



FRANCE STRATÉGIE

ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel ?

L'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris implique de réduire notre consommation énergétique et de remplacer massivement les énergies fossiles par des énergies décarbonées¹. Parmi les options envisageables, l'utilisation de la biomasse agricole occupe une place toute particulière au vu de son caractère renouvelable, de son potentiel de stockage de carbone et de la grande diversité des ressources agricoles disponibles en France. La biomasse agricole, à la base de l'alimentation, est une ressource multifonctionnelle dont l'utilisation doit être raisonnée du fait de ses effets potentiels sur l'environnement et des compétitions d'usages liées. L'ambition de la France de mobiliser la biomasse pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050 passera nécessairement par une augmentation de la production de biomasse et, parallèlement, par le développement de puits de carbone naturels. Conjuguée à la demande d'une production agricole plus durable qui interroge le modèle conventionnel, la mobilisation de la biomasse agricole nécessite de nombreux arbitrages en termes d'utilisation des terres, d'accessibilité des gisements et de prise en compte des enjeux de séquestration du carbone et de préservation de la biodiversité. Comment concilier ces défis afin de développer des usages durables ?

La biomasse agricole actuellement mobilisée pour des usages énergétiques, tels que la combustion, la méthanisation ou l'usage de biocarburants, représente près de 40 térawattheures (TWh). En tenant compte des disponibilités additionnelles des gisements existants, comme les effluents d'élevage, les résidus de cultures ou les surplus d'herbes, le potentiel énergétique maximal identifié de la biomasse agricole pourrait, en théorie, atteindre 120 TWh. Or, la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) estime un potentiel de production de biomasse agricole proche de 250 TWh. Cet objectif ne pourrait donc pas être atteint en considérant uniquement ces disponibilités supplémentaires.

Une évolution globale de notre système agricole, qui repose sur de nouvelles pratiques et logiques culturelles présentant une marge de progression importante – l'agroforesterie, le développement des couverts végétaux, la diversification des rotations –, peut permettre d'augmenter les disponibilités additionnelles en biomasse sans nuire à la fertilité des sols ou à la biodiversité, dans un contexte de dérèglement climatique et de diminution des rendements et cheptels limitant la disponibilité de certains gisements (comme les effluents). Néanmoins, malgré l'hypothèse d'un développement important des cultures intermédiaires sur la majorité des grandes cultures, soit sur près de 12 millions d'hectares (Mha) au total, et l'hypothèse d'une progression plus prudente de l'agroforesterie sur 2,5 Mha, le potentiel énergétique de la biomasse agricole à l'horizon 2050 atteindrait 160 TWh.

Pour accroître davantage la biomasse énergétique, il serait nécessaire d'augmenter significativement les prélèvements en résidus de cultures, et de recourir massivement à certaines cultures dédiées. Cependant, le potentiel de ces deux derniers leviers reste très incertain, du fait de leur faisabilité – impliquant, entre autres, une redistribution majeure des terres agricoles – et des impacts associés, tels que les changements d'affectation des sols, qui s'ajoutent à la forte variabilité de la disponibilité de certains résidus ainsi qu'aux besoins prioritaires (alimentation, agronomie, matériaux).

Nos constats montrent que la mobilisation de la biomasse agricole dans le but d'atteindre la neutralité carbone est possible, mais qu'elle ne l'est pas aux niveaux fixés par la SNBC. Une mobilisation accrue implique de développer une stratégie agricole de long terme, intégrant une vision transversale des défis connexes (compétitions d'usages, durabilité des prélèvements, vision socio-économique). Par conséquent, l'atteinte des objectifs relatifs à la biomasse-énergie fixés par la SNBC nécessiterait la mobilisation des autres gisements de biomasse, notamment forestiers.

1. Cette note offre la synthèse d'un document de travail rédigé par les mêmes auteurs, également disponible sur le site de France Stratégie. Voir Mourjane I. et Fosse J. (2021), « La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ? », Document de travail, n° 2021-03, juillet.

Ilyas Mourjane
Julien Fosse

Département Développement durable et Numérique

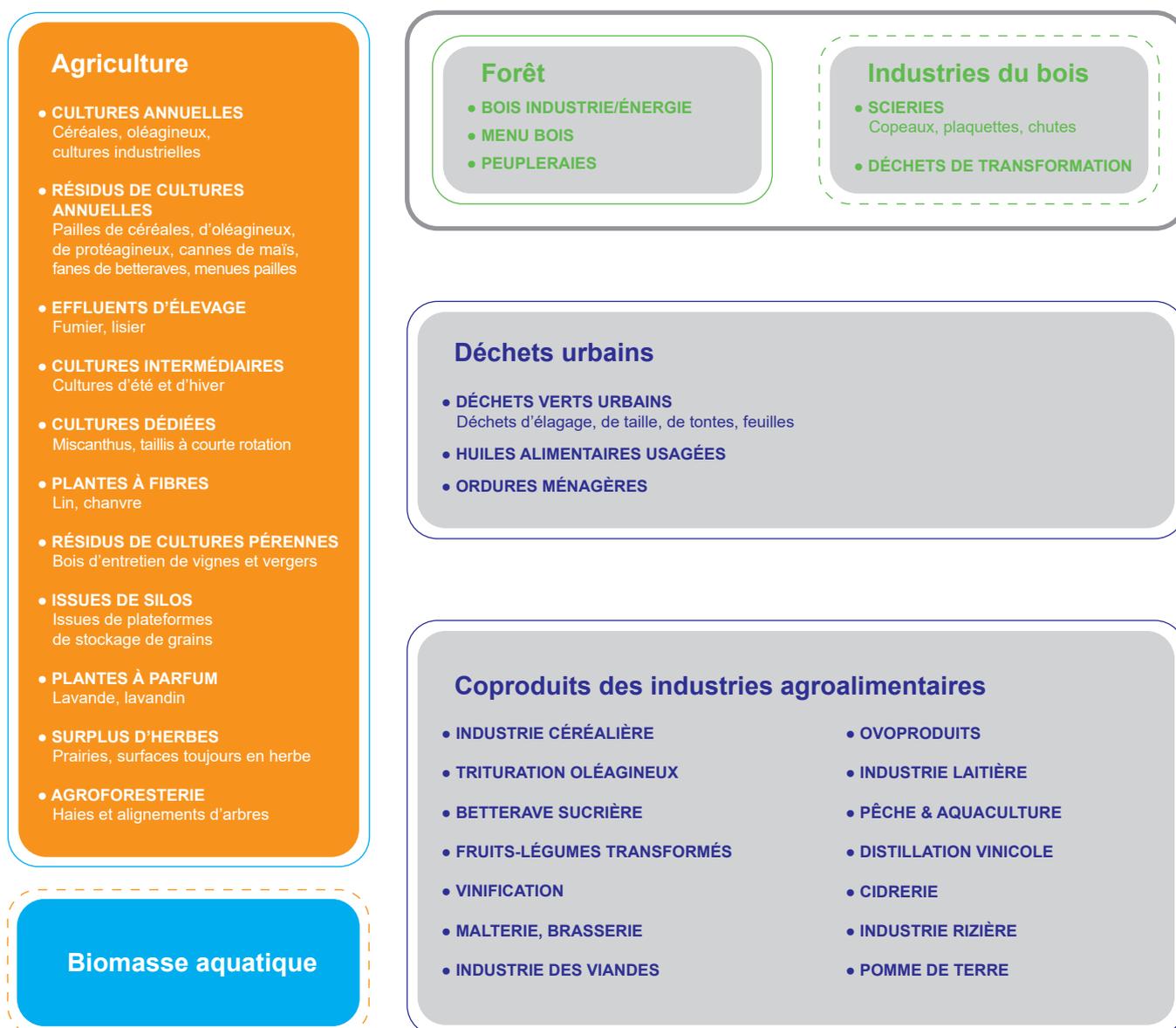
La *Note de synthèse* est publiée sous la responsabilité éditoriale du commissaire général de France Stratégie. Les opinions exprimées engagent leurs auteurs et n'ont pas vocation à refléter la position du gouvernement.

DES RESSOURCES MULTIPLES AUX FONCTIONNALITÉS VARIÉES

La biomasse est définie par le Code de l'énergie² 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 ». Ce terme générique recouvre donc un très grand nombre de

matières organiques, végétales ou animales³, qu'il s'agisse de résidus de cultures, d'effluents d'élevage, de déchets organiques provenant des parcs et jardins ou encore d'industries agroalimentaires. À partir de ces premiers éléments de définition, une typologie peut être proposée (voir Graphique 1) en distinguant la biomasse d'origine agricole, celle d'origine forestière (incluant les résidus de l'industrie du bois) et enfin la biomasse issue des déchets urbains et coproduits d'industries, principalement agro-alimentaires.

Graphique 1 – Les différents types de biomasse en France, d'après l'Observatoire national des ressources en biomasse - FranceAgriMer



Source : France Stratégie

2. Article L211-2 du Code de l'énergie.

3. Bichat H. et Mathis P. (2013), *La biomasse : énergie d'avenir ?*, collection Enjeux sciences, Éditions Quae, mars.



Encadré 1 – Biomasse et puits de carbone

Outre la production d'énergie, la biomasse possède un rôle majeur dans le cycle du carbone et contribue à son stockage. Grâce à la photosynthèse, la biomasse vivante fixe le CO₂ atmosphérique sous forme de matière organique lors de sa phase de croissance et permet ainsi de stocker du carbone. Les gisements en biomasse français (comme les forêts et les sols agricoles par exemple) peuvent ainsi représenter d'importants puits de carbone.

Selon la SNBC, d'ici à 2050 les puits de carbone naturels devront être multipliés par deux pour atteindre environ 65 Mt CO₂eq. Le puits total est estimé à 81 Mt CO₂eq en 2050 en tenant compte de 15 Mt CO₂eq séquestrées grâce à des technologies artificielles de capture et de stockage de CO₂ qui restent à développer. Ce puits total repose donc majoritairement sur le stockage

La biomasse agricole englobe donc plusieurs types de ressources :

1. végétales, avec des cultures annuelles à vocation alimentaire (maïs, blé, soja, betteraves) ou non (lin, chanvre), des résidus de cultures et plantations (fanés, cannes, pailles, résidus de vergers, sarments et ceps, issues de silos, etc.), des cultures dédiées à la production d'énergie ou de biomatériaux (miscanthus, taillis), des surplus d'herbes issues de prairies et de surfaces en herbe ;
2. animales, avec les effluents d'élevage (lisier, fumier).

À cette grande diversité de ressources répond une grande diversité d'usages potentiels, correspondant à autant de filières industrielles qu'il existe de technologies de conversion et de valorisation de la biomasse. La production agricole reste principalement destinée à l'alimentation (humaine et animale). Néanmoins, d'autres usages sont possibles : l'agronomie (retour au sol de résidus de cultures), l'énergie (production de chaleur, biogaz, électricité, biocarburants), les biomatériaux (bâtiment, textile, industrie) ou encore la chimie (production de polymères et additifs...). Ainsi, les effluents d'élevage, actuellement utilisés majoritairement comme biofertilisants, peuvent contribuer à la production d'énergie (biogaz) par méthanisation. Certaines cultures alimentaires, comme le maïs ou la betterave, sont à l'origine de biocarburants de première génération⁴ (bioéthanol, biodiesel). Les pailles, essentiellement utilisées pour la litière animale, peuvent aussi être employées pour

naturel du carbone des forêts (35 Mt CO₂eq), des produits du bois (20 Mt CO₂eq) et des autres terres, en grande partie des surfaces agricoles (11 Mt CO₂eq).

La réalisation de ces objectifs de stockage ambitieux nécessite à la fois de préserver le bon fonctionnement des différents puits de carbone et de développer le stockage additionnel dans les sols et la biomasse. Développer les puits de carbone des écosystèmes forestiers et agricoles reviendrait à stimuler la production de biomasse capable de capter et de stocker le CO₂ tout en limitant les émissions associées. Pour ce faire, l'augmentation de la production primaire de biomasse associée à un retour au sol conséquent de celle-ci, par restitution des résidus, assurerait des entrées de carbone importantes au sol par voie racinaire et favoriserait les puits de carbone agricole.

la production d'énergie ou de biomatériaux (matériaux composites, bioplastiques). Certaines cultures pérennes⁵ (miscanthus et autres plantes herbacées, taillis...) représentent également une source possible d'énergie (biocarburants de deuxième génération, combustion ou méthanisation), tout comme les cultures intermédiaires⁶. Tous ces usages doivent néanmoins tenir compte de la saisonnalité associée à la biomasse ainsi que des besoins agronomiques des écosystèmes agricoles. En effet, une part non négligeable de la biomasse doit être retournée à la terre pour maintenir des fonctions clés du sol (résistance à l'érosion, fertilité).

UN GISEMENT ESSENTIEL À L'ATTEINTE DE NOS OBJECTIFS CLIMATIQUES

La biomasse agricole est donc une ressource multifonctionnelle qui, sous certaines conditions⁷, peut être une source d'énergie ou de matériaux renouvelables tout en permettant d'absorber du CO₂ et de stocker du carbone. La diversité des ressources naturelles disponibles en France et les objectifs de lutte contre le réchauffement climatique font de la biomasse un atout potentiel pouvant contribuer à la décarbonation de multiples secteurs de l'économie. Stockable, son utilisation pourrait se révéler permanente sous réserve de la disponibilité de sols, de matière organique et d'eau en quantité et en qualité suffisantes. La biomasse peut en effet représenter une alternative renouvelable aux énergies fossiles. Le recours à la biomasse-énergie, censé ne libérer que la quantité de carbone préalablement

4. Les biocarburants 1G sont produits à partir de cultures alimentaires tandis que les biocarburants 2G sont produits à partir de lignocellulose et d'huiles ou de graisses de récupération.
5. Systèmes de cultures caractérisés par une occupation du sol pendant plusieurs années consécutives et donc par une absence de rotations.
6. Cultures temporaires à croissance rapide implantées entre deux cultures principales. Ces cultures présentent un potentiel en biomasse important tout en assurant plusieurs services (stockage du carbone, fertilité des sols, lutte contre l'érosion...)
7. Il est important de veiller à ce que les impacts négatifs sur la biomasse et sa durabilité (biodiversité, propriété des sols, disponibilité en eau...) soient minimisés. La régénération de la biomasse doit donc être au moins égale à sa consommation, en tenant compte des échelles de temps (contexte, culture, etc.).

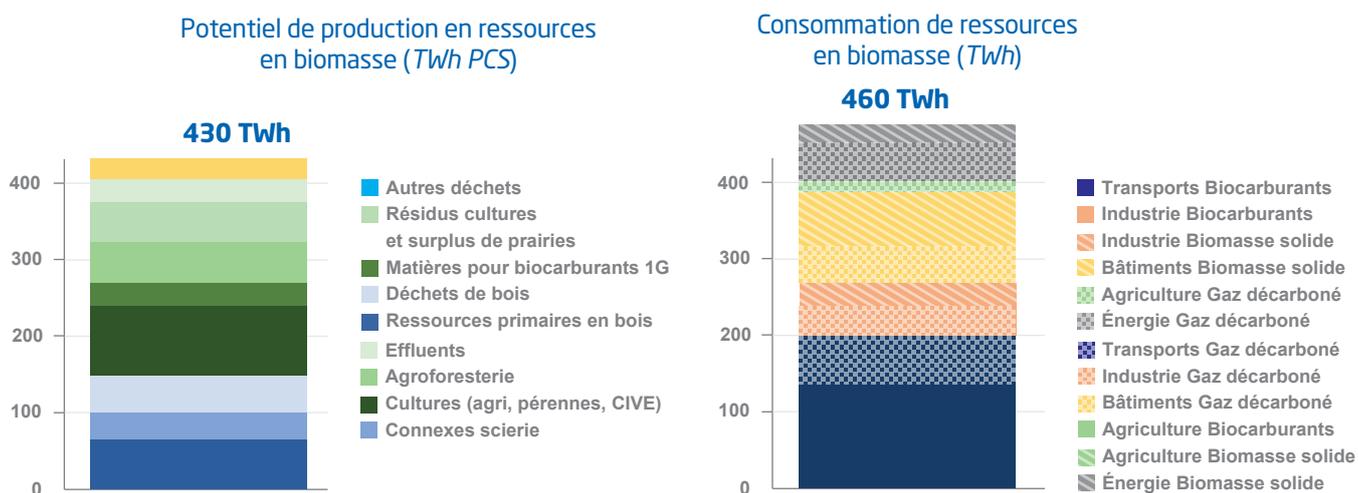
accumulée par les plantes⁸, est souvent associé à l'idée de neutralité carbone (les quantités de carbone libérées sont équivalentes aux quantités captées). Ce raisonnement, acceptable dans le cas de la biomasse agricole du fait de son cycle de croissance annuel court, est plus difficilement extrapolable à la biomasse forestière, qui possède un cycle de croissance plus long qui s'inscrit sur plusieurs années⁹.

Actuellement, la biomasse est à l'origine de plus de 50 % de la production primaire d'énergie renouvelable en France, mais cette part importante relève essentiellement de la biomasse forestière qui, à elle seule, représente 36 % de cette production¹⁰. L'ambition de la France de développer la mobilisation de la biomasse – agricole et forestière – afin d'atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050 passera nécessairement par une augmentation de sa production, parallèlement au développement des puits de carbone naturels. Au vu de la diversité des ressources naturelles présentes sur le territoire français, la biomasse agricole est donc appelée à jouer un rôle important dans la transition bas-carbone. L'utilisation accrue de cette ressource s'inscrit dans le développement de la bioéconomie, actuellement soutenue par les pouvoirs publics et pouvant être définie comme « l'ensemble des activités liées à la production, à l'utilisation et à la transformation des biores-

sources afin de répondre de façon durable aux besoins alimentaires, à une partie des besoins matériaux et énergétiques de la société, tout en fournissant divers services écosystémiques¹¹ ».

L'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 implique une augmentation de la production énergétique de biomasse de l'ordre de 2,5 fois par rapport à l'année de référence 2016, d'après l'un des scénarios possibles de la SNBC¹². Celui-ci prévoit une contribution de tous les types de biomasse à cette augmentation. Le développement attendu de la bioéconomie permettra, potentiellement, une plus grande utilisation de la biomasse pour la production d'énergie. En se fondant sur ce scénario (voir Graphique 2), environ 430 TWh de ressources de biomasse pourraient donc être mobilisés à des fins énergétiques d'ici à 2050 contre environ 180 TWh en 2016 (100 TWh de combustibles liquides, 220 TWh de combustibles gazeux et plus de 110 TWh de combustibles solides). Toujours selon ce scénario, près de 250 TWh de biomasse agricole devraient être mobilisés en plus de 100 TWh de biomasse forestière et environ 100 TWh de déchets (déchets de bois inclus). Ces chiffres supposent à la fois un niveau de mobilisation élevé et une valorisation optimale des ressources. Ces deux hypothèses apparaissent très ambitieuses.

Graphique 2 – Objectifs de production et consommation de ressources en biomasse d'ici 2050, répartition indicative



8. Le carbone émis peut être recapté, contrairement aux hydrocarbures dont la combustion augmente la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et vient déséquilibrer le cycle actuel du carbone.
9. L'utilisation énergétique de la biomasse entraîne une « dette carbone » s'étalant dans la durée. La « neutralité carbone » de la biomasse dépend du type de biomasse (bois, résidus, cultures...) utilisé, des volumes retournés au sol ainsi que des géographies et des échelles de temps. La mobilisation associée peut également être à l'origine d'émissions à ne pas négliger (changements d'usage des sols, intrants chimiques, mécanisation, transport...).
10. Service de la donnée et des études statistiques-SDES (2020), *Chiffres clés des énergies renouvelables. Édition 2020*, Datalab Énergie, ministère de la Transition écologique, juillet.
11. Voir la feuille de route « Une stratégie bioéconomie pour la France » pour plus de détails. Le concept de bioéconomie fait l'objet de plusieurs définitions et visions synthétisées dans le document suivant : Inrae (2020), *Réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie*, rapport de synthèse.
12. Stratégie nationale bas-carbone, version révisée, mars 2020. Ce niveau de production peut varier en fonction des révisions possibles de la PPE en termes de mix énergétique.



Dans le même temps, dans un contexte de dérèglement climatique, 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. Cette évolution aura un impact sur l'utilisation des terres et devra s'articuler avec les défis environnementaux de lutte contre le changement climatique – avec la nécessité d'une plus grande séquestration du carbone dans les sols – et contre l'érosion de la biodiversité. Cette mobilisation doit aussi s'inscrire dans une redynamisation du secteur agricole et des économies rurales qui permet de surmonter les freins techniques et socio-économiques à une mobilisation accrue. Un développement de la biomasse agricole, ressource renouvelable mais limitée, peut être source de tensions et de conflits d'usages. À cet égard, les notions de hiérarchisation (à long terme) et d'articulation (à court terme) des usages apparaissent centrales pour atteindre les objectifs fixés par les politiques publiques et pour combiner performances technique, socio-économique et respect de l'environnement, en évitant la surexploitation des ressources.

UNE MOBILISATION ENCORE LIMITÉE

L'état des lieux mené vise à quantifier les gisements de biomasse agricole sur le territoire métropolitain. L'analyse des gisements actuels est fondée sur la capitalisation de données publiques, à partir de diverses méthodologies et hypothèses. Cette étude constitue donc le point de départ d'une réflexion qui pourrait être amenée à évoluer à l'avenir, en fonction des différentes mises à jour et des nouvelles dynamiques associées à la mobilisation de la biomasse.

La méthodologie d'estimation des volumes annuels de biomasse disponibles se fonde sur celle utilisée par l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB)¹³ et dans la Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse (SNMB)¹⁴ pour quantifier les volumes de biomasse supplémentaires pouvant être mobilisés pour de nouveaux besoins, essentiellement énergétiques. Une première estimation de la production totale de biomasse annuelle a été réalisée pour chaque type de ressources (gisement à l'état brut) à partir des données statistiques disponibles. Un gisement techniquement maîtrisable, prêt à l'utilisation, a ensuite été identifié en prenant en compte certaines contraintes techniques ou

agronomiques (volumes non accessibles, non récoltables, retours au sol...), ce qui permet d'évaluer des gisements intermédiaires disponibles. Vient finalement, après déduction des volumes mobilisés¹⁵ (besoins de l'élevage, énergie, matériaux...), une estimation des volumes supplémentaires potentiellement disponibles (actuellement non collectés, ni triés, ni valorisés) pouvant faire l'objet d'une mobilisation accrue dans les années à venir ou pouvant faire l'objet d'une meilleure valorisation. Cette estimation n'est cependant possible que lorsqu'un suivi statistique des usages existants a lieu. L'estimation des ressources en biomasse à visée alimentaire diffère, du fait de leur vocation. En effet, aucun volume supplémentaire disponible n'a été identifié dans une perspective de croissance démographique et de hausse de la demande alimentaire.

Il apparaît néanmoins important de souligner que des aspects socio-économiques, tels que la volonté de fournir à tous de la biomasse ou le prix minimal de mise sur le marché, souvent difficiles à évaluer de manière globale pour l'ensemble des ressources existantes, n'ont pas pu être pris en compte quantitativement dans les estimations présentées. De même, les projections réalisées n'intègrent pas de paramètres socio-économiques à ce stade (coûts de production, incitations/taxes, hausse du prix du carbone, politiques de soutien...). Ceux-ci ont une influence cruciale sur l'évolution des ressources en biomasse disponibles ainsi que sur leur mobilisation¹⁶, mais leur impact reste difficile à quantifier. Néanmoins, l'atteinte des objectifs de la SNBC en matière de mobilisation de la biomasse devra s'accompagner de signaux économiques pertinents soutenant les différentes filières et favorisant une trajectoire lisible fondée sur la hausse du prix du carbone¹⁷, qui permettent d'arbitrer entre usages alternatifs.

Au total, onze catégories de ressources ont été identifiées (voir Graphique 1). Une première distinction entre les cultures annuelles destinées à l'alimentation et les autres types de biomasse a été réalisée. En effet, il apparaît utile dès le départ de ne pas remettre en question la priorité de la vocation alimentaire de ce type de culture. En 2018, la production totale de cultures annuelles (maïs, blé, colza, tournesol et betterave) s'élevait à 94,7 millions de tonnes de matière sèche (MtMS) pour une surface développée d'environ 9,3 millions d'hectares (Mha)¹⁸. Le principal usage énergétique de ces cultures est la production de biocarburants (bioéthanol/

13. ONRB (2020), *Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France*, décembre.

14. Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse, 2018.

15. Volume faisant l'objet d'un usage identifié.

16. La viabilité économique des filières de valorisation dépend en grande partie des soutiens publics principalement assurés par des appuis et aides (amortissements dégressifs, subventions, simplifications réglementaires, tarifs d'achat...).

17. Une évolution de la valeur tutélaire du carbone, atteignant 250€2018/tCO₂e dès 2030, telle que proposée par le rapport Quinet II (2019) pourrait accélérer considérablement l'adoption de nouvelles pratiques agricoles ainsi que le développement de nouvelles filières de valorisation.

18. Agreste (2020), *Statistique agricole annuelle 2018-2019. Données provisoires*, « Chiffres et Données », n° 2, avril.

biogazole). En se fondant sur la production française de biocarburants en 2018¹⁹ et sur le mix de matière première associé²⁰, près de 10 % de cette ressource (9,7 MtMS) seraient potentiellement mobilisés pour une surface brute maximale développée d'environ 1,5 Mha (correspondant à une surface nette d'1 Mha en prenant en compte la part énergétique des coproduits valorisés en alimentation animale). Ces surfaces brutes et nettes représentent respectivement 5 % et 3 % de la surface agricole utile française (28,7 Mha en 2019). Un recours croissant à des sous-produits de l'industrie du sucre et de l'amidon (comme la mélasse par

exemple) associé au développement de biocarburants avancés, mobilisant des ressources n'entrant pas en concurrence avec l'alimentation, pourrait limiter les surfaces agricoles dédiées à la production de biocarburants de première génération (1G).

Les données concernant les ressources à vocation non alimentaire visent à identifier les volumes actuellement exploités pour la production d'énergie-matériaux tout en mettant en avant les disponibilités supplémentaires de biomasse agricole pouvant être mobilisées pour de nouveaux

Tableau 1 – État des lieux des disponibilités en biomasse agricole non alimentaire (situation antérieure à 2020)

Ressource	Unité	Volume disponible	Volume disponible énergie et matériaux*	Volume mobilisé énergie et matériaux	Volume supplémentaire disponible (VSD)	Date possible d'atteinte du VSD**
Effluents d'élevage¹	ktMB	133 000	133 00	2 400	130 600	2050
Résidus de cultures annuelles	ktMS	16 200	5 900	72	5 800	2036
Surplus d'herbes²	ktMS	5 000	5 000	qq projets	5 000	2030
Cultures intermédiaires³	ktMS	23 800	4 400	100	4 300	2036
Haies et agroforesterie	ktMS	1 700	1 600	1 100	500	2036
Plantes à fibres	ktMS	845	845	830	15	2036
Plantes à parfums	ktMS	60	3	0,5	2,5	2025
Résidus de silo	ktMS	400	155	155	-	2025
Cultures dédiées pérennes	ktMS	120	-	120	-	2036
Résidus de vignes/vergers	ktMS	min. 7 300	nd	nd	nd	2025

ktMS : kilotonne de matière sèche ; ktMB : kilotonne de matière brute.

* = volume disponible – volumes utilisés pour des usages non énergétiques/matériaux (comme les besoins de l'élevage par exemple).

** Dates estimées sur la base de données de la SNMB et de dires d'experts.

1. L'ensemble des effluents (majoritairement épandus) est considéré disponible pour une mobilisation en méthanisation (d'où le VSD important).

2. Le volume disponible estimé est en fait un volume théorique supposé potentiellement mobilisable.

3. Le volume disponible est ici un potentiel (à l'horizon 2030) estimé en 2013, le gisement total de cultures intermédiaires étant difficile à estimer (du fait de l'absence de définition « réglementaire » précise de ces cultures).

Source : d'après les travaux de France Stratégie.

19. Selon les chiffres de FranceAgriMer (bioéthanol, biogazole).

20. FranceAgriMer (2017), « Proposition d'une méthodologie de calcul de la SAU allouée à la production de biocarburants », *Études biocarburants* : le calcul ne prend pas en compte la part de sous/coproduits d'industries utilisés dans la production de biocarburants (pouvant affiner les estimations, potentiellement à la baisse).



usages (biomasse-énergie par exemple). En effet, la mobilisation actuelle de la biomasse agricole non alimentaire à des fins énergétiques est encore très limitée du fait de l'importance d'autres usages (retours au sol, alimentation/paillage/litières animales, etc.), mais aussi au regard des difficultés techniques et économiques limitant à l'heure actuelle une mobilisation à grande échelle.

La mobilisation en volume reste très faible et très variable en fonction des différentes ressources. Les taux de mobilisation pour l'énergie et les matériaux sont très élevés pour le lin et le chanvre, les cultures pérennes dédiées et le bois agricole dont l'utilisation énergétique est assez développée, mais ils restent assez faibles pour les effluents d'élevage²¹ et les résidus de cultures ainsi que pour les cultures intermédiaires et les surplus d'herbes. Au total, sans inclure les effluents d'élevage, les ressources en biomasse non alimentaires disponibles représenteraient plus de 36 MtMS. Sur ce total, près de 10 MtMS sont considérés comme utilisés pour des usages non énergétiques/matériaux. Les volumes estimés mobilisés pour des usages énergétiques/matériaux s'élèveraient à environ 9,7 MtMS²², faisant apparaître des disponibilités additionnelles de

l'ordre de 16 MtMS. Pour les effluents d'élevage, la totalité des ressources est considérée comme disponible pour un usage énergétique²³, mettant en avant un volume supplémentaire disponible de 130 millions de tonnes de matière brute, de l'ordre de 25 à 30 MtMS. Ces disponibilités additionnelles sont donc particulièrement élevées, représentant près de la totalité des ressources disponibles, pour les effluents d'élevage, les surplus d'herbes et les cultures intermédiaires, du fait d'une mobilisation encore marginale, d'un potentiel important et de compétitions d'usages modérées permettant le développement de la valorisation énergétique.

En matière énergétique, les ressources agricoles non alimentaires mobilisées représenteraient environ 10 TWh en 2018, soit 0,8 million de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep)²⁴, dont 60 % obtenus par combustion. Les ressources alimentaires dédiées à la production de biocarburants sont estimées à environ 30 TWh en 2019, soit environ 2,4 Mtep²⁵. L'offre énergétique en biomasse agricole s'élèverait donc à 3,2 Mtep au total. Toutes ressources confondues, les cultures annuelles alimentaires sont donc les plus mobilisées en volume. Les effluents d'élevage et résidus de cultures, malgré une faible mobilisation, présentent les

Encadré 2 – Sources et données présentées (Tableau 1)

Le tableau ci-dessus rend compte des disponibilités en biomasse agricole non alimentaire, des différents usages existants ainsi que des volumes additionnels potentiellement mobilisables.

Le volume disponible est obtenu à partir du volume total produit en soustrayant les volumes non accessibles, non récoltables, et les volumes retournés au sol (pailles, résidus...).

Le volume disponible pour des usages non énergétiques se fonde sur ce volume disponible, mais tient compte des usages non énergétiques/matériaux de la biomasse (litière et alimentation animale, paillage, compost, brûlage sur parcelles...).

L'utilisation énergétique/matériaux de la biomasse correspond au volume identifié comme mobilisé pour des usages énergétiques/matériaux.

Le volume supplémentaire disponible vient estimer les disponibilités additionnelles en soustrayant au volume dis-

ponible pour des usages énergétiques/matériaux les volumes actuellement mobilisés.

Les principales études ponctuelles utilisées pour établir cet état des lieux sont les suivantes :

- *Ademe (2017), Mobilisation de la biomasse agricole : état de l'art et analyse prospective ;*
- *Ademe (2013), Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation ;*
- *Ademe, FCBA, IFN (2009), Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020 ;*
- *FranceAgriMer, ONRB (2020), Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France.*

Ces études ont été complétées par plusieurs données statistiques annuelles issues du Service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et de l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB).

21. La totalité des effluents (majoritairement épandus à l'heure actuelle) est estimée mobilisable pour une valorisation énergétique.

22. En considérant une mobilisation énergétique complète des résidus de vignes sans brûlage sur parcelles.

23. En misant sur une substitution de l'épandage brut par des digestats de méthanisation.

24. Le détail des taux de conversion retenus est disponible dans le *Document de travail*.

25. SDES (2021), *Bilan énergétique de la France pour 2019*, chiffres arrêtés au 30 novembre 2020, Datalab, janvier.

Tableau 2 – Estimation du potentiel énergétique après linéarisation des disponibilités additionnelles (énergie primaire)

	Ressource	Équivalent énergétique* (TWh PCS)		
		2030	2040	2050
Ressources méthanisables	Effluents d'élevage	8,3	26,1	38
	Cultures intermédiaires	6,3	9,5	9,5
	Surplus d'herbes	7	10,7	10,7
	Résidus de cultures annuelles	5,2	6,7	6,7
Ressources non méthanisables	Plantes à parfums	négligeable	0,01	0,01
	Haies et agroforesterie	1,7	2,5	2,5
	Chanvre	négligeable	0,13	0,13
	Résidus de cultures annuelles	10,8	14,8	14,8

* Équivalent énergétique des disponibilités additionnelles potentiellement mobilisables.
TWh PCS= térawattheure pouvoir calorifique supérieur.

Source : d'après les travaux de France Stratégie.

disponibilités les plus importantes. La production de biocarburants contribue à l'heure actuelle très majoritairement, de l'ordre de 75 %, au potentiel énergétique de la biomasse agricole, devant la combustion et la méthanisation dont les filières restent encore à développer. La SAU (superficie agricole utilisée) consacrée à la production de biomasse non alimentaire²⁶ est estimée actuellement à environ 1,7 Mha (soit 6 % de la SAU totale). En conséquence, pour couvrir les besoins en biomasse projetés à long terme, il sera nécessaire de recourir massivement aux résidus de cultures, aux surplus d'herbes et aux cultures intermédiaires ne nécessitant pas de nouvelles surfaces spécifiques et récoltables sur un minimum de 15 Mha²⁷ (plus de 50 % de la SAU estimée en 2050).

Une deuxième approche synthétique permet de mettre en perspective ces premières estimations. Celle-ci vise à traduire les disponibilités des gisements de biomasse agricole en équivalent énergie. Ce travail a été mené après linéarisation des disponibilités additionnelles (jusqu'à la date d'atteinte des potentiels volumes supplémentaires disponibles)²⁸ et identification des taux de conversions énergétiques associés pour pouvoir estimer leur potentiel énergétique, variant selon l'usage (combustion, méthanisation)²⁹. Pour les ressources valorisées à la fois par combus-

tion et méthanisation (comme les résidus de culture), le potentiel énergétique associé peut varier du simple au double selon les arbitrages énergétiques retenus³⁰. Une répartition fixe équivalente (50/50) entre combustion et méthanisation a été retenue dans notre étude³¹. Cette approche, qui reste approximative et ne définit pas les conditions techniques ou la pertinence de la mise en place des unités de valorisation, vise simplement à évaluer un potentiel de mobilisation de la biomasse agricole dans le cadre d'une production énergétique.

Ces premières disponibilités supplémentaires décrivent une mobilisation énergétique totale³² des gisements pouvant faire l'objet d'une mobilisation additionnelle en se fondant sur les connaissances scientifiques actuelles (contexte climatique, technique, agronomique...) et n'anticipant pas de changements majeurs en termes de rendements et de pratiques agricoles. Or, certains déterminants externes peuvent avoir des effets sur la disponibilité de biomasse sur le long terme, comme le changement climatique, la baisse du cheptel ou le développement de l'agroécologie, moins productive pour une culture donnée que l'agriculture conventionnelle et impliquant un retour de matière organique dans les sols plus important. Un changement de pratiques agricoles sur le long terme pourrait donc potentiellement

26. En considérant les surfaces dédiées à la production de biocarburants 1G, plantes à fibres et à parfums, cultures dédiées, lignocellulosiques.

27. Si l'on regarde les surfaces associées aux cultures principales (céréales, oléagineux, protéagineux, betteraves et pommes de terre) et celles liées aux surfaces toujours en herbe.

28. Voir le *Document de travail*, sur la base méthodologique des travaux de la SNMB.

29. Une répartition fixe équivalente (50/50) entre combustion et méthanisation pour les résidus de cultures a été retenue à ce stade. Des arbitrages plus détaillés sont présents dans le *Document de travail*. L'usage biocarburants 2G n'est pas encore considéré à ce stade.

30. Par exemple, une valorisation par combustion d'une tonne de paille présente un potentiel énergétique jusqu'à deux fois supérieur à une valorisation par méthanisation (en énergie primaire, TWh PCS).

31. Des arbitrages plus détaillés sont présents dans le *Document de travail*.

32. Vision purement théorique ; une mobilisation totale des disponibilités additionnelles est plus qu'incertaine.



influer sur le niveau de disponibilité de certaines ressources et l'équivalent énergétique estimé. Par ailleurs, cette disponibilité potentielle ne serait totalement effective qu'en anticipant de possibles avancées techniques et un développement accru des filières de valorisation, la majorité des potentiels étant estimée atteinte d'ici à 2040. L'exemple le plus représentatif de cet aspect temporel réside dans la mobilisation effective des effluents d'élevage, gisement difficilement maîtrisable, ne pouvant être atteinte que sur le long terme (à l'horizon 2050)³³.

Enfin, comme mentionné précédemment, ces estimations ne prennent pas en considération certains facteurs socio-économiques (consentement à offrir une ressource, coût d'exploitation...) et paramètres économiques (mécanismes de soutien, évolution de la taxation carbone...). Difficilement évaluables par manque de données, ces paramètres n'en demeurent pas moins essentiels à l'évolution de la disponibilité des ressources agricoles. Sans le renfort d'incitations et de mécanismes de soutien, l'hypothèse retenue ici est la poursuite des conditions actuelles de production. Ainsi, le potentiel maximal actuel des disponibilités en biomasse montre que l'atteinte des objectifs prévus par la SNBC ne pourrait être réalisée que par la mobilisation des volumes supplémentaires disponibles estimés au maximum à 80 TWh PCS à l'horizon 2050³⁴. Les objectifs fixés par la SNBC apparaissent donc difficilement atteignables en ne mobilisant que la biomasse agricole.

DES RISQUES DE COMPÉTITION D'USAGES STRATÉGIQUES À ANTICIPER

Nos différentes estimations donnent un premier aperçu des ressources disponibles et du potentiel de mobilisation permettant d'identifier divers niveaux d'enjeux. Ces niveaux d'enjeux relèvent d'un croisement entre les disponibilités potentielles (en termes de volume/gisement) et les usages possibles de ces ressources (évaluation des risques de conflits d'usages). En effet, en se fondant sur le niveau de connaissance et les pratiques actuelles, certains gisements ne présentent pas ou très peu de disponibilités supplémentaires du fait d'un gisement limité et/ou d'une mobilisation déjà effective vers d'autres usages. D'autres sont associés à un niveau d'enjeu modéré à l'échelle nationale du fait d'incertitudes sur le gisement disponible et sur sa mobilisation (manque de données sur les différents usages existants, rentabilité faible, difficultés techniques). Enfin, plusieurs ressources présentent un niveau d'enjeu stratégique élevé du fait d'un gisement potentiel conséquent permettant un usage énergétique plus important.

Les cultures dédiées pérennes (cultures lignocellulosiques) représentent des surfaces encore marginales et sont majoritairement (environ 10 000 ha) destinées à des usages énergétiques. Ces cultures sont ici à distinguer des cultures intermédiaires dont l'implantation est temporaire et

Tableau 3 – Ressources et niveau d'enjeu associé

Niveau d'enjeu	Ressource	Concurrence et compétition d'usages	Disponibilité supplémentaire
Faible	Cultures dédiées pérennes	Faible/modérée	Aucune
	Issues de silo	Modérée	Aucune
	Lin et chanvre	Faible	Très faible
	Résidus de vignes/vergers	Modérée	Incertaine
Modéré	Résidus de cultures annuelles	Forte	Modérée
	Haies et agroforesterie	Faible	Modérée
	Surplus d'herbes	Modérée	Modérée
Fort	Effluents d'élevage	Modérée	Importante
	Cultures intermédiaires	Modérée	Importante

Source : d'après les travaux de France Stratégie.

33. Une mobilisation complète des effluents d'élevage à l'horizon 2050 reste très ambitieuse.

34. Un recours à l'importation ou une exploitation plus importante de la biomasse forestière en parallèle doivent donc être envisagés dans ce cas.

permet d'assurer un couvert végétal des sols. Le développement de la filière biocarburants de deuxième génération (2G) mais aussi de la filière biomatériaux pourrait intensifier la mobilisation de ces ressources sur le long terme et donc modifier leur niveau d'enjeu. Un déploiement à plus grande échelle des cultures pérennes à des fins énergétiques peut cependant soulever des interrogations sur la concurrence avec l'usage alimentaire des sols agricoles. Pour le lin/chanvre, l'usage matériaux est voué à se développer et à rester majoritaire par rapport aux résidus de cultures annuelles. La problématique de l'utilisation des terres se pose aussi pour ces ressources du fait de leur caractère non alimentaire. Concernant les issues de silos, celles-ci sont majoritairement valorisées pour l'alimentation animale.

Les résidus de cultures annuelles sont une ressource pouvant potentiellement faire l'objet de plusieurs usages (retours au sol par broyage et enfouissement, alimentation animale, paillage, construction, combustion, méthanisation ou encore biocarburants). Ils sont donc plus à même de faire l'objet de tensions. De plus, la quantité et la qualité des résidus de cultures peuvent varier énormément selon les années, les épisodes intenses de sécheresse et de précipitations ayant un impact sur la mobilisation de pailles³⁵, et amplifient les concurrences d'usages (principalement entre les usages énergie/matériaux et litières/paillages). À pratiques équivalentes à celles conduites actuellement et en tenant compte des besoins en pailles de l'élevage, la ressource durablement disponible risque d'être limitée et inférieure aux disponibilités estimées. Cela concerne notamment la disponibilité additionnelle en paille de céréales, estimée à près de 3 Mt MS. En complément des résidus de cultures, le surplus d'herbes peut aussi être vu comme un gisement d'opportunité venant s'ajouter à d'autres types de ressources. Leur gestion et leur valorisation énergétique restent limitées³⁶. L'herbes des prairies permanentes à vocation énergétique se confronte à l'utilisation alimentaire à destination de l'élevage (principal usage actuellement) et pourrait venir concurrencer certaines cultures céréalières dans l'hypothèse de changements d'usage des terres liés à une végétalisation de notre régime alimentaire.

Quant aux résidus de vignes et de vergers³⁷, la principale compétition d'usages s'observe entre l'usage agrono-

mique (retour au sol) et énergétique (combustion). Les données disponibles ne permettent pas de quantifier à ce stade de disponibilité précise. Les probables pénuries en paille liées aux épisodes de sécheresse à l'échelle régionale³⁸ pourraient développer un usage supplémentaire de ces résidus comme litière ou paillage horticole. Le développement des filières biocarburants 2G pourrait aussi mobiliser certains résidus. Pour les plantes à parfums, les volumes disponibles sont très faibles et associés à une valorisation locale par optimisation de la filière combustion. La mobilisation de bois issu des haies, bocages et des pratiques agroforestières présente un potentiel d'accroissement important, notamment au vu du développement des alignements d'arbres et des haies. L'agroforesterie et ses pratiques associées occupent une place majeure dans le projet agroécologique amené à se développer³⁹. L'usage principal du bois mobilisé est énergétique (énergie et chaleur), mais d'autres utilisations pourraient se développer (retour au sol, litière/paillage notamment dans les périodes de pénuries de pailles).

Enfin, les effluents d'élevage, cultures intermédiaires et autres couverts végétaux présentent l'avantage de disposer de gisements potentiellement disponibles sur l'ensemble du territoire avec une capacité de mobilisation énergétique importante. Ces ressources sont valorisables énergétiquement par méthanisation (pouvoir méthanogène important pour les cultures intermédiaires, moindre pour les effluents d'élevage mais compensé par les importants volumes disponibles). La valorisation de ces ressources pourrait permettre de diversifier les revenus des agriculteurs par la production de biogaz et de digestats (pouvant jouer le rôle de fertilisants/d'apport organique pour les sols). Une mobilisation accrue de ce type de ressources reste donc dépendante du développement de la filière biogaz. En parallèle, la possibilité de tendre sur le long terme vers une modification substantielle des pratiques agricoles françaises (extensification des élevages, baisse des cheptels, surplus azoté associé à une couverture des sols maximisée) risque d'impacter la mobilisation des effluents d'élevage. Actuellement, la majorité des effluents d'élevage est utilisée à des fins d'épandages. Malgré un pouvoir méthanogène relativement faible, l'usage des effluents en méthanisation se développe et est soutenu

35. Retardant les semis de céréales, diminuant de fait la surface en céréales.

36. L'herbe est laissée au sol après la tonte/fauche, sa mobilisation pouvant se heurter à une faible qualité des intrants et une récupération difficile.

37. Sarments et ceps de vignes, résidus de tailles et d'arrachages de vergers.

38. Sous l'effet conjugué d'une baisse des surfaces et des rendements (voir Agreste, *Conjoncture agricole*, bulletin n° 2020-093).

39. Ces pratiques sont variées (plantation d'alignements d'arbres, linéaires de haies, pré-vergers...) et peuvent faire l'objet de plusieurs valorisations.



par les pouvoirs publics⁴⁰. Les effluents sont souvent associés à d'autres intrants (résidus agricoles, cultures intermédiaires, coproduits agricoles) pouvant modifier la qualité du digestat résultant. Les impacts théoriques d'un retour des ressources prélevées, direct ou indirect sous forme de digestat, sur la qualité des sols (restitution de carbone stable et de matière organique digestible par les sols) semblent équivalents sur le court terme. Néanmoins, leurs impacts réels sur la qualité biologique du sol et les pollutions diffuses à long terme peuvent encore être mieux estimés⁴¹.

L'adoption de cultures intermédiaires sur l'ensemble du territoire peut, en plus de l'alimentation directe d'unités de méthanisation par prélèvement de la biomasse aérienne, assurer plusieurs services environnementaux, notamment en termes de séquestration de carbone et d'azote. Leur utilisation énergétique peut cependant être à l'origine de tensions. En effet, les cultures intermédiaires peuvent aussi être utilisées comme ressource fourragère (alimentation animale). La récolte de cultures intermédiaires à des fins énergétiques peut également limiter la restitution de la matière organique au sol et donc influencer sur l'entretien des sols. Leur consommation en eau pourrait aussi potentiellement avoir des effets sur les réserves hydriques et donc la culture principale qui suit. Associée aux impacts liés au dérèglement climatique sur les ressources en eau, une attention toute particulière doit donc être portée sur ces risques.

UNE DISPONIBILITÉ POTENTIELLE À MIEUX ESTIMER : UN ESSAI DE PROJECTIONS À HORIZON 2050

Projeter la disponibilité en biomasse agricole sur le long terme est un exercice complexe du fait de la grande diversité des paramètres et facteurs associés, qu'ils soient climatiques (atténuation/adaptation), environnementaux (biodiversité, eau, sols...), socio-économiques ou encore alimentaires (nutrition...). Répondre aux besoins croissants en nourriture, matériaux et bioénergie, appelant une hausse de la mobilisation de la biomasse, nécessite de tenir compte de nombreux équilibres dans un contexte de transition alimentaire et agricole tendant vers du plus durable, résiliente face aux aléas climatiques. L'agriculture a donc un rôle majeur à jouer dans la bioéconomie, en maximisant, dans un premier temps, la production de biomasse tout en optimisant, dans un second temps, ses usages. À cet effet, il est nécessaire de développer des systèmes de production innovants répondant aux attentes des différents acteurs (agriculteurs, industriels, collectivités territoriales...), permettant un approvisionnement coordonné des diverses filières en aval qui limite la surexploitation et les conflits d'usage, et préservant les écosystèmes (biodiversité, paysages, fertilité des sols, disponibilité en eau...). Une mobilisation accrue de la biomasse agricole à des fins énergétiques doit donc prendre en considération une évolution globale du système alimentaire et agricole pour tendre vers un modèle plus durable tout en permettant d'augmenter la disponibilité en biomasse.

Tableau 4 – Critères de différenciation des différentes projections⁴²

Critère retenu	Tendance	IMPACT			
		Scénario A		Scénario B	
		Échelle	Description	Échelle	Description
Alimentation	Baisse des protéines animales	Faible	Maintien du solde export	Forte	Maintien du solde export
Logiques culturelles	Baisse des rendements	Maintien	Peu d'agriculture biologique	Forte	Agriculture biologique élevée
Place de l'élevage	Baisse du cheptel	Modérée	Diminution des effectifs en ruminants et monogastriques	Forte	Diminution des effectifs en ruminants et monogastriques
Stockage carbone	Augmentation des puits	Modérée	Mixte (forêt et agriculture)	Forte	Par l'agriculture (couverts, agroforesterie...)
Bioénergies	Hausse de la production	Modérée	Faible compétition d'usages des terres	Modérée	Faible compétition d'usages des terres

Source : d'après les travaux de France Stratégie.

40. Lancement, par exemple, du [Plan EMAA](#) (Énergie Méthanisation Autonomie Azote) en 2013.

41. Girault (2019), « Déterminants de l'évolution des matières organiques en lien avec les procédés de transformation », volet Méthanisation, novembre ; Möller K. (2015), « Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review », *Agron. Sustain. Dev.* (2015), vol. 35, p. 1021-1041 ; Houot S. et Levavasseur F. (2020), « Digestats : état des connaissances scientifiques actuelles. Focus sur le retour au sol », web. 30 novembre.

42. Voir le [Document de travail](#) pour plus de détails.

L'exercice de projections réalisé apporte plusieurs éléments d'éclairage permettant d'estimer l'impact potentiel de différents paramètres sur la disponibilité en biomasse. La prise en compte de l'impact des régimes alimentaires, de la place de l'élevage, du changement climatique ou encore des logiques culturelles se révèle en effet nécessaire afin d'identifier une ou plusieurs trajectoires intégrant une vision agricole systémique. Plusieurs tendances affectant le régime alimentaire (diminution de la consommation de viande, développement des protéines végétales, adoption de production à faible empreinte carbone...) risquent d'impacter aussi bien la répartition des terres que les modes de production, et donc la disponibilité en biomasse. Afin de tenter de mettre en évidence ces différents impacts, deux projections ont été réalisées à horizon 2050 (voir Tableau 5).

Les deux scénarios se caractérisent par une perte de la surface agricole totale due à l'artificialisation des terres, mais aussi à la progression des milieux boisés, landes et autres espaces naturels (perte d'environ 1,3 Mha de surface agricole)⁴³. Cette baisse des surfaces, prévisible, est à mettre en parallèle avec une stagnation globale des rendements, qui ne progressent plus du fait du dérèglement climatique (élévation de la température, modification des régimes pluviométriques, sécheresse...). Les pertes en surfaces agricoles se traduiraient principalement par un recul des prairies naturelles et des fourrages lié à la baisse anticipée des cheptels⁴⁴. À ces premières hypothèses communes vont s'ajouter d'autres hypothèses plus discriminantes. Le scénario tendanciel, appelé scénario A, projette la disponibilité et la mobilisation en biomasse en se fondant sur des pratiques agricoles proches de l'existant. Il ne prend en compte que

Tableau 5 – Traduction des projections en disponibilité potentielle

Ressource	Scénario A		Scénario B	
	Volume mobilisable (ktMS *)	Potentiel énergétique associé ** (TWh PCS)	Volume mobilisable (ktMS)	Potentiel énergétique associé ** (TWh PCS)
Ressources méthanisables				
Effluents d'élevages	90 200	26,4	76 900	22,2
Cultures intermédiaires	12 000	26,8	19 300	43,0
Surplus d'herbes	5 600	11,4	4 900	10,1
Résidus de cultures annuelles	5 300	11,3	6 100	13,4
Ressources non méthanisables				
Résidus de cultures annuelles	2 300	10,7	2 200	10,4
Haies et agroforesterie	2 500	12,4	5 100	24,8
Total (effluents non compris)	27 700	72,6	37 600	101,7
Total (effluents compris)	nd	~99	nd	~124

* À l'exception des effluents d'élevages dont le volume disponible est exprimé en ktMB.

** Le ratio combustion/méthanisation est fixé à 30/70 dans les deux scénarios.

Source : d'après les travaux de France Stratégie.

43. Sur la base des tendances 2006-2014 identifiées par l'enquête Teruti-Lucas ayant pour objectif de suivre l'évolution de l'occupation et de l'usage des sols sur tout le territoire (voir le *Document de travail* pour plus de détails).

44. Baisse entraînant un besoin réduit en herbes et autres fourrages. Ces pertes en prairies sont néanmoins nuancées selon les projections.



des facteurs externes susceptibles d'affecter la biomasse agricole, tels que les changements climatiques et les tendances concernant le bétail et les surfaces/rendements des cultures. Le second scénario, plus exploratoire, vise à intégrer de nouvelles pratiques culturales à plus grande échelle comme le développement de l'agriculture biologique.

À la différence du scénario A, tablant sur un maintien des pratiques agricoles avec un développement limité de l'agriculture biologique sur 20 % des surfaces cultivables⁴⁵, le scénario B vise à décrire un système agricole où les pratiques agroécologiques ont été développées à plus grande échelle (allongement des rotations, développement des légumineuses, cultures associées, couverts, limitation du travail au sol, développement de l'agroforesterie, etc.). L'agriculture biologique y représente au moins 60 % de la surface agricole totale cultivée en complément d'une optimisation des productions et d'une légère hausse du taux de récolte en résidus de biomasse (supérieur de environ 10 %). Ce recul de l'agriculture conventionnelle se caractérise principalement par une baisse des rendements, en considérant une baisse moyenne de 20 % entre agriculture biologique et conventionnelle⁴⁶. Le scénario B met aussi en avant une introduction plus importante de légumineuses et d'oléagineux (3,6 Mha consacrés aux légumineuses et oléagineux dans le scénario B, contre 2,5 Mha dans le scénario A). La dernière différence notable entre les deux projections concerne le cheptel bovin, dont la baisse est plus marquée dans le scénario B (- 35 % par rapport aux niveaux actuels contre - 17 % pour le scénario A)⁴⁷, permettant une réduction des émissions de l'élevage associées tout en réduisant la disponibilité totale d'effluents d'élevage.

Les résultats des différentes projections pour les ressources à enjeux forts et modérés tendent à montrer un potentiel énergétique (effluents inclus) compris entre 99 et 124 TWh. Ce total pourrait atteindre 155 TWh PCS (soit environ 142 TWh PCI⁴⁸) en considérant l'apport des cultures annuelles dédiées à la production de biocarburants 1G (à production égale aux niveaux actuels). La répartition entre usages pour les ressources supposées

valorisées à la fois par combustion ou méthanisation (dans le cas des résidus de cultures par exemple) est fixée à 30/70, misant sur un développement de la méthanisation qui permet la production d'énergie associée à un retour au sol de digestat⁴⁹ à la différence d'une valorisation par combustion directe.

Le potentiel énergétique supérieur du scénario B semble indiquer qu'une production accrue de biomasse agricole potentiellement mobilisable serait possible malgré une baisse de rendements et une diminution de l'agriculture conventionnelle. En effet, le développement à plus grande échelle de nouvelles pratiques pouvant augmenter la productivité en biomasse (diversification des cultures, développement des couverts végétaux, haies...) associé à une hausse sensible des prélèvements pourrait permettre d'accroître la disponibilité en biomasse tout en promouvant des services écosystémiques (biodiversité, fertilité des sols...). Cela réduirait de fait la dépendance aux intrants chimiques sans compromettre excessivement les niveaux de rendements agricoles. En parallèle, le développement de la filière biocarburants 2G ou encore la baisse des exportations en céréales pourraient aussi être à l'origine d'une hausse de la production de biomasse mobilisable⁵⁰. Un écart conséquent reste cependant visible entre le potentiel estimé et celui de la SNBC (estimé à environ 250 TWh) pouvant s'expliquer par certaines différences notables en termes de choix, de périmètre et d'hypothèses retenus (voir Tableau 6 page suivante).

Ces différences sont particulièrement visibles dans le cas des cultures dédiées, résidus de cultures et pratiques agroforestières et découlent de différents facteurs, en plus des choix retenus en termes de rendements agricoles et d'arbitrages sur les vecteurs énergétiques. Certaines ressources comme les résidus de cultures pourraient voir leur mobilisation augmenter en intégrant les retours au sol indirects *via* les digestats de méthanisation⁵¹, permettant ainsi de diminuer les volumes directement retournés aux sols et donc d'augmenter la part de résidus prélevés. D'autres ressources, comme les haies et les alignements d'arbres, pourraient aussi voir leur

45. 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 un objectif fixé à 15 % d'ici 2022 (voir le Programme Ambition Bio 2022).
46. Une méta-analyse conduite en 2014 estimait à 19 % la baisse moyenne de rendements observée en agriculture biologique par rapport à l'agriculture conventionnelle, toutes productions confondues : Guyomard H. et al. (2013), *Vers des agricultures à hautes performances*, vol. 1, rapport de l'Inra, septembre.
47. Le détail des hypothèses et choix par projections est présenté dans le [Document de travail](#).
48. Pouvoir calorifique inférieur.
49. Tout en permettant une meilleure maîtrise des émissions de GES, du fait de la présence d'effluents comme intrants de méthanisation.
50. Le développement des biocarburants 2G pourrait accroître le recours aux cultures dédiées lignocellulosiques et au bois/résidus de bois.
51. La part de résidus prélevés et directement retournés au sol se fonde sur des valeurs théoriques n'impactant pas la fertilité des sols. Cette part pourrait diminuer en développant l'utilisation de digestat de méthanisation (retour au sol indirect) pour répondre aux besoins agronomiques et donc permettre une plus grande mobilisation énergétique des résidus.

Tableau 6 – Comparaison des objectifs de la SNBC et des premières projections

Ressource	Potentiel estimé ¹ (TWh PCS)	
	Scénario SNBC	Projections de l'étude
Matières pour biocarburants 1G	~30	~30
Autres cultures (annuelles, pérennes, CIVE)	~90	max. 43
Agroforesterie (haies et arbres)	~50	~25
Résidus de cultures et surplus de prairies	~50	~34
Effluents d'élevage	~30	~26
Total	~240	~160

* Répartition indicative, les catégories de ressources retenues sont celles présentées par la SNBC.

Source : d'après les travaux de France Stratégie.

déploiement intensifié plus massivement en se rapprochant de l'assiette technique maximale d'implantation⁵², les hypothèses considérées dans cette étude restant prudentes. Dans le cas des autres cultures, l'écart visible s'explique par la non-prise en compte des cultures dédiées pérennes et annuelles dans l'exercice de projection. Un recours plus massif aux cultures dédiées pérennes pourrait en effet être privilégié pour la production de biocarburants du fait de leur aspect pérenne et du haut rendement en biomasse associé. Cela impliquerait cependant une redistribution importante des terres agricoles⁵³ complexe à anticiper. Enfin, la place des cultures dédiées alimentaires (maïs, blé...) pour la production de biogaz reste à éclairer dans un contexte de développement des unités de méthanisation⁵⁴. Au total, cette redistribution des terres agricoles en lien avec les cultures dédiées pourrait représenter entre 100 et 800 000 ha⁵⁵ en fonction des hypothèses d'approvisionnement retenues.

Les projections présentées n'ont donc pas pour objectif d'estimer une situation future précise, mais s'accordent à souligner l'impact de quelques facteurs externes sur la disponibilité de la biomasse (baisse des rendements, développement de nouvelles pratiques...). L'impact du développement futur des biocarburants 2G ajoute une troisième filière de valorisation possible pour plusieurs ressources, comme les résidus de cultures et résidus de

bois, présentant des enjeux similaires en termes de compétition d'usages. Le potentiel énergétique précis d'une valorisation de résidus en biocarburants reste encore à étudier afin d'affiner la répartition entre les différents vecteurs énergétiques. Il apparaît cependant plausible qu'un approvisionnement diversifié en résidus de cultures, bois et cultures dédiées (miscanthus, taillis...) devra être mis en œuvre pour limiter toute tension sur des ressources au potentiel limité. Un point important à ne pas négliger réside dans la saisonnalité associée à la biomasse agricole pouvant se traduire par une sensibilité importante du gisement aux conditions climatiques de l'année considérée (sécheresse, hivers pluvieux...) impactant la production, mais aussi le rapport offre/besoin et donc le potentiel de mobilisation.

DE NOMBREUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET ÉCONOMIQUES SOUS-JACENTS

Au-delà de la nécessité de lier besoin et potentiel des gisements existants en termes de productivité des écosystèmes, il apparaît aussi crucial de tenir compte des niveaux acceptables de prélèvements nets pouvant répondre à la demande de diverses activités (alimentation, énergie, matériaux, agronomie...) sans s'effectuer au détriment des différents services écologiques de la biomasse agricole (épuration, fixation carbone, cycle en

52. Surface totale sur laquelle l'implantation de haies et d'alignements d'arbres est techniquement réalisable (environ 6 Mha pour l'agroforesterie).

53. La production de 0,6 Mtep (environ 7 TWh) de biodiesel 2G pourrait par exemple nécessiter des surfaces en cultures dédiées jusqu'à trente fois plus importantes (passant de 10 000 ha à 300 000 ha).

54. L'approvisionnement des méthaniseurs en cultures dédiées est actuellement limité à 15 % du total des intrants pour restreindre les risques de compétitions avec l'usage alimentaire de ces cultures. Une hausse significative des unités de méthanisation pourrait remettre en question la place de ces cultures dédiées.

55. Variabilité importante du fait des incertitudes liées aux rendements énergétiques et variantes d'approvisionnement des biocarburants 2G.



azote/eau, biodiversité...). En particulier, un bouclage du cycle en azote, élément déterminant le rendement et la qualité des productions, dans un système limitant l'apport d'intrants de synthèse, repose majoritairement sur le développement des légumineuses, l'utilisation massive des digestats de méthanisation ainsi que sur les cultures intermédiaires laissées au sol. Le stockage de carbone des sols nécessite, quant à lui, des apports en matière organique conjugués à un travail des sols simplifié. Afin d'aboutir à une évolution plus précise du potentiel de biomasse disponible, notamment dans le cas des résidus de cultures, la méthodologie d'évaluation des impacts de nouvelles pratiques doit se poursuivre à des échelles écologiquement fonctionnelles et sur plusieurs années, pour mieux aborder les situations pouvant faire l'objet de pratiques de prélèvements plus importants sans conséquences dommageables sur les écosystèmes agricoles.

Une plus grande productivité de la biomasse doit également aller de pair avec la création et le développement constant de nouvelles chaînes de valeur ajoutée (biocarburants avancés, production de biogaz, matériaux d'origine biologique). Ces utilisations devraient être développées avec un soutien spécifique (cadre juridique, incitations économiques...) qui tienne compte de leurs externalités positives. Le développement de bioénergies/matériaux reste en effet encore limité du fait de la compétitivité des énergies carbonées. La biomasse est une solution nécessitant aussi la prise en compte de tous les risques associés. Le développement de son utilisation est conditionné à un retour financier à hauteur des investissements. Une vision globale est donc requise (production de biomasse, entretien des sols, stockage de carbone, préservation de la biodiversité, qualité de l'eau...), permettant la prise en compte d'un coût intégrant tous ces éléments et pouvant assurer aux acteurs agricoles des revenus suffisants et pérennes.

CONCLUSION

Les écosystèmes agricoles sont une source importante de biomasse. Au vu des nombreux enjeux, actuels et futurs, les disponibilités en biomasse agricole ne permettraient pas de répondre aux objectifs de long terme fixés par la SNBC. Une évolution profonde des systèmes alimentaires et le développement de l'agroécologie pourraient apporter une marge de manœuvre supplémentaire dans l'usage de la biomasse végétale et permettre de mieux concilier ces différents équilibres. Néanmoins, cette évolution, encore incertaine, ne suffirait pas pour atteindre l'objectif de la SNBC et impliquerait de forts soutiens au changement. Une attention toute particulière doit donc être portée à la surexploitation de la biomasse agricole et aux externalités négatives qui pourraient contredire l'objectif global de durabilité dans un système alimentaire en mutation. Par ailleurs, des travaux complémentaires seraient nécessaires pour quantifier le potentiel de biomasse forestière et étudier la possibilité qu'une mobilisation accrue de cette dernière puisse compenser le manque de disponibilité de la biomasse agricole.

À l'heure actuelle, la faible mobilisation en biomasse agricole résulte de blocages structurels au niveau des filières de valorisation. Un des enjeux d'une mobilisation accrue de la biomasse est donc de donner une vision et de proposer un accompagnement aux agriculteurs sur les débouchés possibles de leur production à l'issue d'un changement de pratiques. Au cœur de nombreuses attentes, la mobilisation accrue des ressources en biomasse agricole, notamment à des fins énergétiques, doit faire l'objet d'un soutien spécifique intégrant leurs externalités positives spécifiques tout en allant de pair avec un renforcement des dialogues entre filières/secteurs au sein des territoires, afin de développer une vision partagée des enjeux, en termes d'objectifs à définir ou encore de partage de données scientifiques. Une évolution vers la neutralité carbone semble finalement nécessiter le développement continu d'une programmation agricole de long terme intégrant une vision transversale et planifiée des enjeux associés (production alimentaire et non alimentaire, limitation de l'artificialisation des terres, développement du stockage carbone, maintien de la biodiversité...).



Directeur de la publication : Gilles de Margerie, commissaire général ;
Directeur de la rédaction : Cédric Audenis, commissaire général adjoint ;
Secrétariat de rédaction : Valérie Senné, Anaïs Teston ;
dépôt légal : juillet 2021 - N° ISSN 2556-6059 ;

contact presse : Matthias Le Fur,
directeur du service Édition-Communication-Événements,
01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



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



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



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



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



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

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