait la mobilisation d'environ 10 % des ressources disponibles en cultures annuelles. Cette ressource est la plus mobilisée en volume (tonnage), devant les résidus de vignes et vergers dont l'usage énergétique à des fins d'autoconsommation est à affiner. Le tableau suivant (tableau 22) est destiné à compléter les résultats présentés ci-dessus et vise à identifier les types de biomasse ayant un potentiel de mobilisation intéressant. En effet, il présente les disponibilités supplémentaires maximales pour chaque catégorie de ressource (par ordre décroissant) et une première estimation de la date d'atteinte de ces disponibilités.

**Tableau 22 – Volumes supplémentaires potentiellement mobilisables**

Ressource	Unité	Volume supplémentaire disponible	Part du volume disponible	Estimation de la date d'atteinte du potentiel maximal
Effluents d'élevage	ktMB	131 158	≈ 98 %	2050
Résidus de cultures annuelles	ktMS	5 848	≈ 36 %	2036
Surplus d'herbes	ktMS	4 985	≈ 100 %	2036
Cultures intermédiaires*	ktMS	4 278	≈ 98 %	2036
Haies et agroforesterie	ktMS	520	≈ 30 %	2036
Lin / chanvre	ktMS	15	≈ 2 %	2036
Plantes à parfum	ktMS	2,6	≈ 4 %	2025
Résidus de silos	ktMS	-	-	2025
Cultures dédiées pérennes	ktMS	-	-	2036
Résidus de vignes et vergers	ktMS	nd	nd	2025

\* Les volumes estimés découlent de projections à l'horizon 2030.

Lecture : pour chaque ressource sont présentés le volume supplémentaire disponible (gisement pouvant faire l'objet d'une valorisation énergétique additionnelle), la part de ce volume au regard des disponibilités totales et la date à laquelle la mobilisation de la totalité de ce gisement est estimé réaliste. Par exemple, le gisement en effluents d'élevage pouvant faire l'objet d'une valorisation énergétique additionnelle est estimé à 131 158 ktMB. La totalité de ce gisement, représentant environ 98 % du volume disponible en effluents d'élevage, est supposé mobilisable à l'horizon 2050.

Source : les auteurs, à partir des données et études présentées en annexe 1

Toutes choses étant égales par ailleurs (surfaces, rendements, etc.), cinq ressources semblent présenter des disponibilités additionnelles conséquentes (sept en tenant compte des plantes à fibres et à parfum, qui présentent cependant des disponibilités très faibles). Le volume supplémentaire disponible le plus élevé concerne les effluents d'élevage, si l'on considère une substitution de l'épandage brut par une valorisation énergétique (méthanisation) permettant un épandage de digestat. Les disponibilités additionnelles représentent près de la totalité des ressources disponibles pour mobilisation dans le cas des effluents, cultures intermédiaires et surplus d'herbes, traduisant un potentiel de mobilisation énergétique intéressant. Au niveau des résidus de cultures, le volume supplémentaire disponible, estimé à environ 6 MtMS, est limité du fait des autres usages à destination de l'élevage et des besoins agronomiques des sols.

Les estimations présentées dans le tableau suivant visent à traduire ces disponibilités supplémentaires en un potentiel énergétique. Tous les effluents d'élevage, cultures intermédiaires et surplus d'herbes sont considérés comme intrants de méthanisation, tandis que les résidus de type bois (haies et agroforesterie), les plantes à parfum et pailles de chanvre sont destinées à la combustion. Ce choix tient compte des arbitrages actuels mais aussi des caractéristiques propres à chaque ressource. Les ressources telles que les résidus de cultures annuelles seraient valorisées à la fois par combustion et par méthanisation, un rapport égal (50/50) entre ces deux usages a été choisi dans un premier temps afin d'obtenir les résultats présentés dans le tableau suivant.

**Tableau 23 – Potentiel énergétique maximum des disponibilités additionnelles (énergie primaire)**

Ressource	Équivalent énergétique* (TWh PCS)	Équivalent énergétique* (ktep)
<b>Ressources méthanisables</b>		
Fumier	5,5	473
Lisier	32,5	2 795
Cultures intermédiaires	9,5	816
Surfaces en herbe	10,7	920
Résidus de cultures annuelles	6,7	575
<b>Ressources non méthanisables</b>		
Plantes à parfum	0,01	0,7
Haies et agroforesterie	2,5	216
Chanvre	0,13	111
Résidus de cultures annuelles	14,8	1 278

\* équivalent énergétique des disponibilités additionnelles potentiellement mobilisables.

TWh PCS = térawattheure pouvoir calorifique supérieur. ktep = kilotonne équivalent pétrole.

Lecture : les équivalents énergétiques ont été obtenus sur la base de données propres à chaque ressource (pouvoir méthanogène, pouvoir calorifique, etc.) et sont présentés sous deux unités (TWh et ktep). À des fins de comparaison avec les objectifs affichés par la SNBC et la PPE, l'unité à privilégier est le TWh.

Source : les auteurs à partir des données présentées précédemment et des taux de conversion disponibles en annexe 2

Au total, les volumes additionnels potentiellement mobilisables pourraient représenter près de 80 TWh si la totalité des disponibilités est mobilisée à des fins énergétiques. Le fumier présente le potentiel énergétique le plus élevé (33 TWh) en raison du grand volume disponible. Cependant, la mobilisation complète du fumier ne serait possible qu'à long terme (au moins d'ici 2050) en tenant compte de nombreuses hypothèses (aspects techniques, économiques, etc.). Le potentiel énergétique en cultures intermédiaires ainsi qu'en surplus d'herbes est similaire. Dans le cas des cultures intermédiaires, un développement accru dans les années à venir pourrait favoriser leur mobilisation et permettre de revoir à la hausse le potentiel énergétique associé.

En ce qui concerne les résidus de cultures annuelles, le potentiel énergétique des ressources méthanisables représente environ 6,7 TWh (33 % du potentiel énergétique total, la combustion représentant 67 %, près de 2 fois plus). La méthanisation semble donc fournir en moyenne 2 fois moins d'énergie que la combustion pour les mêmes volumes de biomasse consommés. En ce qui concerne les autres ressources utilisées en combustion, le bois provenant des haies et des pratiques agroforestières représente presque toute l'énergie potentielle équivalente (2,5 TWh), les plantes à parfum et le chanvre ne pouvant fournir à terme que des quantités marginales.

En termes d'arbitrage entre combustion et méthanisation, pour les ressources mixtes<sup>156</sup> comme les résidus de cultures, une orientation de la totalité des volumes en méthanisation serait équivalente à un potentiel énergétique d'environ 15 TWh contre le double (29 TWh) si la totalité

<sup>156</sup> Ressources considérées comme valorisables à la fois par combustion ou méthanisation.

des volumes était valorisée par combustion avec récupération énergétique. Un développement de la méthanisation aux dépens de la combustion semble plus probable du fait notamment de son potentiel de réduction de GES associé à l'utilisation possible des digestats de méthanisation comme fertilisants/amendements permettant un retour au sol de matière organique (la valorisation des cendres de combustion comme fertilisants reste assez limitée).

Au vu de ces premiers éléments d'analyse, une linéarisation des volumes supplémentaires disponibles à partir de 2018 a été réalisée<sup>157</sup> afin d'avoir une meilleure idée des ordres de grandeur sur vingt ans (toutes choses égales par ailleurs, aucune hypothèse n'étant faite sur une éventuelle baisse des rendements due au changement climatique ou à d'autres impacts externes sur les surfaces, modes de production, etc.). En effet, les différents volumes supplémentaires disponibles ne seraient réellement mobilisés qu'entre 2025 et 2036, voire d'ici 2050 pour une grande majorité des effluents d'élevage. Les dates d'atteinte du potentiel des volumes supplémentaires pour chaque ressource ont été estimés à partir de la SNMB et d'avis d'experts. À partir de ces dates, la disponibilité est considérée comme restant au mieux constante (le niveau maximum de ressources disponibles a été atteint). Les résultats de cette linéarisation présentent quatre dates « pivots » : 2019, 2023, 2028 et 2036. 2036 est la date à laquelle toutes les disponibilités (à l'exception des effluents) seraient théoriquement atteintes<sup>158</sup>.

Les ressources pour lesquelles les volumes supplémentaires disponibles ont été estimés nul ne sont pas présentées dans le tableau récapitulatif 24. En 2036, à l'exception des effluents d'élevage, on suppose que tous ces volumes seront mobilisés.

**Tableau 24 – Potentiel énergétique après linéarisation des disponibilités additionnelles**

Ressource	2020		2023		2028		2036	
	Potentiel (TWh PCS)	% du VSD						
Lin / chanvre	marginal	11 %	marginal	28 %	0,03	55 %	0,07	100 %
Cultures intermédiaires	1	11 %	2,6	28 %	5,3	55 %	9,5	100 %
Plantes à parfum	marginal	29 %	marginal	71 %	0,02	100 %	0,02	100 %
Surplus d'herbes	1,9	19 %	4,9	47 %	9,1	86 %	10,7	100 %
Résidus de cultures annuelles	1,2	12 %	6,9	30 %	12	60 %	20	100 %
Haies et agroforesterie	0,3	11 %	0,7	28 %	1,4	55 %	2,5	100 %
Effluents d'élevage	2,3	6 %	6	16 %	12	31 %	21	56 %

VSD : volume supplémentaire disponible

Lecture : la linéarisation des volumes supplémentaires disponibles est purement théorique. Elle permet d'obtenir un premier ordre de grandeur des échelles de temps nécessaires à une mobilisation totale des disponibilités supplémentaires, toutes choses étant égales par ailleurs. Cette linéarisation est à mettre en parallèle d'un développement supposé des filières de valorisation permettant une mobilisation des gisements additionnels. Les différences visibles entre les ressources sont issues des différences existantes associées à la mobilisation de ces ressources (volumes mis en jeu, paramètres techniques, etc.).

Source : les auteurs, à partir des données présentées précédemment et des taux de conversion disponibles en annexe 2

<sup>157</sup> Linéarisation similaire à celle présentée dans la SNMB.

<sup>158</sup> La répartition entre usage méthanisation/combustion est aussi considérée ici comme fixe (50/50).

### 3. Une offre inférieure aux besoins estimés

Afin de mettre en perspective ces premiers résultats, une estimation des besoins en biomasse de la France métropolitaine a été réalisée. Ces estimations sont fondées sur les données de la dernière version de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour les années 2023-2028. Ces données couvrent les objectifs énergétiques liés à la chaleur et à la cogénération. Sur la base de ces objectifs et en utilisant les hypothèses présentées ci-dessous, une traduction en besoins de biomasse a été proposée et présentée en une seule unité (Mtep).

#### **Biomasse solide (chaleur)**

Conformément aux objectifs déjà présentés en TWh, une seule conversion a été nécessaire (1 TWh équivalent à 85 984,5 tep). Un rendement de 90 % a été pris en compte (d'après les données fournies par la PPE).

#### **Cogénération**

Cette catégorie décrit la production d'électricité à partir de biomasse. La PPE présente ses objectifs de production d'électricité à partir de la biomasse sous deux catégories : cogénération biomasse solide et cogénération méthanisation. Les deux objectifs sont exprimés en MW. L'énergie équivalente de la cogénération biomasse solide (exprimée en TWh PCS<sup>159</sup>) est égale à la puissance électrique de la cogénération de biomasse solide divisée par son rendement électrique (estimé à 25 % d'après la SNMB), multipliée par la durée de fonctionnement de la cogénération (estimée à 6 200 h/an). Cette énergie est finalement convertie en Mtep. La même méthodologie a été appliquée pour la cogénération méthanisation avec un rendement électrique de 35 % et une estimation de 7 000 h/an de fonctionnement.

**Tableau 25 – Objectifs liés à la biomasse énergie (chaleur et cogénération)**

Énergie	Indicateur	Périmètre	Unité	2018	2023	2028
Chaleur	Objectif - biomasse	Métropole	TWh	113	145	157-169
	Besoins - biomasse	Métropole	Mtep	10,8	13,9	15,1-16,1
Cogénération	Objectif - biomasse cogénération	Métropole	MW	735	800	800
	Besoins – biomasse cogénération	Métropole	TWh	18,2	19,8	19,8
	Besoins – biomasse cogénération	Métropole	Mtep	1,6	1,7	1,7
	Objectif - biogaz cogénération	Métropole	MW	166	270	340-410
	Besoins - biogaz cogénération	Métropole	TWh	4,1	6,7	8,4-10,2
	Besoins - biogaz cogénération	Métropole	Mtep	0,4	0,5	0,6-0,7
	Besoins totaux - cogénération	Métropole	Mtep	1,9	2,3	2,3-2,4
<b>Total</b>	<b>Chaleur et cogénération</b>	<b>Métropole</b>	<b>Mtep</b>		<b>16,1</b>	<b>17,4-18,5</b>

TWh = térawattheure. Mtep = million de tonnes équivalent pétrole. MW = mégawatt.

Source : les auteurs, traduction des objectifs de la PPE (2020)

<sup>159</sup> Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) décrit la quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée

Selon cette approche, les besoins en biomasse pour la chaleur et la cogénération sont estimés à au moins 16 Mtep en 2023 et varient entre 17,4 et 18,5 Mtep en 2028 en fonction des objectifs fixés par la PPE. En 2028, les besoins en chaleur seront les plus importants (environ 16 Mtep au minimum). En ce qui concerne la production de biogaz pour injection, les objectifs sont les suivants : 6 TWh PCS d'ici à 2023 et entre 14 et 22 TWh PCS d'ici à 2028. En considérant un rendement de 94 % pour la production de biogaz pour injection (PPE, 2020), les besoins en biomasse associés sont estimés à 0,55 Mtep en 2023 et entre 1,3 et 2 Mtep en 2028.

Les objectifs en matière de biocarburants ciblent une consommation finale de combustibles liquides atteignant 406 TWh en 2023 et 348 TWh en 2028 (chiffres de la PPE). L'incorporation des biocarburants de première génération ne dépassera pas 7 % de l'énergie contenue dans le carburant. L'augmentation de la part des biocarburants se fera principalement par le développement de biocarburants avancés. D'ici à 2028, selon la directive RED II et la PPE, l'objectif minimum pour l'utilisation de biocarburants avancés est fixé à 3,5 % de l'énergie fournie aux secteurs du transport routier et ferroviaire. Cela signifie qu'en 2028, les objectifs en matière de biocarburants devraient atteindre environ 3,1 Mtep.

Actuellement, au minimum 0,8 Mtep de biomasse (équivalence énergétique) sont mobilisés pour la combustion et la production de biogaz. 2,4 Mtep doivent être ajoutés pour prendre en compte la production de biocarburants à partir de biomasse agricole (calculé à partir des données de FranceAgriMer de 2018). La biomasse agricole représente donc environ 3,2 Mtep. À cette estimation, il est possible d'ajouter le potentiel énergétique des volumes supplémentaires de biomasse agricole mobilisables d'ici à 2028 à partir des résultats de la linéarisation présentée précédemment. Ces volumes pourraient représenter environ 3 Mtep. Le potentiel énergétique de la biomasse agricole représenterait donc environ 6,2 Mtep en 2028.

Pour les autres types de biomasse, les estimations de la Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (2018), de la PPE (2020) et de FranceAgriMer (ONRB, 2016) ont été prises en compte. Elles considèrent que la biomasse forestière représenterait environ 10 Mtep<sup>160</sup> et les déchets urbains 0,8 Mtep à l'horizon 2030. Les volumes supplémentaires provenant des forêts et des déchets urbains pourraient représenter 2,6 Mtep en 2028 (SNMB, 2016).

**Tableau 26 – Potentiels en biomasse-énergie à l'horizon 2030 (estimations)**

Catégorie	Donnée	Valeur estimée (Mtep)
Biomasse agricole	Volumes mobilisés*	0,8
	Volumes additionnels	3
Biomasse forestière	Volumes mobilisés	10
	Volumes additionnels	1,8
Biomasse (déchets urbains)	Volumes mobilisés	0,8
	Volumes additionnels	0,8

\* Sans compter les biocarburants.

Source : PPE (2020), ONRB (2016), ADEME (2017)

<sup>160</sup> Niveau similaire à la production primaire actuelle.

Toutes choses égales par ailleurs (surfaces, pratiques culturales, etc.) et sans tenir compte des biocarburants (2,4 Mtep), la biomasse pourrait donc représenter 17,2 Mtep en 2028, ce qui est légèrement inférieur à l'objectif minimal de 2028 en matière de chaleur et de cogénération (17,5 Mtep) en France métropolitaine. Les estimations concernant la biomasse forestière et les déchets urbains ont été directement collectées dans la littérature, dont les incertitudes n'ont pas été analysées. En ce qui concerne les biocarburants, les niveaux de production de 2018 restent inférieurs aux objectifs de 2028.

Pour atteindre les objectifs élevés de la PPE d'ici à 2030 et dans l'optique d'une ambition plus importante à l'horizon 2050, il faudrait donc non seulement une mobilisation dynamique de toute la biomasse potentiellement disponible à des fins énergétiques, mais aussi une mobilisation de plus de ressources dans des proportions significatives, soit en produisant et en mobilisant de nouvelles ressources (cultures intermédiaires, cultures énergétiques, etc.), soit en optimisant significativement la mobilisation des ressources existantes. **Ces premiers résultats montrent que la mobilisation des ressources identifiées ne sera pas suffisante pour répondre aux besoins en biomasse à long terme sans augmenter les importations ou le recours à la biomasse forestière et issue de déchets et algues.**

#### **4. Limites de l'analyse**

Rappelons que les données présentées jusqu'à présent, notamment en termes de potentiel énergétique, portent sur des estimations de volumes supplémentaires potentiellement disponibles pour la mobilisation. Ces volumes décrivent donc un gisement qui pourrait être mobilisé dans les années à venir en n'anticipant pas de changements majeurs associés aux pratiques agricoles, rendements, type de valorisation, etc. Il faut donc considérer que la mobilisation effective de ces volumes supplémentaires ne sera potentiellement atteinte que dans plusieurs années. Le potentiel énergétique présenté reflète donc, pour chaque type de ressource, l'énergie équivalente du volume supplémentaire disponible à la date d'atteinte de sa mobilisation effective. Une fois atteintes, ces disponibilités maximales n'évolueraient plus et resteraient donc constantes d'une année sur l'autre. Ce potentiel énergétique ne tient pas non plus compte de l'évolution de la disponibilité des ressources à long terme. Il s'agit d'une projection du potentiel énergétique réel à la date à laquelle la totalité des disponibilités additionnelles est supposée mobilisée.

En outre, les hypothèses relatives à la répartition des utilisations (combustion vs. méthanisation) ont été considérées comme étant fixées à 50/50 en l'absence d'informations contraires. Il s'agit d'un point de vue théorique qui ne reflète pas l'état réel de l'utilisation des ressources. En effet, cette répartition est susceptible d'évoluer en fonction des ressources mais aussi de contraintes sociotechniques (progrès technique, développement de la mobilisation, etc.). De plus, le potentiel énergétique pris en compte reflète une utilisation complète des disponibilités supplémentaires à des fins énergétiques et ne tient pas compte de l'évolution potentielle des autres utilisations (matériaux, agronomie, alimentation, etc.). Enfin, pour certains types de ressources, l'absence de données consolidées au niveau des volumes supplémentaires disponibles ou des taux de conversion énergétique rend difficile une estimation précise des disponibilités et donc du potentiel énergétique lié. Par exemple, dans le cas des cultures intermédiaires, les

disponibilités supplémentaires se basent sur une estimation potentielle des ressources disponibles à l'horizon 2030 et du niveau de mobilisation actuelle. Dans le cas des résidus de vignes et vergers, le niveau réel des disponibilités supplémentaires reste difficile à estimer, même s'il ne semble pas représenter une part significative des disponibilités additionnelles en biomasse agricole.

Les estimations présentées sur la base de certaines hypothèses prises (comme l'augmentation linéaire des disponibilités jusqu'à l'atteinte du potentiel maximal) n'ont de sens que si l'on envisage des pratiques et des utilisations agricoles similaires sur le long terme en plus de considérer équivalent l'impact de certaines externalités (perturbations climatiques, paramètres socioéconomiques, etc.). Au vu de ces premiers éléments, il apparaît donc nécessaire d'anticiper les transformations pouvant impacter le système agricole sur le long terme (évolution du système alimentaire et agricole, sobriété énergétique et foncière accrue) afin de mieux évaluer la contribution potentielle de la biomasse agricole dans l'atteinte des objectifs en matière de biomasse-énergie et de biomatériaux fixés par la SNBC.



## Chapitre 4

# Étude prospective des gisements de biomasse agricole

### 1. Développement des projections

Le développement de projections relatives à la mobilisation de la biomasse agricole peut être considéré comme une tentative de prendre en compte les évolutions possibles des pratiques et des usages agricoles sur le long terme. Dans cette étude, deux projections ont été développées afin d'essayer de tenir compte de ces évolutions et de leur influence sur la disponibilité en biomasse.

Les deux scénarios mis en place se caractérisent par une perte de la surface agricole totale. Cette perte est la conséquence de deux facteurs : l'artificialisation des terres et l'afforestation. Les deux projections tiennent compte d'une tendance d'artificialisation des terres jusqu'en 2050. Entre 2006 et 2014, le montant net de cette artificialisation (total des terres agricoles imperméabilisées moins le total des terres imperméabilisées converties en terres agricoles) peut être estimé à 0,334 million d'hectares (Mha)<sup>161</sup>. Le gouvernement français a récemment révélé un nouvel objectif visant à atteindre une artificialisation nette des sols nulle d'ici 2050. Pour tenter de tenir compte de cet objectif, une hypothèse considérant une réduction de l'artificialisation nette des sols par un facteur 2 tous les 8 ans (à partir de 2028) a été prise.

**Tableau 27 – Estimation de l'artificialisation des terres d'ici 2050**

Donnée	Valeur en million d'hectares
Artificialisation nette des terres 2020-2028	0,334
Artificialisation nette des terres 2028-2036	0,167
Artificialisation nette des terres 2036-2044	0,084
Artificialisation nette des terres 2044-2050	0,032

Source : les auteurs, à partir de données de l'INRA

<sup>161</sup> Béchet B., Ruas A. et al. (2017), [Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols: déterminants, impacts et leviers d'action](#), INRA et IFSTTAR, décembre, 622 p.

Selon ces estimations, la surface totale de terres agricoles artificialisées d'ici à 2050 pourrait atteindre 0,617 Mha. En ce qui concerne l'afforestation, en l'absence de politique de lutte contre la déprise agricole, environ 0,681 Mha de terres agricoles devraient être converties en écosystèmes forestiers (surface nette). Cette projection est basée sur la dernière tendance identifiée : 0,182 Mha entre 2006 et 2014. Cela signifie que pour les deux estimations, la superficie agricole totale serait réduite d'environ 1,3 Mha.

Dans cette étude, les impacts du changement climatique sur la biomasse agricole n'ont pu être traduits qu'en considérant une stagnation des rendements sur le long terme (excluant de fait l'hypothèse d'une progression globale des rendements agricoles d'ici 2050). Ce choix a été fait après analyse de plusieurs publications et articles relatifs aux impacts du changement climatique sur la biomasse agricole en France et en Europe<sup>162</sup>. En effet, le changement climatique devrait avoir un impact différent sur les rendements selon le type de cultures, le sol et la localisation géographique. Les pratiques d'adaptation au climat pourraient également contrebalancer certains effets du changement climatique. Sans données consolidées sur les rendements futurs pour chaque type de culture, estimer une baisse globale des rendements à l'échelle nationale (due au réchauffement, aux aléas climatiques, au stress hydrique, etc.) aurait été difficile à mettre en œuvre. Les rendements devraient toutefois connaître d'importantes variations d'une année sur l'autre en fonction du type de cultures, notamment du fait de l'augmentation des conditions météorologiques exceptionnelles, des températures plus chaudes en automne et des précipitations extrêmement élevées au printemps, ce qui nuit à la stabilité des rendements et favorise les pertes de production.

Dans le scénario tendanciel (de base), peu de changement ont été mis en place au niveau des pratiques agricoles, considérées comme équivalentes à celles actuelles (avec toutefois 20 % de la surface agricole totale convertie à l'agriculture biologique à l'horizon 2050). Ce choix a été fait afin de mieux comparer les deux scénarios et d'analyser les impacts potentiels de la mise en œuvre à grande échelle de nouvelles pratiques. Dans cette optique, le scénario exploratoire (« agroécologique ») vise à décrire un système agricole où les pratiques agroécologiques ont été développées à plus grande échelle. Dans ce scénario, l'agriculture biologique représente au moins 60 % de la surface agricole totale cultivée, ce qui constitue un objectif très ambitieux. Ce scénario vise également à développer la culture des oléagineux et des protéagineux ainsi qu'à limiter, lorsque cela est possible, les pertes en prairies naturelles.

En ce qui concerne le cheptel, depuis 1990 environ, le nombre de bovins et de porcs est en baisse en France<sup>163</sup>. Cette tendance devrait se poursuivre mais de manière différente selon chaque scénario. La principale différence entre les deux scénarios est liée au nombre de bovins. Dans le scénario de base, la diminution du cheptel bovin suit la tendance observée depuis 1990 alors que dans le scénario exploratoire, la baisse est plus prononcée. Celle-ci est, en effet, un peu plus élevée que les prévisions de la SNBC qui prévoit une diminution de 25 % des bovins laitiers et de 33 % des bovins non laitiers. En ce qui concerne le nombre de

---

<sup>162</sup> Centre commun de recherche de la Commission européenne [CCR] (2020), *Analyse des impacts du changement climatique sur l'agriculture de l'UE à l'horizon 2050* ; AEE (Agence européenne pour l'environnement [AEE] (2020), *Adaptation de l'agriculture au changement climatique en Europe*, rapport n°4/2019.

<sup>163</sup> Voir FranceAgriMer (2010), « [Filière bovine](#) », *Les cahiers de FranceAgriMer 2010 – Chiffres clés*, septembre, 18 p., en complément des dernières statistiques du SSP (Agreste 2020).

porcs, les deux scénarios prévoient une diminution de 45 % des effectifs d'ici 2050 sur la base de la tendance des dix dernières années.

**Tableau 28 – Projection des principaux effectifs d'élevage en 2050**

Catégorie	Effectif		
	2019	Scénario A (base)	Scénario B (exploratoire)
Bovins	18 000 000	14 900 000	11 700 000
Porcs	13 000 000	7 300 000	7 300 000
Chèvres	1 300 000	1 300 000	1 300 000
Moutons	7 100 000	7 100 000	7 100 000

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer, le SSP et l'outil ELBA

Les superficies agricoles du scénario de base sont assez semblables aux superficies actuelles. La seule différence est une perte de 1,5 Mha de prairies naturelles due aux changements observés au niveau des cheptels mais aussi à l'artificialisation des terres et à l'afforestation. Dans ce scénario, les surfaces de cultures fourragères restent à un niveau similaire à celles d'aujourd'hui. Dans le scénario exploratoire, les surfaces consacrées aux cultures oléagineuses et protéagineuses devraient augmenter, respectivement de 0,3 Mha et 0,8 Mha. Ces augmentations peuvent être associées à des volumes plus importants consacrés à l'alimentation humaine et au développement de cultures telles que le soja pour accroître la souveraineté alimentaire en matière de bétail. Dans ce scénario, la perte de terres agricoles et la diminution de la place de l'élevage ont un impact plus important sur les surfaces destinées aux cultures fourragères (en diminution) afin de limiter les pertes en prairies naturelles, inévitables en raison d'une diminution des besoins en herbe avec moins de pâturages pour les animaux.

**Tableau 29 – Projections des surfaces agricoles à l'horizon 2050**

Type de surface	Estimations (Mha)		
	2019	Scénario A	Scénario B
Céréales	9,4	9,4	9,4
Oléagineux	1,9	1,9	2,2
Protéagineux	0,2	0,6	1,4
Fourrages	1,7	1,5	1,0
Cultures industrielles	0,6	0,6	0,6
Plantes à fibres	0,1	0,2	0,2
Plantes à parfum	0,05	0,05	0,05
Prairies non permanentes	3,1	3,1	2,2
Légumes	0,3	0,3	0,5
Vignes	0,8	0,8	0,8
Fruits/vergers	0,2	0,2	0,2
Prairies naturelles	9,5	7,9	8,0
<b>Total</b>	<b>27,9</b>	<b>26,6</b>	<b>26,6</b>

Source : les auteurs, à partir des données de la statistique agricole annuelle 2018-2019 (Agreste)

L'impact du changement climatique sur les estimations de rendement dans les deux scénarios se fonde sur une hypothèse prudente mettant en avant une stagnation des rendements de biomasse agricole sur le long terme. Toutefois, en raison de l'évolution des pratiques agricoles, les rendements devraient diminuer légèrement dans le scénario A, tandis qu'une baisse plus importante est prévue dans le scénario B. En effet, pour le scénario de base, la mise en œuvre à grande échelle de nouvelles pratiques agricoles telles que l'agroécologie est limitée. Au contraire, dans le scénario exploratoire, les rendements sont influencés par le changement climatique mais aussi en grande partie par les nouvelles pratiques agricoles.

Les pratiques agroécologiques et surtout le développement à grande échelle de l'agriculture biologique semblent conduire à des rendements plus faibles que l'agriculture conventionnelle. Les valeurs de rendement utilisées dans cette étude sont fondées sur un modèle quantitatif<sup>164</sup> développé par l'IDDRI (Institut du développement durable et des relations internationales). Ce modèle vise à relier de manière systémique la production agricole, les modes de production et l'utilisation des terres. Il analyse le fonctionnement du système alimentaire européen et quantifie un scénario agroécologique à l'horizon 2050 en testant les implications de différentes hypothèses. Les rendements extraits de cette étude présentent des similitudes avec certaines méta-analyses menées précédemment<sup>165</sup> en comparant les rendements biologiques et conventionnels.

**Tableau 30 – Différences de rendement entre agriculture biologique et conventionnelle**

Ressource	Baisse de rendement projetée
Céréales	15 %
Colza	45 %
Tournesol	20 %
Soja	20 %
Autres oléagineux	20 %
Autres protéagineux	35 %
Betteraves	20 %
Fruits et légumes	20 %
Prairies	11 %
Fourrages	15 %

Source : TYFA (2018)

<sup>164</sup> Poux X., Aubert P.-M. *et al.* (2018), « [Une Europe agroécologique en 2050: Une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine](#) », *IDDRI Study*, n° 09/18, septembre.

<sup>165</sup> Ponisio L. C., M'Gonigle L. K. *et al.* (2015), « [Diversification practices reduce organic to conventional yield gap](#) », *Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, n° 1799, janvier ; Seufert V., Ramankutty N. *et al.* (2012), « Comparing the yields of organic and conventional agriculture », *Nature*, vol. 485, n° 7397, p. 229-232.

Le tableau 30 montre les principales différences entre les rendements conventionnels et les rendements biologiques. Une perte de rendement est visible pour tous les types de cultures : la plus importante concerne les cultures de colza et de protéagineux, la plus faible s'observe au niveau des prairies. Pour les ressources non mentionnées dans les études évaluées (et non présentées dans le tableau), une baisse de rendement de 20 % a été envisagée, sur la base d'estimations d'études<sup>166</sup> et à dire d'experts.

## 2. Résultats

Après la mise en place des principales caractéristiques des scénarios (effectifs, surfaces, rendements, etc.), une nouvelle estimation des gisements de biomasse agricole a été réalisée pour les deux scénarios. Les surfaces et rendements actualisés ont été pris en compte pour les principales catégories de biomasse et la quantité totale disponible pour une mobilisation énergétique/matériaux (selon le type de ressource) est présentée dans les tableaux suivants.

**Tableau 31 – Disponibilités en effluents d'élevage (2050)**

Ressource	Unité	Volumes accessibles pour mobilisation		
		2018	Scénario A	Scénario B
Fumier	ktMB	93 100	81 500	67 500
Fumier (estimation)	ktMS	≈ 25 000	≈ 21 800	≈ 18 000
Lisier	ktMB	40 400	31 300	28 600
Lisier (estimation)	ktMS	≈ 1 400	≈ 1 100	≈ 1 000

KtMB : kilotonnes de matière brute ; ktMS : kilotonnes de matière sèche.

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer (2020)

Les volumes d'effluents d'élevage présentés sont les volumes accessibles pour la mobilisation. Les volumes non accessibles ont été retirés du volume total produit. Ces résultats sont basés sur la méthodologie présentée dans la partie précédente. Les volumes présentés pour chaque scénario présentent les disponibilités (théoriques) maximales. Les volumes de fumier et de lisier sont réduits par rapport à 2018 en raison de la diminution du nombre de bovins et de porcs. En effet, dans cette estimation, seul le nombre de bovins et de porcs a été modifié. Toutes les autres variables (durée de stabulation, type de logement, temps passé dans les champs) restent les mêmes pour chaque scénario, ce qui peut être considéré comme la principale limite de cette estimation. Cette diminution est plus marquée dans le scénario B avec un volume de 96 000 ktMB alors que dans le scénario A, ce volume est estimé à 113 000 ktMB. Un taux de mobilisation égal à 80 %<sup>167</sup> des volumes accessibles a été retenu à l'horizon 2050 afin d'obtenir un volume disponible

<sup>166</sup> Guyomard H. et al. (2013), [Vers des agricultures à hautes performances. Analyse des performances de l'agriculture biologique](#), op. cit. ; de Ponti T., Rijk B. et al. (2012), « The crop yield gap between organic and conventional agriculture », *Agricultural Systems*, vol. 108, avril.

<sup>167</sup> L'estimation du volume disponible en effluents diffère légèrement de celle utilisée pour identifier le volume supplémentaire disponible dans la partie quantification, où la quasi-totalité du volume accessible était supposée mobilisable sans prise en compte d'un taux de mobilisation.

pour l'usage énergétique. Ce taux reste théorique et pourrait varier selon les scénarios. Il mise sur un fort développement de la méthanisation agricole dans les deux scénarios. La méthanisation collective agricole pourrait en effet représenter un levier de la transition agroécologie au sein des territoires ruraux, permettant une meilleure utilisation des ressources organiques locales et un moindre recours à une fertilisation azotée minérale. En prenant en compte ce taux, les volumes totaux disponibles en effluents d'élevage pour méthanisation sont estimés à 90 ktMB pour le scénario A et 77 ktMB pour le scénario B.

Pour les résidus de cultures annuelles, les volumes présentés dans le tableau 32 sont les volumes totaux produits. Pour chaque ressource, les nouvelles surfaces et rendements en grains ont été pris en compte. Afin d'estimer ces nouveaux rendements, la méthode suivante a été utilisée : pour chaque région et chaque type de culture, la surface cultivée estimée a été répartie entre une superficie biologique et une superficie conventionnelle (20/80 pour le scénario A et 60/40 pour le scénario B). Ensuite, pour chaque région, et pour chaque type de culture des rendements actualisés ont été associés à chaque type de surface afin d'obtenir le volume produit<sup>168</sup>. Enfin, le rendement en paille (en tMS/ha) a été calculé à partir du rendement en grains, de l'indice de récolte et du taux d'humidité des grains.

**Tableau 32 – Résidus de cultures annuelles : volumes totaux produits**

Ressource	Volume total produit (ktMS)		
	2018	Scénario A	Scénario B
Pailles de céréales	43 900	42 600	40 000
Pailles d'oléagineux	19 000	13 000	11 600
Pailles de protéagineux	450	1 200	2 400
Fanes de betteraves	2 300	2 300	2 100
Cannes de maïs	11 800	11 400	10 700
Fourrages	nd (non déterminé)	nd	nd

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer (2020)

Ces premières estimations sur la quantité totale de résidus de cultures annuelles montrent que, dans le cas du scénario B, avec une part plus importante d'agriculture biologique (impliquant des rendements plus faibles), les volumes produits sont inférieurs à ceux du scénario A et aux niveaux actuels. La seule exception est le volume plus élevé de résidus de protéagineux dans le scénario B, qui est principalement dû à la forte augmentation de la surface consacrée à ces cultures. Dans le cas des pailles d'oléagineux, malgré une surface plus importante, les volumes des deux scénarios sont inférieurs à ceux de 2018. Cela peut s'expliquer par le fait que l'évolution des surfaces cultivées est principalement fondée sur celles de 2019 et que, dans le cas du colza (une culture oléagineuse), la surface cultivée a considérablement diminué entre 2018 et 2019. En effet, la surface de colza a été estimée à 1,6 Mha en 2018 et à 1,1 Mha en 2019. Cette forte diminution est principalement due à des conditions hostiles (sécheresse, insectes, etc.) et à des baisses de rendement entraînant

<sup>168</sup> Le détail de la méthodologie d'estimation est présenté en annexe 1.

une augmentation des conversions de surfaces. Les différences importantes entre les rendements du colza conventionnel et du colza biologique (-45 %) pourraient également expliquer cette baisse de production estimée.

Après avoir estimé le volume total produit, il est maintenant possible de calculer le volume disponible pour les utilisations énergétiques/matériaux. Pour ce faire, une identification de trois volumes a été effectuée : volumes qui ne peuvent pas être récoltés, volumes retournés au sol et volumes utilisés comme litière animale. La méthodologie utilisée pour quantifier le volume réel disponible (voir chapitre 2) a été appliquée ici, la présence de fourchettes rend compte d'hypothèses en terme de non-récoltabilité de la paille (taux de pailles supposées non récoltables du fait du machinisme et des techniques utilisés). Ces hypothèses liées aux taux de récolte et détaillées ci-dessous visent à anticiper une optimisation possible des modes de récolte (en raison de changements de pratiques, de développements techniques, etc.).

**Tableau 33 – Hypothèses sur la part de pailles non récoltable**

Ressource	Part de paille non récoltable – niveaux actuels		Part de paille non récoltable – horizon 2050	
	Polyculture - élevage	Autres orientations	Polyculture - élevage	Autres orientations
Pailles de céréales	60 %	60 %	60 %	55 %
Pailles d'oléagineux - colza	60 %	60 %	60 %	55 %
Pailles d'oléagineux - autres	100 %	100 %	80 %	80 %
Cannes de maïs	50 %	50 %	50 %	45 %
Pailles de protéagineux	100 %		80 %	
<b>Fanes de betterave</b>	100 %		80 %	

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer (2020)

Les variations en termes de récoltabilité sont les plus marquées pour les pailles de protéagineux et de betteraves (+20 %). Pour ces résidus, présentant des qualités agronomiques multiples, aucune pratique de récolte n'a été identifiée à l'heure actuelle, la totalité des pailles et fanes sont laissées au sol. La récolte de ces résidus n'est cependant envisagée que dans le scénario B (exploratoire) qui présente plus de disponibilités, notamment en pailles de protéagineux. Les variations liées aux pailles de céréales, oléagineux et cannes de maïs concernent majoritairement les volumes des exploitations « autres orientations » (à distinguer des exploitation polyculture-élevage). La hausse de 5 % du taux de récolte traduirait une limitation relative des pertes de matière ayant lieu lors des opérations de récolte (fauchage par exemple). La part de paille d'oléagineux hors colza (soja par exemple) récoltable augmente plus fortement. Aucune pratique de récolte n'étant identifiée à l'heure actuelle, il a été supposé qu'un développement plus important de ces récoltes augmenterait cette part de paille récoltable.

**Tableau 34 – Volume disponible de résidus de cultures annuelles pour la mobilisation**

Ressource	Volume disponible pour mobilisation (ktMS)	
	Scénario A	Scénario B
Pailles de céréales	2 400 - 4 100	2 200 - 3 900
Pailles d'oléagineux	530 - 1 800	340 - 1 900
Pailles de protéagineux	0	0 - 320
Fanes de betteraves	0	0 - 630
Cannes de maïs	1 630 - 1 780	1 530 - 1 670

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer (2020)

Les projections montrent que les disponibilités totales de résidus de cultures annuelles sont proches pour les deux scénarios. Si l'on tient compte des fourchettes hautes, le volume de résidus dans le scénario B est légèrement plus élevé que dans le scénario A (8 420 ktMS contre 7 680 ktMS). Ce résultat peut sembler contre-intuitif en raison de la baisse de rendement plus importante dans le scénario B pour plusieurs cultures. Toutefois, en tenant compte d'une surface d'oléagineux et de protéagineux plus importante dans le scénario B associée à des besoins réduits en litière animale, les résultats montrent que la perte de rendement pourrait être compensée. Pour la suite de l'exercice, les volumes retenus correspondent aux fourchettes hautes des disponibilités estimées.

Il est également important de souligner que dans le cas de cette étude et dans les deux scénarios, la quantité de résidus potentiellement disponibles pour l'utilisation énergétique est encore limitée. En effet, en raison d'un manque d'informations et de données consolidées sur l'impact d'une augmentation de la récolte sur le carbone et la matière organique du sol, peu de changements ont été apportés à la quantité de biomasse collectée et retournée au sol (par rapport aux niveaux théoriques déterminés actuellement). Ces paramètres rendent difficile l'élaboration de nouvelles hypothèses concernant les résidus de cultures annuelles.

En ce qui concerne les cultures intermédiaires, le volume total produit devrait augmenter de manière significative dans les deux scénarios<sup>169</sup>. Cette augmentation devrait être plus importante dans le scénario B, parallèlement au déploiement de pratiques agroécologiques. En effet, le développement de couverts végétaux sur l'ensemble du territoire présente l'avantage de pouvoir lutter contre les mauvaises herbes et certaines maladies tout en assurant un meilleur stockage du carbone dans le sol.

Les estimations du volume produit par les cultures intermédiaires pris en compte dans la partie quantification (voir chapitre 3, section 1.3) sont fondées sur les pratiques et conditions pédoclimatiques observés en 2013<sup>170</sup>. Une des principales hypothèses associée à cette quantification résidait dans le fait que la mise en place de cultures intermédiaires est incompatible avec les cultures alimentaires d'hiver. Cela signifie que le potentiel de développement des cultures intermédiaires d'été (positionnées après une culture d'hiver)

<sup>169</sup> Leur niveau de développement est encore limité à l'heure actuelle.

<sup>170</sup> ADEME, SOLAGRO et INDIGGO (2013), [Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation](#), op. cit.

était supposé limité au profit des cultures intermédiaires d'automne/hiver (positionnées avant une culture d'été). Les cultures intermédiaires d'automne/hiver étaient donc supposées être les plus à même de contribuer à la production totale de cultures intermédiaires. Le changement climatique pourrait modifier cette tendance. En effet, de nouvelles conditions climatiques à long terme pourraient favoriser le développement des cultures intermédiaires d'été en décalant leur date de semis, ce qui permettrait de les cultiver après les cultures de blé tendre (qui s'élèvent à environ 5 Mha dans les deux scénarios).

Dans cette étude, des hypothèses ont été formulées en fonction du développement de nouvelles pratiques agricoles et de l'évolution des rendements. Ces hypothèses sont fondées sur une nouvelle étude technique concernant la production de biogaz<sup>171</sup> et sont synthétisées dans les tableaux suivants permettant une comparaison avec les données présentées au chapitre 3. La surface potentielle où les cultures intermédiaires d'été peuvent être implantées serait alors significativement revue à la hausse.

**Tableau 35 – Estimation des surfaces potentielles d'implantation des CI**

Culture principale	Surfaces potentielles 2010		Surfaces potentielles 2050	
	Type de culture	Surface (Mha)	Type de culture	Surface (Mha)
Colza	Aucune	-	Été	1,1
Orge d'hiver	Été	3,4	Été	1,2
Blé d'automne	Aucune	-	Été	4,8
Autres céréales	Aucune	-	Été	0,4
Blé de printemps	Automne	4 (pour les cultures d'hiver)	Automne	0,3
Orge de printemps	Automne		Automne	0,5
Tournesol	Automne		Automne	0,5
Sorgho	Automne		Automne	0,1
Mais	Automne		Automne	1,5
Betterave	Automne		Automne	0,5
Pomme de terre	Automne		Automne	0,15
Soja	Automne		Automne	0,1 - 0,4
Pois	Automne		Automne	0,4 - 1

Source : les auteurs, à partir de travaux de l'Ademe (2013 et 2018)

En résumé, à l'horizon 2050, les cultures intermédiaires d'été pourraient être implantées sur environ 7,5 millions d'hectares (contre 3,4 précédemment). Quant aux cultures d'automne, entre 4 et 5 millions d'hectares pourraient être exploités (contre 4 estimés précédemment). Ces estimations restent néanmoins imprécises et visent à estimer un ordre de grandeur maximal des surfaces d'implantations potentielles de cultures intermédiaires. L'étude menée

<sup>171</sup> ADEME et GRDF (2018), [Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?](#), op. cit.

par l'ADEME et GRDF présentent des surfaces potentielles équivalentes mais légèrement inférieures (7,2 Mha et 3,6 Mha). Ces différences peuvent être expliquées par les surfaces considérées à long terme.

Dans la présente étude, le déploiement des couverts végétaux intermédiaires varie selon les projections. En effet, le scénario B mise davantage sur le développement de ces cultures comme nouvelles pratiques agricoles favorisant le stockage carbone. Il a donc été considéré que, pour ce scénario, les cultures intermédiaires sont implantées sur l'ensemble des surfaces potentielles (environ 12 Mha, hypothèse ambitieuse). En revanche, dans le scénario A, ces cultures sont supposées être développées sur des surfaces légèrement inférieures au potentiel identifié en 2013, avec une prédominance des cultures d'automne (soit environ 6 Mha). Afin d'aboutir à la production annuelle de cultures intermédiaires, des rendements moyens ont été estimés. Les rendements de cultures intermédiaires varient beaucoup en fonction des conditions pédoclimatiques. Les rendements moyens présentés restent donc issus d'ordres de grandeur variant en fonction des conditions de cultures et du seuil de récolte (fixé à 4 tMS/ha).

Globalement, les rendements des cultures intermédiaires d'automne seraient supérieurs aux hypothèses retenues par l'étude ADEME-GRDF. Ceci peut s'expliquer par le développement plus important de nouvelles pratiques comme le semis direct qui permettent aux cultures intermédiaires d'être détruites juste avant la culture principale et de gagner ainsi en rendement (avec les pratiques actuelles, les cultures intermédiaires doivent être détruites environ deux mois avant le semis de la culture principale, pour les travaux de préparation). L'extension des cultures intermédiaires d'été devrait, elle, s'accompagner de rendements inférieurs au potentiel déjà estimé (du fait de contextes pédoclimatiques moins favorables)<sup>172</sup>. Le rendement de récolte présenté dans le tableau 36 correspond à une mobilisation pour une utilisation en méthanisation d'environ 50 % des cultures intermédiaires pour le scénario A et de 45 % pour le scénario B (le reste de la production est laissée aux champs). À cela s'ajoute une hypothèse prudente de diminution de 10 % des rendements présentés dans le tableau 36. Cette baisse est prise en compte pour les deux scénarios.

**Tableau 36 – Nouveaux rendements associés aux CI**

	Rendements précédemment déterminés		Nouveaux rendements (2050)	
	Rendement de production (tMS/ha)	Rendement de récolte (tMS/ha)	Rendement de production (tMS/ha)	Rendement de récolte (tMS/ha)
CI d'automne	Non identifié	~2,3	~4,3	~3,1
CI d'été	Non identifié	~3,7	~3,1	~1

Source : les auteurs, à partir de travaux de l'Ademe (2013, 2018)

<sup>172</sup> Id.

**Tableau 37 – Volumes de cultures intermédiaires disponibles**

Ressource	Volume disponible (ktMS)		
	Potentiel à 2030 (2013)	Scénario A	Scénario B
Cultures d'automne	2 992	9 765	12 555
Cultures d'été	1 386	2 250	6 750

Source : les auteurs, à partir de travaux de l'Ademe (2013, 2018)

Dans le scénario B, les cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) pourraient donc représenter environ 19 millions de tMS contre environ 12 millions pour le scénario A. Cette différence s'explique principalement par le développement accru des cultures intermédiaires dans le scénario B (12 Mha contre 6 Mha dans le scénario A) et par la part plus importante des cultures d'été.

En ce qui concerne les surplus d'herbes, les projections diffèrent du fait des variations de surfaces en herbe. Dans le scénario A, les prairies naturelles sont en diminution (-1,6 Mha). Dans le scénario B, les prairies naturelles et les prairies non permanentes devraient diminuer (respectivement de 1,5 et 0,9 Mha) du fait de différents facteurs (artificialisation, afforestation, diminution du bétail, etc.). Ce changement concernant les surfaces en herbe disponibles ainsi que la diminution des rendements ont été traduits comme suit pour chaque scénario.

**Tableau 38 – Surfaces en herbes : volumes totaux produits**

Ressource	Volume total produit (ktMS)		
	2018	Scénario A	Scénario B
Prairies artificielles	3 274	3 274	2 150
Prairies temporaires	16 430	16 430	10 887
Surfaces toujours en herbe	33 146	27 098	27 441

Source : les auteurs, à partir de données issues de la statistique agricole annuelle 2018-2019 (Agreste)

La production de biomasse issue des prairies artificielles et temporaires diminue de manière plus prononcée pour le scénario B avec la réduction des surfaces et des rendements. En ce qui concerne les surfaces toujours en herbe (prairies naturelles), les volumes produits diminuent (d'environ 18 %) dans les deux scénarios. Un taux de mobilisation égal à 10 % a été pris en compte. Cela signifie que le volume disponible pour la mobilisation est estimé à 5 600 ktMS dans le scénario A et à 4 900 ktMS dans le scénario B. Ce taux de mobilisation vise à tenir compte des surplus d'herbes des exploitations bovines (production supérieure aux besoins du troupeau dans une optique de diminution du cheptel) mais aussi du développement de « jachères de légumineuses »<sup>173</sup> apportant un volume de biomasse potentiellement mobilisable en méthanisation.

<sup>173</sup> Id.

Les haies, alignements et plantations d'arbres sur les sols agricoles font partie de pratiques agroécologiques dont l'adoption est considérée comme assez significative dans le scénario B. Ces pratiques visent à combiner arbres, cultures et/ou bétail sur une même zone. Dans sa dernière estimation, l'ADEME a estimé que les haies et les plantations d'arbres étaient établies sur environ 1 Mha<sup>174</sup>. Les surfaces maximales pouvant techniquement faire l'objet de plantations intraparcellaires et d'implantation de haies sont respectivement estimées à environ 5 et 8 Mha<sup>175</sup>. Bien que le potentiel théorique de l'agroforesterie apparaît conséquent, la superficie potentielle considérée pour les pratiques agroforestière à l'horizon 2050 dans cette étude est comprise entre 1,4 et 3 Mha<sup>176</sup>, hypothèse prudente tenant compte d'un potentiel à l'horizon 2030. Sur la base de ces estimations, les superficies actualisées ont été quantifiées. Dans le scénario A, la surface de haies et d'alignements d'arbres n'augmenterait que de 50 % pour atteindre 1,5 Mha, tandis que dans le scénario B, cette superficie devrait représenter 2,5 Mha avec un développement des plantations intraparcellaires. L'estimation du volume disponible est fondée sur la méthodologie retenue par l'ADEME, présentée dans la partie quantification.

**Tableau 39 – Disponibilité en haies et pratiques agroforestières**

Ressource	Unité	Volume disponible		
		2014 (estimation)	Scénario A	Scénario B
Bois énergie	milliers de m <sup>3</sup>	2 216	3 325	6 648
Bois énergie	ktMS	1 104	1 655	3 312
Menu bois	milliers de m <sup>3</sup>	1 213	1 819	3 639
Menu bois	ktMS	604	905	1 812

Source : les auteurs, à partir de travaux de l'Ademe (2017)

Le besoin en fibres et autres biomatériaux devrait augmenter dans les deux scénarios. Cette croissance est principalement due au recours plus important de biomatériaux et matériaux composites pour des secteurs variés. Une étude d'Alcimed et de l'ADEME menée en 2015<sup>177</sup> estime la surface nécessaire pour répondre aux besoins en fibres à environ 150 000 ha en 2030. Toutefois, cette estimation est très optimiste et se fonde sur le développement rapide du secteur des biomatériaux encouragé par une action publique accrue. Ces surfaces projetées sont cependant celles retenues dans cette étude mais à l'horizon 2050, en tablant sur une évolution plus lente. Pour atteindre cet objectif, les superficies de lin et de chanvre doivent augmenter respectivement de 88 400 et 61 100 ha. Cela signifie que la superficie totale des cultures de fibres devrait atteindre 213 000 ha. Dans le scénario A, ces superficies représenteront 1 353 tMB. Quant au scénario B, 1 270 tMB de plantes à fibres devraient être produites (en supposant une baisse de 20 % des rendements en culture biologique dans les deux scénarios).

<sup>174</sup> ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), [Mobilisation de la biomasse agricole](#), op. cit.

<sup>175</sup> Pellerin S., Bamière L. et al. (2019), [Stocker du carbone dans les sols français](#), op. cit.

<sup>176</sup> Balny P., Domallain D. et al. (2015), [Promotion des systèmes agroforestiers](#), op. cit.

<sup>177</sup> Alcimed et ADEME (2015), [Marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030](#), rapport de l'étude, 33 p.

En ce qui concerne les cultures annuelles (alimentaires) utilisées dans la production d'énergie (biocarburants et méthanisation), aucune projection à long terme n'a pu être réalisée. Ce choix est dû aux incertitudes politiques, techniques et économiques qui demeurent liées au développement des biocarburants avancés. Il est cependant réaliste de supposer que les surfaces consacrées aux biocarburants 1G n'augmenteront pas. On peut s'attendre au contraire à ce qu'elles diminuent du fait des progrès liés à l'optimisation des processus de production permettant d'utiliser davantage de résidus/coproduits industriels.

La quantité de cultures annuelles utilisées dans la production de biogaz (maïs, betteraves, sorgho par exemple) est déjà soumise à des limitations et devrait être réglementée plus strictement dans les années à venir afin d'éviter une intensification des pratiques agricoles à des fins énergétiques et aux dépens des sols, de la biodiversité et de l'eau<sup>178</sup>. Cependant, avec le développement de la méthanisation agricole, la quantité de cultures annuelles pour méthanisation pourrait augmenter. Pour obtenir un premier ordre de grandeur des volumes/surfaces associés, un maillage territorial d'unités de méthanisation égal à 6 000 (contre 1 000 actuellement), tournées à 80 % vers l'injection a été considéré<sup>179</sup>. 50 % de ces unités sont supposées utiliser des cultures annuelles comme intrants (limités à 15 % de la totalité des intrants) à un rendement matière de 40 t/ha<sup>180</sup>. La surface mobilisée correspondrait alors à près de 150 000 ha (6 Mt) pour un potentiel énergétique estimé aux alentours de 10 TWh. Cette estimation reste très approximative mais dénote d'une potentielle forte hausse de la mobilisation de cultures annuelles en parallèle d'un développement de la méthanisation agricole. Cette mobilisation pourrait venir renforcer les conflits d'usages et d'affectations des sols.

Aucune estimation précise n'a également été réalisée concernant le développement des cultures dédiées pérennes (miscanthus, TCR, etc.) dans chaque projection. Avec la même utilisation (combustion), le potentiel de ces cultures reste limité. Cependant, le développement de biocarburants avancés (2G) basés sur les ressources lignocellulosiques peut stimuler le développement de ces cultures. En effet, les biocarburants 2G peuvent être considérés comme une alternative à long terme aux biocarburants 1G et l'utilisation de cultures dédiées en plus de bois et résidus de bois pourrait être privilégiée par rapport à l'utilisation de résidus de cultures, faisant déjà l'objet de nombreuses concurrence d'usages. À titre d'exemple, en considérant un rendement énergétique égal à 2 tep/ha (biodiesel à partir de miscanthus), la production de 0,6 Mtep de biodiesel 2G pourrait par exemple nécessiter des surfaces en cultures dédiées jusqu'à 30 fois plus importantes (passant de 10 000 ha à 300 000 ha). Cette hausse non négligeable pourrait avoir comme conséquence une redistribution des surfaces dédiées à la production de biocarburants (entre cultures alimentaires et non alimentaires) et des surfaces libérées par les fourrages. Un approvisionnement diversifié entre résidus, cultures lignocellulosiques et bois semble le scénario le plus probable.

Enfin, aucun changement significatif n'a été envisagé pour ces projections concernant la disponibilité/mobilisation actuelle des autres types de cultures (plantes à parfum, résidus de silos, résidus de vignes et de vergers).

---

<sup>178</sup> Le risque de développement de la monoculture à grande échelle dédiée à la production de biogaz (spécialisation du territoire) constitue, par exemple, une menace pour la biodiversité.

<sup>179</sup> En considérant un approvisionnement moyen de 13 000 t/an en intrants (capacité de 135 Nm<sup>3</sup>/h).

<sup>180</sup> Rendement en maïs ensilage considéré comme référence.

## 2.1. Synthèse des résultats

Les principaux résultats concernant l'évolution du potentiel de mobilisation de la biomasse agricole telle qu'identifiée dans les deux scénarios sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 40 – Potentiel de mobilisation pour chaque projection**

Ressource	Unité	Scénario A (base)	Scénario B (exploratoire)
Effluents d'élevage	ktMB	90 250	76 870
	ktMS	≈ 22 000	≈ 19 000
Résidus de cultures annuelles	ktMS	7 680	8 420
Cultures intermédiaires	ktMS	12 010	19 300
Surplus d'herbes	ktMS	5 600	4 970
Plantes à fibres	ktMS	1 350	1 270
Haies et agroforesterie	ktMS	2 560	5 120

Source : les auteurs

Après avoir identifié les principaux volumes disponibles concernant la biomasse agricole dans les deux scénarios, une estimation du potentiel énergétique équivalent dans le cadre de deux principales filières (méthanisation et combustion) a été réalisée. Dans les deux scénarios, les ressources mobilisables méthanisables sont les suivantes : effluents d'élevage, résidus de protéagineux, fanes de betteraves, cultures intermédiaires et surplus d'herbes. Les résidus de bois mobilisables provenant des haies et des pratiques agroforestières sont destinés à la combustion. En ce qui concerne les résidus de cultures, ressource considérée comme mixte, la répartition entre méthanisation et combustion est identique pour les deux scénarios. Celle-ci se présente comme suit : 70 % des résidus mobilisables à des fins énergétiques sont méthanisés, les 30 % restants dirigés vers une valorisation par combustion. Ce choix va donc privilégier pour une même ressource, la production de biogaz et donc de digestat par rapport à la combustion.

Ce choix s'inscrit dans l'optique d'un développement du puits de carbone agricole nécessitant un apport conséquent de matière organique aux sols. L'utilisation de digestat de méthanisation peut permettre de mettre en œuvre ce retour au sol contrairement à la combustion qui ne permet qu'un retour très limité de cendres. Il peut aussi être lié aux premiers éléments d'arbitrages présentées par la SNMB, qui met en avant l'usage de la méthanisation aux dépens de la combustion pour les résidus de cultures<sup>181</sup>. Cette approche reste toujours approximative et ne définit pas les conditions techniques ou la pertinence de la mise en place des unités de valorisation mais vise à évaluer un potentiel de mobilisation de la biomasse agricole dans le cadre d'une production énergétique. Afin de mieux prendre en compte les arbitrages possibles en terme de répartition des usages combustion/méthanisation, une analyse complémentaire a été menée traduisant plusieurs hypothèses de valorisation énergétique des résidus de cultures (tableau 42).

<sup>181</sup> Répartition entre les usages combustion/méthanisation passant de 50/50 jusqu'à 2025 à 40/60 puis à 30/70 à partir de 2030.

**Tableau 41 – Potentiel énergétique des disponibilités en biomasse agricole évalué dans les deux scénarios**

Potentiel énergétique (TWh PCS)	Scénario A	Scénario B
<b>Biomasse non méthanisable</b>		
Haies et pratiques agroforestières (bois)	12,4	24,8
Résidus de cultures annuelles	10,7	10,4
<b>Biomasse méthanisable</b>		
Effluents d'élevage	26,4	22,2
Résidus de cultures annuelles	11,3	13,4
Cultures intermédiaires	26,8	43,0
Surfaces en herbe	11,4	10,1
<b>Total combustion</b>	<b>23,1</b>	<b>36</b>
<b>Total méthanisation</b>	<b>75,9</b>	<b>88,7</b>
<b>Total</b>	<b>~99</b>	<b>~124</b>

Source : les auteurs, à partir des données présentées précédemment et des taux de conversions disponibles en annexe 2

Le potentiel énergétique de la biomasse agricole étudiée est présenté dans le tableau 41 ci-dessus. La part des ressources valorisées par combustion (considérées comme non méthanisables) est plus élevée dans le scénario B (36 contre 23 TWh). Les résidus de bois issus des pratiques agroforestières contribuent davantage au potentiel énergétique du scénario B grâce au déploiement plus important des haies et alignements d'arbres. En ce qui concerne la biomasse disponible pour la production de biogaz, le scénario B conduit à un potentiel énergétique plus élevé. Cette différence est principalement due à une plus grande mobilisation des cultures intermédiaires. Le potentiel énergétique des résidus de cultures annuelles (variant entre 22 et 24 TWh) reste assez limité dans les deux scénarios, principalement en raison d'hypothèses conservatrices sur les volumes retournés au sol et sur les usages associés (parts identiques à la situation actuelle). Comme précisé précédemment, l'offre énergétique potentielle en résidus de cultures peut varier selon les arbitrages effectués en termes de répartition méthanisation/combustion. Le tableau 42 ci-dessous vise à rendre compte de ces variations.

**Tableau 42 – Potentiels énergétiques des résidus de cultures**

Répartition combustion /méthanisation*	Scénario A (TWh PCS)			Scénario B (TWh PCS)		
Hypothèse de répartition	Combustion	Méthanisation	Total	Combustion	Méthanisation	Total
0/100	0	16,1	<b>16,1</b>	0	18,1	<b>18,1</b>
40/60	14,3	9,7	<b>34</b>	13,9	11,8	<b>25,7</b>
50/50	17,9	8	<b>25,9</b>	17,4	10,2	<b>27,6</b>
100/0	35,8	0	<b>35,8</b>	26	34,8	<b>34,8</b>

\* Ces hypothèses de répartition concernent les pailles et menues de céréales, oléagineux et cannes de maïs. Les fanes de betteraves et résidus de protéagineux sont considérés valorisés entièrement par méthanisation (d'où le potentiel de 2 TWh identifié dans la dernière ligne).

Source : France Stratégie

## 2.2. Les enjeux agronomiques de la mobilisation des gisements et du retour au sol

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour tenter de prendre en compte l'impact de l'utilisation du digestat issu de la production de biogaz sur les quantités de résidus de culture retournés dans les sols. En effet, la présence en quantité suffisante de matière organique dans les sols est un aspect essentiel à prendre en compte en parallèle d'un développement de l'utilisation de ressources agricoles à des fins énergétiques. Cette matière joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement des sols<sup>182</sup> aussi bien en termes de structure (aération, résistance), de fertilité (nutriments), de biodiversité (habitats, apports énergétiques aux organismes des sols), de stockage carbone ou encore de circulation d'eau (infiltration, rétention, effet filtre). La matière organique peut se décomposer en trois grandes catégories – fraîche, stable et vivante<sup>183</sup> – présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 43 – Différents types de matière organique

Ressource	Composition	Caractéristiques
MO fraîche	Débris d'origine végétale, fumiers frais...	Carbone facilement dégradable
MO stable	Déchets verts, pailles, humus...	Carbone peu dégradable
MO vivante	Racines, vers de terres, microflore...	Biomasse en activité

Source : les auteurs

Divers processus biologiques, physiques, chimiques influent sur le contenu en matière organique des sols. La matière organique vivante sert d'énergie et de sources d'éléments nutritifs pour les micro et macro-organismes vivants du sol. Elle décompose la matière organique stable en utilisant de la matière organique fraîche comme énergie. Afin de maintenir un équilibre entre ces différentes fractions de matière organique dans les sols, ces interactions doivent être préservées. Les prélèvements de biomasse agricole, amenés à s'accroître pour répondre aux objectifs énergétiques fixés par la SNBC, doivent donc tenir compte des besoins en matière organique des sols. La quantité de biomasse agricole qui peut être récoltée sans compromettre la qualité du sol dépend de plusieurs paramètres, dont notamment la voie de conversion énergétique<sup>184</sup>. À titre d'exemple, certaines valorisations comme la méthanisation permettent un retour au sol d'une partie du carbone et des nutriments (azote, phosphore et potassium) prélevés via l'épandage des digestats, d'autres, comme la combustion ne permettent pas ce genre de retours. De plus, la nature du carbone et/ou des nutriments peut varier en fonction du type de valorisation. Une valorisation par méthanisation (pour la production de biogaz) permet le retour d'une partie du carbone

<sup>182</sup> Garratt M. P. D., Bommarco R. (2018), « [Enhancing soil organic matter as a route to the ecological intensification of European arable systems](#) », *Ecosystems*, vol. 21, février, p. 1404-1415.

<sup>183</sup> Duparque A. et Rigalle P. (2011), *Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO*, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert ; [repris par la chambre d'agriculture - Occitanie](#).

<sup>184</sup> Hansen J. H., Hamelin L. et al. (2020), « [Agricultural residues bioenergy potential that sustain soil carbon depends on energy conversion pathways](#) », *GCB Bioenergy*, vol. 12, août, p. 1002-1013.

prélevé sous une forme plus stable pouvant être retenue dans les sols plus longtemps que le carbone des résidus de cultures directement laissés au sol<sup>185</sup>.

Il existe deux principales technologies de méthanisation se distinguant selon la teneur en matières sèches des intrants : la méthanisation par voie sèche dite « discontinue » (taux de matière sèche variant entre 20 % et 40 %) et la méthanisation par voie humide dite « infiniment mélangée » (taux de matière sèche inférieure à 20 %). La méthanisation par voie humide est utilisée pour le traitement de biomasse majoritairement liquide (boues, lisiers, etc.), elle permet une production continue de biogaz et une plus grande flexibilité dans les matières à traiter. La méthanisation par voie sèche est préférée pour le traitement de substrat à base de matière sèche (résidus végétaux, ordures ménagères et fumier d'élevage). Les méthaniseurs agricoles utilisent majoritairement des sous-produits agricoles (effluents et résidus de cultures) auxquels sont ajoutées cultures intermédiaires et cultures dédiées. Dans ce cas, les effluents d'élevage représentent une part importante du potentiel énergétique, complétés par des cultures énergétiques (cultures intermédiaires à vocation énergétique). D'autres installations misent sur le traitement associé de substrats agricoles avec des sous-produits de l'industrie et/ou des déchets de collectivités. Afin de mieux quantifier l'impact de la méthanisation sur les sols agricoles, une comparaison doit être menée avec les pratiques actuelles sans méthanisation (utilisation directe des effluents par épandage ou retour au sol de résidus « frais » par exemple). Diverses études et expertises scientifiques tendent à montrer que la méthanisation présente plusieurs impacts négatifs sur la quantité de matière organique retournée au sol ainsi que sur sa qualité<sup>186</sup>.

Une baisse de matière organique retournée au sol est quantifiée par rapport aux pratiques actuelles. Dans son dernier rapport technique sur la méthanisation, l'AILE (Association d'initiatives locales pour l'énergie et l'environnement) rend compte d'une perte de 10 % du contenu en matière organique par rapport aux pratiques actuelles<sup>187</sup>. Un stockage classique des effluents suivi d'un épandage engendrerait une perte de 30 % à 40 % de matière organique contre une perte de 40 % à 50 % pour une valorisation par méthanisation. La méthanisation serait donc à l'origine d'une perte de carbone supplémentaire (de l'ordre de 10 %) par rapport aux pratiques d'épandage actuelles. Ces pertes sont cependant à relativiser car elles contribuent (dans le cas de la méthanisation) à la production de biogaz et non à l'émission de GES.

D'un point de vue qualitatif, la méthanisation influe aussi sur la répartition de la matière organique présente dans les digestats<sup>188</sup>. Globalement, comme en témoigne la figure 15, les différents types de matière organique (fraîche, stable et vivante) restent présents dans le digestat après méthanisation. Cependant la part de matière organique biodégradable, non stable, diminue lors du procédé, parallèlement à la production de méthane (CH<sub>4</sub>) et de

<sup>185</sup> Thomsen I. K., Olesen J. E. *et al.* (2013), « Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces », *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 58, mars, p. 82-87.

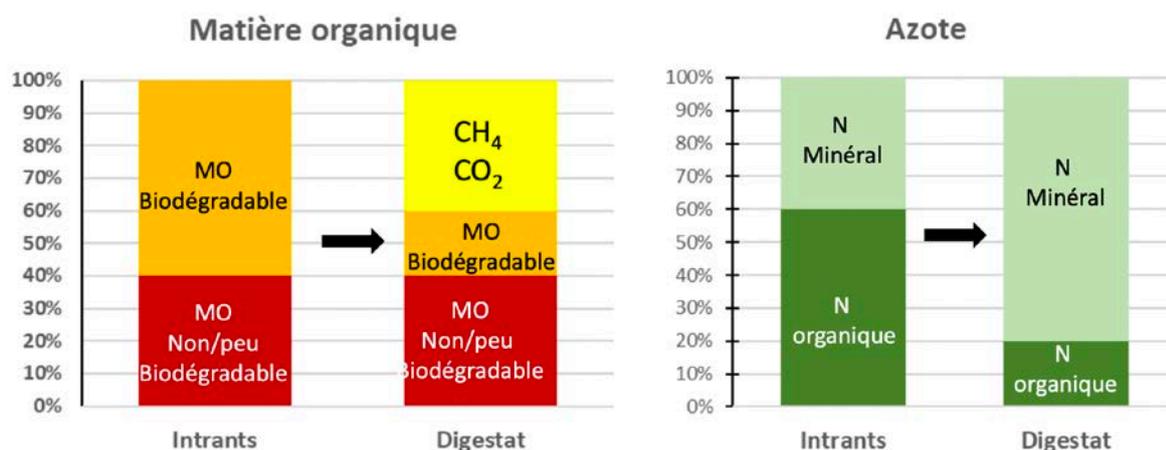
<sup>186</sup> Voir les travaux de R. Girault (« Présentation sur les déterminants de l'évolution des matières organiques en lien avec les procédés de transformation – Volet Méthanisation », École-chercheurs SYST'MO, novembre 2019) ou encore ceux de K. Moller (« [Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review](#) », *Agronomy Sustainable Development*, vol. 35, juillet, 2015, p. 1021-1041) ou Houot S. et Levavasseur F. (2020), [Digestats : état des connaissances scientifiques actuelles, focus sur le retour au sol](#), novembre, 27 p.

<sup>187</sup> AILE (2019), *Synthèse technique sur la méthanisation et la matière organique*.

<sup>188</sup> Houot S. et Levavasseur F. (2020), [Digestats : état des connaissances scientifiques actuelles](#), *op. cit.*

dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), tandis que le contenu en matière organique stable reste constant. En termes d'azote, la méthanisation favorise la minéralisation de l'azote organique en ammoniac (NH<sub>3</sub>), ce qui en limite la biodisponibilité. Enfin, le contenu en phosphore et potassium reste identique.

Figure 15 – Méthanisation et matière organique



Source : Girault, 2019

De manière générale, l'épandage de digestats présenterait des effets équivalents à l'épandage des effluents et autres engrais minéraux sans influencer négativement sur le contenu en matière organique des sols<sup>189</sup>. Les effets fertilisants à court terme des digestats restent similaires aux engrais minéraux. La valeur amendante des digestats, c'est-à-dire la capacité à augmenter la matière organique des sols, semble supérieure à plus long terme à celle des intrants, même si l'état initial des sols est un facteur déterminant. Les pertes en carbone pendant le processus de digestion anaérobie semblent compensées par une dégradation moindre du carbone après application sur champ. Cependant, cet aspect reste à approfondir (notamment au niveau de l'impact d'une diminution du carbone facilement biodégradable sur la vie du sol).

En ce qui concerne les propriétés biophysiques du sol, peu d'effets ont été observés en comparaison de systèmes classiques sans apport de digestat. Néanmoins, une attention particulière s'impose quant à la présence éventuelle de métaux lourds (chrome, mercure, zinc, cadmium, etc.) à des niveaux critiques dans certains types de digestats<sup>190</sup>. Ces contaminants sont à risque pour la santé humaine, animale ou végétale (pollution diffuse dans les sols et l'eau). Une actualisation des cahiers des charges a été menée l'année dernière<sup>191</sup>. Elle vise à harmoniser et à consolider les exigences en place. Un meilleur contrôle et une traçabilité renforcée des épandages restent toutefois essentiels pour garantir la sécurité sanitaire des pratiques de valorisation agronomique des digestats.

<sup>189</sup> Wentzel S., Schmidt R. *et al.* (2015), « Response of soil fertility indices to long-term application of biogas and raw slurry under organic farming », *Applied Soil Ecology*, vol. 96, novembre, p. 99-107.

<sup>190</sup> Voir notamment les travaux de Dragicevic I., Trine S. *et al.* (2018) sur la présence de métaux lourds lors de l'épandage des digestats de méthanisation.

<sup>191</sup> Arrêté du 22/10/2020 approuvant un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation d'intrants agricoles et/ou agro-alimentaires en tant que matières fertilisantes.

À ce stade, il reste à noter que ces résultats peuvent varier selon le type de digestats. En effet, plusieurs types existent en fonction de la méthanisation (voie sèche ou humide) et des traitements possibles effectués en entrée/sortie de processus : les digestats bruts, solides et liquides. Le digestat brut, obtenu par voie humide, peut donner après traitement (séparation de phase) un digestat liquide, aux propriétés majoritairement fertilisantes, et un digestat solide, aux propriétés majoritairement amendantes<sup>192</sup>. Le digestat solide peut aussi s'obtenir suite à une méthanisation par voie sèche. Au vu de cette diversité, il est nécessaire de mener des analyses spécifiques selon le contexte et le type de digestats (intrants, process de production). En outre, en termes de pratiques d'épandage, les problématiques restent identiques entre digestats et autres matières (compaction des sols, volatilisation) avec une attention toute particulière liée à la volatilisation ammoniacale, plus importante pour les digestats du fait de leur teneur importante en azote minéral, ce qui constitue une source majeure d'émissions de GES à fort pouvoir réchauffant et de pollution de l'air. L'épandage de digestats doit donc être mis en œuvre au bon moment en fonction du contexte (besoins des cultures, capacité d'absorption, etc.). Un épandage abusif et non contrôlé sur des sols (pour se débarrasser d'un surplus de digestats par exemple) peut entraîner des pollutions plus ou moins importantes dans les sols et les cours d'eau.

En parallèle de la production de digestat, pouvant impacter positivement le contenu en matière organique des sols, les changements de pratiques agricoles associées (non-labour, couverts végétaux, etc.) présentent aussi un rôle majeur, plus important encore que celui de la fertilisation dans l'amélioration du contenu en matière organique des sols<sup>193</sup>. L'adoption de cultures intermédiaires en complément de l'épandage de digestats, et plus spécifiquement de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE), en est un exemple. Ces cultures intermédiaires, en plus d'être destinées à l'alimentation directe d'unités de méthanisation, assurent plusieurs services environnementaux, notamment en termes de séquestration de carbone et d'azote.

L'impact des changements de pratique sur la matière organique peut être étudiée en comparant divers systèmes/successions de culture intégrant à la fois la méthanisation et le développement de CIVE ou de cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN). La mise en place de CIVE favorise le stockage du carbone dans le sol, particulièrement en cas d'épandage de digestat et d'un travail simplifié du sol<sup>194</sup>. En effet, malgré un prélèvement des parties aériennes des CIVE à destination de méthaniseurs, la part de biomasse retournée au sol (chaumes et racines) reste supérieure à celle des CIPAN lorsqu'elles sont non récoltées. La méthanisation seule apporte peu au niveau du stockage carbone des sols, les systèmes d'échanges pailles/résidus-digestat ne modifiant que très peu les impacts et le stockage carbone<sup>195</sup>. Dans certains cas, à pratiques culturales identiques, l'intégration d'unités de méthanisation agricole peut même engendrer des impacts négatifs au niveau de la matière organique. L'évolution associée des systèmes de cultures (moins de labour, mises

---

<sup>192</sup> Les fertilisants apportent les nutriments épuisés ou absents dans le sol tandis que les amendements visent surtout à améliorer la structure physique du sol.

<sup>193</sup> Prays N. et Franko U. (2018), « [Long-term impact of biogas production on soil organic carbon storage](#) », *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, vol. 7, p. 12-22.

<sup>194</sup> Conclusions du projet MethaLAE mené en 2019 par SOLAGRO sur comment la méthanisation peut être un levier de l'agroécologie.

<sup>195</sup> Boissy J. (2019), « [Conférence sur l'évaluation environnementale des systèmes de cultures en interaction avec unité de méthanisation. Cas du méthaniseur CBVER dans la Somme](#) », Agro-Transfert, ressources et territoires, novembre.

en place de doubles cultures, etc.) en interaction avec une unité de méthanisation apparaît donc nécessaire.

Sur la base de ces éléments relatifs à l'impact agronomique de la méthanisation, il a été considéré que dans le cas des résidus de culture, le digestat représente 50 % de la masse initiale entrant dans les unités de biogaz<sup>196</sup>. En tenant compte de cette hypothèse, le volume de résidus retournés au sol après collecte a été réduit de 15 % pour chaque type de résidus de cultures annuelles (en considérant qu'avec une augmentation des unités de production de biogaz, les digestats pourraient compenser les apports nutritifs au sol). Cette hypothèse vise à essayer de mettre en perspective l'estimation des volumes disponibles de résidus de cultures annuelles pour le scénario B (développement de la méthanisation et utilisation du digestat comme engrais naturel). Les résultats actualisés pour le scénario B (appelé B+) sont décrits dans le tableau 44 mais restent très hypothétiques en raison du manque d'informations sur l'impact de l'utilisation du digestat sur les taux de retour des résidus dans le sol.

**Tableau 44 – Analyse de sensibilité pour les résidus de cultures**

Ressource	Volume disponible pour mobilisation (ktMS)		Potentiel énergétique (TWh PCS)	
	Scénario B	Scénario B+	Scénario B	Scénario B+
Pailles de céréales	3 900	5 000	11,1	14,2
Pailles d'oléagineux	1 900	2 370	5,5	6,8
Pailles de protéagineux	320	200	0,7	0,4
Fanes de betteraves	630	630	1,7	1,7
Cannes de maïs	1 670	2 100	4,9	6,1
<b>Total</b>	<b>8 420</b>	<b>10 300</b>	<b>23,9</b>	<b>29,2</b>

Source : les auteurs

En supposant que le digestat de méthanisation peut apporter un apport organique équivalent à 15 % de la quantité totale de résidus retournés au sol, cette analyse de sensibilité montre que le potentiel énergétique des résidus de cultures annuelles atteint 30 TWh principalement en raison d'une plus grande disponibilité de pailles (pailles de céréales notamment). Ces chiffres soulignent que le développement de la méthanisation à partir de résidus de cultures annuelles nécessitera des volumes assez importants et donc une diminution des retours au sol directs. Il est donc crucial de quantifier l'impact du remplacement du retour direct au sol par un retour indirect (utilisant les digestats de méthanisation). D'autres études sont nécessaires pour confirmer ou infirmer la crédibilité de ces estimations.

Une autre manière de quantifier la disponibilité en résidus de cultures serait d'estimer le volume total produit pour chaque scénario et d'anticiper un prélèvement à des fins énergétiques limité au maximum à 20 %, pour garantir un retour au sol conséquent et d'autres volumes d'usages (litière, biomatériaux). Les volumes totaux produits dans chaque scénario s'élèvent à 70,5 MtMS (scénario A) et 66,8 MtMS (scénario B). Un prélèvement maximum de 20 % de ces résidus représenterait donc 14 MtMS pour le scénario A et 13 MtMS pour le scénario B. Ces volumes présenteraient alors un potentiel énergétique

<sup>196</sup> En se basant sur l'étude de l'ADEME et GRDF ([Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?](#), op. cit.).

compris entre 30 et 33 TWh PCS en prenant en compte une valorisation complète par méthanisation. Cette dernière estimation adopte une vision théorique globale ne prenant pas en compte, entre autres, des spécificités des territoires (en termes de besoins agronomiques) mais elle permet de donner un aperçu du potentiel des résidus de cultures. En prenant en compte les précédentes estimations relatives au potentiel énergétique des résidus de cultures, une fourchette large comprise entre 16 et 33 TWh se dessine.

Au vu de ces éléments, un écart conséquent reste visible entre le potentiel énergétique estimé et les objectifs de la SNBC en ce qui concerne la production d'énergie de l'agriculture estimée à plus de 200 TWh. Il est notamment important de rappeler que les scénarios présentés visent uniquement à souligner l'impact de quelques facteurs externes (impact des pertes de rendement, nouvelles pratiques agricoles telles que les couverts végétaux, développement des protéagineux, diminution du cheptel, etc.) sur la disponibilité de la biomasse. Les variations des rendements et des surfaces agricoles sont les principaux paramètres dont l'impact a été étudié. Dans le scénario B, l'adoption d'une agriculture biologique sur 60 % de la surface agricole totale cultivée (un taux d'adoption très élevé) entraîne une baisse de rendement d'environ 20 % dans ces zones (selon le type de cultures). Cette baisse de rendement affecte la disponibilité de la biomasse. Cependant, le développement de nouvelles cultures (protéagineux, oléagineux) entraîne de nouvelles productions et donc de nouvelles disponibilités. Ce paramètre seul ne compense pas la perte de rendement. Les changements de pratiques, l'augmentation des taux de récolte, l'adoption de pratiques agroforestières et de couverts végétaux à plus grande échelle peuvent aider à produire un nouveau type de biomasse (cultures intermédiaires par exemple) contribuant à la production de biogaz, au développement du stockage du carbone dans les sols et à la limitation de la perte de rendement. En particulier, le développement des cultures intermédiaires à vocation énergétique semble présenter un potentiel important.

### 3. Limites de l'exercice

Les estimations présentées ne tiennent pas compte de l'impact positif potentiel des futures pratiques agroécologiques sur les rendements. Les estimations de rendement peuvent donc être considérées comme des hypothèses prudentes, car le développement de la recherche concernant les pratiques agricoles et leur mise en œuvre peuvent réduire l'écart de rendement. Par exemple, la mise en œuvre de nouvelles pratiques de diversification dans les systèmes biologiques, telles que la polyculture et la rotation de cultures, pourrait réduire considérablement l'écart de rendement<sup>197</sup> à  $9 \pm 4 \%$  et  $8 \pm 5 \%$ , respectivement, par rapport à un écart estimé de 20 % entre les rendements biologiques et conventionnels.

Les pratiques agricoles de retour au sol direct – notamment pour les résidus de cultures afin de maintenir la fertilité des sols – sont supposées rester identiques, voire équivalentes en raison de données encore limitées concernant l'impact à long terme des digestats de méthanisation sur les sols. Un système optimisé dans lequel les résidus retournés aux sols sont accompagnés de digestats pourrait augmenter le niveau de mobilisation. Les volumes disponibles pourraient donc être sous-estimés compte tenu de cet aspect. En outre, tous les types de biomasse agricole n'ont pas été inclus dans les estimations des projections.

<sup>197</sup> Ponisio L. C., M'Gonigle L. K. *et al.* (2015), « [Diversification practices reduce organic to conventional yield gap](#) », *op. cit.*

Par exemple, l'évolution de la production de biocarburants 1G et surtout le développement des biocarburants 2G devraient avoir un impact sur la mobilisation des ressources en biomasse lignocellulosique et sur la production d'énergie. Le rôle des coproduits actuellement valorisés en alimentation animale est aussi une question à étudier dans le cadre d'une baisse des cheptels agricoles. L'utilisation de cultures annuelles dédiées à la production énergétique devrait également évoluer dans les années à venir en fonction des orientations politiques.

Par ailleurs, seuls les impacts pouvant être qualifiés de directs ont été pris en compte dans cette étude (la baisse des rendements induite par les nouvelles pratiques en fait partie). Les impacts indirects sont également importants. Par exemple, le changement climatique pourrait avoir un impact sur la disponibilité de l'eau et causer des dommages aux cultures dans certaines régions à certaines époques, ce qui pourrait diminuer la disponibilité de la biomasse et donc accentuer ou créer des compétitions et des conflits d'usages. De nouvelles pratiques agricoles, telles que l'élevage extensif, pourraient également limiter davantage la mobilisation d'effluents. Les paramètres économiques (coûts des ressources, aides financières, évolution du prix du carbone), l'acceptation sociale mais aussi les aspects techniques ont une influence cruciale sur l'évolution des ressources en biomasse et leur mobilisation.

Afin d'améliorer les estimations présentées, une étude sur les besoins en carbone des sols et le cycle de l'azote pourrait également être intéressante afin de mieux évaluer les besoins futurs de retour direct de la biomasse dans les sols. La baisse de la consommation de viande et de produits industriels au profit de céréales ou de légumineuses, le développement de l'agriculture biologique et plus largement des pratiques agroécologiques font partie des caractéristiques les plus importantes de cette transition de notre système alimentaire. Elles entraîneraient des modifications importantes des modes de production et de ce fait des terres cultivées.

L'accroissement de la production de biomasse d'ici à 2050 passera nécessairement par une plus grande diversification des productions végétales (allongement des rotations, développement des légumineuses, cultures associées, couverts, limitation du travail au sol, développement de l'agroforesterie, etc.) et une évolution des productions animales (réduction des effectifs, augmentation de la durée d'élevage, extensification, etc.). En parallèle, ces changements doivent être accompagnés par une évolution des régimes alimentaires pour pouvoir être à même de nourrir une population en hausse et satisfaire aux échanges commerciaux tout en garantissant moins d'impacts environnementaux (baisse des émissions, consommation énergétique, produits phytosanitaires, etc.).

Concernant les productions végétales, la mise en place de nouvelles pratiques agricoles favorisant la diversification des systèmes de cultures paraît nécessaire sur le long terme pour permettre la production de biomasse tout en promouvant des services écosystémiques, réduisant de fait la dépendance aux intrants chimiques sans compromettre grandement les niveaux de rendements<sup>198</sup>. En plus de permettre une production plus variée, la diversification des cultures favorise la biodiversité (pollinisation, lutte contre les parasites). Elle peut améliorer le cycle des éléments nutritifs, la fertilité des sols ainsi que la gestion de l'eau.

---

<sup>198</sup> Tamburini G., Bommarco R. *et al.* (2020.), « Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield », *Science Advances*, vol. 6, n° 45, novembre.

Dans l'optique d'impacts du dérèglement climatique plus fréquents (hausse des températures, sécheresses, parasites, etc.), l'adoption de plusieurs cultures sur une exploitation pourrait aussi réduire le risque de perte de récolte et de revenus (une baisse de production ou de revenu sur une culture donnée pouvant être compensée par une autre production). Cette diversification peut être accompagnée de la mise en place de cultures intermédiaires permettant d'éviter d'avoir des sols sans couvertures végétales mais aussi d'apporter plusieurs avantages agronomiques tout en augmentant la disponibilité de biomasse.

Cependant, le développement de cultures intermédiaires ainsi que la mise en place de rotations plus longues et plus variées ne sont pas garanties et dépendent des disponibilités et échanges en eau, lumière et nutriments. La disponibilité en eau est un facteur d'autant plus important que des déficits hydriques sont envisagés sur le long terme. Une évolution des assolements et des pratiques culturales sont à envisager pour passer d'un modèle fondé sur une production maximale à un modèle faisant converger rentabilité agricole et économie de la ressource en eau<sup>199</sup>. Il est dès lors possible d'envisager une baisse de la productivité en biomasse issue des prairies naturelles et temporaires mais aussi de certains types de résidus agricoles (pailles par exemple). La disponibilité de couverts végétaux méthanisables pourrait aussi être plus limitée que prévu si on considère des rendements impactés par une disponibilité en eau réduite. **Ces deux premiers aspects tendent à montrer qu'une production accrue de biomasse agricole potentiellement mobilisable (énergie, matériaux, etc.) paraît possible en parallèle d'un développement de nouvelles pratiques pouvant augmenter la productivité en biomasse (diversification, couverts végétaux, haies, etc.) sans nuire, entre autres, à la fertilité des sols et à la biodiversité.**

Au niveau de la production animale, une baisse de la consommation de viande peut se traduire par une diminution des cheptels, allant de 10 % à 60 % selon les scénarios, au profit d'une végétalisation accrue. Néanmoins, l'élevage reste amené à jouer un rôle majeur, à ne pas négliger, dans la transition agroécologique. En plus d'optimiser l'usage de certaines surfaces agricoles (terres à faible potentiel agronomique comme les alpages), l'élevage peut dans certains cas (polyculture-élevage extensif) rendre plusieurs services écosystémiques (stockage de carbone dans les prairies permanentes, préservation de la biodiversité, équilibre du cycle de l'azote). La présence d'élevages reste nécessaire aussi bien pour l'utilisation des prairies que pour la consommation ou la valorisation de coproduits végétaux. Une réduction des effectifs permettrait de mettre à disposition certaines terres actuellement utilisées pour produire céréales et protéagineux à destination des élevages. Un « recouplage » des productions animales et végétales pourrait permettre de faciliter le bouclage naturel du cycle de l'azote, les prairies fixant l'azote de l'air, retournant ensuite vers les sols sous forme d'effluents ou de digestats.

En prenant en compte ces changements, la distribution des terres (surfaces) est aussi amenée à évoluer. En anticipant une baisse globale des rendements agricoles (liée aux impacts du changement climatique mais aussi à la généralisation de l'agriculture biologique et de pratiques agroécologiques), plus de surface est nécessaire pour garder constant le niveau de production. La baisse anticipée des productions animales viendrait diminuer la

---

<sup>199</sup> Rapport du CGEDD et CGAER (2020), [Changement climatique, eau, agriculture. Quelles trajectoires d'ici 2050 ?](#), rapport, juillet, 333 p.

production de céréales et de fourrages. Cependant, pour garder la même surface cultivée et satisfaire aux besoins alimentaires, une baisse des exportations devrait être anticipée.

La diminution des cheptels pourrait conduire à de nouvelles possibilités d'utilisation des surfaces en prairies naturelles. D'un côté, ces surfaces pourraient grandement diminuer et évoluer vers d'autres types d'écosystèmes (bois, landes, etc.). De l'autre, une extensification de l'élevage et un développement de la part du pâturage – malgré une baisse des effectifs – pourraient limiter les pertes en prairies et permettre de conserver leurs aménités (biodiversité, stockage carbone, etc.). En parallèle, la diversification des cultures ainsi que le fort développement des légumineuses viendraient augmenter les surfaces de protéagineux et oléagineux.

Toutes ces données amènent donc à s'interroger sur la faisabilité des hypothèses retenues. En effet, la généralisation de pratiques agroécologiques limitant l'apport d'intrants de synthèse ainsi que le développement de nouvelles cultures impliquent plusieurs changements en termes d'apports et de consommation d'azote, élément déterminant le rendement et la qualité des productions. Il est donc important de s'assurer d'un bouclage du cycle global d'azote. Une réduction du recours aux engrais azotés de synthèse doit donc être compensée. Les légumineuses sont de ce fait appelées à jouer un rôle majeur, leurs racines permettant une fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cette fixation symbiotique, à la fois des cultures de protéagineux et d'oléagineux, devrait être multipliée par trois selon les projections de SOLAGRO (dans son scénario Afterres2050) et du WWF (dans son scénario Pulp Fiction). À cela s'ajoute les flux de recirculation : apport d'azote issu des digestats de méthanisation (apport d'azote organique) mais aussi des cultures intermédiaires laissées au sol (retour, après destruction, d'une partie de l'azote fixé sous forme organique). Ces trois flux sont donc les principales entrées d'azote et viennent compenser les principales sorties (pertes par volatilisation, exportations par les cultures, pâtures et fourrages).

Un bouclage du cycle d'azote est donc possible mais repose majoritairement sur le développement des légumineuses, l'utilisation massive des digestats de méthanisation ainsi que sur les cultures intermédiaires laissées aux sols. Ce dernier point est à souligner notamment dans le cadre d'une mobilisation accrue des cultures intermédiaires. Une attention toute particulière doit donc être portée aux équilibres entre production énergétique, consommation d'eau et autres services environnementaux.

## **Conclusion et recommandations**

### **Un potentiel de biomasse agricole qui reste à identifier plus précisément**

La biomasse agricole mobilisée pour la production d'énergie ou de matériaux ne représente pas actuellement des volumes importants. Le niveau d'utilisation de ses ressources est donc encore assez faible. Cela s'explique par le développement limité – pour des raisons techniques ou économiques – des filières de valorisation qui peuvent permettre aux exploitants agricoles de diversifier leurs revenus sans affecter leur production. Les risques de conflit et de compétition entre les usages – notamment entre les usages agronomiques, alimentaires et énergétiques – peuvent également expliquer ce niveau de mobilisation.

Les données disponibles et étudiées ici montrent que les gisements en biomasse agricole sont importants en volume mais très peu mobilisés à l'heure actuelle. Une vigilance toute particulière doit donc être de mise afin de limiter la surexploitation et les externalités négatives qui pourraient contredire l'objectif global de durabilité dans un système agricole en mutation. Les données collectées au niveau national restent assez limitées et insuffisamment mises à jour. Il est donc difficile de dresser un inventaire précis et consolidé de l'utilisation de la biomasse agricole en France (à l'échelle nationale) qui donnerait une meilleure vue d'ensemble de la situation et serait un point de départ pour de futures estimations. Des évaluations plus complètes devraient suivre, en tenant compte des cycles biogéochimiques ainsi que des enjeux socioéconomiques qui sont étroitement liés à la mobilisation de la biomasse. La mise en place de partenariats et de référentiels pouvant être utilisés à différentes échelles territoriales par différents publics est donc bienvenue pour garantir un suivi en continu des gisements de biomasse.

Cette étude et surtout l'analyse des données disponibles concernant les gisements de biomasse ont mis en évidence l'importance d'une gouvernance territoriale coordonnée dans l'évaluation et l'utilisation des ressources. En effet, une utilisation accrue des ressources de biomasse agricole nécessite une meilleure visibilité des gisements actuels, de leur saisonnalité ainsi que des pratiques agricoles associées. Le développement d'un organisme national (sur la base de l'ONRB déjà existant) qui rendrait compte des gisements et de leur utilisation à partir des données émanant des territoires et des initiatives locales semble préférable au développement d'une multitude d'observatoires locaux.

## Des objectifs ambitieux confrontés à plusieurs défis

L'ambition de la France de mobiliser la biomasse pour atteindre son objectif de neutralité carbone en 2050 passera nécessairement par une augmentation de la production énergétique de biomasse (2,5 fois plus qu'aujourd'hui dans le dernier scénario prévu par la SNBC). Tous les types de biomasse devraient contribuer à cet effort et le développement attendu de la bioéconomie devrait permettre une plus grande utilisation de la biomasse pour la production d'énergie *via* les coproduits ou les résidus (la valorisation des résidus de culture et des effluents d'élevage devenant la norme ainsi que le développement des cultures énergétiques intermédiaires). Ces objectifs devraient être atteints grâce à une amélioration et une optimisation des méthodes de production actuelles.

Parallèlement, les systèmes agricoles devraient évoluer dans les années à venir. L'évolution attendue vers des pratiques agricoles plus durables reposant sur la diffusion de pratiques agroécologiques (nouveaux choix de cultures, développement des couvertures végétales et de l'agroforesterie, extensification de l'élevage, diminution des intrants chimiques, augmentation du stockage du carbone dans les sols) peut avoir un impact sur la disponibilité de la biomasse pour l'utilisation énergétique, à court terme mais aussi à long terme. Les scénarios de projection utilisés dans cette étude montrent qu'une légère hausse du taux de mobilisation de la biomasse ainsi que de nouvelles pratiques (agriculture biologique, augmentation des protéagineux, développement de cultures intermédiaires) augmentent la disponibilité totale de la biomasse agricole, même si son niveau reste inférieur aux objectifs projetés par la SNBC à l'horizon 2050.

L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques ne devrait être durable qu'en prenant en compte une évolution globale de notre système alimentaire, donc de notre régime alimentaire, ainsi qu'une sobriété accrue. Cela suggère qu'une évolution vers la neutralité carbone nécessite l'élaboration et le développement d'une programmation ou planification agricole à long terme. Pour cette raison, il est crucial de concilier les politiques énergétiques et leurs implications sur l'agriculture (production alimentaire, limitation de l'imperméabilisation des terres, augmentation du stockage du carbone dans les sols, développement de la biodiversité). La fonction première des productions végétales n'est pas de produire de l'énergie : cela signifie que le développement d'utilisations telles que l'énergie, les matériaux, la chimie doit être clairement défini et réglementé afin de limiter la surexploitation et les externalités négatives qui pourraient contredire l'objectif global de durabilité dans un système agricole en mutation.

Enfin, l'augmentation de la productivité de la biomasse doit s'accompagner de la création et du développement constant de nouvelles chaînes de valeur ajoutée (biocarburants avancés, méthanisation, matériaux d'origine biologique). Ces utilisations devraient être développées avec un soutien spécifique (cadre juridique, incitations économiques) intégrant leurs externalités positives spécifiques. Il est également important de souligner que tant les nouvelles pratiques agricoles (améliorant le stockage du carbone dans les sols) qu'une mobilisation accrue de la biomasse dépendent également de facteurs économiques externes tels que la taxation ou le prix du carbone. La mise en place d'incitations dédiées pourrait favoriser de nouvelles pratiques et la valorisation de la biomasse.

En mettant en œuvre des incitations, des prix réglementés, de nouveaux appels d'offres, un cadre réglementaire révisé, la production d'énergie à partir de la biomasse pourrait être développée en renforçant l'attrait des nouveaux modèles d'utilisation de la biomasse tout en facilitant, à l'échelle nationale, la compréhension et à l'appropriation par les agriculteurs des enjeux liés à la mobilisation de la biomasse. Au cœur de nombreuses attentes, la mobilisation des ressources en biomasse agricole, notamment à des fins énergétiques, doit aller de pair avec un renforcement du dialogue entre filières/secteurs au sein des territoires (maille la plus fine) permettant une conception débattue et partagée (objectifs à définir, données scientifiques transparentes) et plaçant les agriculteurs et exploitants agricoles au cœur de ce projet.

Enfin, notre analyse a porté sur la biomasse agricole dont les spécificités liées aux compétitions entre usages sont fortes. Une analyse complémentaire portant sur les autres ressources en biomasse, et tout particulièrement la ressource forestière, devrait également être menée pour envisager l'ensemble des voies de développement des filières biomasse-énergie dans la perspective des trajectoires fixées par la SNBC et la PPE.



## Bibliographie

- ADEME (2012), [L'exercice de prospection de l'ADEME « Vision 2030-2050 »](#), document technique, 297 p.
- ADEME (2011), « [Feuille de route biocarburants avancés](#) », feuille de route stratégique, janvier, 60 p.
- ADEME, Deloitte, AILE et Alterra Wageningen (2017), [Mobilisation de la biomasse agricole. État de l'art et analyse prospective](#), 184 p.
- ADEME, FCBA et IGN (2016), [Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035](#), document technique, février, 91 p.
- ADEME, FCBA et IFN (2009), [Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020](#), rapport final de convention, 106 p.
- ADEME et GRDF (2018), [Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ? Étude de faisabilité technico-économique](#), rapport de l'étude, janvier, 283 p.
- ADEME, SOLAGRO et INDIGGO (2013), [Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation](#), rapport final, avril, 117 p.
- ADEME et Réseau Action Climat (2020), [Usage des biocarburants « avancés » dans les transports](#), novembre, 12 p.
- Agence Bio (2020), [Les chiffres 2019 du secteur bio](#), dossier de presse, juillet, 32 p.
- Agence européenne pour l'environnement [AEE] (2020), *Adaptation de l'agriculture au changement climatique en Europe*, rapport n°4/2019.
- Agence européenne pour l'environnement [AEE] (2017), [Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016](#), EEA Report, vol. 1/2017, 424 p.
- Agreste (2020), « [Des productions de blé et d'orges en fort recul et des cultures d'été estimées en nette progression](#) », *Agreste Conjoncture – Grandes cultures*, n° 2020-107, août, 5 p.
- Agreste (2020), « [Une production d'herbe ralentie en juillet 2020](#) », *Agreste Conjoncture – Prairies*, n° 2020-106, juillet, 3 p.
- Agreste (2020), [Statistique agricole annuelle, 2018-2019. Données provisoires](#), coll. « Chiffres et données », n° 2, mai, 63 p.
- Agreste (2017), [Statistique agricole annuelle 2014 définitive – 2015 définitive](#).
- Agreste (2018), [Statistique agricole annuelle 2016 définitive – 2017 provisoire](#).
- AILE (2019), « [Conférence sur la méthanisation et la matière organique – Synthèse technique](#) ».
- Alcimed et ADEME (2015), [Marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030](#), rapport de l'étude. 33 p.
- Arvalis (2020), « [Cultures intermédiaires](#) », *Perspectives agricoles*, n° 473, janvier.

- Balny P., Domallain D. et al. (2015), [Promotion des systèmes agroforestiers. Propositions pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux productions agricoles](#), CGAAER, rapport public n° 14094, février, 79 p.
- Béchet B., Ruas A. et al. (2017), [Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols: déterminants, impacts et leviers d'actions](#), INRA et IFSTTAR, décembre, 622 p.
- Besnard A., Ferchaud F. et al. (2014), « [Le lignoguide : une aide au choix des cultures biomasse](#) », *Innovations agronomiques*, n° 34, p. 35-50.
- Bichat H. et Mathis P. (2013), *La biomasse, énergie d'avenir ?*, Paris, Quae, coll. « Enjeux sciences ».
- Boissy J. (2019), « [Conférence sur l'évaluation environnementale des systèmes de cultures en interaction avec unité de méthanisation. Cas du méthaniseur CBVER dans la Somme](#) », Agro-Transfert, ressources et territoires, novembre.
- Börjeson L., Höjet M. et al. (2006), « Scenario types and techniques: Towards a user's guide », *Futures*, vol. 33, n° 7, p. 723-739.
- Broust F., Girard P, Van de Steene L. (2013), « Biocarburants de seconde génération et bioraffinerie », *Techniques de l'ingénieur*, février.
- Carleton T. A. et Hsiang S. M. (2016), « Social and economic impacts of climate », *Science*, vol. 253, n° 6304, septembre.
- Centre commun de recherche de la Commission européenne [CCR/JRC] (2020), [Analysis of Climate Change Impacts on EU Agriculture by 2050](#), 33 p.
- CGEDD et CGAAER (2020), [Changement climatique, eau, agriculture. Quelles trajectoires d'ici 2050 ?](#), rapport, juillet, 333 p.
- Citepa (2020), [Adoption formelle de la 2e Stratégie nationale bas-carbone et des trois prochains budgets carbone](#), mai (consulté en août 2020).
- Committee on Climate Change [CCC] (2018), [Biomass in a Low-Carbon Economy](#), novembre, 162 p.
- Coop de France (2019), « [Maîtrise de la qualité des issues de silos et de leurs débouchés](#) », *Les enquêtes de Coop de France*, septembre, 12 p.
- Commissariat général au développement durable et EFSE (2019), [La séquestration du carbone par les écosystèmes français, Paris, La Documentation française](#), coll. « Théma Analyse », 102 p.
- Courteau R. et Fugit J.-L. (2020), [L'Agriculture face au défi de la production d'énergie](#), rapport n° 646 (2019-2020), fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, juillet, 211 p.
- Cordelier M. (2019), « [Présentation du projet MethaLAE : comment la méthanisation peut être un levier de l'agroécologie](#) », avril, 25 p.
- Cruciani M. (2020), « [Bioénergies : quelle contribution à l'objectif européen de neutralité climatique ?](#) », *Études de l'Ifri*, juillet, 49 p.
- Davies J., Mengersen K. et al. (2014), « [Viewing systematic reviews and meta-analysis in social research through different lenses](#) », *SpringerPlus*, vol. 3, article 511.

Décret n°2016-929 (2016), [Décret du 7 juillet 2016 pris pour l'application de l'article L. 541-39 du Code de l'environnement](#).

Deutsch C. A., Tewksbury J. J. *et al.* (2018), « [Increase in crop losses to insect pests in a warming climate](#) », *Science*, vol. 361, n° 6405, août, p. 916-919.

De Ponti T., Rijk B. *et al.* (2012), « The crop yield gap between organic and conventional agriculture », *Agricultural Systems*, vol. 108, avril, p. 1-9.

Dragicevic I., Trine S. *et al.* (2018), « Recycling of biogas digestates in crop production – soil and plant trace metal content and variability », *Sustainable Food Systems*, vol. 2 (2018), p. 1-14.

Drake B. G., González-Meler M. A. *et al.* (1997), « More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>? », *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 48, p. 609-639.

Duprarque A. et Rigalle P. (2011), Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert; [repris par la chambre d'agriculture - Occitanie](#).

Fosse J. *et al.* (2019), [Objectif « zéro artificialisation nette » : quels leviers pour protéger les sols](#), rapport, France Stratégie, juillet, 54 p.

FranceAgriMer (2020), [Étude sur la formation des prix dans la filière française de production de miscanthus](#), rapport, août, 60 p.

FranceAgriMer (2017), « [Proposition d'une méthodologie de calcul de la SAU allouée à la production de biocarburants](#) », *Études biocarburants*, 2 p.

FranceAgriMer (2010), « [Filière bovine](#) », *Les cahiers de FranceAgriMer 2010 – Chiffres clés*, septembre, 18 p.

FranceAgriMer et ADEME (2019), [Évaluation des impacts de 3 scénarios de développement des biocarburants pour la LTECV](#), rapport, juin, 73 p.

Garratt M. P. D., Bommarco R. *et al.* (2018), « [Enhancing soil organic matter as a route to the ecological intensification of European arable systems](#) », *Ecosystems*, vol. 21, février, p. 1404-1415.

GIEC (2014), [Changement climatique 2014 : rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport du GIEC](#), 161 p.

Girault R. (2019), « Présentation sur les déterminants de l'évolution des matières organiques en lien avec les procédés de transformation – Volet Méthanisation », École-chercheurs SYST'MO, novembre.

Guyomard H. *et al.* (2013), [Vers des agricultures à hautes performances. Analyse des performances de l'agriculture biologique](#), Commissariat général à la stratégie et à la prospective, vol. 1, septembre, 372 p.

Hansen J. H., Hamelin L. *et al.* (2020), « [Agricultural residues bioenergy potential that sustain soil carbon depends on energy conversion pathways](#) », *GCB Bioenergy*, vol. 12, août, p. 1002-1013.

Harrell M. C. et Bradley M. A. (2009), *Data Collection Methods. Semi-Structured Interviews and Focus Groups*, Santa Monica (CA), RAND Corporation.

- Houghton R. G, Hall F. et Goetz S. J. (2009), « [Importance of biomass in the global carbon cycle](#) », *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, n° G2.
- Houot S. et Levavasseur F. (2020), [Digestats : état des connaissances scientifiques actuelles, focus sur le retour au sol](#), novembre, 27 p.
- IAR et FRD (2020), [Panorama des marchés. « Fibres végétales techniques en matériaux » \(hors bois\) en France](#), vol. 1, coll. « Mémento 2020 », 25 p.
- INAO (2018), « [Dernières conclusions du comité national de l'agriculture biologique](#) », communiqué de presse, 12/2018.
- Insee (2018), « [L'agriculture française en Europe de 2000 à 2015](#) », *Insee Première*, n° 1704, juillet, 4 p.
- Kallio H., Pietilä A.-M. et al. (2016), « Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide », *Journal of Advanced Nursing*, vol. 72, n° 12, décembre, p. 2954-2965.
- Kargbo H., Harris J. S. et al. (2021), « [“Drop-in” fuel production from biomass: critical review on techno-economic feasibility and sustainability](#) », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, janvier, p. 110-168.
- Khan K. S., Kunz R. et al. (2003), « [Five steps to conducting a systematic review](#) », *Journal of the Royal Society of Medicine*, vol. 96, n° 3, mars, p. 118-121.
- Loi n° 2015-992 (2015), [Loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte \(LTCEV\)](#).
- Loi n° 2019-1147 (2019), [Loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat](#).
- Marsac S., Heredia M. et al. (2018), [ELBA : un outil de référence pour l'évaluation de ressource en biomasse agricole en France](#), rapport d'expertise, ADEME/GAO/IFIP/Institut de l'Élevage/ITAVI, mai, 33 p.
- Mergel I., Edelmann N. et al. (2019), « [Defining digital transformation: Results from expert interviews](#) », *Government Information Quarterly*, vol. 36, n° 4, octobre, p. 101-385.
- Ministère de la Transition écologique (2020), [Stratégie française pour l'énergie et le climat. Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023, 2024-2028](#), novembre, 399 p.
- Ministère de la Transition écologique (2020), [Stratégie nationale bas-carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone](#), mars, 192 p.
- Ministère de la Transition écologique (2018), [Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse](#), 131 p.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2020), « [Stratégie nationale sur les protéines végétales](#) » (consulté en septembre 2020).
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2020), « [Revenus issus de la méthanisation agricole dans un contexte de développement de l'injection – Analyse n°153](#) », août.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2018), « [A bio-economy strategy for France: 2018-2020 Action plan](#) », octobre (consulté en août 2020).
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2018), « [Ambition Bio 2020 – Plan d'actions des acteurs de l'agriculture et de l'alimentation en France](#) », juin (consulté en août 2020).

- Moller K. (2015), « [Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review](#) », *Agronomy Sustainable Development*, vol. 35, juillet, p. 1021-1041.
- Müller C. et Robertson R. D. (2014), « Projecting future crop productivity for global economic modeling », *Agricultural Economics*, vol. 45, n° 1, décembre.
- Nations unies (2015), *CCNUCC Conference of the Parties – Adoption of the Paris Agreement*, décembre, 32 p. (U.N. Doc. : FCCC/CP/2015/L.9/Rev/1).
- ONRB (2016), [Évaluation des ressources disponibles en France](#), Observatoire national des ressources en biomasse, décembre, 123 p.
- ONRB (2020), [Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition 2020](#), Observatoire national des ressources en biomasse, 89 p.
- Ontl T. A. et Schulte L. A. (2012), « [Soil Carbon Storage](#) », *Nature Education Knowledge*, vol. 3, n° 10, janvier.
- Parlement européen et Conseil de l'UE (2009), [Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE](#), Journal officiel de l'Union européenne L140/16.
- Parlement européen et Conseil de l'UE (2018), [Directive \(UE\) 2018/2001 du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables](#), Journal officiel de l'Union européenne L382/82.
- Parlement européen et Conseil de l'UE (2018), [Directive 2018/2012 du 11 décembre 2018 modifiant la Directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique](#), Journal officiel de l'Union européenne L328/210.
- Parlement européen et Conseil de l'UE (2018), [Règlement 2018/841 du 30 mai 2018 relatif à la prise en compte des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie dans le cadre d'action en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030, et modifiant le règlement \(UE\) n° 525/2013 et la décision \(UE\) n° 529/2013](#), Journal officiel de l'Union européenne L156/1.
- Pellerin S., Bamière L. et al. (2019), [Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ?](#), rapport d'étude, INRA, 114 p.
- Peterson G. D., Cumming G. S. et al. (2003), « Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world », *Conservation Biology*, vol. 17, n° 2, mars, p. 358-366.
- Ponisio L. C., M'Gonigle L. K. et al. (2015), « [Diversification practices reduce organic to conventional yield gap](#) », *Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, n° 1799, janvier.
- Poux X., Aubert P.-M. et al. (2018), « [Une Europe agroécologique en 2050: Une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine](#) », *IDDRI Study*, n° 09/18, septembre.
- Prays N. et Franko U. (2018), « [Long-term impact of biogas production on soil organic carbon storage](#) », *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, vol. 7, p. 12-22.

- Quinet A. (2019), [La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluera les investissements et les politiques publiques](#), rapport, France Stratégie, février, 190 p.
- RMT Biomasse et Territoires (2016), *Optimisation des filières logistiques biomasse agricole*.
- Sia Partners (2020), [Observatoire du biométhane. État des lieux de la filière biométhane en France](#), mai, 29 p.
- SDES (2020), [Chiffres clés des énergies renouvelables](#), Datalab Énergie, Édition 2020, juillet, 92 p.
- SDES (2019), [Chiffres clés de l'énergie](#), Datalab Énergie, Édition 2019, septembre, 80 p.
- Seufert V., Ramankutty N. *et al.* (2012), « Comparing the yields of organic and conventional agriculture », *Nature*, vol. 485, n° 7397, mai, p. 229-232.
- Snyder H. (2019), « Literature review as a research methodology: An overview and guidelines », *Journal of Business Research*, vol. 104, novembre, p. 333-339.
- Syndicat énergies renouvelables (2021), [Panorama annuel du gaz renouvelable](#), 32 p.
- Tamburini G., Bommarco R. *et al.* (2020), « Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield », *Science Advances*, vol. 6, n° 45, novembre.
- Terres Univia (2020), « [Vers une stratégie nationale pour améliorer notre souveraineté en protéines végétales](#) », 4 p.
- Thomsen I. K., Olesen J. E. *et al.* (2013), « Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces », *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 58, mars, p. 82-87.
- Vaitilingom G., Mouloungui Z. *et al.* (2021), « [Vers une génération plus verte de biodiesels](#) », OCL, vol. 28, n° 1, janvier.
- Wezel A., Casagrande M. *et al.* (2014), « [Agroecological practices for sustainable agriculture. A review](#) », *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 34, septembre, p. 1-20.
- Wentzel S., Schmidt R. *et al.* (2015), « Response of soil fertility indices to long-term application of biogas and raw slurry under organic farming », *Applied Soil Ecology*, vol. 96, novembre, p. 99-107.
- WWF et GRDF (2020), [Méthanisation agricole. Quelles conditions de durabilité pour la filière en France ?](#), mars, 43 p.

## Annexe 1

### Détails des estimations des différents volumes

#### Principales études et données fournies

Type	Année	Titre	Périmètre d'étude	Données fournies
Étude	2017	ADEME <a href="#"><u>Mobilisation de la biomasse agricole : état de l'art et analyse prospective</u></a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effluents d'élevage</li> <li>• Résidus de cultures</li> <li>• Cultures dédiées</li> <li>• Plantes à fibres</li> <li>• Cultures intermédiaires</li> <li>• Cultures annuelles</li> <li>• Vignes et vergers</li> <li>• Haies et alignements</li> <li>• Surplus d'herbes</li> <li>• Issues de silos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production totale</li> <li>• Surfaces</li> <li>• Volumes potentiellement mobilisables</li> <li>• Volumes mobilisés</li> <li>• Taux de mobilisations</li> </ul>
Étude	2009	ADEME, IFN, FCBA et SOLAGRO <a href="#"><u>Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020</u></a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haies et alignements</li> <li>• Vignes et vergers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surfaces développées</li> <li>• Productivité</li> <li>• Volumes bruts</li> <li>• Volumes disponibles (technico-économique)</li> <li>• Volumes mobilisés</li> </ul>
Étude	2013	ADEME, SOLAGRO, INDIGGO <a href="#"><u>Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation</u></a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effluents d'élevage</li> <li>• Résidus de cultures</li> <li>• Cultures intermédiaires</li> <li>• Surplus d'herbes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume totaux produits</li> <li>• Volume mobilisables</li> <li>• Taux de mobilisation</li> </ul>
Étude	2016	FranceAgriMer, ONRB <a href="#"><u>Évaluation des ressources disponibles en France</u></a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effluents d'élevage</li> <li>• Résidus de cultures</li> <li>• Cultures annuelles</li> <li>• Cultures dédiées</li> <li>• Plantes à fibres</li> <li>• Plantes à parfum</li> <li>• Vignes et vergers</li> <li>• Issues de silos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumes totaux produits</li> <li>• Volumes contraints</li> <li>• Volumes mobilisés</li> </ul>
Étude	2020	FranceAgriMer, ONRB <a href="#"><u>Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France</u></a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effluents d'élevage</li> <li>• Résidus de cultures</li> <li>• Cultures dédiées</li> <li>• Plantes à fibres</li> <li>• Plantes à parfum</li> <li>• Vignes et vergers</li> <li>• Issues de silos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumes totaux produits</li> <li>• Volumes contraints</li> <li>• Volumes mobilisés</li> </ul>
Outil	2018	ELBA Évaluation de la biomasse agricole	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effluents d'élevage</li> <li>• Résidus de cultures</li> <li>• Cultures dédiées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumes totaux produits</li> <li>• Volumes mobilisables</li> <li>• Volumes durablement mobilisables</li> </ul>
Données statistiques	2020	SSP - Service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultures développées</li> <li>• Fourrages</li> <li>• Prairies</li> <li>• Surfaces en herbe</li> <li>• Vignes et vergers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surfaces développées</li> <li>• Rendements</li> </ul>

Données statistiques 2020	ONRB - Observatoire national des ressources en biomasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effluents d'élevage</li> <li>• Résidus de cultures</li> <li>• Cultures dédiées</li> <li>• Plantes à fibres</li> <li>• Plantes à parfum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumes produits</li> <li>• Volumes contraints</li> <li>• Volumes utilisés</li> <li>• Paramètres de récoltes</li> </ul>
---------------------------	---	--	--

Source : les auteurs

### Un exemple de quantification : les pailles de colza (oléagineux)

La quantification des volumes produits disponibles et des disponibilités supplémentaires se fonde sur plusieurs types de données (surfaces, rendements, paramètres de récolte, contraintes, usages, etc.) qui diffèrent selon la ressource considérée. La méthodologie présentée ici s'applique pour les résidus de cultures. Elle vise à détailler la démarche, les calculs et les hypothèses utilisés lors de la phase de quantification (dont les résultats sont présentés au chapitre 3 de cette étude).

Les pailles d'oléagineux sont des résidus de cultures annuelles issus de colza, tournesol, lin, soja, cameline ou encore moutarde. Pour chaque type de ressource, le détail de ces constituants est ainsi requis afin d'estimer les volumes disponibles de la manière la plus précise. La méthode d'estimation est identique pour chaque constituant (colza, tournesol, etc.). Le tableau ci-dessous vise à présenter un exemple en détaillant les éléments associés à la quantification des pailles de colza.

#### Estimation de la production en pailles, par région

Régions administratives	Pailles de colza (VTP) PAC tMS	Superficie régionale PAC ha	Rendement grain tMB/ha	Rendement paille tMS/ha	Taux d'humidité %	Hi* indice
Auvergne-Rhône-Alpes	487 025	48 074	3,14	10,13	9 %	0,22
Bourgogne-Franche-Comté	1 864 421	189 466	3,05	9,84	9 %	0,22
Bretagne	587 468	53 554	3,40	10,97	9 %	0,22
Centre-Val-de-Loire	3 231 586	327 326	3,06	9,87	9 %	0,22
Corse	0	0	--	--	9 %	0,22
Grand Est	3 127 648	316 799	3,06	9,87	9 %	0,22
Hauts-de-France	1 885 998	161 480	3,62	11,68	9 %	0,22
Île-de-France	847 065	77 676	3,38	10,91	9 %	0,22
Normandie	1 442 597	136 319	3,28	10,58	9 %	0,22
Nouvelle-Aquitaine	1 255 329	157 524	2,47	7,97	9 %	0,22
Occitanie	397 184	49 242	2,50	8,07	9 %	0,22
Paca	6 794	975	2,16	6,97	9 %	0,22
Pays de la Loire	778 498	93 163	2,59	8,36	9 %	0,22
<b>France</b>	<b>15 911 614</b>	<b>1 611 599</b>				

\* Hi = indice de récolte.

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer

L'estimation des volumes produits se fonde sur les données disponibles en termes de surface et de rendement (en grain) à l'échelle régionale. Ces données permettent de quantifier une production en paille à partir des rendements en paille, des taux d'humidité et de l'indice de récolte. Tous ces paramètres proviennent de sources diverses (déclaration de la PAC, SSP, données de FranceAgriMer, études spécifiques, dires d'experts, etc.).

Vient ensuite l'identification des volumes non récoltables. Ces volumes dépendent grandement du type de pailles mais aussi du type d'exploitation (polyculture-élevage ou autres orientations). Ces paramètres proviennent des travaux du GIE GAO (*Étude sur les paramètres techniques, la quantification régionale, la production et la valorisation des pailles*, 2018). La part de SAU en polyculture-élevage est déterminée par FranceAgriMer. Dans le cas des pailles de colza, le taux de non-récoltabilité pour les polyculteurs-éleveurs est le même que celui appliqué aux autres orientations agricoles, soit 60 %. Pour les autres oléagineux, le taux de non-récoltabilité est de 100 %, les pailles n'étant tout simplement pas récoltées.

### Estimation du volume théorique disponible en pailles, par région

Régions administratives	VTP pailles de colza PAC	Part de SAU polyculture-élevage dans SAU régionale	Part de paille non récoltable polyculteurs-éleveurs		Part de paille non récoltable autres orientations		Volume théorique disponible en pailles de colza tMS
	tMS		%	%	tMS	%	
Auvergne-Rhône-Alpes	487 025	18 %	60 %	52 599	60 %	239 616	194 810
Bourgogne-Franche-Comté	1 864 421	18 %	60 %	201 357	60 %	917 295	745 768
Bretagne	587 468	9 %	60 %	31 723	60 %	320 758	234 987
Centre-Val-de-Loire	3 231 586	6 %	60 %	116 337	60 %	1 822 614	1 292 634
Corse	0	--	60 %	0	60 %	0	0
Grand Est	3 127 648	15 %	60 %	281 488	60 %	1 595 101	1 251 059
Hauts-de-France	1 885 998	7 %	60 %	79 212	60 %	1 052 387	754 399
Île-de-France	847 065	2 %	60 %	10 165	60 %	498 074	338 826
Normandie	1 442 597	9 %	60 %	77 900	60 %	787 658	577 039
Nouvelle-Aquitaine	1 255 329	12 %	60 %	90 384	60 %	662 814	502 132
Occitanie	397 184	12 %	60 %	28 597	60 %	209 713	158 874
Paca	6 794	8 %	60 %	326	60 %	3 751	2 718
Pays de la Loire	778 498	14 %	60 %	65 394	60 %	401 705	311 399
<b>France</b>	<b>15 911 614</b>			<b>1 035 483</b>		<b>8 511 485</b>	<b>6 364 645</b>

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer

À ces volumes non récoltables viennent s'ajouter les volumes retournés au sol. Là encore, ces volumes sont déterminés à partir de données du GIE GAO pour chaque type de ressources (données reprises par l'ONRB) en prenant en compte la fréquence de récoltes ne pénalisant pas la fertilité des sols. En cas d'absence de fréquence pour une ressource

particulière, la fréquence définie pour « toutes cultures » a été appliquée (méthodologie identique à celle de l'ONRB).

### Détails de l'estimation des volumes en pailles retournés au sol, par région

Région administrative	Volume de retour au sol pailles de colza tMS	Fréquence de récolte ne pénalisant pas la fertilité des sols %	Volume disponible en pailles de colza tMS
Auvergne-Rhône-Alpes	138 315	29 %	56 495
Bourgogne-Franche-Comté	622 717	17 %	123 052
Bretagne	159 791	32 %	75 196
Centre-Val-de-Loire	1 008 255	22 %	284 380
Corse	0	0 %	21
Grand Est	838 210	33 %	412 850
Hauts-de-France	645 011	15 %	109 388
Île-de-France	308 332	9 %	30 494
Normandie	464 516	20 %	112 523
Nouvelle-Aquitaine	380 365	24 %	121 767
Occitanie	43 690	73 %	115 183
Paca	2 609	4 %	109
Pays de la Loire	236 664	24 %	74 736
<b>France</b>	<b>4 848 474</b>		<b>1 516 194</b>

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer

Enfin, pour déterminer les disponibilités supplémentaires, une dernière estimation est nécessaire. Celle-ci vise à déterminer les différents usages de la ressource disponible. Ces usages peuvent être énergétiques, à destination des besoins de l'élevage (litière), de la filière biomatériaux, etc. Dans le cas des pailles d'oléagineux, un seul usage a été identifié (usage énergétique). Celui-ci se base sur des estimations globales de l'ADEME concernant les résidus de cultures. Il a donc été réparti par type de ressource selon les disponibilités. Cela permet d'avoir un aperçu des disponibilités supplémentaires. Néanmoins, cet usage déterminé dans ce cas précis ne prend pas en compte l'aspect territorial présenté jusqu'ici.

La méthode exposée ici est similaire pour toutes les ressources non alimentaires étudiées (soit 10 grandes catégories), à l'exception des surplus en herbes, des cultures intermédiaires et des haies et alignements d'arbres, qui n'intègrent pas cette dimension régionale (volumes estimés directement à l'échelle nationale). Les paramètres et facteurs utilisés varient selon la ressource comme les usages (compost, brûlage sur place, biomatériaux, litière animale, etc.). Certaines données peuvent être surestimées, l'objectif de ce travail est de présenter une estimation plausible des disponibilités tout en gardant en tête que les chiffres avancés représentent un potentiel figé pouvant être affiné.

### Un exemple de projection : les pailles de colza (oléagineux)

La projection est un exercice complexe nécessitant la prise en compte de nombreux facteurs externes. Les projections réalisées dans cette étude prennent en compte des changements quantifiables en termes de surface, rendement et usages. Dans le cas des résidus de cultures, aux nouvelles surfaces prises en compte s'ajoutent des variations en termes de rendements, liées à des pratiques agricoles différentes (développement de l'agriculture bio par exemple). À cela s'ajoutent de légers changements en termes de taux de récolte (dans le scénario B), mais aussi une baisse des besoins en paille de l'élevage (du fait d'une diminution des effectifs). Toutes ces données sont traduites de la même manière que pour la phase de quantification, dans plusieurs tableaux présentés ci-dessous.

Le même type de ressource est considéré dans cette partie (paille de colza). Dans un premier temps, pour chaque scénario, de nouvelles surfaces agricoles ont été attribuées avec une part d'agriculture biologique variant selon les scénarios. Pour chaque région ont donc été déterminés une superficie bio, une superficie non bio, un rendement moyen bio et un rendement moyen non bio permettant d'estimer la production de grains dans chaque cas de figure et donc un rendement en grain global.

#### Détermination des nouveaux paramètres de cultures pour le scénario A

Régions administratives	Nouvelle superficie ha	Superficie bio ha	Superficie non bio ha	Rendement bio tMB/ha	Rendement non bio tMB/ha	Production bio tMB	Production non bio tMB	Production totale tMB	Rendement moyen grain tMB/ha
Auvergne-Rhône-Alpes	33 021	6 604	26 417	1,73	3,14	11 406	82 950	94 355	2,86
Bourgogne-Franche-Comté	130 142	26 028	104 114	1,68	3,05	43 663	317 547	361 209	2,78
Bretagne	36 786	7 357	29 429	1,87	3,40	13 758	100 057	113 815	3,09
Centre-Val-de-Loire	224 837	44 967	179 870	1,68	3,06	75 680	550 401	626 081	2,78
Corse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grand Est	217 606	43 521	174 084	1,68	3,06	73 246	532 698	605 944	2,78
Hauts-de-France	110 919	22 184	88 735	1,99	3,62	44 168	321 221	365 389	3,29
Île-de-France	53 355	10 671	42 684	1,86	3,38	19 837	144 271	164 109	3,08
Normandie	93 636	18 727	74 909	1,80	3,28	33 784	245 702	279 486	2,98
Nouvelle-Aquitaine	108 202	21 640	86 561	1,36	2,47	29 398	213 807	243 205	2,25
Occitanie	33 824	6 765	27 059	1,38	2,50	9 302	67 648	76 950	2,28
Paca	670	134	536	1,19	2,16	159	1 157	1 316	1,97
Pays de la Loire	63 993	12 799	51 194	1,42	2,59	18 232	132 593	150 825	2,36

Source : les auteurs

Une fois ces nouvelles données déterminées, la détermination des volumes produits, disponibles et supplémentaires est menée de la même manière que la première quantification, avec cependant certains nouveaux paramètres. Par exemple, dans le cas du scénario B, les volumes non récoltables sont moins importants (diminution de 10 %), comme le montre le tableau suivant.

### Estimation du volume théorique disponible en pailles pour le scénario B

Régions administratives	VTP pailles de colza PAC	Part de SAU polyculture-élevage dans SAU régionale	Part de paille non récoltable polyculteurs-éleveurs		Part de paille non récoltable autres orientations		Volume théorique disponible en pailles de colza
	tMS	%	%	tMS	%	tMS	tMS
Auvergne-Rhône-Alpes	244 209	18 %	50 %	21 979	50 %	100 126	122 104
Bourgogne-Franche-Comté	934 875	18 %	50 %	84 139	50 %	383 299	467 438
Bretagne	294 574	9 %	50 %	13 256	50 %	134 031	147 287
Centre-Val-de-Loire	1 620 411	6 %	50 %	48 612	50 %	761 593	810 206
Corse	0	--	50 %	0	50 %	0	0
Grand Est	1 568 294	15 %	50 %	117 622	50 %	666 525	784 147
Hauts-de-France	945 694	7 %	50 %	33 099	50 %	439 748	472 847
Île-de-France	424 743	2 %	50 %	4 247	50 %	208 124	212 372
Normandie	723 360	9 %	50 %	32 551	50 %	329 129	361 680
Nouvelle-Aquitaine	629 459	12 %	50 %	37 768	50 %	276 962	314 729
Occitanie	199 160	12 %	50 %	11 950	50 %	87 630	99 580
Paca	3 407	8 %	50 %	136	50 %	1 567	1 703
Pays de la Loire	390 362	14 %	50 %	27 325	50 %	167 856	195 181
<b>France</b>	<b>7 978 548</b>			<b>432 664</b>		<b>3 556 589</b>	<b>3 989 274</b>

Source : les auteurs, à partir de données fournies par FranceAgriMer

Pour les autres types de ressources, la méthodologie d'estimation des nouvelles disponibilités est similaire. Les principales différences résident dans le type de paramètre variable (surface, rendement, usage, etc.). Comme discuté dans le corps de cette étude, ces projections restent assez limités et visent principalement à montrer l'impact de plusieurs facteurs sur la disponibilité en biomasse<sup>200</sup>.

<sup>200</sup> Certains paramètres comme la fréquence de retour au sol ou la part d'exploitations en polyculture-élevage ont été estimés constants (hypothèse conservatrice), faute de données fiables sur leur évolution à long terme.

## Annexe 2

### Potentiel énergétique des ressources agricoles

#### Détails des taux de conversion énergétique des différentes ressources – Combustion

Ressources	Combustion		
	Taux de conversion	Unité	Source
Fibres de lin	4,4	MWh/t	ADEME 2017
Chanvre	4,38	MWh/t	ADEME 2017
Fibres de lin	0,378	tep/t	ADEME 2017
Chanvre	0,377	tep/t	ADEME 2017
CIVE	0,087	tep_PCI/tMB	SNMB - ADEME 2013
CIVE	0,395	tep_PCI/tMB	SNMB - ADEME 2013
Pailles de lavande/lavandin	0,43	tep/tMS	CRIEPPAM 2008
Issues de silos	0,429	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Issues de silos	4-5	MWh/t	ADEME 2017
Issues de silos	0,343-0,429	tep/t	ADEME 2017
Herbe	4,2	MWh/t	ADEME 2017
Herbe	0,361	tep/t	ADEME 2017
Herbe	0,394	tep/tMB	SNMB - RECORD 2010
Pailles d'oléagineux	0.403	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010
Pailles d'oléagineux	4,2	MWh/t	ADEME 2017
Pailles d'oléagineux	0,361	tep/t	ADEME 2017
Pailles de céréales	0,394	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010
Pailles de céréales	4	MWh/t	ADEME 2017
Pailles de céréales	0,344	tep/t	ADEME 2017
Cannes de maïs	0,414	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010
Cannes de maïs	4	MWh/t	ADEME 2017
Cannes de maïs	0,344	tep/t	ADEME 2017
Miscanthus/Switchgrass	0,44	tep_PCI/tMS	SNMB RMT Biomasse
Miscanthus/Switchgrass	5,14	MWh/t	ADEME 2017
Miscanthus/Switchgrass	0,441	tep/t	ADEME 2017
TCR/TTCR	5,2	MWh/t	ADEME 2017
TCR/TTCR	0,447	tep/t	ADEME 2017
TCR	0,207	tep/m <sup>3</sup>	SNRB
Résidus de vigne	0,343	tep/tMS	SNMB RECORD 2010
Résidus de verger	0,343	tep/tMS	SNRB
Résidus de verger	3-5	MWh/t	ADEME 2017
Résidus de verger	0,257-0,429	tep/t	ADEME 2017
Haies et agroforesterie	0,207	tep/m <sup>3</sup>	SNMB Projet Carbofor

PCI = pouvoir calorifique inférieur.

CIVE = culture intermédiaire à vocation énergétique.

Source : les auteurs, à partir des sources présentées dans le tableau

## Détails des taux de conversion énergétique des différentes ressources – Méthanisation

Ressources	Méthanisation		
	Taux de conversion	Unité	Source
Lisier	0,01	tep/tMB	SNMB - ADEME 2013
Lisier	15	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMB	IRSTEA
Lisier	0,012	tep/tMB	IRSTEA
Fumier	0,028	tep/tMB	SNMB - ADEME 2013
Fumier	33-47	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMB	IRSTEA
Fumier	0,027-0,039	tep/tMB	IRSTEA
CIVE	0,041	tep/tMB	SNMB - ADEME 2013
CIVE	0,186	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
CIVE	230	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	ADEME 2017
CIVE	0,192	tep/tMS	ADEME 2017
CIVE	100-200	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	RAGT semences 2018 (FNR 2010)
CIVE	0,083-0,167	tep/tMS	RAGT semences 2018 (FNR 2010)
Issues de silos	0,215	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Issues de silos	250	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	ADEME 2017
Issues de silos	0,209	tep/tMS	ADEME 2017
Herbes	175	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t	ADEME 2017
Pailles de protéagineux	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Pailles d'oléagineux	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Pailles d'oléagineux	117-253	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	ADEME 2017
Pailles d'oléagineux	0,098-0,211	tep/tMS	ADEME 2017
Pailles de céréales	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Pailles de céréales	221	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	ADEME 2017
Pailles de céréales	0,184	tep/tMS	ADEME 2017
Fanes de betteraves	0,236	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Fanes de betteraves	275	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	ADEME 2017
Fanes de betteraves	0,229	tep/tMS	ADEME 2017
Cannes de maïs	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Cannes de maïs	243	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMS	ADEME 2017
Cannes de maïs	0,203	tep/tMS	ADEME 2017

Nm<sup>3</sup> = normomètre cube de méthane.

Source : les auteurs, à partir des sources présentées dans le tableau

### Taux de conversion retenus – Combustion

Ressources	Combustion		
	Taux de conversion	Unité	Source
Fibres de lin	0,378	tep/t	ADEME 2017
Chanvre	0,377	tep/t	ADEME 2017
CIVE	0,395	tep_PCI/tMS	SNMB - ADEME 2013
Pailles de lavande et lavandin	0,43	tep/tMS	ONRB - CRIEPPAM. 2008
Issues de silos	0,429	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Herbe	0,175	tep/t	ADEME 2017
Pailles d'oléagineux	0,403	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010.
Pailles de céréales et menues pailles	0,394	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010
Cannes de maïs	0,414	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010
Miscanthus/Switchgrass	0,44	tep_PCI/tMS	SNMB - RMT Biomasse
TCR/TTTCR	0,207	tep/m <sup>3</sup>	SRB Bourgogne Franche Comté
Résidus de vignes	0,343	tep/tMS	SNMB - RECORD 2010
Résidus de vergers	0,343	tep/tMS	SRB Bretagne
Haies et agroforesterie	0,207	tep/m <sup>3</sup>	SNMB - Projet Carbofor

Source : les auteurs, à partir des sources présentées dans le tableau

### Taux de conversion retenus – Méthanisation

Ressources	Méthanisation		
	Taux de conversion	Unité	Source
Lisier	0,01	tep/tMB	SNMB - ADEME 2013
Fumier	0,028	tep/tMB	SNMB - ADEME 2013
CIVE	0,192	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Issues de silos	0,215	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Herbes	0,175	tep/tMS	SNRB - Methasim
Pailles de protéagineux	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Pailles d'oléagineux	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Pailles de céréales et menues pailles	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Fanes de betteraves	0,236	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013
Cannes de maïs	0,181	tep/tMS	SNMB - ADEME 2013

Source : les auteurs, à partir des sources présentées dans le tableau



## Annexe 3

### Caractéristiques des résidus de cultures étudiés

Ressource	Taux d'humidité moyen (%)	Indice de récolte	Part non prélevée (%)
Pailles de céréales	15	0,44 – 0,52	50 - 60
Pailles d'oléagineux	9	0,19 – 0,36	60 - 100
Pailles de protéagineux	15	0,43 – 0,57	100
Fanes de betteraves	84	-	100
Cannes de maïs	15	0,48 – 0,52	50

Source : les auteurs, à partir de données fournies par Arvalis et FranceAgriMer

RETROUVEZ  
LES DERNIÈRES ACTUALITÉS  
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



[www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr)



[@Strategie\\_Gouv](https://twitter.com/Strategie_Gouv)



[france-strategie](https://www.linkedin.com/company/france-strategie)



[FranceStrategie](https://www.facebook.com/FranceStrategie)



[@FranceStrategie\\_](https://www.instagram.com/FranceStrategie_)



[StrategieGouv](https://www.youtube.com/StrategieGouv)



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



**FRANCE STRATÉGIE**

Institution autonome placée auprès du Premier ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de politiques publiques à la demande du gouvernement. Les résultats de ses travaux s'adressent aux pouvoirs publics, à la société civile et aux citoyens.