

A landscape photograph showing a green field in the foreground, a line of green silos in the middle ground, and a white wind turbine on the left under a clear blue sky.

BIOMASSE : UN RÉEL POTENTIEL POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?

WWF France, janvier 2022



WWF

Le WWF est l'une des toutes premières organisations indépendantes de protection de l'environnement dans le monde. Avec un réseau actif dans plus de 100 pays et fort du soutien de près de 5 millions de membres, le WWF œuvre pour mettre un frein à la dégradation de l'environnement naturel de la planète et construire un avenir où les humains vivent en harmonie avec la nature, en conservant la diversité biologique mondiale, en assurant une utilisation soutenable des ressources naturelles renouvelables, et en faisant la promotion de la réduction de la pollution et du gaspillage.

Depuis 1973, le WWF France agit au quotidien afin d'offrir aux générations futures une planète vivante. Avec ses bénévoles et le soutien de ses 202 000 donateurs, le WWF France mène des actions concrètes pour sauvegarder les milieux naturels et leurs espèces, assurer la promotion de modes de vie durables, former les décideurs, accompagner les entreprises dans la réduction de leur empreinte écologique, et éduquer les jeunes publics. Mais pour que le changement soit acceptable, il ne peut passer que par le respect de chacune et de chacun. C'est la raison pour laquelle la philosophie du WWF est fondée sur le dialogue et l'action.

Monique Barbut est présidente du WWF France et Véronique Andrieux en est la directrice générale.

Pour découvrir nos projets, rendez-vous sur : wwf.fr

Ensemble, nous sommes la solution.

Remerciements

Le document « Biomasse : un réel potentiel pour la transition énergétique ? » est issu d'une démarche collaborative, menée conjointement par le WWF France et le bureau d'études Solagro.

Nous remercions chaleureusement les interlocuteurs, intervenants ou participants qui ont montré leur intérêt pour cette approche et ont accepté de partager leur expérience pendant toute la démarche présentée dans ce document. Leurs connaissances, pratiques et techniques, ont permis de faire vivre le cycle d'ateliers organisé avec Solagro sur les conditions de prélèvement et de gestion des biomasses agricoles et forestières.

Nous remercions tout particulièrement les acteurs qui ont relu ce document et y ont apporté leur regard critique.

Merci aux équipes du WWF France pour leurs contributions et relectures : Bastien Alex, Ludovic Cuisinier, Luce-Éline Darteyron, Arnaud Gauffier, Manon Legeay, Isabelle Marx, Antoine Meunier, William Nait Mazi, Laurine Ollivier, Thomas Uthayakumar, Daniel Vallauri.

Merci aux équipes de Solagro pour l'étude, la réalisation des simulations et la rédaction technique, notamment : Christian Couturier (Solagro), Sylvain Doublet (Solagro) et Florin Malafosse (Solagro).

Merci aux contributeurs et participants aux ateliers : ADEME, AgroParisTech, Alternatives économiques, Canopée, CIBE, CNPF, ECOFOR, FNCCR, FNE, FSC, France Stratégie, GRDF, Humanité Biodiv, IDDRI, INRAE, ONF, ONRB, POLE IAR, Réseau Alternatives Forestières, SER.

Rédaction du rapport

Florent Chardonnal (WWF France), Miora Frossard (WWF France) ;

Partie Agriculture : Manon Legeay (WWF France), Isabelle Marx (WWF France), Thomas Uthayakumar (WWF France) ;

Partie Forêt : Laurine Ollivier (WWF France), Daniel Vallauri (WWF France).

Coordination de l'étude

Florent Chardonnal (WWF France), Marie Kazeroni (2020, WWF France).

Photos de couverture :

© Jan-Otto / istockphoto-157648683-612x612

Usine de Biogaz

© WWF-US / Zachary Bako

Copeaux de bois



Sommaire

Sommaire	2
Sigles, Acronymes et Glossaire	3
Résumé exécutif	5
Précisions à l'attention du lecteur	9
1. La biomasse est une variable essentielle d'un mix énergétique basé sur les renouvelables	10
1.1. La transition des ressources fossiles vers les renouvelables en France	10
1.2. La biomasse pour la transition énergétique	11
1.3. Développer les usages énergétiques de la biomasse fait partie des objectifs de la France et des principaux scénarios	13
1.4. Les usages énergétiques de la biomasse à l'épreuve de la durabilité	16
1.5. Quels scénarios agricoles et forestiers durables pour 2050	17
2. Biomasses agricole et forestière mobilisables en 2050	19
2.1. Les évolutions du système agricole permettent de libérer 45 à 50 MtMS de biomasse	19
2.2. La réorganisation de la filière forêt-bois vers une gestion durable libère des volumes pour les usages énergétiques	23
3. Les usages énergétiques de la biomasse seront indispensables, mais limités	30
3.1. Les usages énergétiques de la biomasse agricole	30
3.2. Les volumes disponibles et les usages énergétiques du bois	35
4. La biomasse ne pourra pas répondre à tous les besoins, mais elle contribuera au mix énergétique de la France en 2050	38
Table des figures	41
Table des tableaux	41
Table des encarts	41

Sigles, Acronymes et Glossaire

Aboutage	Technique d'assemblage de pièces de bois de bout en bout pour obtenir une pièce en longueur
ADEME	Agence française de la demande et la maîtrise de l'énergie
Agroécologie	Ensemble des méthodes de production agricole respectueuses de l'environnement
Agroforesterie	Mode d'exploitation des terres agricoles qui associe des arbres aux cultures ou à l'élevage
AIE	Agence internationale de l'énergie
Artificialisation des sols	Selon le MTE, l'artificialisation des sols est la transformation d'un sol naturel, agricole ou forestier pour de l'aménagement qui mène à une imperméabilité totale ou partielle des sols
BE, bois énergie	Bois utilisé pour la production d'énergie : chaleur ou électricité. Le bois bûche est souvent utilisé par les particuliers, mais de nouveaux produits sont apparus comme la plaquette forestière et les granulés bois (pellets)
BFT, bois fort tige	Tige principale de l'arbre jusqu'au diamètre de 7 cm
BI, bois industrie	Le bois d'industrie est en général du bois de petite dimension, inutilisable en bois d'œuvre mais pouvant être valorisé selon d'autres utilisations industrielles (panneaux de particules, papier et carton, chimie verte...)¹
Biocarburants	Carburant issu de la biomasse
Biogaz	Gaz combustible issu des matières organiques, composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone
BO, bois d'œuvre	Le bois d'œuvre est constitué de grumes destinées au sciage, déroulage, tranchage et autres usages « nobles » de la filière bois. Après transformation, ces bois servent en menuiserie, charpente, ameublement, caisserie.²
Bois rond	Le bois rond comprend tout bois abattu et façonné, avant la première transformation industrielle : grume (tronc coupé, ébranché et revêtu de son écorce), bille, rondin ou bûche (INSEE)
Boulbène	Terre composée de sable, de limons argileux rougeâtres et de cailloux
Cogénération	Production conjointe de chaleur et d'électricité
Connexes	Résidus générés par la transformation du bois (sciures, chutes de bois...)
Cultures intermédiaires	Cultures temporaires entre deux cultures principales ayant pour objectif d'améliorer la fertilité des sols
Digestat	Le digestat est un co-produit du processus de méthanisation dont les caractéristiques dépendent de la nature des biomasses entrantes
Enquêtes annuelles de branche, ou EAB	Remontées d'informations des entreprises de travaux forestiers et de transformation
ENR	Energies renouvelables
Futaie irrégulière	La futaie irrégulière est un peuplement dans lequel diverses classes d'âge et de diamètre sont représentées
GES	Gaz à effet de serre
GRECO	Grandes régions écologiques
Grume	Tronc coupé, ébranché et revêtu de son écorce

¹ <https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/Bois-d-industrie>.

² <https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/Bois-d-oeuvre>.

IAE	Infrastructure agro-écologique
IFN	Inventaire forestier national
INRAE	Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
Lamellage	Assemblage de bois en lamelles pour fabriquer une pièce de grande dimension
Libre évolution	Un espace naturel en libre évolution est un terrain pour lequel la volonté est de ne pas intervenir. Cet espace évolue librement sans usage particulier pour l'homme, quelle que soit son histoire agricole, forestière, industrielle ou autre. Ainsi, il peut désigner une friche agricole vieille de cinq ans, un fourré humide de saules ou même une forêt non exploitée depuis cinquante ans ³
Liqueur noire	Sous-produit de l'industrie de pâte à papier : solution aqueuse issue de la fabrication du papier kraft, composée notamment de lignine et d'hémicellulose
LTECV	Loi de Transition énergétique pour la croissance verte
Matière sèche	Substance issue de matière organique qui reste après élimination de toute l'eau qu'elle contient. Elle est la partie d'une denrée alimentaire ou d'une autre substance qui resterait si toute sa teneur en eau était supprimée
Méthanisation	Processus biologique de dégradation de la matière organique, appelé aussi digestion anaérobie
Mm³	Millions de mètres cubes
Mm³eq	Millions de mètres cubes équivalents bois rond
MOS	Matière organique des sols
MTE	Ministère de la Transition écologique
MtMS	Millions de tonnes de matière sèche
Panneaux de bois	Planches ou panneaux réalisés à partir de bois aggloméré
Plaquettes forestières	(Pellet en anglais) Granulés obtenus en broyant du bois, sources d'alimentation des chaudières bois
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
Pyrogazéification	Procédé de pyrolyse et gazéification qui consiste à chauffer la biomasse à température très élevée pour en extraire du syngaz
Raison sanitaire	Dépérissement trop important d'une forêt, qui mène au besoin d'une coupe rase suivi d'un reboisement ⁴
RED	Renewable Energy Directive, directive de l'Union européenne relative à l'utilisation des énergies d'origine renouvelable
SAU	Surface agricole utile
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
SNMB	Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse
STEP	Station d'épuration
TRL	Technology Readiness Level. Échelle de 1 à 9 pour mesurer la maturité d'une technologie
ZAN	Zéro artificialisation nette

³ Selon le Conservatoire des espaces naturels.

⁴ <https://www.canopee-asso.org/coupes-rases>.

Résumé exécutif

La biomasse, littéralement la masse du vivant, représente l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale présente sur terre et dans les océans. La biomasse terrestre se répartit entre des zones à forte concentration comme les zones forestières jusqu'aux zones plus pauvres que sont les déserts.

C'est la **plus ancienne source d'énergie utilisée par les êtres humains et toujours la première énergie renouvelable consommée en France aujourd'hui**. Face à l'urgence climatique, la biomasse est perçue comme une des solutions majeures de la transition énergétique. Elle peut être source de différents vecteurs : gaz issu de la décomposition de la matière organique, carburants, énergie thermique par combustion directe.... Il est crucial de **comprendre quelle place elle pourrait occuper dans le mix énergétique français** selon un scénario de gestion agricole et forestière durable.

Le WWF France a initié en 2020 une étude avec l'association Solagro pour estimer la **quantité de biomasse mobilisable pour l'énergie en France métropolitaine en 2050**. Dans cette analyse, nous nous intéressons exclusivement à la biomasse collectée à partir des filières agricoles ou forestières. Les déchets verts ménagers, les eaux usées, ainsi que les déchets verts urbains non-ligneux constituent aussi des gisements de biomasse, non pris en compte dans la présente étude.

L'étude se base sur les travaux prospectifs d'alimentation et d'agriculture durables (scénario WWF Pulse Fiction 2021) d'un côté, et **de gestion forestière durable** (scénario Fern Canopée 2020) de l'autre. Dans le respect des Accords de Paris et du vivant, ces travaux permettent de fixer les besoins prioritaires de production agricole pour l'alimentation et de définir une stratégie visant à optimiser le rôle de la gestion forestière.

L'évolution des systèmes agricoles permet de dégager un volume de biomasse utilisable pour l'énergie correspondant à presque 15 % de la consommation énergétique de la France en 2050⁵.

Pour identifier la biomasse agricole mobilisable en 2050, il est nécessaire d'estimer les besoins alimentaires des Français : c'est l'objet du scénario Pulse Fiction. En respectant les engagements français pour la lutte contre le changement climatique, le scénario décrit les effets de l'évolution des régimes alimentaires sur les systèmes agricoles. Tout en garantissant que les Français aient accès à une alimentation répondant en qualité et quantité à leurs besoins nutritionnels, les systèmes agricoles évoluent vers plus de durabilité. Passage à une agriculture plus durable (agroécologie, agriculture biologique), développement des infrastructures agroécologiques, élevage en plein air et culture de légumineuses permettent aux systèmes alimentaires de répondre aux enjeux climatiques et écologiques. Sur le volet climatique par exemple, le scénario permet de diminuer de 55 % les émissions de gaz à effet de serre du secteur, tout en abaissant de 45 % sa demande en énergie par rapport à 2010.

Cette image figée du système alimentaire permet de dégager les surplus de biomasse mobilisables (ressources fourragères, fumier, résidus de culture et déchets de l'industrie agroalimentaire). **Au total, nous estimons entre 45 et 50 mégatonnes la quantité de biomasse (matière sèche) mobilisable par an**, soit environ un tiers du surplus produit.

Cette quantité peut être utilisée dans différents secteurs : énergie, construction, chimie, etc. L'estimation des besoins relatifs à certains secteurs reste toutefois complexe et nous manquons à ce jour d'études prospectives. La projection de la biomasse vers ces différents usages s'est donc faite selon les

⁵ Selon la Stratégie national bas carbone, la consommation énergétique en France en 2050 serait de 930 TWh/an.

connaissances existantes, ce qui peut conduire à favoriser la biomasse énergie, variable d'ajustement des usages.

Nous considérons qu'en 2050, les biocarburants de première génération seront abandonnés, car non durables. Les carburants de seconde génération, issus de biomasse agricole et estimés à 15 TWh/an, seront principalement utilisés par le secteur aéronautique qui peine à trouver des alternatives aux carburants fossiles.

La biomasse restante serait principalement fléchée vers le développement d'unités de méthanisation (pour 100 à 110 TWh/an). Sous certaines conditions de durabilité que le WWF France a étudiées en 2019⁶, la méthanisation peut permettre la production d'une énergie renouvelable et utilisable localement, s'insérant dans des systèmes de production compatibles avec une transition agro-écologique.

Ces évolutions du système alimentaire et agricole induisent la libération d'une surface importante de friches dans la continuité des boisements constatés au 20^e siècle qui ne sont toutefois pas considérés comme de la forêt exploitable à l'horizon 2050.

La gestion durable des forêts et la revalorisation des filières permettent de mobiliser un volume de biomasse-solide pour l'énergie correspondant à 15 % de la consommation énergétique de la France en 2050⁷.

À cet horizon, 25 % des forêts sont laissées en libre évolution pérenne. En raison des difficultés d'accessibilité à l'exploitation mécanisée et de choix volontaires de mise hors exploitation pour des raisons sociales et écologiques, la surface forestière exploitée serait donc en moyenne de 75 % sur le territoire.

Les taux de prélèvement sont équivalents à ceux constatés aujourd'hui, mais la qualité du bois exploité est optimisée. **Plus de 50 % des volumes de bois d'œuvre sont d'origine feuillue, soit le triple du volume actuel.** Le retour des haies en agriculture, l'agroforesterie, et le développement de l'arbre en zone artificialisée permettent également de dégager des volumes exploitables de bois hors forêts.

D'ici à 2050, la gestion de la ressource de bois est optimisée et une relocalisation industrielle importante est engagée. Les importations et les exportations, notamment en dehors de l'Europe, sont fortement diminuées, voire stoppées, particulièrement pour le bois servant à des usages énergétiques.

La demande en bois se tourne vers plus de bois d'œuvre et de panneaux pour la construction, mais dans un contexte de nouvelle construction en forte diminution, lié à la démarche de zéro artificialisation nette. Le tissu industriel français, composé de petites et moyennes scieries, doit être conservé ou re-développé et un accompagnement de l'aval de la filière est nécessaire : architectes, menuisiers, charpentiers doivent être mobilisés autour des usages des bois feuillus pour répondre aux exigences techniques de la construction basse énergie. Enfin, la substitution de l'ensemble des emballages plastiques ne permet pas de baisser la demande dans la filière papier-carton malgré des efforts de sobriété.

Le volume de bois-bûche autoconsommé diminue fortement et les usages énergétiques du bois ne doivent pas représenter de pression supplémentaire sur la forêt. En dehors des usages domestiques et du bois provenant de ressources hors forêts, seuls les résidus et déchets de bois issus des transformations du bois d'œuvre et du bois industrie seront utilisés pour l'énergie. **En 2050, le volume de bois attribué à des usages énergétiques serait de 52 millions de mètres cubes équivalent bois rond par an** (13,2 Mm³ proviennent directement d'une exploitation en forêt dédiée à l'énergie ; 31,8 des connexes des industries du bois et du papier-carton, et 7 du bois récolté hors forêt).

Lorsqu'il est utilisé pour produire de l'énergie, **la consommation du bois émet du CO₂ et crée une « dette carbone » jusqu'à ce que ce carbone soit de nouveau absorbé par la forêt.** Suivant la

⁶ WWF, 2020 : *Méthanisation agricole : quelles conditions de durabilité de la filière en France ?*

⁷ Selon la Stratégie national bas carbone, la consommation énergétique en France en 2050 serait de 930 TWh/an.

tendance actuelle, **les réseaux de chaleur se développent et les usages du bois domestique diminuent**, ce qui permet de mieux valoriser les connexes et coproduits de la filière.

La biomasse possède un potentiel certain pour des usages énergétiques, mais son exploitation ne sera durable qu'à certaines conditions

Selon les hypothèses prises en compte, en 2050, **le potentiel pour la France métropolitaine serait de 120 à 130 TWh/an pour la biomasse agricole et de 140 TWh/an pour la biomasse forestière**. Afin de participer à la lutte contre le changement climatique et à la transition écologique, de nombreuses conditions de durabilité devront être respectées pour que ce potentiel énergétique soit bénéfique et durable.

Notre étude nous permet de définir cinq conclusions relatives au prélèvement, à l'exploitation et à la transformation de la biomasse agricole et forestière pour des vocations énergétiques⁸⁹.

- **La mobilisation de la biomasse doit être au service de la lutte contre le réchauffement climatique et de la préservation de la biodiversité**

La combustion de la biomasse solide ou du biogaz émet du CO₂ et ne peut être considérée comme neutre pour le climat que sur une échelle de temps qui prend en compte le cycle complet d'émission-absorption.

Une agriculture ou une plantation forestière ayant pour seul objectif la production d'énergie ne peut représenter une solution durable ou bas-carbone et répondre aux enjeux liés au dérèglement climatique et à la préservation de la biodiversité. De plus, les usages énergétiques de la biomasse doivent permettre, en s'y substituant, une diminution de l'utilisation d'énergie carbonée.

L'utilisation de la biomasse doit respecter les critères de durabilité de la Stratégie nationale de la mobilisation de la biomasse et du WWF. Les stratégies d'usage énergétique doivent prendre en compte les émissions directes comme indirectes associées, l'impact sur la biodiversité, les sols et le climat ainsi que l'utilisation des terres, les pratiques agricoles ou le transport de la matière.

- **La satisfaction de nos besoins alimentaires doit rester prioritaire sur l'usage de la biomasse pour le secteur de l'énergie**

La priorisation des usages de la biomasse, dans un ordre croissant, est la suivante : l'alimentation (humaine puis animale) puis la bio-fertilisation (retour au sol), la production de matériaux (biens de consommation d'équipements), et enfin, la production d'énergie (gaz, chaleur, électricité).

La biomasse qui sera valorisée énergétiquement ne doit pas concurrencer les besoins alimentaires ni mettre en danger la capacité du système agricole à y répondre. La biomasse pour l'énergie produite sur le territoire national ne doit pas induire une hausse des prix de la nourriture ou sa disponibilité, et ne doit pas provoquer de concurrence d'usage des terres agricoles. En 2050, aucune culture principale n'est dédiée à une valorisation énergétique. Enfin, les importations et exportations de biomasse énergie provenant de l'agriculture seront à proscrire d'ici à 2050.

- **Le déploiement des unités de valorisation énergétique de la biomasse agricole doit se faire de manière adaptée aux ressources et aux contraintes des territoires**

Nous favorisons la construction de méthaniseurs de taille modérée sous forme de projets collectifs territoriaux regroupant quelques exploitations agricoles (y compris paysannes et familiales) et qui respectent les critères de durabilité tels que le bilan carbone positif (effets directs avec les fuites de

⁸ Global Network Policy, 2012 : *WWF Policy on Bioenergy*

⁹ WWF, 2017 : *EU Bioenergy Policy* : Ensuring that the provisions on bioenergy in the recast EU Renewable Energy Directive deliver genuine climate benefits.

méthane, effets indirects, transport de la matière et usages des sols), le bilan biodiversité positif et la compatibilité avec la transition agro-écologique des systèmes de production.

Des études devront être menées au cas par cas selon les installations, les gisements et les territoires. Ces unités de méthanisation pourront être opérées par des projets à gouvernance locale. Chaque étape du projet, de son initiation à l'exploitation de l'unité de méthanisation, doit mobiliser l'ensemble des parties prenantes concernées, des riverains aux experts techniques. Nous encourageons une prise en compte globale des enjeux économiques et de tous les impacts du déploiement de l'économie du biogaz dans les territoires et les campagnes. Enfin, le biogaz ainsi produit pourra être injecté dans les réseaux de distribution, mais il ne doit pas être un prétexte au maintien de l'exploitation des ressources en gaz fossile. Il pourra également être transformé en chaleur et en électricité dans des unités de cogénération pour notamment assurer des services de flexibilité pour le réseau électrique. De même, du bioGNL peut être produit à destination du secteur du transport mais cela ne doit pas encourager l'utilisation du GNL.

- **Les usages nobles du bois via une sylviculture raisonnée sont prioritaires sur l'utilisation du bois pour l'énergie**

Le WWF France est favorable à un usage énergétique du bois dans le seul cadre où il ne représente pas une pression supplémentaire sur la forêt et n'utilise que les résidus et déchets de bois issus de l'élagage ou des éclaircies. Une attention particulière doit être mise sur les émissions induites.

Les usages comme le bois d'œuvre qui permettent de stocker le carbone sur une longue durée doivent toujours être privilégiés, et le bois ne doit pas représenter une ressource dédiée à l'énergie. La filière de première transformation du bois est à renforcer afin notamment de limiter les imports-exports et de valoriser les connexes de cette transformation sur le territoire national. La filière aval du bois d'œuvre doit être mobilisée, et le bois feuillu, essences locales et résilientes, revalorisé dans la construction.

Ensuite, le bois industrie, par la production de panneaux, de pâte à papier ou encore de chimie est une seconde priorité d'usage du bois.

Enfin, les usages énergétiques permettent de valoriser les déchets produits par les transformations successives ou la fin de vie de certains matériaux.

- **Le déploiement de centrales à haut rendement, proches des massifs forestiers et des filières aval du bois est à privilégier**

L'utilisation pour l'énergie de la ressource doit être réalisée de manière à respecter les capacités des gisements locaux (pas d'import/export du bois) et via des unités¹⁰ à haut rendement et taille modérée¹¹. Les possibilités de gestion au travers de projets à gouvernance locale (chaufferies collectives) doivent être soutenues et mises en avant.

Enfin, les centrales devront répondre à des critères de durabilité et des analyses d'impact sur les milieux et les capacités forestières environnantes en prenant en compte toutes les autres pressions sur les ressources (autres centrales énergétiques, papetier, prélèvement de BO, etc.).

Les suites logiques de cette étude seront d'étudier comment utiliser le potentiel énergétique tout en considérant l'impact sur le climat et la biodiversité, régionaliser les capacités et usages pour mieux comprendre les conditions et moyens de développement, ajouter une évaluation du gisement des déchets ménagers et boues issues du traitement des eaux usées, et enfin, de définir comment assurer un déploiement de la méthanisation ou des centrales à bois de manière durable.

¹⁰ Les unités qui produisent uniquement de l'électricité ne sont pas soutenues.

¹¹ Jusqu'à 20 à 25 MW maximum si on regarde la taille des centrales pouvant respecter les critères de durabilité.

Précisions à l'attention du lecteur

Ce rapport présente une étude prospective réalisés par le WWF et Solagro et basés sur deux scénarios existants et ambitieux pour la France métropolitaine de 2050. L'étude présentée ci-après comportent par ailleurs de nombreuses limites :

- Le diagnostic agricole suivant considère les problématiques et gisements à un échelon national uniquement, sans régionalisation.
- Des hypothèses relatives aux modèles agricoles et aux pratiques de production associées ont été prises en compte pour le travail prospectif et sont détaillées dans la suite de l'analyse.
- Des hypothèses ont été prises en compte sur les modes de sylviculture, de prélèvements forestiers ainsi que sur la demande, les exportations et importations du bois et sont détaillées dans la suite du document.
- Les déchets ménagers¹², les boues de STEP ainsi que les déchets verts non ligneux des collectivités ne font pas partie des biomasses considérées dans l'analyse. En effet, la contribution des déchets ménagers est aujourd'hui faible pour des usages énergétiques ou autres, et le volume disponible en déchets devrait être amené à réduire grâce notamment, aux politiques de réduction du gaspillage. Par ailleurs, les déchets verts non ligneux sont très diffus et selon les experts auditionnés, il semble difficile de les collecter pour les valoriser.
- Les émissions de gaz à effet de serre issues de la transformation de la biomasse en énergie ne sont pas prises en compte dans cette étude. Elles devront être étudiées dans une optique de priorisation des technologies de valorisation de la biomasse en énergie. En effet, l'atteinte de la neutralité carbone sur une échelle de temps donnée ne sera effective qu'en prenant en compte les cycles complets de régénération des stocks de matières organiques.
- Il reste beaucoup d'incertitudes et peu d'études sur les besoins en biomasse non alimentaire, particulièrement pour le domaine du textile, de la chimie ou autres produits biosourcés. Ainsi, comme nous l'avons précisé, la biomasse énergie étant la variable d'ajustement des autres usages de la biomasse, la quantité de matière disponible pour l'énergie est susceptible d'être réajustée en fonction des nouvelles études à paraître prochainement¹³.

¹² Le cadre législatif est en cours d'évolution : https://www.ecologie.gouv.fr/biodechets#scroll-nav__5.

¹³ L'usage des matériaux biosourcés est étudié par l'association NegaWatt dans son rapport NegaMat.

1. La biomasse est une variable essentielle d'un mix énergétique basé sur les renouvelables

1.1. La transition des ressources fossiles vers les renouvelables en France

Les ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon) sont presque entièrement importées¹⁴ sur le territoire français et émettent une importante quantité de gaz à effet de serre tout au long de leur cycle de vie. Elles sont encore utilisées en 2019 en France à hauteur de 60 %¹⁵ de l'énergie finale consommée, c'est-à-dire de l'énergie facturée aux consommateurs finaux. Dans le monde, elles représentaient plus de 84 %¹⁶ de l'énergie consommée en 2019.

Les énergies fossiles proviennent de la transformation de la matière organique fossilisée dont les stocks ont mis des millions d'années à se constituer et sont présentes en quantités limitées. Les sources d'énergies renouvelables exploitent pour leur part des éléments naturels qui ne s'épuisent pas ou peuvent se reconstituer sur une échelle de temps plus réduite : le soleil, le vent, le sol, le sous-sol, l'eau et les matières organiques.

Selon le triptyque Négawatt que nous soutenons, **la transition énergétique consiste tout d'abord à diminuer nos consommations d'énergie finale, améliorer l'efficacité énergétique, puis à substituer la consommation des énergies fossiles par des énergies renouvelables** qui sont moins polluantes et permettent une décentralisation et une démonopolisation des moyens de production de l'énergie.

Pour remplacer les énergies fossiles dans le mix énergétique français, nous devons faire face à de nombreux défis qui demandent, pour les relever, du temps, des investissements et la substitution de certains actifs existants.

¹⁴ <https://www.ecologie.gouv.fr/ressources-en-hydrocarbures-france>.

¹⁵ MTE, 2020 : *Bilan énergétique France 2020*.

¹⁶ AIE, 2020 : *World Energy Outlook*.

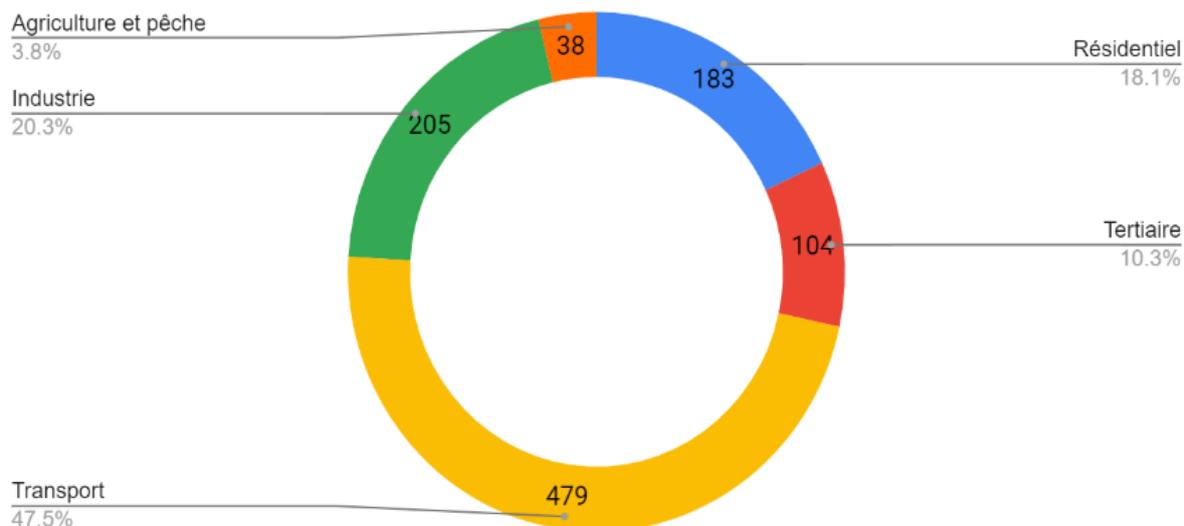


Figure 1 : Consommation d'énergie fossile par secteur en TWh (selon le Bilan Énergétique de la France en 2019, MTE)

En 2019, le secteur du transport consomme la moitié des énergies fossiles utilisées sur le territoire national.

Les principaux acteurs¹⁷ qui mènent des études prospectives s'accordent sur l'importance du vecteur électrique pour décarboner nos consommations d'énergies. En effet, les énergies renouvelables avec les plus forts potentiels de développement se basent sur la transformation de l'énergie solaire, éolienne ou hydraulique en électricité. Une électrification massive de notre consommation est prévue et des alternatives au gaz et aux carburants fossiles sont à mettre en place lorsque l'électrification n'est pas possible : procédés industriels à haute température comme dans la filière métallurgie ou besoin de stockage de grandes quantités d'énergie par exemple.

1.2. La biomasse pour la transition énergétique

Selon l'ADEME, la biomasse agricole se définit comme l'**ensemble des matières organiques produites et issues des systèmes agricoles** : viande, lait, cultures, herbe, résidus de culture, effluents d'élevage... et la biomasse forestière comme **les végétaux ligneux et la matière provenant de la forêt**. Elles peuvent être valorisées énergétiquement de différentes manières : procédés de combustion, méthanisation, raffinage ou gazéification¹⁸. Les produits ainsi obtenus (biocarburants, biogaz...) sont des vecteurs énergétiques qui pourront être ensuite transformés en chaleur ou en force mécanique pour des applications multiples.

La biomasse est la plus ancienne source d'énergie maîtrisée par l'homme et elle représente toujours aujourd'hui la première source

¹⁷ ADEME, RTE, Negawatt, Cired, AIE.

¹⁸ Ou pyrogazéification.

d'énergie renouvelable de France (plus de 50 % de la production d'énergie renouvelable finale) avec le bois pour 33 % (2020)¹⁹.

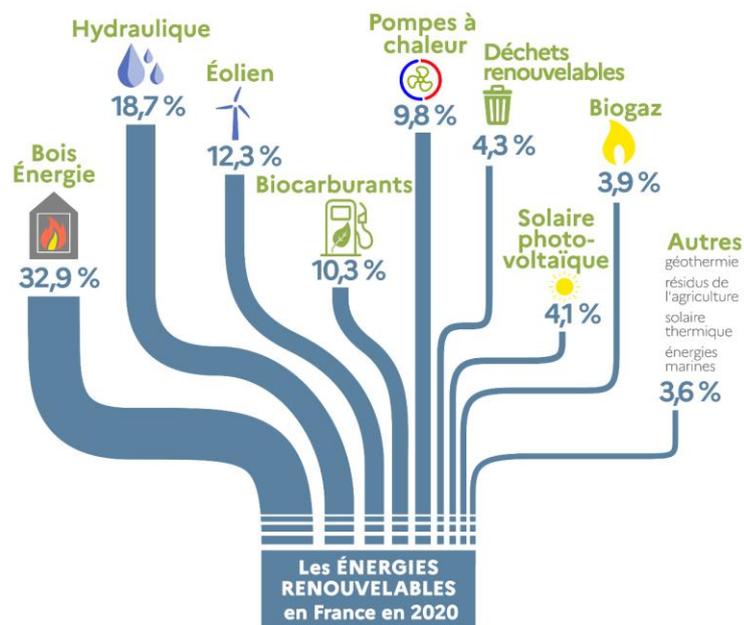
Données clés Énergies renouvelables

19,1 %

Part des EnR* dans la consommation finale brute d'énergie en France en 2020

+ 84 %

Évolution des EnR* de 1990 à 2020 en France métropolitaine



* EnR : énergies renouvelables.

extrait de : Chiffres clés des énergies renouvelables — Édition 2021

MTE/Service des données et études statistiques, 2021 - Bertrand Galliet

Figure 2 : Données clés des énergies renouvelables en France en 2020 (source : MTE)

La biomasse agricole ou forestière (non-ligneuse et ligneuse) a de nombreux usages énergétiques possibles :

- **La décomposition de la matière organique émet un gaz inflammable** (méthane) qui est par ailleurs le même gaz que celui qui est utilisé dans les réseaux publics de gaz naturel fossile. De l'huile peut également être extraite de la matière organique puis transformée en carburants, elle pourra être stockée sous forme liquide.
- **La biomasse ligneuse, le bois et ses dérivés peuvent être utilisés directement en tant que matière à brûler** dans des centrales thermiques ou

¹⁹ Chiffres des énergies renouvelables du MTE 2021 (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-des-energies-renouvelables-edition-2021>).

encore être transformés sous forme de gaz et de carburant via des procédés de pyrogazéification.

Comme ceux issus des énergies fossiles, les gaz et les carburants issus de la biomasse possèdent une grande capacité de stockage énergétique. Ils seront utilisés dans les transports ou encore comme capacité de stockage pour l'équilibrage d'un système électrique fonctionnant avec des sources d'énergie variables comme le solaire et l'éolien.

1.3. Développer les usages énergétiques de la biomasse fait partie des objectifs de la France et des principaux scénarios

Dans sa trajectoire de transition énergétique, la France suit notamment le cadre réglementaire européen en perpétuelle évolution dans ce domaine : **les objectifs définis pour 2030 incluent l'accroissement de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale à un niveau d'au moins 32 %²⁰.**

De plus, après la directive RED I relative aux énergies renouvelables déjà adoptée en 2009 qui soumettait les biocarburants à des exigences de durabilité et de réduction d'émissions de gaz à effet de serre, le projet de décret RED II s'applique aux installations de bioénergies (gaz, chaleur, électricité, etc)²¹. L'objectif est de « définir un cadre commun pour la promotion de la production d'énergie à partir de sources renouvelables » et de fixer un objectif à 2030 pour la part de ces énergies dans la consommation énergétique finale de l'UE. Cette directive aura des conséquences sur le développement de ces filières puisqu'elle implique des processus de suivi et de vérification du respect des critères de durabilité.

En France, la loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) adoptée en 2015 fixe un cadre pour la transition énergétique et l'essor des énergies renouvelables. Selon les objectifs nationaux et les grands scénarios pour 2050, le recours à la biomasse pour des usages énergétiques paraît primordial pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

Notamment, la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE 2018-2023)²² fixe pour 2023 un objectif d'augmentation de 50 % du rythme de développement de la production de chaleur renouvelable par rapport à 2014.

Le gaz renouvelable devrait pour sa part représenter 10 % de la consommation de gaz²³ en 2030, d'après les objectifs fixés par la LTECV.

La filière bois énergie est fortement soutenue par les pouvoirs publics, principalement par le biais d'aides à l'investissement. Entre 2009 et 2017, 1 124 installations de bois énergie et d'approvisionnement ont été soutenues par le Fonds Chaleur pour 765 millions d'euros d'aide sur les opérations d'investissement. Entre 2015 et 2017, 30 millions d'euros ont été alloués

²⁰ Parlement européen <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/press-room/20180614IPR05810/nouvel-objectif-de-32-d-energies-renouvelables-d-ici-2030>.

²¹ <https://www.vie-publique.fr/consultations/279651-projet-de-decret-red-ii-durabilite-ges-bioenergie>.

²² La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) s'inscrit dans le plan d'action sur la mobilisation de la biomasse dans le cadre de la Loi pour la transition énergétique et la croissance verte (LTECV). La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), Stratégie nationale pour la mobilisation de la biomasse (SNMB) et sa déclinaison régionale en font également partie (ministère de la Transition écologique, 2018).

²³ Article L. 100-2. Pour information, la consommation de gaz était de 451 TWh en 2019 selon GRTGaz.

également au Fonds « air-bois », représentant un objectif de modernisation de 20 % du parc d'appareils de chauffage individuel bois. En 2015, les aides apportées aux investissements concernaient pour 44,3 % les installations BCIAT (Biomasse chaleur industrie, agriculture et tertiaire), avec un approvisionnement basé majoritairement sur les plaquettes forestières, et pour 12,6 % la méthanisation (France Bois Forêt, 2019).

Parallèlement, la filière méthanisation est poussée par les politiques publiques, notamment par le Plan énergie méthanisation autonomie azote (EMAA) lancé en 2013. Ainsi, en 2018 il y avait près de 700 unités de méthanisation sur le territoire, dont 442 avec des ressources agricoles, et les projets sont de plus en plus nombreux.

Dans le contexte de la **Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse**, qui découle de la loi sur la transition énergétique, les interrogations sur la disponibilité de la biomasse²⁴ comme source d'énergie et les différents enjeux associés sont au cœur de la problématique : les objectifs de développement de la biomasse doivent être établis en se basant sur une réalité environnementale et économique.

En 2016, l'ADEME a réalisé une étude prospective « Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 », avec des scénarios qui visent à atteindre cet objectif. Cette même année, Solagro et NégaWatt ont également publié des scénarios prospectifs Afterres 2050 et le scénario NégaWatt 2017-2050 qui comprend une partie relative à l'usage de la biomasse pour produire du biogaz. En octobre 2021, NégaWatt a mis à jour son scénario prospectif dans une version 2022-2050.

²⁴ Selon la SNMB, la biomasse mobilisable en France comprend les déchets et résidus de bois de forêt et hors forêt, les résidus de culture annuelle, les CIVE (Cultures intermédiaires à vocation énergétique), les déchets de l'industrie agro-alimentaire, les biodéchets des ménages et de la restauration, les déchets verts, les effluents d'élevage et les boues de STEP.

Rapport ou Scénario	contrib. éner. biomas. (TWh)	biomas. solide (TWh)	biocarb. (TWh)	biogaz (TWh)
PPE ²⁵ 2023		145	-	6
PPE 2028		157-169	-	14-22
SNBC AMS ²⁶ 2050	430	dont 250 de biomasse agricole		
SNMB ²⁷ : besoins 2050	319-416	244	59-70	16-102
ADEME Mix gaz 100 % Ren. 2050 ²⁸				276-361 (dont métha 100-128)
Négawatt : scénario 22-50 ²⁹ (scénario 17-50 ³⁰)	386 (418)	196 (247)	52 (37)	138 (134)
Solagro : scénario Afterres 2050 ³¹	371	233 ³²	14	124
France Stratégie 2050 ³³ : scénario agroécologique	155 (biomasse agricole seule)	dont 25 haies et agroforesterie, 30 biocarb 1G, 89 métha et 10 non méthanisable		

Tableau 1 : Quantité de biomasse disponible pour des valorisations énergétiques selon les différents acteurs et scénarios

À l'échelle mondiale, la dernière étude de l'AIE³⁴ estime qu'en 2050, la biomasse représentera 20 % de la production d'énergie mondiale, dont 55 % issus de biomasse forestière. Cela impliquerait de passer de 330 à 410 millions d'hectares de surface de production en 2050, dont 270 millions de forêts et 140 millions de terres agricoles. **Cette augmentation de presque 25 % des surfaces dédiées à la production de biomasse pour l'énergie peut questionner quant à ses conséquences sur les systèmes alimentaires et forestiers, ou encore les écosystèmes naturels.**

²⁵

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

²⁶ <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>.

²⁷ Basés sur 2014 (E. Finale, Pouvoir Calorifique Inférieur biogaz et E. primaire chaleur et biocarb) <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20de%20Mobilisation%20de%20la%20Biomasse.pdf>.

²⁸ ADEME, 2018 : *Mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?*

²⁹ <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022>.

³⁰ https://negawatt.org/IMG/pdf/scenario-negawatt_2017-2050_hypotheses-et-resultats.pdf.

³¹ https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/solagro_afterres2050_version2016.pdf.

³² Bois, pailles, autres produits dérivés du bois.

³³ France Stratégie, 2021 : *Biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel ?*

³⁴ <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.

1.4. Les usages énergétiques de la biomasse à l'épreuve de la durabilité



Des associations environnementales se sont penchées sur la question des conditions de durabilité et d'acceptabilité nécessaires au déploiement des capacités de production de cette énergie renouvelable. Le WWF a publié en 2020 une étude visant à établir un cadre de durabilité de la méthanisation agricole : « *Méthanisation agricole : quelles conditions de durabilité de la filière en France ?* » et France Nature Environnement a également développé l'outil « Méthascope »³⁵ qui est un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement et le déploiement pour les porteurs de projets de méthanisation.

En effet, le nombre de sites injectant du biométhane dans les réseaux de gaz naturel explose. En un peu plus d'un an, le parc d'installations a doublé. Tous les acteurs sont engagés dans une course de vitesse, alimentée par l'arrivée des principaux énergéticiens, pour massifier leur production et réduire leurs coûts ce qui n'est pas sans impact sur les gisements, la qualité des matières agricoles ingérées par les digesteurs et les réseaux de distribution du gaz. La Commission de régulation de l'énergie anticipe plus de 500 M€ d'aides à l'injection de biométhane en 2021, soit le double de 2020.

D'autres études remettent aujourd'hui en question les objectifs quantitatifs pris ces dernières années. À l'échelle européenne par exemple, l'organisation Material Economics³⁶ remet en question le scénario de neutralité carbone en 2050 de l'UE qui, selon eux, surestime de 40 à 100 % la quantité de biomasse disponible pour des usages matériaux et énergétiques³⁷. À l'échelle de la France, l'étude de France Stratégie³⁸ révèle que les objectifs de la PPE en termes de mobilisation de la biomasse pourront être atteints uniquement si des changements structurels et profonds sont engagés dans le système agricole et alimentaire français.

Dans ce contexte de transition énergétique, l'objectif de notre étude est de quantifier les gisements de biomasse disponible en France métropolitaine à l'horizon 2050 et selon des scénarios agricoles et forestiers prenant en compte des critères de durabilité.

i. Critères de durabilité de la SNMB

La SNMB propose des critères de durabilité pour la mobilisation de la biomasse agricole.

- **Hierarchie des usages.** Certains usages doivent être priorités, selon l'ordre suivant : aliments, biofertilisants, matériaux, énergie.
- **Préservation de la qualité des sols : matières organiques des sols.** La biomasse mobilisée ne doit pas entraîner un « appauvrissement des stocks de MOS (Matière organique du sol) de la zone où elle est prélevée ».
- **Préservation de la qualité des sols : compactage et sanitaire.** Un point de vigilance doit être mis sur les passages d'engins lourds, les coproduits non-agricoles et les digestats.
- **Préservation de la biodiversité des sols agricoles et de l'espace agricole.** Elle est sensible au travail du sol, aux pesticides et à la fertilisation.
- **Préservation de la qualité paysagère.** La non-artificialisation est un élément important et la gestion des espaces agricoles implique des éléments positifs comme la plantation de haies.

³⁵ <https://fne.asso.fr/publications/methascope>.

³⁶ <https://materialeconomics.com/publications/eu-biomass-use>.

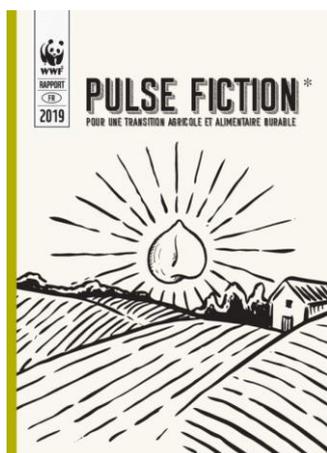
³⁷ <https://www.revolution-energetique.com/leurope-surestime-t-elle-le-potentiel-de-la-biomasse-energie>.

³⁸ <https://www.strategie.gouv.fr/publications/biomasse-agricole-ressources-potentiel-energetique>.

- **Gestion durable de la ressource en eau.** La pression sur la disponibilité de la ressource en eau ne doit pas être accentuée et sa qualité ne doit pas être dégradée.
- **Préservation de la qualité de l'air.** Une attention particulière doit être portée au transport et à la combustion de la biomasse.

1.5. Quels scénarios agricoles et forestiers durables pour 2050

1.5.1. Un scénario pour une agriculture et une alimentation sobre et durable en 2050



En 2019, le WWF France a établi un scénario prospectif pour l'alimentation et l'agriculture en France à l'horizon 2050 nommé **Pulse Fiction**. Il a pour objectif d'identifier les évolutions nécessaires de notre système agricole pour répondre à la demande alimentaire et aux objectifs climatiques d'ici 2050. Ce scénario a été révisé en 2021 afin d'intégrer les dernières recherches sur le sujet ainsi que les derniers travaux réalisés par le WWF.

L'alimentation est l'un des principaux contributeurs d'émissions de gaz à effet de serre. En France, ce secteur représente **24 % des émissions des ménages**, dont deux tiers proviennent de l'amont agricole. Une large part de ces émissions est due à l'utilisation d'engrais azotés sur les cultures et à l'élevage, dont les modes de production ont des conséquences directes sur la biodiversité ou les sols.

Par ailleurs, ces produits d'origine animale ainsi que les produits ultra-transformés occupent une place prépondérante dans les régimes alimentaires et sont responsables de nombreux problèmes de santé (maladies cardiovasculaires, obésité). En parallèle du déploiement de système de production agroécologique, il est donc nécessaire d'adopter **une alimentation plus durable d'un point de vue environnemental et de santé publique**.

Dans le scénario Pulse Fiction, lors des prochaines décennies, les Français se tournent vers des régimes alimentaires flexitarien, végétarien et végétalien plus durables³⁹ qui diminuent la consommation de protéines animales et de produits industriels au profit des fruits et des légumes, des céréales complètes et des légumineuses. En parallèle, la qualité prime sur la quantité, avec une augmentation de la part de produits labellisés comme le bio. Concomitamment à ces nouveaux besoins, la production agricole s'adapte pour y répondre : la production animale diminue de moitié et se tourne vers plus de pâturage, de plein-air et de bio. Les surfaces dédiées aux cultures fourragères diminuent (en lien avec la diminution des besoins en alimentation pour les animaux) alors que celles dédiées au maraîchage, à l'arboriculture et aux légumineuses augmentent. Près d'un million d'hectares est alloué à la culture de légumes secs et de protéagineux en 2050.

³⁹ Selon le rapport Pulse Fiction : Régime flexitarien : mode de consommation qui consiste à réduire fortement la part de protéines animales au profit des protéines végétales. Il se compose de 2/3 de protéines végétales contre 1/3 de protéines animales / Régime végétarien : suppression de chair animale / Régime végétalien : éviction de toutes protéines animales.

Enfin, la part de l'agriculture biologique passe à 60 % des surfaces en grandes cultures, et les infrastructures agroécologiques représentent 6,5 % de la SAU en 2050.

Tout en permettant de nourrir la population française en 2050 (estimée à 72 millions de personnes^{40, 41}), le secteur agricole a **moins d'impacts négatifs sur la biodiversité**, causés notamment par les fuites de nitrates ou l'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse.

En complément des résultats du scénario Pulse Fiction, la présente étude se base sur les travaux réalisés par Solagro : scénario Afterres2050, scénario NégaWatt et les travaux de recherche Terracrée.

1.5.2. Un scénario de gestion forestière durable et réaliste en 2050

La méthode employée pour scénariser la gestion forestière en 2050 s'appuie sur un modèle réalisé par l'INRAE, adapté et développé par Solagro avec les données existantes de l'année 2017. Pour servir de base au scénario, l'approche de l'Inventaire forestier national (IFN) ainsi que l'approche développée par Fern-Canopée ont été étudiées.

L'IFN propose un taux de prélèvement statistique basé sur l'observation d'un échantillon de parcelles exclusivement forestières dont une partie est documentée chaque année (accroissement, prélèvement, mortalité). Les données sont robustes statistiquement à l'échelle nationale, elles sont exprimées en Bois Fort Tige (BFT)⁴².

Le rapport Fern Canopée croise les données IFN 2018 (45 Mm³ de prélèvements BFT observés en forêt) avec les données de consommation de bois issues des remontées d'informations des entreprises de travaux forestiers et de transformation (Enquêtes annuelles de branche, ou EAB) ainsi que dans les évaluations de consommation domestique de 2018 (21,5 Mm³)⁴³.



⁴⁰ WWF, 2019 : *Du champ à l'assiette, toutes les clés pour une alimentation durable*

<https://www.wwf.fr/vous-informer/actualites/du-champ-a-lassiette-toutes-les-cles-pour-une-alimentation-durable>.

⁴¹ La population de la France métropolitaine atteindra 72 millions en 2050 contre 64,3 millions d'habitants en 2015, selon une étude bisannuelle de l'Institut national d'études démographiques (Ined).

⁴² À l'issue des campagnes 2014-2018, soit une année moyenne 2016, les prélèvements observés en forêt représentaient 48 Mm³ BFT (+/- 2,4), sur production nette (mortalité déduite) de 80,6 Mm³ BFT, soit 60 % de taux de prélèvement.

Ce volume comprend les pertes, qui n'apparaîtront pas dans le BFT récolté, qui doit donc être sensiblement inférieur.

⁴³ Cette donnée dans le memento du FCBA 2018 est exprimée ainsi : « La récolte de bois de feu des ménages en forêt est estimée à 21,5 Mm³ (hors vergers, haies et alignements). Étude IGN, ADEME, FCBA, 2016. Or cette étude mentionne bien 22 Mm³ de bois bûche, mais sans en préciser l'origine. Cette donnée a été reprise avec davantage de précisions dans le Memento 2020 qui modifie l'approche en intégrant dans ce volume une grande place aux ressources bois domestique hors forêt : « La consommation totale de bois énergie des ménages est estimée à 23 Mm³/an pour 15 Mm³ issus de forêts, 5 Mm³ issus de haies, alignements, vergers et jardins, 3 Mm³ de PCS et bois de rebut auxquels s'ajoute 1,3 Mt de granulés ». Elle s'appuie sur l'étude « ADEME, Solagro, Biomasse Normandie, BVA 2018, Étude sur le chauffage domestique au bois marché et approvisionnement 2018 » : « D'après l'enquête ménages 2017, au niveau national : 64 % des volumes consommés par les utilisateurs de bûches proviennent de la récolte d'une forêt, soit près de 15 millions de mètres cubes (63 % en 2012). 23 % proviennent de l'entretien des vergers ou de haies, soit 5 millions de mètres cubes. 13 % est du bois de récupération ou de rebut, soit 3 millions de mètres cubes ».

2. Biomasses agricole et forestière mobilisables en 2050

2.1. Les évolutions du système agricole permettent de libérer 45 à 50 MtMS de biomasse

2.1.1. Baisse de la surface agricole utile française en 2050

Les modifications de régimes alimentaires du scénario Pulse Fiction impliquent des changements dans l'utilisation des surfaces. En effet, la surface agricole utile (SAU), aujourd'hui de 28,850 Mha, diminue de plus d'un million d'hectares (passant à 27,573 Mha), principalement au profit d'une augmentation de la surface de forêts et peupleraies. Le rythme d'artificialisation des sols⁴⁴ est fortement réduit, avec une division par neuf du rythme actuel. **En phase avec la politique publique ZAN (Zéro artificialisation nette) fixée par la loi Climat et Résilience 2021⁴⁵, le WWF plaide pour une artificialisation nette égale à 0 à l'horizon 2050.**

2.1.2. Biomasse rendue disponible à partir des évolutions des systèmes et pratiques d'élevage

La baisse de la consommation de produits d'origine animale, ainsi que **l'évolution des modes d'élevage vers des systèmes plus extensifs** induisent des évolutions d'affectation des surfaces agricoles. **Les modes d'élevage sont davantage labellisés (AB...) et l'élevage hors sol disparaît, avec notamment l'augmentation du pâturage pour les ruminants.** Les cheptels de vaches, chèvres, porcs et poulets de chair voient leur taille réduire fortement. Les besoins en fourrages issus des prairies permanentes (avec le choix de maintien des surfaces) et temporaires restent inférieurs à la production des surfaces totales de prairies. Cela entraîne un surplus de ressources fourragères, mobilisables pour des usages autres que l'alimentation animale.

⁴⁴ Selon le ministère de la Transition écologique (MTE), l'artificialisation des sols est la transformation d'un sol naturel, agricole ou forestier pour de l'aménagement qui mène à une imperméabilité totale ou partielle des sols. <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>.

⁴⁵ Elle demande aux territoires de baisser de 50 %, d'ici à la fin de la décennie, le rythme d'artificialisation et de consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers.

2.1.3. Biomasse rendue disponible à partir des évolutions des pratiques de cultures et systèmes agroécologiques associés

Les systèmes de culture se transforment afin de répondre à l'évolution des régimes alimentaires, tout en respectant les objectifs climatiques en 2050.

Les modes de production conventionnels disparaissent au profit de **l'agriculture biologique ou de conservation**⁴⁶, représentant respectivement **60 et 40 % des surfaces en grandes cultures en 2050**.

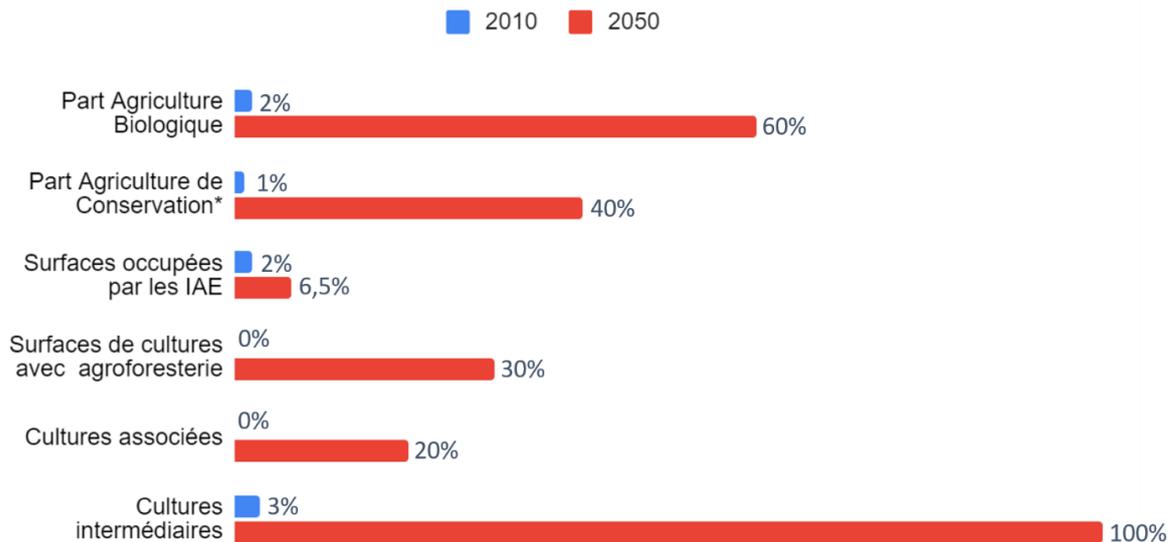


Figure 3 : Évolution des systèmes et surfaces de culture selon le scénario Pulse Fiction (chaque pourcentage est relatif aux surfaces en grandes cultures, sauf pour la surface occupée par les IAE dont la part est relative à la SAU totale)

Les conséquences de ces modifications sur **les paysages et la production** agricoles sont variées :

- Le passage à l'agriculture biologique propose de **nouveaux modes de rotation** dans les plaines et coteaux⁴⁷ et induit une **baisse des rendements** de 40 % par rapport à l'agriculture conventionnelle. L'agriculture de conservation a des rendements intermédiaires entre l'agriculture biologique et l'agriculture de type conventionnel.
- L'agriculture en 2050 donne une place importante à l'**agroforesterie**. Elle se définit par une faible densité d'arbres à l'hectare (50 arbres, soit une emprise au sol de 12 %⁴⁸) qui permet de ne pas baisser le rendement de la culture annuelle.
- **Les infrastructures agroécologiques** que sont les haies, bandes enherbées, jachères, prairies fleuries, bosquets ou encore prés-vergers permettent de

⁴⁶ Selon Afterres2050 : aussi appelée production intégrée : mode d'agriculture qui permet la mise en œuvre simultanée de trois principes à l'échelle de la parcelle : le travail minimal du sol, les associations et les rotations culturales ainsi que la couverture permanente du sol.

⁴⁷ En agriculture biologique : les rotations irriguées (100 %) en plaine sur bouldiers deviendraient courtes (33 %) ; les rotations courtes en sec sur coteaux argilo-calcaire deviendraient des rotations longues en sec avec prairies temporaires à base de légumineuses ; les rotations très courtes en sec sur coteaux argilo-calcaire deviendraient longues (sans prairies). En agriculture de conservation, ces mêmes rotations deviendraient : des rotations de 2 ans irriguées (100 %) en plaine sur bouldiers ; des rotations de 3 ans irriguées (50 %) en plaine sur bouldiers ; des rotations longues en sec.

⁴⁸ Si on considère que chaque arbre à une emprise au sol de 24 m²

créer des habitats semi-naturels et ne reçoivent aucun produit phytosanitaire de synthèse.

Par ailleurs, ces modes de culture rendent différents services agroécologiques : **diversification des cultures, réduction de consommation de pesticides ou encore baisse de la part de surfaces irriguées.**

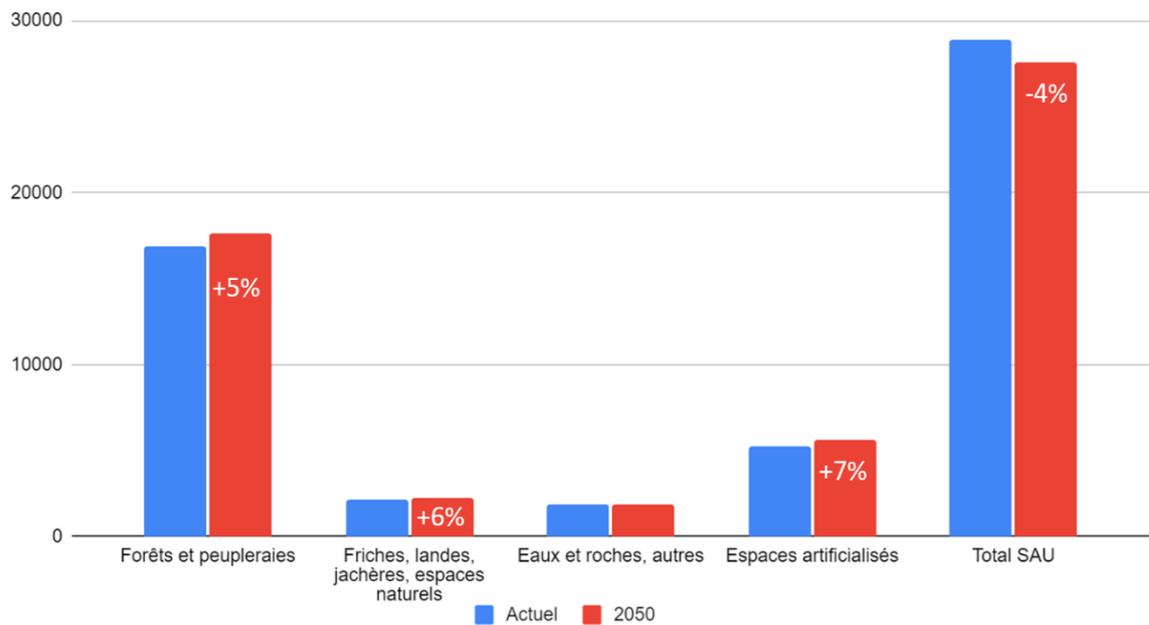
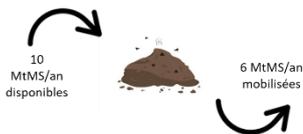


Figure 4 : Évolution de la SAU (kha) entre 2010 et 2050 selon le scénario Pulse Fiction et Répartition des surfaces selon le scénario Pulse Fiction

2.1.4. Bilan : une quantité de biomasse mobilisable pour des usages non alimentaires de 45 à 50 MtMS en 2050

Par son optimisation de la gestion des ressources, ce scénario permet de dégager annuellement **des surplus de ressources fourragères, du fumier, des résidus de culture et des déchets de l'industrie agroalimentaire**. Concernant les prélèvements puis les usages de ces ressources, un ensemble de critères de durabilité doivent être respectés.

Les différentes ressources biomasse ne sont pas mobilisées de la même manière en 2050, selon les conditions réelles de prélèvement :



Déjections, fumier - lisier : le taux de mobilisation de 60 % tient compte de la dispersion⁴⁹.



Résidus de culture : le taux de mobilisation de 30 % correspond au « repère » au-delà duquel (sans retour de la matière sur la parcelle sous une forme ou une autre), il peut, en moyenne, y avoir des problèmes agronomiques liés à la perte de matière organique en surface (érosion, carbone...) et une perte probable de biodiversité microbologique des sols (recherche MethaBioSol en cours). Ce pourcentage permet un retour au sol de plus de 80 % de la matière organique des résidus de cultures. En effet, les chaumes et les racines restent au sol au moment du prélèvement.



Déchets des industries agro-alimentaires : le taux de mobilisation est théoriquement de 100 %, mais le pourcentage proposé de 70 % tient compte de la dispersion de certains gisements et d'éventuels problèmes sanitaires.



Cultures intermédiaires : le taux de 25 % est un pourcentage prudent assurant un retour au sol de plus de 80 % de la matière organique fraîche produite par les cultures intermédiaires (biomasse aérienne et racines).



Surplus d'herbes : le taux de mobilisation de 50 % tient compte de la dispersion et de la difficulté d'accès de certaines zones. Le surplus d'herbe restant servira à compenser les dommages liés aux années de forte crise climatique.

La somme des biomasses non alimentaires produites et disponibles représente un total entre 130 et 150 MtMS/an. En prenant en compte les hypothèses, conditions et contraintes sur les ressources et leurs prélèvements, le total de matière sèche mobilisée en 2050 est de 45 à 50 MtMS, soit un **taux de mobilisation globale de l'ordre de 30 %**.

⁴⁹ Difficulté à atteindre la masse critique de récupération en zone de montagne ou dans les prairies permanentes

Ce scénario implique des changements importants d'ici 2050 dans les pratiques agricoles, accompagnées par des politiques publiques ambitieuses et cohérentes (PAC, SNBC, Plan protéines végétales, etc.).

Au-delà de fournir une biomasse mobilisable pour des usages non alimentaires, le scénario Pulse Fiction induit aussi une baisse de la consommation d'énergie de 45 % par rapport à 2010 et une baisse des émissions GES nationales de 55 % par rapport à 2010 pour le secteur agricole. Cela est en accord avec l'objectif de la SNBC pour 2050 de réduire les émissions de GES agricoles de 46 % par rapport à 2015.

2.2. La réorganisation de la filière forêt-bois vers une gestion durable libère des volumes pour les usages énergétiques

2.2.1. Évolution de la surface forestière en France

Comme décrit dans le chapitre précédent, les modifications des pratiques agricoles dans ce scénario libèrent une surface importante de friches dans la continuité des boisements constatés au 20^e siècle. Cela concerne principalement les secteurs de polyculture élevage, à commencer par les régions montagneuses les plus difficiles d'accès (Pyrénées, Alpes, Massif central, Vosges et Jura). Les estimations conduisent à environ 500 000 ha de friches qui évoluent en forêt.

Même en comptabilisant l'ensemble de ces surfaces en forêt en 2050, la trajectoire reste bien en dessous du rythme tendanciel des trente-cinq dernières années⁵⁰. Ces nouvelles surfaces ne sont pas considérées comme exploitables à l'horizon 2050, car les peuplements resteront trop jeunes⁵¹.

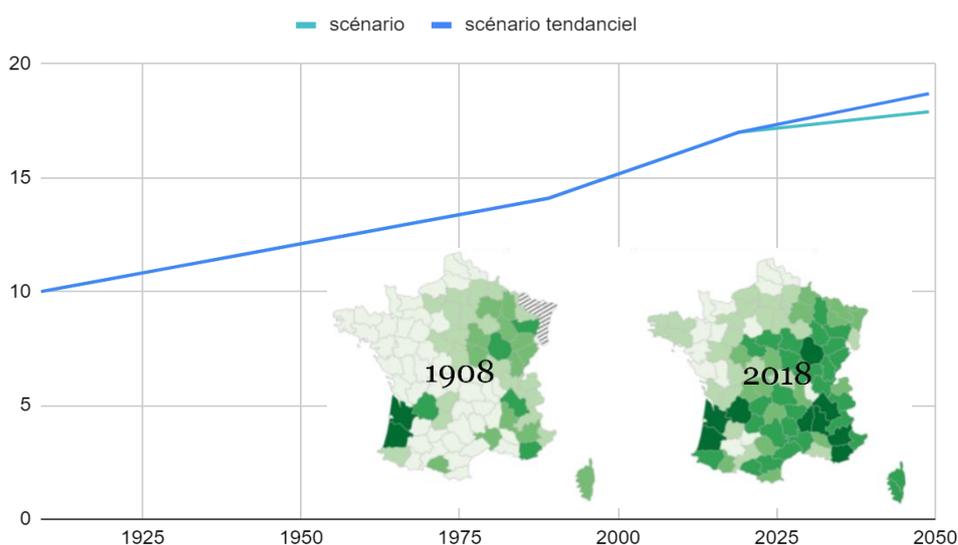


Figure 5 : Évolution des surfaces de forêts en France métropolitaine (Mha) entre 1909 et 2050 dans le scénario tendanciel (source : mémento IGN 2019)

⁵⁰ Les techniques culturales de bois énergie comme les taillis à courte rotation (TCR) ne sont pas développées dans ce scénario

⁵¹ La surface de forêts va globalement suivre la même tendance que ces dernières années, c'est-à-dire une augmentation de 70 000 ha par an

2.2.2. Des prélèvements constants, une mortalité forte, une part de libre évolution

L'hypothèse principale est que **le taux de prélèvement actuel est maintenu** en accord avec l'hypothèse du scénario R60 du rapport Fern Canopée (2020)⁵². Le scénario se caractérise également par **une mortalité plus forte** (9 % de taux de raison sanitaire⁵³), ce qui est en adéquation avec les constats actuels et en particulier avec les prévisions de RMT Aforce⁵⁴. Les études INRA-IGN et Fern-Canopée proposent des taux de prélèvements calculés avec une approche différente. Avec l'approche retenue ici, le taux de prélèvement du bois en forêt calculé est de **53 Mm³ soit 44 % du volume aérien total**⁵⁵.

Nous préconisons d'adopter une approche en volume aérien total pour permettre de corréliser les données EAB qui sont exprimées en bois rond (et pas uniquement en bois fort tige) tout en retirant les volumes de bois consommés par les ménages et issus de ressources hors forêt, ou de recyclage.

Ce taux de prélèvement constant est également accompagné d'**une optimisation de la qualité du bois exploité et complété des ressources hors forêt, sans intensification**. Ce scénario est soutenu par le fait que les forêts françaises découlent en grande partie d'un état boisé récent avec des forêts constituées de peuplements jeunes dont 79 % ont moins de 100 ans⁵⁶.

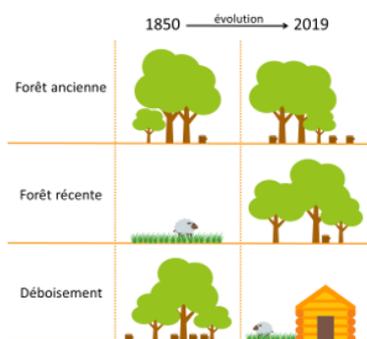


Figure 6 : Forêt ancienne et forêt récente. (source: IGN⁵⁷)

Par ailleurs, l'impact du changement climatique implique un accompagnement progressif vers une plus grande diversité des essences, des structures et des âges, afin d'améliorer la résilience des forêts.

La surface forestière exploitée en 2050 atteint 75 % de la surface totale de forêt. Ce taux découle en partie des difficultés d'accessibilité à l'exploitation mécanisée et des choix volontaires de mise « hors exploitation » d'une partie des forêts accessibles pour des raisons sociales et écologiques. Au final, **une part égale à 25 % des forêts est en libre évolution pérenne.**

Les prélèvements sont exprimés par GRECO (Grandes Régions écologiques), et reposent sur des constats et la connaissance des contextes régionaux ainsi que des changements possibles des pratiques. Par exemple, dans les Alpes, les prélèvements de feuillus vont augmenter de façon modérée, et dans les Landes, la sylviculture actuelle n'étant pas durable, le taux de prélèvements

⁵² https://www.canopee-asso.org/wp-content/uploads/2020/03/LAISSER_VIEILLIR_LES_ARBRES_BD_3.pdf

⁵³ Dépérissement trop important d'une forêt, qui mène au besoin d'une coupe rase suivi d'un reboisement

⁵⁴ Réseau mixte technologique dédié au domaine forestier

⁵⁵ Le résultat est le suivant : exploitation déclarée dans le cadre de l'EAB en 2017 : 38 Mm³, dont 5,5 Mm³ de bûches

Consommation domestique non déclarée à l'EAB : 19 Mm³, dont 8 Mm³ de bois hors forêt et de récupération, donc exploitation forestière non déclarée à l'EAB = 11 Mm³. Exploitation forestière totale : 49 Mm³ hors pertes, soit 53 Mm³ avec les pertes (évaluées à 8 %, conformément aux hypothèses du rapport Fern Canopée). Ces 53 Mm³ rapportés à une production nette en volume aérien total égale à 120 Mm³ amènent à un taux de prélèvement de 44 %

⁵⁶ IFN 2018. https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/180906_publicif_bd.pdf. En France 70% des forêts sont à l'état récent.

⁵⁷ Une « forêt ancienne » est un ensemble boisé n'ayant pas subi de défrichement la première moitié du 19^e siècle. On considère qu'entre ces deux dates, 1850 et aujourd'hui, il a existé une continuité de l'état boisé, sans changement d'affectation du sol. Au contraire, une « forêt récente » est une forêt qui est établie sur un sol anciennement dévolu à un autre usage, le plus souvent agricole (culture, prairie...) et qui n'était pas boisé à la date de référence choisie, celle des levés de la carte de l'État-major (soit la moitié du 19^e siècle). Il y a souvent confusion entre « forêt ancienne » et « vieille forêt » ou « forêt mature ». Alors que le concept de forêt ancienne renvoie à l'ancienneté de l'usage forestier du sol, les deux autres se rapportent à l'âge des arbres ou des peuplements, ou à la diversité en espèces ou au volume de bois mort.

des résineux est prévu à la baisse alors que le taux de prélèvement des feuillus augmente légèrement⁵⁸.

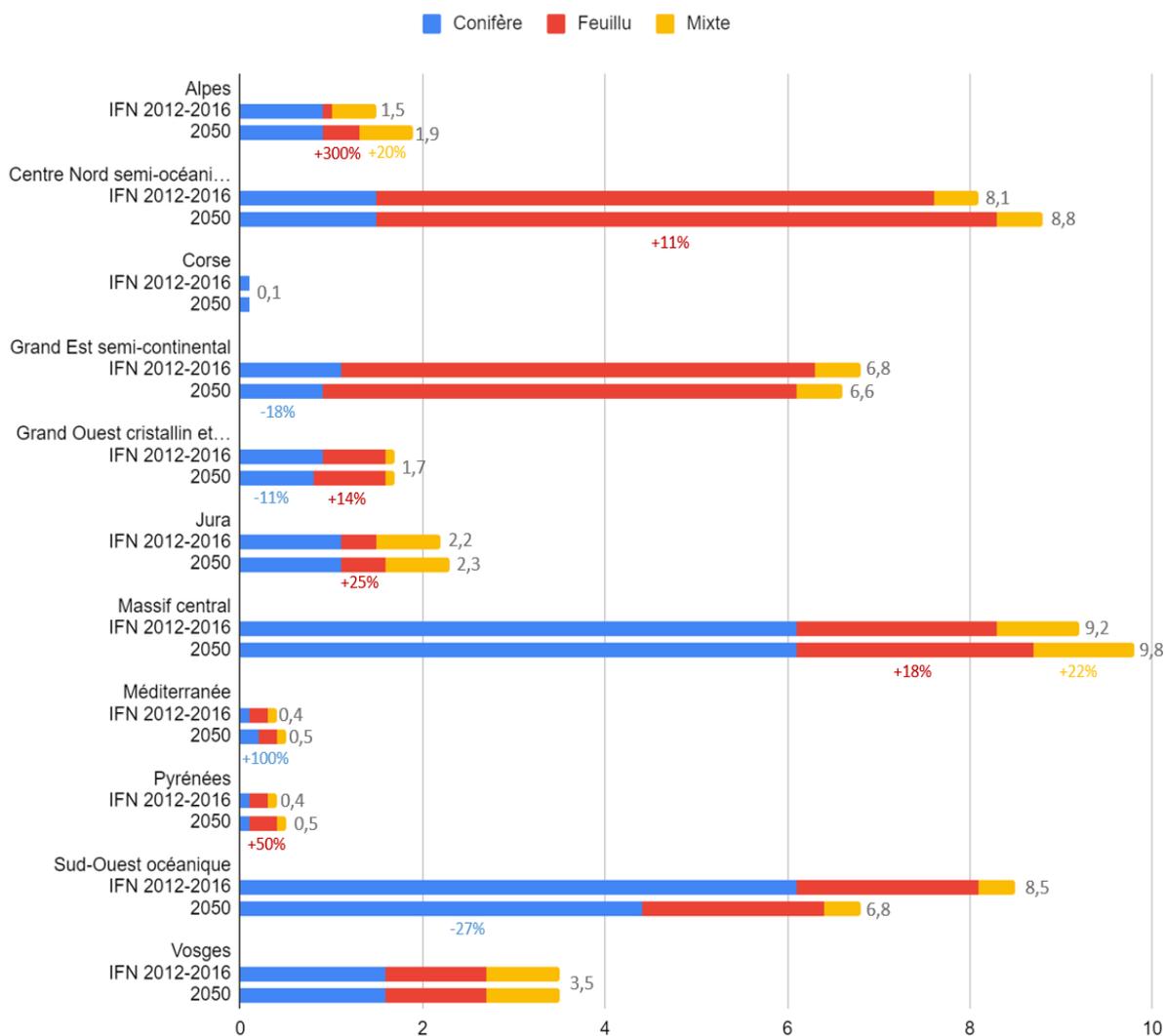


Figure 7 : Évolution des prélèvements GRECO par région en Mm3 BFT (Bois Fort Tige)

En 2050, les feuillus sont valorisés pour le bois d'œuvre notamment, et une sylviculture de qualité est adoptée, y compris en futaie irrégulière.

⁵⁸ Jura/Vosges : pas d'évolution significative.

Corse/Méditerranée : pas d'évolution significative, un peu plus de résineux en forêt méditerranéenne notamment pour des raisons d'adaptation au changement climatique (pin d'Alep).

Alpes/Pyrénées/Massif central : augmentation de l'usage des feuillus, en forêt privée principalement (impliquant un soutien proactif, ce sont les bois les moins valorisés aujourd'hui).

Forêts de plaine/Landes : extensification dans les secteurs de surexploitation de résineux, augmentation modérée de la valorisation des feuillus hors forêts domaniales.

ii. Évolution de la sylviculture d'ici à 2050

Les évolutions en matière de sylviculture s'appuient sur le scénario R60 du rapport Fern Canopée et la part de forêt gérée (exploitée ou non) augmente progressivement grâce à des efforts ciblés d'équipement et de regroupement du foncier forestier.

Le rapport prévoit des traitements spécifiques que l'on peut regrouper dans trois situations type :

	Libre évolution	Sylviculture continue	Impasses
Traitement	Aucun	Évolution vers la futaie irrégulière mélangée	Récolte du peuplement en place, puis futaie régulière jusqu'en 2050
Composition des essences	Libre	Maintien de la diversité, mélange favorisé	Renouvellement avec de nouvelles essences
Nature des coupes	Sans	Éclaircies seulement avec des trouées d'étendue adaptée à l'essence	Coupes rases par paquets de 2 ha maximum

Tableau 2 : Types de sylviculture proposés en fonction des modes de productions selon le rapport Fern Canopée (2020)

Les différents types de peuplement évoluent de manière assez marginale d'ici 2050, dans la plupart des cas les essences principales en place sont maintenues tout en favorisant les mélanges pour obtenir des peuplements plus diversifiés pour s'adapter aux changements climatiques.

La régénération naturelle est favorisée dans tous les types de peuplement hors impasses sanitaires (évaluées aujourd'hui à 3 % des surfaces, 486 kha). Ces dernières font l'objet d'un plan de reboisement sur trente ans, en favorisant également la mixité des plantations, avec pour moitié des feuillus (chênes sessiles et pédonculés, et autres feuillus divers) et pour moitié des résineux.

En 2050, plus de 50 % des volumes de bois d'œuvre proviennent des feuillus soit environ 13 Mm³, contre 5 Mm³ aujourd'hui. Le développement de l'usage du bois d'œuvre est assez consensuel dans la filière, car il permet une meilleure valeur ajoutée des produits bois, et un meilleur bilan carbone grâce à la durabilité de ces usages. Le bois d'œuvre passe toutefois par la mobilisation de bois résineux, dont des importations. En outre, la filière bois d'œuvre (BO) génère des produits connexes valorisables et qui permettent de répondre à une part de la demande locale en bois énergie (BE), sans recourir à une exploitation dédiée.

La filière traditionnelle française de transformation des feuillus, basée sur de petites et moyennes scieries, peine à être compétitive face à l'appétit de certains pays étrangers, Chine en tête, notamment en chêne de qualité. **L'exportation de grumes entières est particulièrement contre-productive pour la filière française**, car la part la plus rémunératrice de la chaîne de valeur échappe totalement à l'économie française, le bois nous revenant complètement transformé. Les produits connexes ne sont pas non plus valorisés en France. En 2050, la filière française aval du bois est remobilisée autour de procédés utilisant les essences feuillues (voir encart *iii. Filière française de la transformation du bois*).

Enfin, le bois hors forêts⁵⁹ représentera, au-delà de 2050, des volumes non négligeables, grâce au retour des haies en agriculture, à

⁵⁹ Le bois hors forêts constitue tout le stock de bois qui ne provient pas directement des forêts : les haies, l'agroforesterie, l'arboriculture fruitière et les arbres urbains.

l'agroforesterie et au développement de la place de l'arbre en zone artificialisée. Cependant, ces solutions ne permettront pas de dégager des volumes conséquents d'ici 2050, à moins de choisir des espèces à croissance rapide, ce qui n'est pas dans l'intérêt de la biodiversité. Nos estimations nous amènent à penser que nous pourrions exploiter en 2050 environ 7 Mm³ de bois hors forêts contre 6 Mm³ aujourd'hui.

2.2.3. Une demande forte dans le respect de la hiérarchie des usages

L'évolution de la demande est une hypothèse importante de l'étude. **La demande en bois d'œuvre et en bois industrie (panneaux) augmente fortement en parts de marché mais dans un marché global de la construction neuve en forte diminution⁶⁰.** Malgré d'importants efforts sur la sobriété des usages du papier et du carton, **la substitution de l'ensemble des emballages plastiques implique une demande constante dans la filière papier-carton⁶¹.**

La demande en bois énergie est ici la variable d'ajustement du scénario. Ce dernier est en effet considéré comme un coproduit des industries de BO et de BI et non comme un objectif de production au regard des critères écologiques pris en compte ainsi que des paramètres économiques. Le bilan carbone du bois énergie est le moins favorable des usages du bois et la valorisation du bois d'œuvre est économiquement plus intéressante⁶².

Les rendements matières⁶³ pris en compte pour l'analyse sont inchangés par rapport à aujourd'hui concernant la première et la seconde transformation du bois. Les hypothèses de rendement de fabrication de la pâte à papier sont également identiques aux moyennes constatées aujourd'hui.

En optimisant les procédés des filières bois industrie, les produits connexes provenant de la première transformation du bois d'œuvre sont mieux valorisés et les déchets sont réduits (6 % contre 10 % aujourd'hui).

Les usages du bois pour l'industrie sont aujourd'hui de :

- 53 % de panneaux agglomérés
- 43 % de pâte à papier
- 4 % de chimie

En 2050, nous estimons que les besoins seront de :

- 45 % de panneaux agglomérés
- 35 % de pâte à papier
- 20 % vers la chimie

En fin de vie, les arbres ayant servi comme bois d'œuvre dans la construction par exemple sont réutilisés à 75 %. Cette valorisation est d'abord orientée vers les usages industriels (ex. panneau) passant à 50 %

⁶⁰ Les hypothèses sont donc très variables, entre des besoins potentiels en forte augmentation (Terracrée 2014) ou stagnants (réflexions NégaMat, en cours). Nous retiendrons une augmentation modeste des besoins en sciage.

⁶¹ Transition industrielle - Prospective énergie matière : vers un outil de modélisation des niveaux de production, ADEME 2020. On retrouve également des hypothèses similaires dans les études NégaWatt et Solagro.

⁶² Valeur ajoutée en euros et emplois.

⁶³ Chiffres actuels selon l'étude ADEME prospective énergie matière 2020.

contre 40 % aujourd'hui. La part de valorisation en bois énergie passe ainsi de 35 % à 25 % en 2050.

Les panneaux en fin de vie sont orientés pour 50 % vers du bois-énergie, comme c'est le cas aujourd'hui.

Le recyclage du papier-carton augmente également pour être utilisé localement et diminuer les exportations. Cet aspect est fortement problématique aujourd'hui, du fait de la fermeture de plusieurs usines de recyclage⁶⁴. Il mobilise les politiques et les acteurs de la filière pour trouver des solutions rapidement. Nous considérons ici qu'elles seront déployées rapidement et que le gaspillage de cette matière très bien collectée en France (> 70 %) aura cessé.

iii. Filière française de la transformation du bois

Le tissu industriel français est composé de petites et moyennes scieries, dans un marché européen (panneau, papier) ou globalisé (pâte à papier) où la taille des opérateurs est de plus en plus importante. Les outils de transformation industriels peuvent conduire à une course au gigantisme. Il est nécessaire de rester vigilant pour conserver ou redévelopper un tissu d'acteurs connecté à la ressource des massifs forestiers. Un accompagnement de la filière aval est nécessaire et elle doit être organisée de façon que de l'amont à l'aval les maillons « fassent filière » au lieu de se concurrencer mutuellement.

Plusieurs leviers sont indispensables au redéploiement de cette filière :

1. **Mobiliser la filière aval** : les bois feuillus doivent être revalorisés dans la construction notamment. Cet usage s'appuie aujourd'hui largement sur la standardisation de bois de résineux, en important une part de bois scandinaves notamment. Les architectes sont un maillon tout à fait important de la filière tout comme les charpentiers et menuisiers, qui doivent réapprendre à utiliser des bois feuillus.
2. **Développer des techniques et des unités d'aboutage et de lamellage** : en utilisant du bois de hêtres par exemple, cela permettrait d'augmenter la capacité d'usage des feuillus répondant à des exigences techniques de la construction basse énergie.

⁶⁴ Comme la Chapelle Darblay.

2.2.4. Une évolution de la stratégie import-export

La gestion de la ressource de bois est optimisée dans un cadre plus durable et complétée par une relocalisation industrielle importante. Ainsi, il est prévu une baisse globale des importations et des exportations.

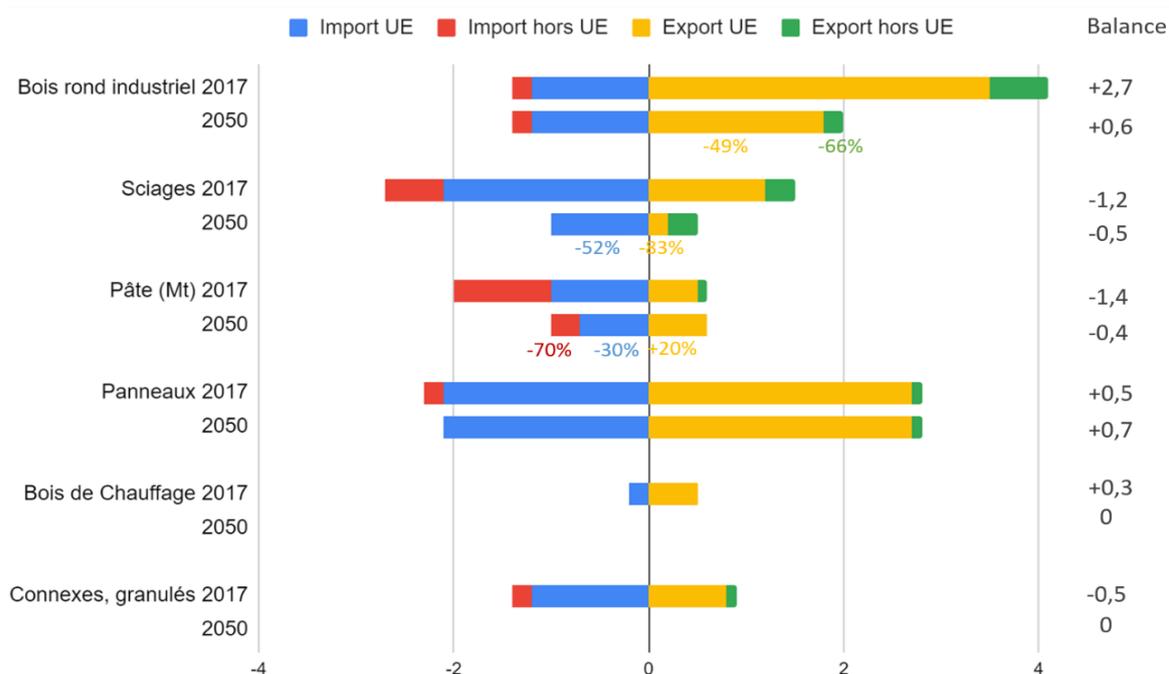


Figure 8 : Evolution des imports exports en Mm³ entre 2017 et 2050

Les importations de bois rond⁶⁵ provenant d'Europe restent stables, mais les exportations diminuent de moitié de façon à valoriser en France la production des forêts.⁶⁶

La relocalisation des sciages permet la diminution des importations de panneaux et les exportations sont diminuées jusqu'au même niveau. Ainsi, **les importations hors UE de panneaux disparaissent** et les exportations restent stables.

Les exportations de pâte à papier restent stables et les importations diminuent et s'accompagnent de certification FSC systématique. Provenant majoritairement de forêts ou de plantations industrielles exploitées intensivement⁶⁷, la pâte à papier importée notamment d'Amérique du Sud, doit respecter un cahier des charges rigoureux comme le FSC le propose. Les exportations de papier-cartons à recycler diminuent, ce qui permet de les valoriser sur le territoire européen.

Le bois énergie (connexes, granulés, bois de chauffage) n'est plus importé ni exporté.

⁶⁵ Le bois rond comprend tout bois abattu et façonné, avant la première transformation industrielle : grume (tronc coupé, ébranché et revêtu de son écorce), bille, rondin ou bûche (INSEE).

⁶⁶ Afin de valoriser les connexes localement, il sera en effet préférable d'exporter des panneaux que du bois rond.

⁶⁷ WWF, 2018 : *Plantations industrielles d'arbres croissance rapide*, https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-07/20180702_Rapport-plantations-industrielles-arbres-croissance-rapide-min.pdf.

3. Les usages énergétiques de la biomasse seront indispensables, mais limités

La biomasse, quelle que soit son origine, doit respecter une **hiérarchie des usages**. Pour la biomasse agricole, selon les critères de la SNMB, **l'alimentation est prioritaire, et les usages suivants sont les bio-fertilisants puis les matériaux et l'énergie**.

Pour le bois, la biomasse respecte **une hiérarchie entre le bois d'œuvre, le bois d'industrie, et enfin, le bois énergie avec les résidus et déchets des autres filières**.

3.1. Les usages énergétiques de la biomasse agricole

3.1.1. *Le potentiel énergétique des biomasses non alimentaires mis en avant*

Pour l'usage des biomasses non alimentaires, il y a peu de certitudes et de perspectives quant aux besoins de produits biosourcés : paille construction⁶⁸, chanvre textile, chimie verte. Le taux d'utilisation des pailles en matériaux augmenterait légèrement, mais sans représenter un usage important⁶⁹.

En raison de ce manque d'information à disposition, nous avons considéré que la totalité des prélèvements mentionnés de biomasse non alimentaire est fléchée vers les usages énergétiques.

Ainsi, selon les hypothèses de l'étude, le **potentiel énergétique de la biomasse agricole est évalué en 2050 entre 120 et 130 TWh/an⁷⁰**, à condition d'être associés à un déploiement durable⁷¹ des moyens de production énergétique à partir de biomasse.

⁶⁸ Par exemple pour l'isolation.

⁶⁹ Le scénario NégaMat devra permettre de fournir des informations supplémentaires sur les besoins en matériaux biosourcés. Les autres études disponibles sont peu nombreuses (ex. : TERRACREA).

⁷⁰ Correspondant aux 45 à 50 MtMS disponibles.

⁷¹ Voir définition de la SNMB, rapport WWF sur la méthanisation et encart i. Critères de durabilité de la SNMB
La SNMB propose des critères de durabilité pour la mobilisation de la biomasse agricole. .

3.1.2. Trois technologies matures pour une valorisation énergétique de la matière disponible

Trois technologies semblent aujourd’hui matures et permettent de valoriser la quantité de matière disponible pour des usages énergétiques. Nous proposons ci-dessous une appréciation qualitative de chacune de ces technologies. Une analyse plus poussée concernant les volets des émissions directes et indirectes, une vision économique du développement des filières, des conditions de durabilité pour chacune d’elles ainsi que de l’acceptabilité serait nécessaire. Il s’avère qu’à ce jour, la méthanisation semble être la technologie la plus utilisée et la plus mature pour valoriser la biomasse agricole en énergie.

	Méthanisation	Biocarburant 2G	Combustion directe
Vecteur énergétique	Gaz	Carburant liquide	Chaleur et /ou électricité
Distribution et stockage	Distribution par réseau de gaz ou transport de contenants, stockage sous forme gazeux ou liquéfié	Distribution par transport du carburant, stockage sous forme liquide	Réseau de chaleur et/ou réseau électrique
Maturité	TRL entre 4 et 8	TRL entre 6 et 7 généralement et jusqu’à 9	Mature
Usages	Remplacement du gaz fossile et des carburants : résidentiel, tertiaire, industrie, transport	Remplacement des carburants liquides fossiles : transport aérien et maritime prioritairement	Pour le chauffage en remplacement du chauffage à gaz ou de la combustion du bois
Coûts de développement et de fonctionnement	Adaptés à un fonctionnement autour de structures de taille modeste, dispersées sur le territoire en fonction des gisements	Investissements conséquents. Coûts de fonctionnement importants et centralisation nécessaire	Coûts et tailles critiques adaptés à un fonctionnement via structures de taille modeste, dispersées sur le territoire en fonction des gisements
Pression sur la ressource	Fonctionnement avec plusieurs types de ressources. Les installations doivent être dimensionnées en fonction des ressources présentes. La pression sur les ressources doit être limitée par les réglementations en vigueur et les hiérarchies d’usages	En raison des coûts de fonctionnement importants, besoin d’alimentation continue en produits végétaux	Fonctionnement avec uniquement certains types de matières organiques. La pression sera fonction de la taille des installations et des réglementations en vigueur, hiérarchie des usages à respecter
Pollution directe	Pollution des eaux et du sol si retour au sol des digestats mal géré (volatilisation ou lixiviation des nitrates par exemple), fuites de méthane Manque de retour d’information sur le long terme concernant l’impact sur la biodiversité des sols	Risques de pollution associés au processus industriels de raffinage et de fabrication des carburants Pollution indirecte : Mélange avec des carburants conventionnels polluants	La combustion entraîne l’émission de fumées et particules fines
Retour au sol du carbone et de l’azote	Oui par digestat si gestion durable, le digestat ne sera toutefois moins riche que la matière organique fraîche pour le fonctionnement des microorganismes du sol	Retour au sol difficile, voire pas de retour au sol	Pas de retour au sol sauf les cendres ; valorisation non mature à ce jour
Projets à gouvernance locale existants	Oui	Non	NC

Tableau 3 : Comparatif des technologies pour valoriser la biomasse agricole ⁷²

- **Des biocarburants de seconde génération pour l’aéronautique**

On estime qu’en 2050 les biocarburants de seconde génération représentent une énergie de 15 TWh/an notamment issus des résidus de culture et des

⁷² TRL et maturités des technologies proviennent des sources :
https://www.bioenergie-promotion.fr/wp-content/uploads/2017/09/methanisation_fr_2017-bd.pdf.
https://www.etipbioenergy.eu/images/ETIP-B-SABS2_WG2_Current_Status_of_Adv_Biofuels_Demonstrations_in_Europe_Mar2020_final.pdf.

déchets IAA. Cela représente une division par deux par rapport à ce qui est produit sur le territoire national à ce jour (tous biocarburants compris)⁷³. Ils sont principalement fléchés vers le marché aéronautique, qui peine à trouver des alternatives aux carburants liquides. La production de biocarburants nécessite de grandes installations de raffinage pour les procédés de mise en œuvre et la gestion des coproduits, comme notamment la synthèse Fischer-Tropsch qui est un processus industriel lourd⁷⁴.

Le WWF France considère que les biocarburants de première génération ne sont pas durables pour le respect des enjeux climatiques et environnementaux. Nous considérons qu'ils disparaîtront complètement en France d'ici à 2050 et leurs surfaces associées également⁷⁵.

iv. Les biocarburants de première génération

Les biocarburants de première génération sont des carburants produits à partir de cultures destinées généralement à l'alimentation (colza, betterave, maïs, blé, palmier à huile et canne à sucre). Ce type de carburant n'est pas forcément moins émetteur d'émissions de gaz à effet de serre que les carburants fossiles, en prenant en compte le cycle de vie entier. En effet, les impacts de ces cultures sur le changement des sols ou encore la séquestration carbone ne doivent pas être négligés. Ainsi, les cultures dédiées aux carburants ne permettent pas une bonne utilisation des terres dans un contexte d'urgence climatique. En France, leur part d'incorporation dans les carburants est limitée à 7 % en raison des effets directs et indirects liés au changement d'affectation des sols (CE, 2018).

La position du bureau européen du WWF⁷⁶ :

- Seuls les carburants de deuxième génération (provenant des résidus et non de cultures dédiées) doivent être considérés.
- La production de carburants ne doit pas induire une transformation des espaces naturels et menacer les stocks de carbone et la biodiversité.
- Le remplacement des carburants conventionnels devrait se concentrer sur des carburants zéro ou faible émission qui ne sont pas en compétition avec l'alimentation ou la séquestration carbone.

- **Combustion directe de la matière sèche**

La paille combustion représente quant à elle 5 TWh/an. La méthode a un rendement faible et ne représente pas une solution à privilégier en raison de la perte de matière organique associée.

- **Méthanisation des matières organiques**

La ressource restante disponible **devrait représenter l'équivalent de 100 TWh à 110 TWh par an à partir de 2050 pour la méthanisation**. Le gisement global étant important, mais diffus, les unités de méthanisation à favoriser sont des unités territoriales regroupant quelques exploitations et à gouvernance locale. La méthanisation produit par ailleurs des digestats (matières organiques digérées) qui peuvent se substituer aux engrais de synthèse sous certaines conditions et précautions, notamment lors de l'épandage⁷⁷.

⁷³ Les biocarburants (9 %) sur 318 TWh (28,6 Twh) d'énergie primaire produite en 2019: bilan énergétique de la France (MTE) https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-01/datalab_84_bilan_energetique_de_la_france_pour_2019_janvier2021_0.pdf.

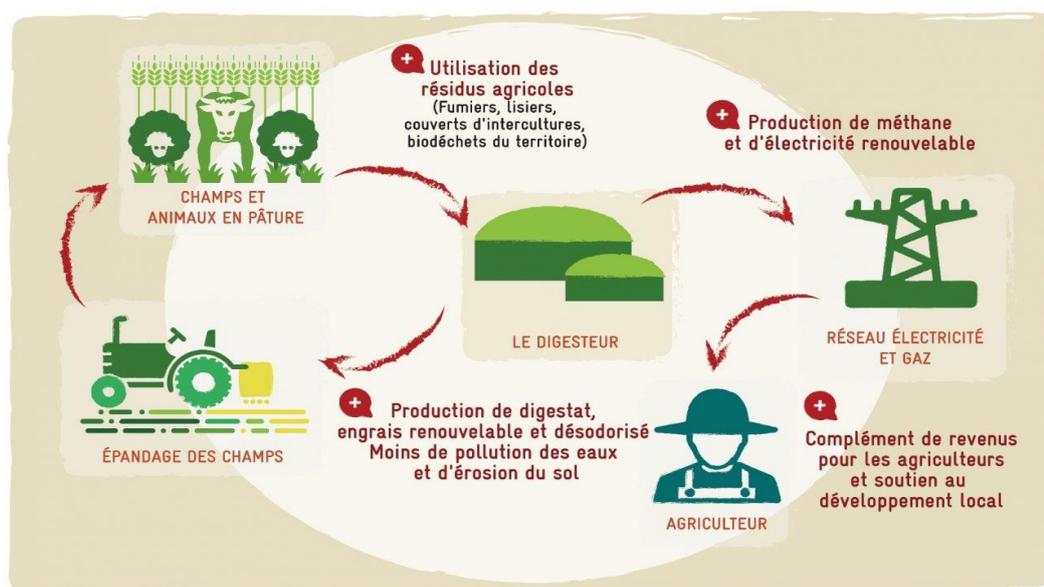
⁷⁴ <https://www.ecologie.gouv.fr/biocarburants>.

⁷⁵ La consommation de biocarburants s'établit à 3,5 Mtep en 2019 en France, dont 2,8 Mtep de biodiesel et 0,7 Mtep de bioéthanol. (p. 79 du Bilan énergétique de la France pour 2019 du MTE : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/bilan-energetique-2019/pdf/document.pdf>).

Ils sont constitués à 35 % de blé et à 23 % de betterave pour l'éthanol et de 63 % de colza et de 23 % de soja pour le biodiesel (MTE : <https://www.ecologie.gouv.fr/biocarburants>).

⁷⁶ https://wwwfeu.awsassets.panda.org/downloads/eu_bioenergy_policy__wwf_briefing_paper__final_4.pdf.

⁷⁷ <https://www.wwf.fr/champs-daction/climat-energie/transition-energetique/ENR/methanisation>.



DECRYPTERLENERGIE.ORG

Figure 9 : Les atouts de la méthanisation (source : decrypterlenergie.org, NegaWatt, Solagro, Terre de liens, Enercoop, Énergie Partagée)

Selon NegaWatt, Solagro, Terre de liens, Enercoop et Énergie Partagée⁷⁸, « La méthanisation est une technologie de dégradation contrôlée des matières organiques qui produit de l'énergie renouvelable (le biogaz) et un résidu (le digestat) possédant un caractère fertilisant et amendant. Elle est une des solutions pour réduire nos importations de gaz naturel fossile, diversifier notre mix énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre engendrées par nos consommations d'énergie. »

Le potentiel méthanisable de 100 à 110 TWh/an est réparti entre différentes sources de biomasse agricole.

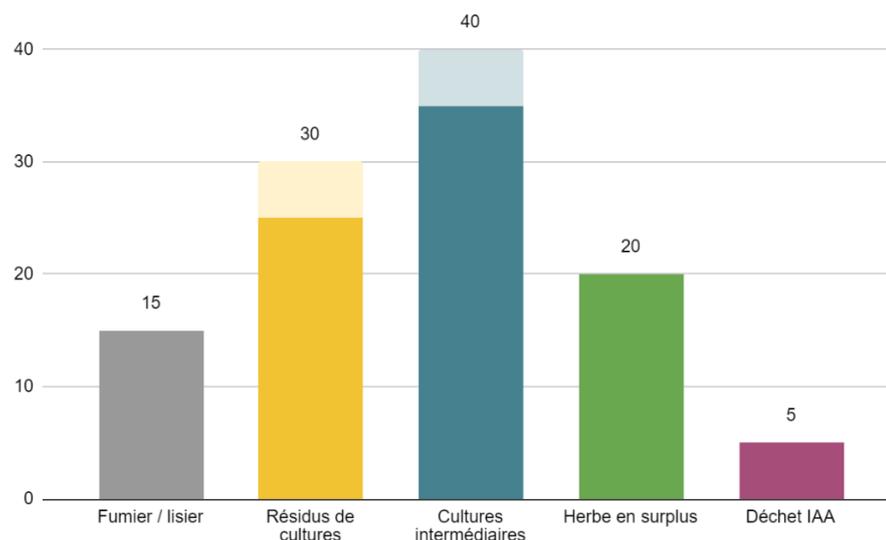


Figure 10 : Quantité d'énergie méthanisable par source de biomasse mobilisable (TWh)

⁷⁸ <https://energie-partagee.org/ressource/comprendre-la-methanisation-agricole>.

v. Définition de la durabilité de la méthanisation agricole

Afin que le développement de la méthanisation agricole soit compatible avec la transition agro-écologique des systèmes de production, les conditions suivantes doivent être respectées quant à la mobilisation de la biomasse⁷⁹ :

- **La mise en œuvre de pratiques agroécologiques à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation** : en assurant la protection des sols, de l'air, de l'eau et de la biodiversité, les systèmes de production intégrant la méthanisation agricole et adaptés aux conditions pédoclimatiques spécifiques à chaque territoire doivent préserver les ressources naturelles en assurant un revenu juste et complémentaire pour l'agriculteur ;
- **L'intégration territoriale** : par leur caractère éminemment territorial, multi-acteurs et multi-enjeux, les projets de méthanisation doivent intégrer : réflexion sur les flux de biomasse et concurrence d'usage, gouvernance locale, appropriation sociétale et création de valeur partagée locale ;
- **La capacité à passer à l'échelle** pour apporter une solution à la hauteur des défis sociétaux globaux en permettant d'atteindre les objectifs nationaux en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de résilience des systèmes agricoles notamment.



⁷⁹ WWF France, 2020 : *Méthanisation agricole : quelles conditions de durabilité de la filière en France ?*

3.2. Les volumes disponibles et les usages énergétiques du bois

En tenant compte des scénarios et des hypothèses de gestion durable des forêts à l'horizon 2050, la forêt française permet de fournir des volumes de bois pour des usages énergétiques. Ces volumes proviennent en grande partie des connexes des industries du bois, des sciages et autres industries du papier-carton.

Les prélèvements de bois dans les forêts françaises exploitées sont stables entre aujourd'hui et 2050.

	Prélèvements forêts françaises (Mm ³)	
	2017	2050
BO	19,4	25
BI	10,5	10,5
BE	19,1	13,2
Prélèvements Totaux	49	48,7

Tableau 4 : Évolution des prélèvements et des usages bois d'œuvre, bois d'industrie, bois énergie entre 2017 et 2050

13,2 Mm³ de bois énergie continuent de provenir directement d'une exploitation forestière. Ce chiffre en baisse de plus de 30 % représente l'autoconsommation et la coupe de bois bûche pour le chauffage des particuliers, dont une grande partie est difficilement contrôlable.

Usages en France (importations incluses)			
		2017	2050
BO	Consommation produits BO (Mm ³)	7,1	7,2
BI	Consommation panneaux (Mm ³ éq)	4,5	4,5
	Chimie du bois, autre BI (Mt)	0,1	0,7
	Consommation papier carton (Mt)	7,8	7,6
	Autres usages connexes (litières...) (Mm ³ éq)	1,2	1,1
BE	Consommation BE ronds/plaquettes (Mm ³)	18,8	13,2
	BE autres connexes (liqueurs noires...) (Mm ³ éq)	26,4	31,8
	Bois hors forêts (Mm ³ éq)	6	7
	Consommation totale BE (Mm³éq)	51,2	52

Tableau 5 : Résultats de la modélisation des usages du bois intégrant une augmentation de la contribution du bois hors forêts

Les usages de bois énergie en France en 2050 sont ainsi répartis entre 13,2 Mm³ de bois rond⁸⁰ prélevés et 31,8 Mm³ provenant des résidus, connexes et liqueurs noires.

⁸⁰ En confrontant les données de prélèvement observées en forêt (en mètres cubes BFT) et les usages de bois répertoriés par l'EAB et les inventaires de chauffage au bois domestique, en mètres cubes bois rond, il est possible de déduire approximativement la part de branches ou de menu-bois récoltée et utilisée. La demande pour l'année de référence étant de 49 Mm³, le bois-branche ou menu-bois représente de l'ordre de 6 à 7 Mm³, soit 16 % de la récolte. Nous considérerons ce taux de prélèvement. Le rapport

Le volume de connexes exploités est plus important grâce notamment à l'augmentation du bois d'œuvre, la diminution des exportations et l'usage de feuillus qui ont un rendement de première transformation inférieur aux résineux.

Le scénario suit la tendance du développement des réseaux de chaleur et d'une réduction des usages de bois domestique, en s'orientant vers davantage de valorisation de connexes et coproduits de la filière forêts-bois.

Le bois hors forêts est estimé à environ 7 Mm³ en 2050⁸¹ contre 6 Mm³ aujourd'hui. Cette légère augmentation est due au retour de l'arbre en agriculture (plantations massives de haies, bandes boisées, agroforesterie, sylvo pastoralisme), à une meilleure valorisation des vergers, ceps de vignes et autres résidus solides (noyaux, sarments de vigne, etc.), et enfin, à un développement massif de l'arbre en ville, et plus largement dans les zones artificialisées (délaissés, bords de routes, zones artisanales, etc.). Toutefois, la montée en puissance des actions de type plantation de haies n'aurait pas d'effet significatif avant 2050. Nous considérons que 100 % de ces volumes sont orientés vers du bois énergie.

Concernant les types de transformation du bois en énergie, **la combustion est aujourd'hui l'usage énergétique principal du bois.** Ce procédé est très différent entre les cheminées des particuliers à rendements très faibles et les chaufferies industrielles qui atteignent des rendements de plus de 100 % dans certains cas selon l'ADEME⁸².

Dans tous les cas, le développement de la combustion directe a un impact négatif sur la qualité de l'air et sur les émissions de gaz à effet de serre. Cela est, entre autres, appuyé par plusieurs centaines de scientifiques qui appellent à cesser de brûler les forêts⁸³ à travers une lettre ouverte aux dirigeants datée de février 2021. Ils alertent à la fois sur les conséquences de la coupe des arbres pour être brûlés, mais aussi sur la dette carbone que cela crée. En effet, la combustion du bois libère dans l'atmosphère le carbone absorbé par l'arbre lors de sa pousse. Cette « dette » durera jusqu'à ce que ce carbone soit à nouveau absorbé, soit une période de minimum trente-cinq ans voire plus d'un siècle⁸⁴ dans certains cas. Ainsi, **la combustion massive du bois accentue le réchauffement climatique dans les dizaines d'années qui suivent.**

L'objet de ce rapport n'est pas de prendre un parti-pris technologique, mais il ne nous semble pas cohérent, compte-tenu des volumes de bois-énergie disponibles, **d'envisager l'essor d'une filière industrielle pour la pyrogazéification à partir de bois-énergie.** En effet, il augmenterait nécessairement la pression sur la ressource forestière, car les produits issus de ce procédé ne viennent pas en substitution des produits issus du bois énergie⁸⁵. Ce procédé fut mis en œuvre dès le début du 19e siècle et il n'a pas

Fern-Canopée attribue au compartiment « Branches » des prélèvements bien plus importants (15,5 Mm³), liés à l'agrégation des usages du bois domestique dans la récolte. Nous l'attribuons davantage au bois hors forêt, avec des données de consommation à la baisse. Nous retiendrons un maintien du taux de prélèvement des branches au niveau actuel, la diminution de 0,3 Mm³ n'étant pas significative sur les branches.

⁸¹ Estimation de la production supplémentaire dans les haies : scénario Afterres, Pulse Fiction et étude Carbocage de l'ADEME.

Estimation de la production supplémentaire en agroforesterie : en se basant sur les travaux de l'INRA et en prenant l'hypothèse que 10 % des surfaces en agroforesterie sont consacrées à des taillis destinés au bois énergie.

Estimation de la production supplémentaire en arboriculture fruitière : selon l'ADEME.

Estimation de la production supplémentaire dans les arbres urbains : selon l'ADEME.

⁸² <https://librairie.ademe.fr/cadic/1867/guide-pratique-poele-bois-chaudiere-insert.pdf>
Page 12 : de 65 à 105 % si condensation / page 6 : rendement d'une cheminée est en moyenne de 15 %.

⁸³ <https://www.woodwellclimate.org/letter-regarding-use-of-forests-for-bioenergy>.

⁸⁴ Fern Canopée, 2020 : *Gestion forestière et changement climatique : une nouvelle approche de la Stratégie nationale d'atténuation* ; p11.

⁸⁵ Voir également le rapport « *Transitions2050* » de l'ADEME, p381-382.

réussi à s'imposer comme une solution pertinente jusqu'à présent. La grande diversité des intrants envisageables pour ce processus (notamment du côté des « déchets ») et son impact modéré sur la qualité de l'air pourrait, pourtant, lui donner une place singulière dans les années à venir, si les inconvénients liés à la gestion de ces intrants diversifiés peuvent être surmontés et sa pertinence économique démontrée.

Les chaudières industrielles (notamment destinées à l'alimentation des réseaux de chaleur) et les centrales à rendement élevé, quant à elles, devraient prendre une place plus importante pour soutenir l'essor du chauffage urbain et remplacer les installations de combustion décentralisées (nettement moins efficaces et contrôlables, au sens de la régulation de la combustion comme de la réglementation)⁸⁶.

vi. La pyrogazéification

La pyrogazéification repose sur la transformation de biomasse solide à travers deux grandes étapes qui sont la pyrolyse et la gazéification, qui consistent à chauffer la biomasse avec peu d'oxygène à température élevée, entre 800 et 1 500 °C pour obtenir ce qu'on appelle du syngas. Ce syngas peut ensuite être valorisé pour la production de chaleur, de biométhane, de biocarburants ou d'hydrogène.

La maturité des processus de pyrogazéification dépend du type de valorisation :

- La pyrogazéification avec cogénération est mature et éprouvée, mais a un essor plus important dans les pays avec un tarif préférentiel de rachat de l'électricité.
- La production de biométhane pour l'injection dans les réseaux semble une voie exploitable en France et son industrialisation devrait arriver prochainement, notamment avec le projet Gaya, et soutenue, entre autres, par GRTgaz.
- La pyrogazéification pour la production de biocarburants ou d'hydrogène est beaucoup moins avancée, les projets sont encore au stade du développement.

D'après les acteurs de la filière, le développement de la pyrogazéification permettrait de créer des emplois non délocalisables et de participer à une indépendance énergétique des territoires, mais les aspects économiques restent flous et la complexité du processus en fait une technologie difficile à démocratiser.

D'un point de vue environnemental et de santé publique, la pyrogazéification a un impact moindre sur la qualité de l'air par rapport à la combustion directe du bois, car elle rejette moins de particules dans l'atmosphère.

La disponibilité de la ressource bois semble être un frein à un essor industriel et de grande ampleur de la pyrogazéification, surtout si cela s'ajoute à un usage existant de la biomasse forestière pour les réseaux de chaleur. Cependant, certains résidus de l'agriculture et de l'industrie agro-alimentaire peuvent également être utilisés comme intrants, tout comme les déchets bois et CSR. Plusieurs démonstrateurs et projets existent déjà ou sont en projet en France (plateforme GAYA d'ENGIE par exemple) et dans le monde et permettront de tester le potentiel d'industrialisation de la filière. Concernant les déchets, d'ici à 2050, le WWF prône une réduction globale.

L'ADEME se positionne⁸⁷ en disant que les procédés pilotes doivent faire leurs preuves, et que la France doit disposer d'un retour d'expérience sur le fonctionnement d'unités industrielles. Elle mentionne également que l'Allemagne a beaucoup promu cette technologie dans les années 1980 mais, qu'elle n'a plus d'unités fonctionnant avec des déchets ménagers ou CSR suite à des difficultés techniques et économiques. Concernant les usages énergétiques de la biomasse, dans les scénarios « *Transitions2050* »⁸⁸, l'ADEME mentionne la pyrogazéification dans le scénario S3 pour 8,5 % de la consommation globale de biomasse pour une valorisation énergétique.

⁸⁶ TRL et maturités des technologies :

<https://atee.fr/system/files/2019-11/Position-Paper-Fili%C3%A8re-Injection-de-biom%C3%A9thane-de-synth%C3%A8se-v21-clean.pdf> et <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/4/811>.

⁸⁷ Position de l'ADEME sur la pyrogazéification datée du 03/04/2019 : <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/valorisation-energetique/dossier/pyrolyse-gazeification/position-lademe>

⁸⁸ Voir le rapport « *Transitions2050* » de l'ADEME, <https://transitions2050.ademe.fr>, p600.

4. La biomasse ne pourra pas répondre à tous les besoins, mais elle contribuera au mix énergétique de la France en 2050

Nous estimons la quantité de biomasse disponible pour des usages énergétiques en 2050 entre 45 et 50 MtMS/an provenant de l'agriculture et 52 Mm³/an (équivalent bois rond) provenant des forêts françaises et du bois hors forêts.

Le potentiel est ainsi estimé entre 120 et 130 TWh/an pour la biomasse agricole et 140 TWh/an⁸⁹ pour la biomasse forestière, soit **un total en France de 260 à 270 TWh/an en 2050**.

À cet horizon, la SNBC prévoit une consommation d'énergie finale en France de l'ordre de 930 TWh/an. La biomasse pourrait y contribuer à hauteur d'un tiers⁹⁰. Ce potentiel se heurte néanmoins à de nombreuses conditions afin qu'il soit exploité de manière durable.

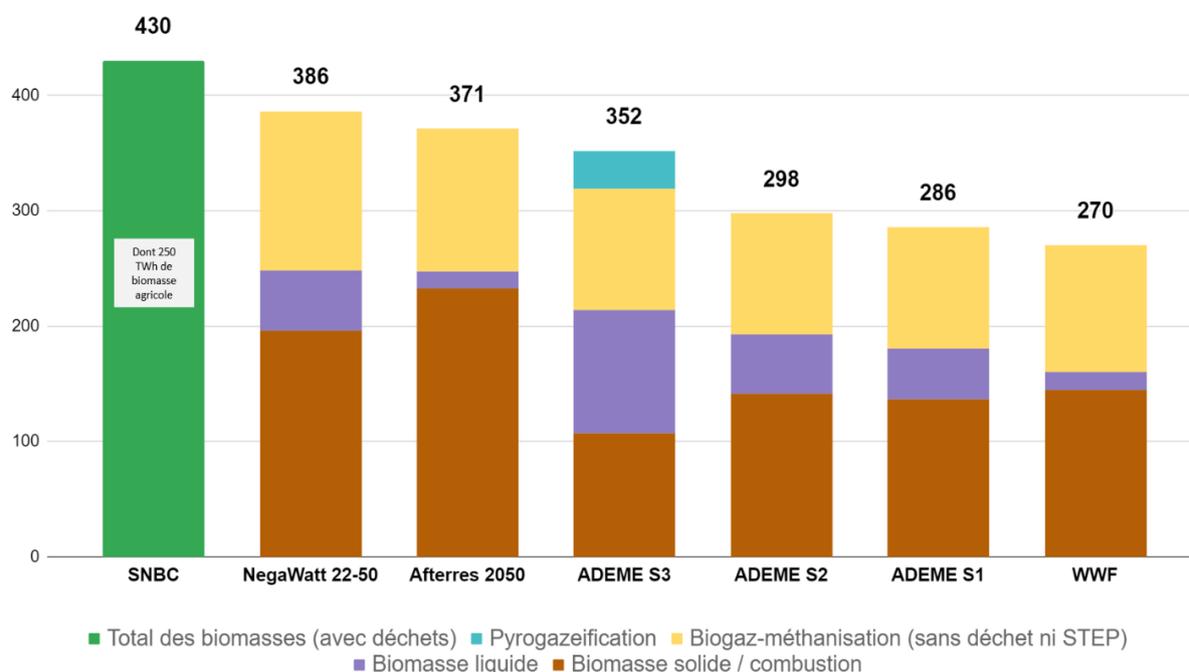


Figure 11 : Quantité d'énergie (en TWh) issue de la biomasse dans les scénarios en 2050.

⁸⁹ Ratio de 2,7 MWh PCS/m³. On a donc : 20,2 Mm³ 54,54 TWh ; 13,2 Mm³ 35,64 TWh ; 31,8 Mm³eq 85,86 TWh Concernant les connexes, il s'agit bien d'équivalents en mètres cubes de bois ronds et non de mètres cubes de connexes en tant que tel.

⁹⁰ Nous comparons néanmoins ici un potentiel de production d'énergie avec un niveau de consommation d'énergie, il est à noter que le potentiel de 260 à 270 TWh évoqué devra également prendre en compte la chaîne de transformation et de pertes associées avant d'arriver à une énergie finale consommée et facturée.

Nos estimations, basées sur les disponibilités des modèles agricoles et forestiers, sont en deçà des estimations de potentiel énergétique de la biomasse annoncées par la SNBC, le scénario Afterres (2016) ou le scénario NégaWatt 22-50.

Nous partageons l'alerte de France Stratégie⁹¹ et Material Economics⁹² sur les quantités de biomasse mobilisables pour l'énergie (identifiées par la SNBC ou par l'AIE), dont l'utilisation devra démontrer sa capacité de déploiement de manière durable au sein des territoires.

Les estimations présentées dans ce rapport rejoignent les derniers scénarios de l'ADEME⁹³, notamment S1 et S2. Leurs dernières analyses concernant le biogaz à partir de biomasse, donnent des chiffres inférieurs aux travaux de 2016, présentés en 2018 dans le rapport « *Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050*⁹⁴ ».

vii. Émissions carbone de la biomasse en usage énergétique

La comptabilité des émissions liées à la biomasse énergétique demeure incertaine et repose sur des hypothèses différentes selon la durée prise en compte pour l'analyse, contrairement aux autres combustibles. Il y a des incertitudes quant à l'impact réel et immédiat de la biomasse énergétique sur le changement climatique.

L'impact est calculé en prenant en compte notamment le CO₂ absorbé par les plantes lors de leur croissance, le sol, ou encore les émissions évitées comme dans le cas de la méthanisation (par capture des émissions qui auraient été relâchées dans l'atmosphère autrement). Les émissions liées à l'utilisation des terres sont également prises en compte.

Concernant la comptabilité des émissions pour la combustion du bois, une idée circule sur le fait que l'utilisation du bois énergie implique un circuit carbone fermé, et que les émissions sont considérées comme nulles puisque le CO₂ émis est celui absorbé par l'arbre lors de sa croissance.

Ces hypothèses sont contestées⁹⁵ car le CO₂ émis crée ce qu'on appelle une **dette carbone** qui prendra minimum trente-cinq ans voire plus d'un siècle⁹⁶, dans certains cas, pour être remboursée si l'on considère le stockage du carbone par l'arbre lui-même mais aussi par les sols et la biodiversité du milieu forestier. De plus, les sols, les circuits racinaires et les souches laissées au sol à l'issue d'une coupe forestière continuent d'émettre des GES notamment du CO₂ et du méthane en se décomposant.

Dans un contexte d'urgence climatique, **les émissions liées à la combustion du bois énergie ne peuvent être considérées comme nulles**. La combustion du bois relâche de grandes quantités de gaz à effet de serre et selon 800 scientifiques qui ont cosigné une tribune du WWF EU, en janvier 2018, plus que la combustion de ressources fossiles si on ne considère que quelques décennies⁹⁷.

⁹¹ France Stratégie, 2021 : *La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?*

⁹² <https://materialeconomics.com/publications/eu-biomass-use>.

⁹³ <https://transitions2050.ademe.fr>.

⁹⁴ Étude ADEME, 2018 : *Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?*

⁹⁵ <https://www.canopee-asso.org/500-scientifiques-alertent-sur-le-bois-energie>.

⁹⁶ Fern Canopée, 2020 : *Gestion forestière et changement climatique : une nouvelle approche de la Stratégie nationale d'atténuation* n ; p11

⁹⁷ https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/update_800_signatures_scientist_letter_on_eu_forest_biomass.pdf.

Afin de pouvoir mieux arbitrer entre les différents usages et de préciser comment valoriser le potentiel de la biomasse pour l'énergie, des études complémentaires pourront se consacrer à identifier l'ensemble des étapes du processus (de la production de la biomasse à l'utilisation de l'énergie).

Nous pourrons ainsi traiter les sujets suivants :

- Définir comment utiliser le potentiel énergétique de la biomasse et comment assurer un déploiement durable des technologies de valorisation.
- Affiner la grille d'analyse à une échelle régionale par exemple pour mieux comprendre les conditions et moyens de développement des usages durables de la biomasse au niveau de chaque territoire.
- Ajouter une évaluation du gisement des nombreux déchets qui peuvent être valorisés par des technologies similaires (déchets verts urbains, boues de STEP, déchets de l'IAA, CSR, etc.)⁹⁸.

⁹⁸ Les déchets verts bois sont pris en compte dans cette étude sous le bois hors forêts et les déchets de l'IAA sont également pris en compte dans la partie agriculture.

Table des figures

Figure 1 : Consommation d'énergie fossile par secteur en TWh (selon le Bilan Énergétique de la France en 2019, MTE)	11
Figure 2 : Données clés des énergies renouvelables en France en 2020 (source : MTE)	12
Figure 3 : Évolution des systèmes et surfaces de culture selon le scénario Pulse Fiction.....	20
Figure 4 : Évolution de la SAU (kha) entre 2010 et 2050 selon le scénario Pulse Fiction et Répartition des surfaces selon le scénario Pulse Fiction	21
Figure 5 : Évolution des surfaces de forêts en France métropolitaine (Mha) entre 1909 et 2050 dans le scénario tendanciel (source : memento IGN 2019)	23
Figure 6 : Forêt ancienne et forêt récente. (source: IGN).....	24
Figure 7 : Évolution des prélèvements GRECO par région en Mm3 BFT (Bois Fort Tige).....	25
Figure 8 : Évolution des imports exports en Mm ³ entre 2017 et 2050.....	29
Figure 9 : Les atouts de la méthanisation (source: decrypterlenergie.org, NegaWatt, Solagro, Terre de liens, Enercoop, Énergie Partagée).....	33
Figure 10 : Quantité d'énergie méthanisable par source de biomasse mobilisable (TWh).....	33
Figure 11 : Quantité d'énergie (en Twh) issue de la biomasse dans les scénarios en 2050.	38

Table des tableaux

Tableau 1 : Quantité de biomasse disponible pour des valorisations énergétiques selon les différents acteurs et scénarios	15
Tableau 2 : Types de sylviculture proposés en fonction des modes de productions selon le rapport Fern Canopée (2020).....	26
Tableau 3 : Comparatif des technologies pour valoriser la biomasse agricole	31
Tableau 4 : Évolution des prélèvements et des usages bois d'œuvre, bois d'industrie, bois énergie entre 2017 et 2050.....	35
Tableau 5 : Résultats de la modélisation des usages du bois intégrant une augmentation de la contribution du bois hors forêts.....	35

Table des encarts

i. Critères de durabilité de la SNMB	16
ii. Évolution de la sylviculture d'ici à 2050	26
iii. Filière française de la transformation du bois	28
iv. Les biocarburants de première génération.....	32
v. Définition de la durabilité de la méthanisation agricole	34
vi. La pyrogazéification.....	37
vii. Émissions carbone de la biomasse en usage énergétique.....	39

**NOTRE MISSION CONSISTE
À STOPPER LA DÉGRADATION
DE L'ENVIRONNEMENT
DANS LE MONDE ET
À CONSTRUIRE UN AVENIR
OÙ LES HOMMES VIVENT EN
HARMONIE AVEC LA NATURE.**



Notre raison d'être

Arrêter la dégradation de l'environnement dans le monde et construire un avenir où les êtres humains pourront vivre en harmonie avec la nature.

ensemble, nous sommes la solution. www.wwf.fr