



Biomasse et neutralité climat en 2050 : gérer la rareté pour maintenir des écosystèmes productifs et résilients

Pierre-Marie Aubert (Iddri), Sylvain Doublet, Christian Couturier, Florin Malafosse (Solagro)

Le secteur des terres (agriculture, forêts) répond à une diversité de demandes sociales : alimentation, énergie, matériaux, stockage de carbone, maintien de la biodiversité. Ces demandes vont évoluer à la hausse par l'effet combiné de l'accroissement démographique, de la sortie des fossiles (et du besoin, en conséquence, de carbone renouvelable), des besoins de stockage de carbone, et de la nécessité de restaurer la biodiversité pour maintenir le potentiel productif des écosystèmes en contexte de changement climatique. L'offre de biomasse, pour sa part, dépend de la productivité du secteur des terres ; elle est déterminée par les conditions pédoclimatiques, elles-mêmes affectées par les changements globaux.

Ce *Document de propositions* s'appuie sur les scénarios à 2050 publiés récemment pour (a) identifier les équilibres offre-demande de biomasse répondant aux enjeux biophysiques à 2050 (climat, alimentation, biodiversité) et (b) souligner les enjeux socio-économiques et politiques soulevés par ces scénarios.

MESSAGES CLÉS

Pour contribuer à la neutralité climatique et s'adapter aux impacts du changement climatique, la priorité doit aller aux actions de reconquête de la biodiversité, garante des capacités productives et de la résilience : recomplexification des systèmes forestiers (futaies irrégulières) et agricoles (allongement des rotations, infrastructures agroécologiques) ; réduction de l'usage des intrants de synthèse.

Ces évolutions, associées aux impacts projetés des changements globaux sur la productivité des écosystèmes, conduisent à raisonner en termes de gestion de la rareté, plutôt que d'augmentation de l'offre basée sur une hypothèse de hausse des rendements moyens.

Utiliser plus de biomasse à des fins non-alimentaire – de 50 millions de tonnes de matière sèche (MtMS)/an aujourd'hui à 100-120 MtMS en 2050 selon les scénarios – passe prioritairement dans les scénarios analysés par la sobriété :

- réduction de la consommation moyenne de protéines animales d'environ 30 %, pour réduire la part de biomasse à destination du cheptel ;
- réduction de la consommation d'énergie finale pour limiter la demande en biomasse énergie et l'allouer à des usages à forte valeur ajoutée.

Le développement des couverts intermédiaires permettrait un accroissement net de biomasse mobilisable de 15 à 20 MtMS/an. Les besoins potentiels en eau, comme le coût d'implantation de ces couverts, requièrent une évaluation des conditions agroécologiques et économiques de leur développement.

Les objectifs de stockage (65 à 75 MtCO₂ eq./an) sont compromis par la perte de productivité biologique des forêts. Leur atteinte suppose des changements importants sur la sole agricole : expansion de l'agroforesterie, des couverts intermédiaires et des haies, triplement des surfaces en légumineuses.

Une réorganisation des flux de biomasse telle qu'envisagée par les scénarios analysés aurait des implications sociales et économiques, voire culturelles, importantes qui ne peuvent être éludées ; prendre en charge *conjointement* les questions socio-économiques et biophysiques suppose ainsi de structurer la discussion sur les trajectoires de transition en ne laissant de côté aucun enjeu – ni environnemental, ni social, ni économique – et aucun acteur, pour aboutir à des choix politiques les plus partagés possibles.

1. LA SITUATION ACTUELLE¹

Le secteur des terres de France métropolitaine produit environ 310 millions de tonnes de matière sèche (MtMS) de biomasse végétale par an². Cette production se répartit en 4 sous-produits, quasiment à part égales : des fourrages (77 MtMS), des résidus de culture (80 MtMS), des graines/fruits/légumes (70 MtMS) et du bois en forêt et hors forêt (80 MtMS). Un peu plus du tiers de cette biomasse est aujourd'hui mobilisé en alimentation animale (110 MtMS, les 2/3 sous forme de fourrage et le 1/3 restant sous forme de concentrés)³, que l'on retrouve ensuite sous forme de déjections (15 MtMS environ) et de produits animaux (viande, lait, œuf). Les autres usages de cette production primaire sont, par ordre décroissant : le retour au sol de la matière organique pour le maintien de la fertilité des sols (70 MtMS), l'accroissement du stock de bois en forêt (40 MtMS), la production de bois matériaux/énergie (30 MtMS), l'exportation (30 MtMS), la production de nourriture – hors produits animaux (20 MtMS) –, et environ 10 MtMS (hors forêt) à des fins énergétiques (carburant, méthanisation, combustion, etc.).

L'importance du cheptel français lui donne un rôle central dans l'organisation de ces flux de biomasse : l'alimentation animale absorbe en effet 45 % de la biomasse agricole hors forêt (en incluant les résidus de culture). Cette biomasse est issue aux 2/3 de la sole arable (cultures fourragères sur prairies temporaires, céréales et oléo-protéagineuses), induisant ainsi une concurrence avec l'alimentation humaine⁴ ; le reste vient des prairies naturelles sous forme de fourrage. Au total, près de 60 % de la SAU française sert à alimenter du bétail (dont la moitié sous forme de prairies naturelles, qui, lorsque gérées de manière extensive, rendent de nombreux services écosystémiques⁵). Il faut ajouter à cela des importations (notamment de tourteaux de soja à hauteur de 4Mt). En retour, l'élevage ne restitue sous forme de produits alimentaires qu'une faible fraction, représentant moins de 10 % en bilan énergétique.

Une part importante de la production primaire de biomasse reste ou retourne dans les écosystèmes : plus de 40 %, soit 130 MtMS, sous forme de bois non prélevé en forêt (un peu plus de 40 MtMS), de résidus de cultures (chaumes, pailles, menues pailles, 75 MtMS) ou de déjections animales (15 MtMS) ré-incorporés aux sols agricoles. Ces retours de biomasse sont nécessaires à la vie des sols, à leur biodiversité, et donc à leur productivité, et peuvent permettre de stocker du carbone. L'objectif de 4 %

d'accroissement annuel des stocks de carbone des sols a été fixé dans cette perspective ; à l'échelle de la France métropolitaine cependant, c'est bien à un déstockage du carbone des sols que l'on assiste, ce qui suppose à terme de pouvoir augmenter le retour de biomasse aux sols, notamment dans les zones de grandes cultures⁶.

La quantité de biomasse mobilisée aujourd'hui pour des usages énergétiques ou matériaux représente enfin une fraction limitée : 50 MtMS, soit environ 15 % du total, utilisée comme suit : 27 MtMS sous forme de bois énergie (soit 100 TWh), 4 à 8 MtMS en méthanisation (résidus de cultures, couverts intermédiaires et déjections animales, pour 7 à 8 TWh), 4 à 5 MtMS de grains transformés en biocarburants de première génération (colza, blé, betterave, soit 30 à 40 TWh), et 10 MtMS de bois matériau⁷.

2. QUELLE BIOMASSE POUR QUELS ENJEUX EN 2050 ?

Cette section repose sur des exercices prospectifs parus ces dernières années : ADEME Transition 2050 (scénarios 1 à 3, le 4 ne répondant pas aux objectifs sur la biodiversité)⁸, Afterres2050-couplage Négawatt⁹, Stratégie biomasse 2050 du WWF, scénario sous-tendant la Stratégie nationale bas-carbone¹⁰. Ces scénarios envisagent un doublement des usages de biomasse non alimentaire, avec un besoin qui varie entre 100 et 120 MtMS/an en 2050 (vs 50 en 2020). Les 50 à 70 MtMS supplémentaires proviennent, selon les scénarios, à 30-40 % de cultures intermédiaires, 15 à 20 % de résidus de culture réalloués à la méthanisation, 10 à 15 % d'augmentation des prélèvements de bois, 10-15 % de fumier-lisier en méthanisation, et 10-15 % d'herbe.

L'usage final de cette biomasse est à plus de 80 % énergétique, générant entre 290 et 380 TWh, pouvant couvrir près de 30 % des besoins de la France en 2050 – sous hypothèse d'une réduction de 40 à 50 % de la demande énergétique totale. Le reste (15-20 MtMS/an) correspond à une augmentation sensible de l'usage matériaux dans certains scénarios (+ 50 %), principalement sous forme de bois.

Ce doublement des usages de biomasse non alimentaire doit composer avec quatre contraintes d'inégale importance.

¹ Les chiffres qui suivent fixent des ordres de grandeur pour cadrer le débat et ne doivent pas être considérés comme des absolus.

² À cela s'ajoutent des productions primaires minoritaires aujourd'hui : les couverts et le bois hors forêt (haies).

³ Voir https://www.flux-biomasse.fr/resultats/sankey_materieres_premieres/France/tms85

⁴ Concurrence directe pour les grains ; indirecte pour les prairies temporaires et maïs ensilage, non consommés par les humains, mais dont les surfaces pourraient être utilisées différemment. Une part non négligeable de la biomasse (14 MtMS) est aussi issue des co-produits de l'industrie du grain et n'entre donc pas en concurrence. Voir sur cette question : Mottet, A. et al. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14, 1-8.

⁵ Régulation du cycle de l'eau, habitats naturels, fixation symbiotique.

⁶ Launay, C. et al. (2021). Estimating the carbon storage potential and greenhouse gas emissions of French arable cropland using high-resolution modeling. *Global Change Biology*, 27 (8), 1645-1661.

⁷ La biomasse agricole utilisée comme biomatériaux (amidonnerie, bioplastique, etc.) représente une fraction très faible de la biomasse totale, quoiqu'importante en valeur.

⁸ ADEME (2021). *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat – Synthèse*. Angers, ADEME.

⁹ Solagro, (2016). *Le scénario Afterres 2050 version 2016*. Toulouse, Solagro, 93 p.

¹⁰ MTES (2020). *Stratégie nationale bas-carbone*. Paris, Ministère de la Transition écologique et solidaire.

En premier lieu, les surfaces productives disponibles baissent du fait de l'artificialisation, qui touche 20 à 30 kha/an, augmentant la pression sur le reste du secteur des terres¹¹.

Ensuite, le maintien des capacités productives des sols passe par une augmentation du retour de matière organique aux écosystèmes, qui favorisera aussi le stockage de carbone dans les sols¹². En l'absence de solutions technologiques permettant de capturer le dioxyde de carbone atmosphérique pour le ré-enfouir dans les couches géologiques profondes, actuellement loin d'être matures¹³, entre 65 et 75 MtCO_{2,eq} devront être séquestrés annuellement par le secteur des terres. Or, les derniers chiffres du CITEPA font état d'une division par deux du puits net forestier entre 2007-2008 et 2020 (de -60 MteqCO₂ à -30 MteqCO₂), et par trois lorsque l'on considère l'ensemble du secteur des terres (de -49 MteqCO₂ à -14 MteqCO₂)¹⁴.

Troisième contrainte majeure quant à la productivité du secteur des terres : les conditions pédoclimatiques (régime de températures et de précipitations, fertilité des sols) sont affectées négativement par le changement climatique et la perte de biodiversité : depuis les trois dernières décennies, les rendements agricoles plafonnent dans le nord de la France et baissent dans le sud, sans que les changements de pratique puissent être mises en cause¹⁵, illustrant le probable effet des changements en cours. De la même manière, la productivité biologique des forêts baisse (-4 % sur la productivité brute entre de 2005 et 2019 et +35 % de mortalité sur pied).

Enfin, cet accroissement de l'usage de biomasse à usage non alimentaire doit se faire sans remettre en question le niveau de couverture des besoins alimentaires de la France – posant la question de l'évolution de la demande alimentaire finale.

3. DES SCÉNARIOS À L'ACTION

3.1. Maintenir le potentiel productif, une priorité

De manière transversale au secteur des terres (sole agricole et forestière), la priorité face aux changements globaux est de maintenir le potentiel productif et d'augmenter la résilience des écosystèmes agricoles et forestiers. Les actions à mettre en œuvre à cet égard concernent l'adaptation de la gestion :

irrégularisation des peuplements forestiers¹⁶, diversification et allongement des rotations. Il s'agit aussi de favoriser le développement de pratiques favorables à la biodiversité, notamment des sols : réduction forte de l'usage des intrants de synthèse, notamment *via* le recyclage des nutriments et la diversification, recomplexification des paysages agricoles par l'implantation d'infrastructures agroécologiques – et notamment le maintien des prairies naturelles partout où les formes de végétation semi naturelle sont sous représentées (i.e. < 25 % de la SAU).

3.2. Une sole agricole plus diversifiée et plus résiliente

Dans les scénarios analysés, le développement des usages non alimentaires sur une réallocation des usages (voir ci-dessous) plus que sur l'accroissement de la production. En effet, l'hypothèse d'augmentation des rendements, souvent évoquée, n'est cohérente ni avec les projections climatiques ou les évolutions des rendements sur les 30 dernières années¹⁷, ni avec le besoin de réduire le recours aux intrants de synthèse pour refaire de la place à la biodiversité et accroître la résilience des agrosystèmes. Elle ne fait donc pas partie des hypothèses retenues dans les scénarios couverts dans ce *Document de propositions*. Si la sélection génétique et l'amélioration de l'efficacité dans l'usage des intrants joueront un rôle pour améliorer la résilience des agrosystèmes face aux changements globaux¹⁸, les rendements actuels dans la majorité des systèmes sont proches des potentiels agronomiques maximums¹⁹ ; maintenir, en moyenne, ces rendements sera déjà une performance remarquable.

Les scénarios analysés envisagent cependant une hausse maîtrisée de la production de biomasse *via* le développement des *couverts intermédiaires* sur la sole arable. Outre la production nette de biomasse, leur développement apporte d'autres bénéfices agro-environnementaux : stockage de carbone, réduction du lessivage, fixation symbiotique lorsqu'ils sont fait en légumineuses, préservation des sols et lutte contre l'érosion²⁰. D'un point de vue strictement physique, la généralisation des couverts intermédiaires sur près de 90 % de la sole arable a été envisagée par l'INRAe dans l'étude 4 %, soit plus de 15 Mha. Sous hypothèses d'un rendement moyen de 3 à 4 tMS/ha et d'un prélèvement limité à 25 % de la production biologique (pour assurer un retour au sol et tenir compte de la variabilité interannuelle), ce sont près de 15 à 20 MtMS/an supplémentaire qui pourraient être mobilisées sur la sole arable (30 à 40 % de la biomasse additionnelle envisagée).

¹¹ Cerema (2020). *Les déterminants de la consommation d'espaces d'après les Fichiers fonciers - Période 2009-2019*. Paris, Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.

¹² Pellerin, S. et al. (2019). *Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude*. Paris, INRA, Expertise Scientifique Collective 4p1000.

¹³ Voir p. 15-16 : EC (2021). *Sustainable carbon cycles for a 2050 climate-neutral EU Technical Assessment* Brussels, European Commission – SWD(2021) 450, 60 p.

¹⁴ CITEPA (2022). *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France, format Secten Éd. 2022 – Synthèse*. Paris, CITEPA.

¹⁵ Brisson, N. et al. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119 (1), 201-212.

¹⁶ Brang, P. et al. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 87 (4), 492-503.

¹⁷ Voir par exemple : Hawkins, E. et al. (2013). Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s. *Global Change Biology*, 19 (3), 937-947.

¹⁸ Voir : Gammans, M. et al. (2017). Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*, 12 (5), 054007. Leurs projections sont cependant linéaires et non discutées.

¹⁹ Schils, R. et al. (2018). Cereal yield gaps across Europe. *European Journal of Agronomy*, 101, 109-120.

²⁰ Daryanto, S. et al. (2018). Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, 185, 357-373.

Ce potentiel physique doit cependant être mis en perspective avec (a) les contraintes pédoclimatiques : les sécheresses et vagues de chaleur de plus en plus fréquentes lors de l'implantation des couverts de fin d'été/automne rendent difficile la levée des semis ; (b) le coût d'implantation des couverts intermédiaires, tant pour le semis que la récolte ; et (c) les implications, pour l'approvisionnement des méthaniseurs, de la variabilité de la production. Récolter et valoriser 15 MtMS/an tel qu'envisagé suppose donc un accompagnement fort des agriculteurs, sur le plan technique et économique, et une évaluation fine des conditions économiques et agroenvironnementales.

3.3. Des systèmes d'élevage économes et autonomes pour des pratiques alimentaires plus sobres

Le deuxième levier le plus important pour développer les usages non alimentaires de la biomasse consiste à ré-allouer des biomasses actuellement utilisées en alimentation animale vers des usages énergétiques : co-produits de l'industrie céréalière et herbe, ce qui pourrait représenter 30 à 40 % des besoins additionnels. Cependant, une telle réallocation suppose, mécaniquement, une réduction du cheptel et donc des productions animales – même si des gains d'efficacité sur la nutrition animale sont envisagés. Ainsi, les scénarios s'accordent sur le besoin de réduire 30 à 50 % le cheptel, vers des systèmes moins dépendants du grain. Cela doit permettre de valoriser les prairies côté ruminants, et les co-produits côté monogastriques, mais aussi de faire évoluer l'usage des terres agricoles ainsi libérées : prairies naturelles vers forêts (jusqu'à 3 Mha, ce qui en termes d'impacts biodiversité ne serait pas sans conséquences localement), permettant à la fois stockage de carbone et biodiversité ; et mais ensilage et autres productions de concentrés vers alimentation humaine et couverts intermédiaires.

Cette baisse de la production, pour ne pas dégrader le taux de couverture des besoins alimentaires, devrait être cohérente avec une évolution vers des pratiques plus sobres, d'abord *via* la réduction des pertes et gaspillages à hauteur 50 %, mais surtout la réduction des surplus (au regard des repères nutritionnels) dans la consommation des protéines animales – soit une baisse d'environ 30 %.

Au vu de l'importance économique, sociale et culturelle de la production animale en France, les évolutions envisagées pour le secteur à partir de bilans physiques ne doivent pas masquer les questions soulevées : désirabilité et faisabilité des changements de pratiques alimentaires, évolution de l'emploi et des revenus de l'élevage, balance commerciale du secteur, dynamiques des territoires où se concentre aujourd'hui l'élevage. Et ce dans un contexte où le secteur de l'élevage doit affronter d'autres défis non moins majeurs : renouvellement générationnel, compétition internationale exacerbée, zoonoses, etc. Seule une prise en charge collective de ces questions permettra d'identifier des solutions tenant ensemble les enjeux physiques, sociaux et économiques et de relever ces défis.

3.4. Gérer la rareté, un enjeu de gouvernance

Au-delà du secteur de l'élevage, parvenir à une réorganisation des flux de biomasse telle qu'envisagée dans les scénarios biophysique examinés ici ne pourra se faire sans concertation ni choix politiques. Il s'agit en effet d'engager une démarche active de *gestion de la rareté*, qui doit permettre d'allouer chaque type de biomasse aux usages les plus pertinents. Une telle démarche suppose une *gouvernance* de la biomasse, ouverte et transparente, permettant des décisions justes et partagées. Les données physiques issues des scénarios analysés dans ce *Document de propositions* démontrent que tenir ensemble les différents enjeux physiques suppose des arbitrages forts sur les usages de la biomasse, qui eux-mêmes renvoient à des questions sociétales structurantes qui ne sauraient être éludées.

Citation : Aubert, P.-M., Doublet, S., Couturier, C., Malafosse, F. (2023). Biomasse et neutralité climat en 2050 : gérer la rareté pour maintenir des écosystèmes productifs et résilients. Iddri, *Document de propositions* N°03/23.

Ce travail a bénéficié d'un soutien du gouvernement français au titre du programme « Investissements d'avenir », administré par l'Agence nationale de la recherche (ANR) sous la référence ANR-10-LABX-14-01.

CONTACT

pierremarie.aubert@sciencespo.fr
sylvain.doublet@solagro.asso.fr
christian.couturier@solagro.asso.fr
florin.malafosse@solagro-asso.fr

Institut du développement durable
et des relations internationales
41, rue du Four – 75006 Paris – France

WWW.IDDRI.ORG
[@IDDRI_THINKTANK](https://twitter.com/IDDRI_THINKTANK)