

La biomasse forestière

Une alternative aux énergies fossiles ?



Amaury Defaye
Thomas Floquet
Mathieu Grosso
Thibaut Knibiehly

Ana M. Romera Flores
Loïc Simon
Georges Taaoum
Zhiheng Wang

2022

Cette publication a été réalisée par des étudiants en troisième année du cycle ingénieur de Mines Paris PSL Research University. Il présente le travail réalisé dans le cours intitulé « Descriptions de controverse », qui a pour objectif d'introduire les étudiants à l'univers incertain de la recherche scientifique et technique et de les sensibiliser aux enjeux de la participation citoyenne.

Mines Paris décline toute responsabilité pour les erreurs et les imprécisions que peut contenir cet article. Vos réactions et commentaires sont bienvenus. Pour signaler une erreur, réagir à un contenu ou demander une modification, merci d'écrire à la responsable de l'enseignement : madeleine.akrich@mines-paristech.fr.

■ Introduction

Face au changement climatique, l'utilisation de la biomasse comme une source d'énergie renouvelable connaît un nouvel essor depuis une vingtaine d'années¹. La combustion de bois-énergie a été pendant plusieurs siècles le principal moyen de chauffage, mais les considérations actuelles font évoluer les usages vers des systèmes plus centralisés. La biomasse forestière est aujourd'hui utilisée principalement comme matière première pour la production de la chaleur renouvelable et dans des centrales de production de l'électricité. Actuellement, 60 % de l'énergie renouvelable de l'Union Européenne provient de la combustion de la biomasse forestière, contre 40 % en 2014².

Le développement de cette filière est une combinaison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, la biomasse forestière est une source d'énergie renouvelable indépendante des facteurs géopolitiques affectant les énergies fossiles : les pays producteurs de pétrole et de gaz sont en position d'exercer des pressions sur les pays importateurs, et s'affranchir de ce risque est donc perçu positivement. De surcroît, la biomasse est considérée comme une source d'énergie « neutre » en carbone, ce qui semblait à l'époque une solution attractive pour les pays engagés dans la lutte contre le changement climatique. La directive européenne sur les énergies renouvelables *RED I*, adoptée en 2009, reconnaît en effet la combustion de la biomasse comme une source d'énergie renouvelable qui ne produit pas d'émissions et comme un substitut du charbon. Suite à cette reconnaissance et afin de rendre cette technologie compétitive et économiquement rentable, la filière bois-énergie était soutenue par les États et l'Union Européenne et a bénéficié de nombreuses subventions, tout comme les autres sources d'énergie renouvelable tels que l'éolien ou le solaire.

En France, par exemple, on peut trouver plusieurs dispositifs de soutien de la biomasse : entre 2009 et 2015, le Fonds chaleur de l'ADEME a financé 700 chaufferies dans les secteurs collectifs et industriels pour une production totale de 1,2 million de tonnes d'équivalent pétrole (TEP) par an, correspondant à une consommation de 5,5 millions de tonnes de biomasse ; de nombreux appels d'offres portant sur l'obligation d'achat et le complément de rémunération des centrales de production d'électricité à partir de bois-énergie ont aussi été lancés³. Ces subventions ont poussé un grand nombre de pays comme le Royaume Uni et le Danemark à convertir leurs centrales au charbon en centrales à biomasse, ce qui a eu comme avantage de se débarrasser de moyens de production beaucoup plus polluants que la biomasse. Si on veut comparer l'éolien et le solaire à la biomasse, cette dernière présente un avantage incontestable : la non-intermittence. Les centrales à biomasse sont pilotables et peuvent répondre aux changements de demande inattendus, et elle est facilement stockée sous forme de pellets⁴. Suite au développement des énergies renouvelables et à l'augmentation de leur part dans le mix électrique, les gestionnaires de réseaux sont justement à la recherche de sources d'énergie pilotables au lieu des sources intermittentes qui déstabilisent le réseau électrique.

L'utilisation de la biomasse forestière comme alternative aux énergies fossiles est un sujet toujours très débattu, et implique plein des acteurs venant d'horizons variés qui s'opposent : Les partisans de la filière bois-énergie s'engageant au développement de ce marché comme les exploitants des centrales électriques consommatrices

¹ Perrine Mouterde, « Pour le climat, brûler du bois n'est pas une alternative à la combustion fossile, alertent 500 scientifiques », *Le Monde*, 11 février 2021, https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/02/11/pour-le-climat-bruler-du-bois-n-est-pas-une-alternative-a-la-combustion-fossile-alertent-500-scientifiques_6069636_3244.html.

² Justin Catanoso, « Brûler des forêts pour produire de l'énergie : l'UE et le monde se débattent avec la science de la biomasse », *Mongabay*, 29 septembre 2021, <https://fr.mongabay.com/2021/09/bruler-des-forets-pour-produire-de-lenergie-lue-et-le-monde-se-debattent-avec-la-science-de-la-biomasse>.

³ Ministère de la transition écologique, « Biomasse énergie », 21 octobre 2020, <https://www.ecologie.gouv.fr/biomasse-energie>.

⁴ Les granulés de bois, connus sous le terme anglais de *pellets*, sont un combustible qui se présente sous la forme de petits cylindres de bois 100 % naturel, principalement produits par le compactage de sous-produits de scierie tels que la sciure et les copeaux

de bois ou de pellets et l'industrie forestière qui affirment toujours que la combustion de la biomasse est neutre en carbone et promeuvent son utilisation à des fins énergétiques et les gouvernements qui s'engagent à réduire leurs émissions de GES pour atteindre leurs objectifs de l'accord de Paris. En même temps, dans le camp adverse, se positionnent les scientifiques, en très grande majorité, qui remettent en question l'efficacité de la biomasse forestière pour réduire les émissions de CO₂ au vu des émissions nécessaires à l'exploitation des forêts et des rendements énergétiques ; et les défenseurs de la forêt, ONGs et certains exploitants avec une autre vision, qui s'opposent à cette source d'énergie en soulevant des arguments sur la dangerosité de la biomasse et son impact négatif sur l'environnement et sur la biodiversité.

Selon les acteurs qui s'opposent à ce mode d'usage de la biomasse, continuer à compter cette dernière comme une source d'énergie renouvelable, et inciter au développement de cette filière, pourra aggraver la situation climatique, en augmentant directement le taux des GES dans l'atmosphère : un luxe dont on ne dispose pas d'un tel. Toutefois, il ne s'agit pas seulement d'une question d'émissions, mais la propagation de ce marché se fera au détriment des surfaces vertes disponibles et encourage la déforestation afin d'assurer la demande croissante en pellets de bois utilisés comme matière première pour la combustion. En février 2021, plus de 500 scientifiques ont adressé une lettre au président des États-Unis et à la présidente de la Commission européenne afin de contester l'utilisation de la biomasse pour la production d'énergie et de les alerter des risques liés à cet usage⁵. Et donc, la question se pose elle-même : S'agit-il d'une menace réelle au climat ?

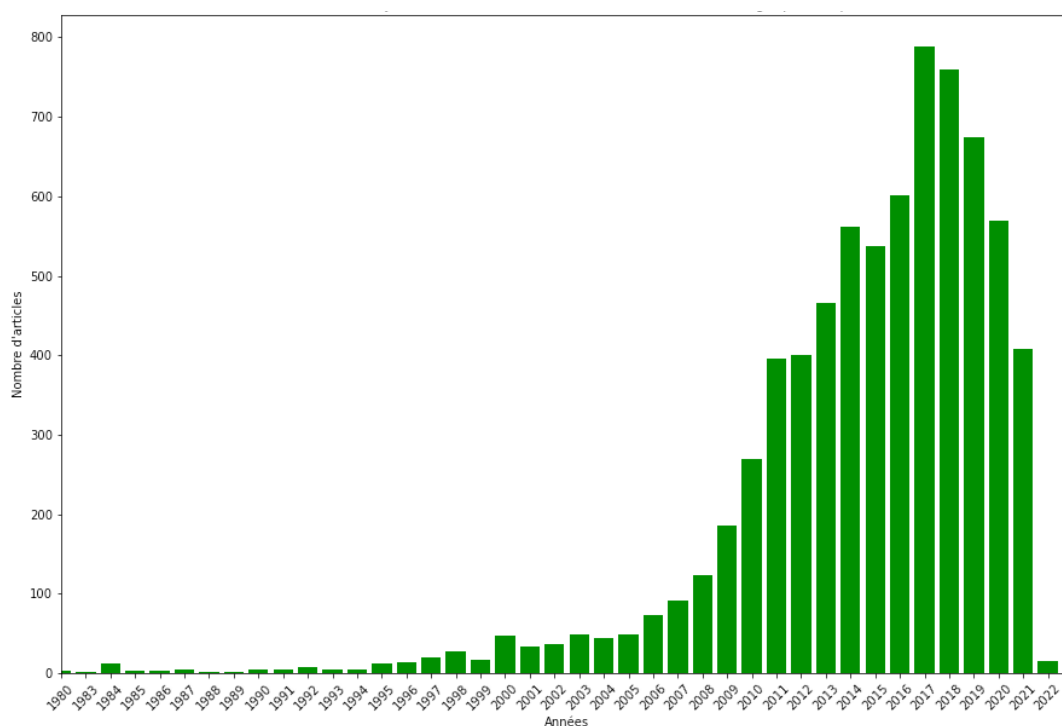
Pour analyser la controverse, son émergence et son articulation entre les différents acteurs, nous verrons dans un premier temps comment la question de la neutralité carbone de la biomasse a été traitée dans l'arène scientifique, cette question étant au cœur de notre sujet sur la pertinence de cette énergie alternative. Nous étudierons ensuite comment les institutions politiques se sont saisies de cet enjeu et comment les industriels ont répondu en mettant en place des mesures pour diminuer leurs émissions, tout en étant critiqués dans leur démarche. Enfin, nous verrons comment les acteurs de défense de l'environnement et les ONG ont invoqué de nouveaux arguments pour lutter contre l'exploitation des forêts à des fins énergétiques, en mettant en avant plus particulièrement la protection de la biodiversité, les risques de détérioration des sols et les potentiels risques sanitaires.

⁵ « Scientist Letter to Biden, von der Leyen, Michel, Suga & Moon Re. Forest Biomass.pdf », 2021, <https://www.dropbox.com/s/hdmmcnd0d1d2lq5/Scientist%20Letter%20to%20Biden%2C%20von%20der%20Leyen%2C%20Michel%2C%20Suga%20%26%20Moon%20%20Re.%20Forest%20Biomass%20%28February%2011%2C%202021%29.pdf?dl=0>.

■ Le consensus scientifique sur la non-neutralité de la biomasse forestière aux échelles demandées et sur l'incapacité de cette ressource à répondre aux besoins énergétiques actuels

En 2017, l'EASAC (*European Academies Science Advisory Council*, regroupement des académies européennes qui vise à conseiller les décideurs européens) publie un article remettant en question la neutralité carbone de la biomasse comme source énergétique⁶. Avec cet article, l'EASAC – qui visait à alerter les États membres de l'Union Européenne des dangers de l'utilisation de la biomasse – a déclenché un débat médiatique, mais surtout scientifique. Depuis, la communauté scientifique semble être divisée quant aux bénéfices et à l'impact environnemental de l'utilisation de la biomasse forestière pour la production d'énergie.

L'utilisation de bois comme source d'énergie n'a rien de nouveau. Pendant des siècles et presque jusqu'au milieu du XX^e siècle, le bois a été une source majeure d'énergie, surtout comme source de chaleur. Cela est toujours le cas aujourd'hui dans certaines régions du monde, notamment en Afrique⁷. La littérature scientifique disponible montre que les premières études sur l'utilisation de la biomasse forestière pour la production d'énergie apparaissent en 1980 avec la publication de divers articles aux États-Unis et au Canada, ce qui semble être corrélé au choc pétrolier des années 70. Depuis, les publications scientifiques traitant le sujet de la biomasse forestière se multiplient d'année en années. Le graphique suivant montre cette augmentation depuis 1980.



Nombre d'articles évoquant l'utilisation de biomasse forestière comme source d'énergie publiés par année

⁶ EASAC, « The EU's Renewable Energy Ambitions: Bioenergy from Forests Is Not Always Carbon Neutral - and May Even Increase the EU's Carbon Emissions », consulté le 13 janvier 2022, <https://easac.eu/media-room/press-releases/details/the-eu-s-renewable-energy-ambitions-bioenergy-from-forests-is-not-always-carbon-neutral-and-may-even-increase-the-eu-s-carbon-emissions/>.

⁷ Gérard Madon, « Le bois, énergie de première nécessité en Afrique », *Afrique contemporaine* 261262, n° 1 (2017): 201-22.

Pendant des années, l'utilisation de la biomasse forestière a été considérée comme neutre en carbone et, à la suite du protocole de Kyoto de 1997, les Nations Unies ont publié un document politique considérant l'énergie produite par la biomasse comme étant neutre en carbone⁸. Cette position est également défendue par la directive européenne *RED I* parue en 2009 : la filière bois-énergie commence ainsi à vraiment se développer en Europe, et plus particulièrement en France dans les années 1990 avec la mise en place d'aides financières de la part de l'ADEME⁹.

Au début du développement de cette filière bioénergie, il y avait « une conviction par rapport à la neutralité carbone de la biomasse vis-à-vis de l'effet de serre »¹⁰ qui semblait être incontestable. La première fois que la neutralité carbone du bois-énergie a été remise en cause date de 1995 par Schlamadinger, Spitzer, Kohlmaier et Lüdeke qui montrent que « la carboneutralité de la bioénergie issue des résidus d'exploitation forestière dans les forêts tempérées et boréales se situe entre 0,49 et 0,82 après 20 ans et entre 0,75 et 0,88 après 100 ans »¹¹.

■ Argument de la neutralité du cycle carbone de la biomasse forestière

La principale source de conflit dans le débat scientifique apparaît avec le concept de neutralité carbone. Ainsi, peut-on vraiment dire que le bilan carbone d'un arbre exploité pour l'énergie est neutre ? Comme chacun le sait, les arbres captent du CO₂ grâce à la photosynthèse ; nous parlons de ce carbone comme étant biogénique¹². Il s'agit donc d'un cycle de carbone court, allant de quelques années à quelques décennies, et non pas d'un cycle long comme pour les énergies fossiles. Ainsi, traditionnellement, la production d'énergie à partir de la biomasse était considérée comme neutre en carbone car son utilisation ne génère pas des émissions nettes supplémentaires du fait que les arbres avaient déjà capté le CO₂ à travers la photosynthèse. D'après le *IEA Bioenergy*, la combustion de la biomasse renvoie simplement dans l'atmosphère le carbone qui a été absorbé pendant la croissance des plantes : le bilan carbone serait donc neutre dans l'atmosphère.

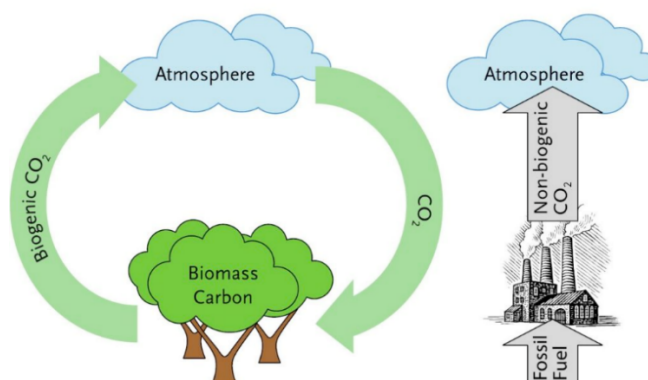


Illustration du cycle carbone forestier contre la consommation carbone fossile – IEA Bioenergy¹³

⁸ Mongabay, « Les forêts sont-elles le charbon d'hier ? », *Les Echos Planète* (blog), 4 janvier 2021, <https://planete.lesechos.fr/enquetes/les-forets-sont-elles-le-charbon-dhier-6737/>.

⁹ « Historique », CIBE, consulté le 8 janvier 2022, <https://cibe.fr/historique/>.

¹⁰ Philippe Leturcq, « La neutralité carbone du bois énergie : un concept trompeur ? », *Revue Forestière Française*, n° 6 (2011), <https://doi.org/10.4267/2042/47204>.

¹¹ B. Schlamadinger et al., « Carbon balance of bioenergy from logging residues », *Biomass and Bioenergy* 8, n° 4 (1995): 221-34.

¹² DREAL Pays de la Loire, « Le carbone biogénique est-il pris en compte dans le calcul du C ? », 22 août 2019, <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/le-carbone-biogenique-est-il-pris-en-compte-dans-a4864.html>.

¹³ « Is Energy from Woody Biomass Positive for the Climate? – New IEA Bioenergy Brief », *Bioenergy International* (blog), 16 janvier 2018, <https://bioenergyinternational.com/opinion-commentary/energy-woody-biomass-positive-climate-new-iea-bioenergy-brief>.

De nombreuses publications scientifiques jugent cet argument comme une généralisation courte et simpliste^{14, 15}. Mais ce concept a évolué au cours des années, et une condition supplémentaire pour la neutralité carbone semble avoir émergé : la gestion durable des forêts. Les défenseurs de l'utilisation de la biomasse et les gouvernements catégorisent la biomasse forestière comme une énergie renouvelable : le Syndicat des énergies renouvelables explique ainsi que « le bois, prélevé dans des forêts gérées durablement avec des coupes planifiées sur des dizaines d'années, est une ressource renouvelable »¹⁶. Les gouvernements semblent justement avoir approuvé ce concept pour justifier l'utilisation durable de la biomasse forestière. À titre d'exemple, la France dans sa *Stratégie nationale pour la mobilisation de la biomasse* assume que

« La mobilisation de la biomasse et du bois, en particulier, s'articule avec la gestion durable de la ressource et ainsi à l'augmentation de son potentiel de captage du carbone (stockage net du carbone). » – *Stratégie nationale pour la mobilisation de la biomasse*

De plus en plus de rapports scientifiques apparaissent chaque année pour débattre de cette neutralité carbone. Nous introduisons ainsi le concept de *payback period*, en français « période de récupération ». Il s'agit d'un délai temporel qui peut être aussi appelé « dette carbone », « temps de retour carbone » ou « investissement carbone » et qui provient de divers rapports scientifiques prouvant qu'il existe une différence temporelle entre la libération de carbone lors de la combustion de la biomasse et le moment où le carbone serait recapturé et séquestré par les forêts. C'est une des principales sources de conflit dans l'arène scientifique : la neutralité carbone de la biomasse ne semble pas être immédiate. Pour des fins énergétiques, la biomasse forestière peut venir de différentes sources, et cette différence temporelle varie en fonction de la biomasse qui est brûlée¹⁷. Lorsque la biomasse provient des déchets, cette période est autour des dix ans, tandis que si les arbres supplémentaires sont récoltés, cette période va de décennies à des milliers d'années¹⁸. C'est une des principales sources de conflit dans l'arène scientifique : la neutralité carbone de la biomasse ne semble pas être immédiate.

À ce propos, si les scientifiques admettent que les émissions dues à la combustion du bois seront compensées à moyen terme, beaucoup alertent sur le décalage de temporalité entre l'urgence de la situation climatique et la durée de vie d'un arbre. L'introduction d'une charge supplémentaire de carbone dans l'atmosphère pendant des décennies signifie des dommages permanents dus à la fonte plus rapide des glaciers et au dégel du permafrost, et une augmentation de la chaleur et de l'acidité dans les océans du monde. À un moment critique où les états doivent « gagner du temps » contre le changement climatique, cette approche revient à « vendre » le temps limité dont dispose le monde pour le combattre. L'EASAC insiste une fois de plus dans son rapport de 2021 que l'utilisation ne permettra pas aux États membres de satisfaire ses promesses signées lors des Accords de Paris – la réduction des émissions de CO₂ à l'horizon 2030 – à cause du temps de retour du carbone¹⁹.

Il semble difficile de juger si l'utilisation de la biomasse permet d'attendre une neutralité carbone, ne serait-ce que dans le temps. Mais au-delà de la question temporaire, pour pouvoir répondre, il faut analyser le cycle de vie du carbone tout au long du processus. Le cycle de vie du carbone dans le processus de la production d'énergie

¹⁴ Gordon B. Bonan, « Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests », *Science*, 13 juin 2008, <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.

¹⁵ Yude Pan et al., « A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests », *Science*, 19 août 2011, <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.

¹⁶ Syndicat des Énergies Renouvelables SER, « Questions Réponses Bois Énergie », 2019, https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2019/05/Questions_Reponses_Bois_energie_PAP_mai_2019.pdf.

¹⁷ Joseph Fargione et al., « Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt », *Science*, 2008, Vol. 319, Issue 5867 édition, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1152747>.

¹⁸ Michael Norton et al., « Serious Mismatches Continue between Science and Policy in Forest Bioenergy », *GCB Bioenergy* 11, n° 11 (2019): 1256-63, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12643>.

¹⁹ EASAC, « Forest Biomass for energy – science, markets and policies », 2021.

à partir de la biomasse forestière semble être lui-même très contesté dans l'arène scientifique : en effet, pour l'analyse du cycle de vie de carbone, il ne faut pas juste prendre en compte les émissions liées à la combustion mais aussi celles liées à toute la chaîne d'approvisionnement. De nombreuses études²⁰ montrent les avantages quant au cycle de vie du carbone lorsque les énergies fossiles sont substituées à la biomasse. Sur ce sujet, il semble très compliqué de pouvoir juger de cycle de vie du carbone comme étant neutre ou non, de manière générale à cause de la diversité de ressources utilisées pour la production, de la variabilité des moyens de transports et des distances et d'autres facteurs²¹.

L'analyse de cycle de vie soulève une autre problématique : la manière dont le carbone est comptabilisé. En effet, lors du Protocole de Kyoto, l'UNFCCC (*Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques*) a établi de quelle manière les émissions de CO₂ produit par la combustion de biomasse devaient être comptabilisées²² :

Les émissions de CO₂ qui en résultent ne doivent pas être incluses dans les émissions nationales de CO₂ dues à la combustion de carburants. La libération de carbone due à la biomasse utilisée comme énergie doit être comptabilisée dans le secteur UTCF. En revanche, les émissions autres que le CO₂ dues à la combustion de la biomasse doivent être comptabilisées dans le secteur de l'énergie.

De ce fait, cette affirmation – qui est un choix méthodologique – crée une confusion à l'heure de comptabiliser la quantité de CO₂ pour la production d'énergie par la biomasse. Par exemple, un pays qui importe sa biomasse ne comptabilise pas les émissions liées à la combustion de celle-ci²³. Tandis que certains scientifiques assurent que l'approche est claire et ne suppose pas que l'utilisation de la biomasse est neutre en carbone^{24, 25}, cette méthodologie est critiquée par l'EASAC dans ses successifs rapports²⁶. L'arène scientifique semble vraiment divisée à ce sujet, et les conclusions des rapports scientifiques sont très différentes dans chacune des publications. Finalement, il semblerait que le cœur de la controverse scientifique repose sur les différentes approches et méthodologies que les scientifiques utilisent pour défendre ou critiquer le recours à la biomasse forestière²⁷.

■ Argument du faible rendement des centrales à biomasse par rapport aux autres moyens de production de l'énergie

La question du rendement des procédés liés à la combustion du bois est un autre argument utilisé par les scientifiques qui s'opposent à la filière bois-énergie. En effet, les centrales utilisant les combustibles fossiles présentent un rendement beaucoup plus élevé, ce qui implique qu'à niveau de production équivalent, il faut davantage de pellets que de charbon, par exemple. Qui dit plus de pellets brûlés dit plus d'émissions de CO₂ :

²⁰ Yimin Zhang et al., « Life Cycle Emissions and Cost of Producing Electricity from Coal, Natural Gas, and Wood Pellets in Ontario, Canada », *Environmental Science & Technology* 44, n° 1 (1 janvier 2010): 538-44, <https://doi.org/10.1021/es902555a>.

²¹ Vincent Nadeau, « La carboneutralité de la biomasse à des fins de bioénergie », 2020, 15.

²² « UNFCCC Resource Guide For Preparing the National Communications of Non-Annex I Parties - Module 3 », s. d., 36.

²³ Jiaxin Chen et al., « Assessing the greenhouse gas effects of harvested wood products manufactured from managed forests in Canada », *Forestry: An International Journal of Forest Research* 91, n° 2 (1 avril 2018): 193-205, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpx056>.

²⁴ Felix Creutzig et al., « Bioenergy and Climate Change Mitigation: An Assessment », *GCB Bioenergy* 7, n° 5 (2015): 916-44, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12205>.

²⁵ Gregg Marland, « Accounting for Carbon Dioxide Emissions from Bioenergy Systems », *Journal of Industrial Ecology* 14, n° 6 (2010): 866-69, <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00303.x>.

²⁶ EASAC, « The EU's Renewable Energy Ambitions ».

²⁷ Göran Berndes et al., « Forest Biomass, Carbon Neutrality and Climate Change Mitigation », From Science to Policy, From Science to Policy (European Forest Institute, 12 octobre 2016), <https://doi.org/10.36333/fs03>.

d'après une étude réalisée en 2018²⁸, la biomasse forestière émet en moyenne, à énergie fournie égale, une fois et demie le CO₂ du charbon et trois fois le CO₂ du gaz. Cette question a été reprise par un article du Guardian :

The wood that is burned releases even more carbon than coal per unit of energy generated, and burns at a lower temperature, producing less electricity – turning wood into compressed pellets increases efficiency but uses energy and creates large additional emissions. —The Guardian, 2017²⁹

Le bois brûlé dégage encore plus de carbone que le charbon par unité d'énergie générée, et brûle à une température plus basse, ce qui produit moins d'électricité – la transformation du bois en pellets comprimés améliore l'efficacité mais utilise de l'énergie et crée des émissions additionnelles.

C'est le même constat pour les installations de chauffage au bois : le rendement de ce type d'installation peut varier de 10 % à 90 % selon le type de cette installation³⁰. L'État français a décidé de réagir sur ce point : dans son plan d'action, le ministère de la transition écologique a décidé de réduire de 50 % d'ici 2030 les émissions de polluants issues du chauffage au bois domestique. Le ministère vise à remplacer, d'ici 2025, 600 appareils de chauffage avec des installations plus performantes :

Il y a 20 ans, les appareils de chauffage au bois domestique n'étaient testés que sur deux paramètres : la puissance émise et la sécurité. La mesure du rendement (rapport entre la chaleur produite et la quantité de combustible consommée) est apparue assez vite après, ainsi que celle des émissions de CO. Aujourd'hui, la norme CE impose des mesures d'émissions de poussières, de NOx et de COV. Globalement, on observe qu'en 20 ans, les rendements sont passés de 65 à 80 %, et surtout que les émissions des appareils ont été divisées par 3 ou plus. —FAQ du SER³¹

Cet argument de l'inefficacité de la combustion de la biomasse est contesté par les énergéticiens, qui reprochent un amalgame entre les foyers individuels très peu efficaces et les centrales à bois :

[...] sur les cheminées ouvertes, le rendement c'est 15 %, c'est dramatique, quand on parle de 88 % à 90 % sur nos chaudières. On gaspille dans un foyer ouvert 85 %, là où nous on utilise plus de 85%. —Entretien

De nombreuses solutions peuvent d'ailleurs améliorer le rendement des centrales : par exemple, à la centrale de Vaulx-en-Velin,

Concernant l'efficacité énergétique de la production au bois, elle va être améliorée par l'installation de condenseurs [...] sur les fumées, ce qui devrait permettre de porter les rendements au-dessus des 100 % sur PCI. —Bioénergie International, 2021³²

²⁸ Timothy D. Searchinger et al., « Europe's Renewable Energy Directive Poised to Harm Global Forests », *Nature Communications* 9, n° 1 (12 septembre 2018): 3741, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06175-4>.

²⁹ « EU Must Not Burn the World's Forests for "renewable" Energy », *The Guardian*, 14 décembre 2017, sect. Environment, <https://www.theguardian.com/environment/2017/dec/14/eu-must-not-burn-the-worlds-forests-for-renewable-energy>.

³⁰ « Le bois énergie : définition, usages et chiffres clés », Connaissance des énergies, 3 novembre 2013, <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/bois-energie>.

³¹ SER, « Questions Réponses Bois Énergie ». p.39

³² Frédéric Douard, « Encore plus d'efficacité pour le chauffage urbain à bois de Vaulx-en-Velin », *Bioénergie International* (blog), 2021, <https://www.bioenergie-promotion.fr/87882/encore-plus-d-efficacite-pour-le-chauffage-urbain-a-bois-de-vaulx-en-velin/>.

Les études scientifiques confirment cependant la différence fondamentale de rendement entre biomasse et charbon^{33, 34, 35}. Cette différence s'explique en effet par la plus faible densité énergétique du bois, qui possède moins d'énergie par unité de carbone :

	Pouvoir calorifique (GJ / tonne)	Facteur d'émission (kg CO ₂ / GJ)
Granulés	18,5	109,94 - 116,97
Biocharbon	27,6-27,9	116,883
Copeaux d'aulne	26,7	-
Déchets de meubles	26	-
Contre-plaqué de bois	25,4	-
Sciures de bois	26,6	-
Essence automobile	42	67,714
Diesel	45,9	72,841 - 69,34
Gaz naturel	42,5	49,863 - 50,301
Charbon	34,1	78,700
Charbon anthracite	-	98,28
Charbon lignite	-	92,61
Propane	48,9	61,003 - 59,76

Pouvoir calorifique et facteur d'émission de CO₂ selon les sources de carburant – Tableau extrait de Nadeau, 2020³⁶

La biomasse ligneuse contient moins d'énergie que le charbon, de sorte que les émissions de CO₂ pour une même production d'énergie sont plus élevée. Si l'on y ajoute les besoins en énergie pour la collecte à partir de sources diffuses et le traitement intermédiaire (séchage et granulation), le remplacement des combustibles fossiles dans la production d'électricité entraîne une augmentation significative des émissions de CO₂ par kWh. L'effet net du passage à la biomasse est donc généralement d'augmenter les émissions et donc les niveaux de CO₂ dans l'atmosphère. C'est l'effet inverse des objectifs initiaux de la RED, à savoir réduire les émissions de gaz à effet de serre³⁷.

L'efficacité absolue de la biomasse pour la production d'énergie peut aussi être exprimée en comparant l'énergie produite par un hectare de forêt gérée pour l'énergie uniquement, et un hectare de panneaux solaires : sans prendre en compte toutes les considérations liées à la fabrication des panneaux, ces derniers sont *a minima* 50

³³ Peter Walker et al., « Preverbal Infants' Sensitivity to Synaesthetic Cross-Modality Correspondences », *Psychological Science* 21, n° 1 (1 janvier 2010): 21-25, <https://doi.org/10.1177/0956797609354734>.

³⁴ David Neil Bird et al., « Zero, one, or in between : evaluation of alternative national and entity-level accounting for bioenergy », *GCB Bioenergy* 4, n° 5 (2012): 576-87, <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01137.x>.

³⁵ Stephen Mitchell, Mark Harmon, et Kari O'Connell, « Carbon debt and carbon sequestration parity in forest bioenergy production », *GCB Bioenergy* 4 (1 novembre 2012), <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01173.x>.

³⁶ Nadeau, « La carboneutralité de la biomasse à des fins de bioénergie ».

³⁷ Norton et al., « Serious Mismatches Continue between Science and Policy in Forest Bioenergy ».

à 100 fois plus efficaces^{38, 39}. Cette comparaison est évidemment très limitée, surtout si on considère la production d'énergie à partir des coproduits du bois d'œuvre, comme c'est le cas de la quasi-totalité des centrales en France.

■ Argument de la consommation du CO₂ des arbres jeunes contre arbres vieux

L'importance de la forêt, ainsi que la bonne gestion de celle-ci, semble être un point en commun dans le débat autour de la biomasse forestière. En revanche, dans l'arène scientifique, il semble que plusieurs questions se posent autour de l'exploitation des forêts à des fins énergétiques : l'utilisation de la biomasse est une question compliquée du fait des nombreuses origines de la biomasse.

Les forêts jouent un important rôle de puits de carbone contre le changement climatique ; cependant, le fait que les vieux arbres consomment plus de CO₂ que les jeunes arbres – et contribuent ainsi davantage plus au ralentissement du changement climatique – fait débat. Même parmi les scientifiques, les idées liées à ce sujet sont très variées.

La biomasse forestière est généralement considérée comme neutre en carbone si elle provient d'un système forestier dans lequel les stocks de carbone sont stables ou en augmentation⁴⁰. Après avoir étudié plus de 400 espèces d'arbres tropicaux et tempérés, une étude réalisée par une trentaine de chercheurs⁴¹ a abouti à la conclusion suivante :

Les grands et vieux arbres n'agissent pas simplement comme des réservoirs de carbone sénescents [qui vieillissent], mais fixent activement de grandes quantités de carbone par rapport aux arbres plus petits ; à l'extrême, un seul grand arbre peut ajouter la même quantité de carbone à la forêt en un an que celle contenue dans un arbre entier de taille moyenne.

C'est avec la publication de cet article que le débat sur l'utilisation des « vieux arbres » commence ; c'est la première fois que le concept est remis en question. D'après cette publication, les vieux arbres absorbent plus de CO₂ que les jeunes arbres pour continuer à croître, ce qui contredit le postulat selon lequel les vieux arbres contribuent moins à la lutte contre le réchauffement climatique. En outre, des scientifiques ont aussi analysé que les arbres âgés ont de meilleures capacités d'adaptation à la hausse de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. D'après le travail de Gardner *et al.*⁴², dans un scénario de CO₂ élevé, les vieux arbres ont une augmentation de la capacité de photosynthèse d'environ 33 %. « Les vieux arbres peuvent présenter une réponse positive et soutenue à un scénario de CO₂ élevé sans régulation à la baisse de la photosynthèse, suggérant qu'avec des nutriments adéquats, il y aura une augmentation soutenue du CO₂ assimilé par ces vieux arbres », ce qui montre aussi que les vieux arbres peuvent davantage ralentir le réchauffement climatique là où il y a une haute concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

Cependant, certains scientifiques ont des avis très opposés. Une hypothèse largement répandue depuis longtemps est qu'après une période initiale de croissance intense, le taux de croissance en masse des arbres

³⁸ Vasilis Fthenakis et Hyung Chul Kim, « Land use and electricity generation: A life-cycle analysis », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, n° 6-7 (2009): 1465-74.

³⁹ Roland Geyer, David Stoms, et James Kallalos, « Spatially-Explicit Life Cycle Assessment of Sun-to-Wheels Transportation Pathways in the U.S », *Environmental Science & Technology* 47, n° 2 (15 janvier 2013): 1170-76, <https://doi.org/10.1021/es302959h>.

⁴⁰ Annette L. Cowie et al., « Applying a Science-Based Systems Perspective to Dispel Misconceptions about Climate Effects of Forest Bioenergy », *GCB Bioenergy* 13, n° 8 (2021): 1210-31, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12844>.

⁴¹ N. L. Stephenson et al., « Rate of Tree Carbon Accumulation Increases Continuously with Tree Size », *Nature* 507, n° 7490 (mars 2014): 90-93, <https://doi.org/10.1038/nature12914>.

⁴² A. Gardner et al., « Is Photosynthetic Enhancement Sustained through Three Years of Elevated CO₂ Exposure in 175-Year Old Quercus Robur? », 16 décembre 2020, <https://doi.org/10.1101/2020.12.16.416255>.

individuels diminue avec l'augmentation de la taille des arbres⁴³. La théorie en question fut développée par le scientifique américain Eugène Odum dans les années 1960, qui affirme que les forêts anciennes – c'est-à-dire en état d'équilibre – émettent autant de CO₂ qu'elles en absorbent. De ce concept est née l'idée que l'utilisation de la biomasse permet de renouveler les forêts, et donc de permettre de capter davantage de CO₂ à long terme. La question suivante se pose donc : la récolte de bois est-elle bénéfique pour une gestion durable de la forêt, ce qui peut permettre de capter plus de CO₂ ? Beaucoup de scientifiques ont ainsi soutenu l'exploitation de forêts anciennes : une étude de 2018 faite par IEA Bioenergy⁴⁴ a montré que « les forêts non exploitées absorbent moins de carbone au fil du temps car le rythme de croissance diminue à mesure que la forêt vieillit et approche la maturité, ou car la densité d'arbres entrave la croissance ».

De plus Will Gardiner, PDG de la société britannique Drax – principale consommatrice mondiale de pellets de bois pour la production d'énergie – favorise aussi l'exploitation de bois-énergie en gérant activement la forêt pour que les vieux arbres continuent à croître et enfin capturer plus de carbone :

Il est vraiment préférable d'utiliser la biomasse plutôt que le charbon. Les pellets de bois que nous utilisons proviennent d'écosystèmes forestiers qui se régénèrent. En fait, nous faisons partie d'un système qui aide les forêts à croître et à prospérer. Une forêt mature ne capte plus de carbone. Une forêt gérée qui continue de croître permet de capter davantage de carbone. — Will Gardiner, Drax⁴⁵

Nous voyons donc comment le débat d'origine scientifique prend une place importante dans le débat médiatique, et cette croyance devient ainsi un argument de force pour les acteurs qui se positionnent pour l'exploitation du bois.

■ Conclusion de la partie

Depuis des décennies, les producteurs européens de papier et de produits du bois produisent de l'électricité et de la chaleur en tant que sous-produits bénéfiques en utilisant des déchets de bois et des résidus forestiers limités. Selon un entretien réalisé avec un chercheur au niveau terre-climat, étant donné que la plupart de ces déchets se décomposent et libèrent du CO₂ en quelques années, leur utilisation pour remplacer les combustibles fossiles peut réduire les émissions nettes de CO₂ dans l'atmosphère en quelques années également. Mais suite à l'explosion du marché bois-énergie, les quantités de ces résidus forestiers ne sont pas suffisantes pour couvrir la demande en bois actuelle, d'où la nécessité d'abattre des arbres complets pour la production des pellets, ce qui libère du carbone qui resterait autrement enfermé dans les forêts. De fait, la demande de pellets augmente régulièrement au fil des ans : en 2017, la demande a dépassé les 14 millions de tonnes et selon l'*Environmental Paper Network*⁴⁶, cette demande va plus que doubler pour atteindre une demande mondiale de 36 millions de tonnes par an.

Pour l'instant et malgré toutes les alertes présentées par les scientifiques et ONG, les directives européennes se positionnent favorablement à l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie et comme un remplaçant des énergies fossiles. Le débat toujours en cours, l'évolution de cette filière est un résultat de plusieurs instruments économiques et politiques de décarbonation qu'on discutera dans les parties suivantes.

⁴³ Frederick C. Meinzer, Barbara Lachenbruch, et Todd E. Dawson, *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function* (Springer Science & Business Media, 2011).

⁴⁴ « Is Energy from Woody Biomass Positive for the Climate? »

⁴⁵ Catanoso, « Brûler des forêts pour produire de l'énergie : l'UE et le monde se débattent avec la science de la biomasse ».

⁴⁶ « Are Forests the New Coal? », *Environmental Paper Network*, 2021, <https://environmentalpaper.org/biomass-threat-map-2018/>.

■ La dynamisation des territoires et la préservation de l'emploi par l'exploitation de la biomasse font naître des projets controversés sur le plan des émissions

Nous avons donc vu en première partie qu'il y a globalement un consensus parmi les scientifiques pour dire qu'en l'état actuel, la biomasse forestière ne répond pas à l'urgence climatique. Pourtant, nous verrons dans cette partie que dans les faits, de nombreux projets continuent d'émerger grâce au soutien de l'État. Nous pourrions alors nous demander comment expliquer ce décalage entre les sphères scientifiques et politiques.

Tout d'abord, étant donné que la biomasse forestière n'est pas compétitive économiquement par rapport aux énergies fossiles, l'Union européenne soutient les initiatives liées à la biomasse avec la directive *RED I*⁴⁷ publiée en 2009 – à condition de respecter des exigences de durabilité et de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour les biocarburants et bioliquides produits à partir de biomasse. L'UE a ensuite poursuivi cette initiative avec l'adoption de la directive *RED II*⁴⁸ en 2018, élargissant ces exigences aux autres filières bioénergétiques : production de gaz, d'électricité, de chaleur et de froid à partir de combustibles issus de la biomasse. Ces directives ont été déclinées par l'État français et les régions afin de subventionner massivement les projets liés à la biomasse. D'une part, il y a les nombreux appels d'offres de l'État à travers l'ADEME – par exemple ceux de la CRE (*Commission de régulation de l'énergie*), et d'autre part il y a des financements à travers le Fonds Chaleur de l'ADEME (*l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie*), qui octroie des subventions aux collectivités, aux entreprises et aux associations souhaitant réaliser des études de faisabilité de chaufferie biomasse et propose des financements pour une assistance à maîtrise d'ouvrage pour des chaufferies biomasses⁴⁹.

Ainsi, les projets se multiplient grâce au soutien de l'État. Or, d'après Michael Norton, directeur du programme environnement de l'EASAC (l'organisation internationale des académies des sciences européennes), « plus de 6 milliards d'euros de subventions sont versées chaque année pour encourager une pratique dont le résultat net est que les émissions augmentent, sans que l'on sache à quel point elles pourraient commencer à décroître »⁵⁰. Dès lors, comment expliquer ce soutien de l'État et de certaines associations à une énergie qui fait largement débat parmi les scientifiques et les associations ?

La biomasse forestière constitue en réalité pour l'État un moyen de redynamiser certaines régions en déclin et de limiter la dépendance énergétique.

De nombreux hommes politiques soutiennent la biomasse car cela permet de donner un second souffle à certaines villes en déclin. Roger Mei, maire de Gardanne – ville où est installée une centrale à biomasse qui continue à faire débat – explique par exemple qu'il aime voir les cheminées fumer car « ça veut dire qu'il y a du travail »⁵¹. En effet, la conversion de la centrale à charbon en centrale à biomasse a permis de conserver les 170 emplois et de créer de nombreux postes dans la filière bois dans la région – et ce d'autant plus que ces emplois ne sont pas délocalisables.

⁴⁷ Union européenne, « DIRECTIVE 2009/28/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL », 23 avril 2009, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:FR:PDF>.

⁴⁸ Union européenne, « DIRECTIVE 2018/2001 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL », 11 décembre 2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>.

⁴⁹ Ademe, « Le Fonds Chaleur en bref », ademe.fr, 18 août 2021, <https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref>.

⁵⁰ Rapport à paraître prochainement

⁵¹ Luc Leroux, « Conversion contestée de la centrale de Gardanne », *Le Monde*, 9 mars 2016, 7.

Du fait des nombreuses subventions publiques accordées aux projets de chaufferies à biomasse, et dans le but de verdir leur image, de nombreuses collectivités locales – notamment du monde rural – sont intéressées par l'exploitation de la biomasse forestière. Elles y voient l'occasion de redynamiser leur territoire – souvent touché par des problèmes démographiques ou de désindustrialisation – par la création d'emplois locaux et la mise en valeur de massifs forestiers parfois sous-exploités. C'est le cas par exemple de Vitry-le-François (Marne), ville ouvrière de 13 000 habitants dont le maire admet jouer la survie économique notamment par l'acquisition et la modernisation d'une chaufferie à bois⁵². Selon le Directeur des opérations d'un électricien français (propos recueillis en entretien), les villes les plus propices à l'utilisation de la biomasse sont les villes petites et moyennes, entourées de massifs forestiers importants (par exemple Guéret dans la Creuse). Les différents projets s'inscrivent dans la SNMB (*Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse*) – stratégie qui découle de la *Loi de transition énergétique* de 2015 – dont le but est de promouvoir les bioénergies dans une logique de durabilité.

Par ailleurs, certaines associations comme FNE (*France Nature Environnement*) soutiennent la biomasse forestière – à condition que cela soit fait dans un cadre respectueux de l'environnement – car elles la voient comme un moyen de sortir du nucléaire à l'horizon 2035 (propos recueillis en entretien).

L'indépendance énergétique est également une des raisons pour lesquelles l'État français soutient les projets liés à la biomasse forestière. En effet, la biomasse constitue une énergie locale renouvelable qui permet de réduire les importations de gaz et de fuel. C'est particulièrement le cas en ce qui concerne l'île de la Réunion, aujourd'hui très dépendante des importations fossiles dans son mix énergétique, et qui voit dans la biomasse agricole et forestière un véritable levier d'autonomie et de réduction de ses émissions de CO₂⁵³. Mais l'article évoque également le problème des surfaces agricoles, qui doivent d'abord être utilisées pour nourrir la population, ce qui limite fatalement l'utilisation de la biomasse comme énergie.

Ainsi, à toutes les échelles, que cela soit l'Union européenne, l'État français, les régions, certaines collectivités locales ou certaines associations, de nombreux acteurs soutiennent des projets liés à la biomasse forestière sous certaines conditions pour des raisons politiques, économiques, sociales et environnementales.

Cependant, certains des arguments avancés pour défendre ces projets sont remis en cause par différents acteurs.

En effet, il s'avère que les différents projets, au-delà des potentielles retombées économiques sur le territoire, peuvent voir leur intérêt climatique remis en question. Une ancienne responsable du réseau forêts chez FNE a insisté sur le rôle crucial des associations locales pour s'assurer que les projets d'exploitation de la biomasse respectent les critères environnementaux en vigueur. Ces critères concernent entre autres l'impact des coupes sur la biodiversité, la gestion durable des forêts, les émissions de particules fines, ou encore le rendement des installations. Un exemple emblématique de l'engagement de FNE est son opposition à la centrale à biomasse de Gardanne, près de Marseille, dont nous parlons plus haut. Cette centrale de grande dimension (150 MW) consomme 850 000 tonnes de bois par an (l'équivalent de la production complète de quatre régions françaises), et prévoit d'importer pour moitié son bois des États-Unis et du Canada. Selon FNE, cela nuit fortement à la pertinence du projet, notamment à cause du transport nécessaire à l'acheminement du bois, et à la perte du traçage quant aux conditions d'exploitations des forêts dont il est issu. Bien que le projet soit encore officiellement soutenu par le gouvernement, il semble que le problème des importations fasse consensus. L'ancienne responsable de FNE a également évoqué la forte mobilisation contre le projet de centrale biomasse à Cordemais, projet similaire à Gardanne, qui fut finalement abandonné par EDF en 2021.

Toujours selon FNE et ses associations membres, le critère d'approvisionnement local en bois n'est pas le seul à ne pas toujours être respecté. En effet, l'État (par le biais de l'ADEME notamment) impose de respecter la

⁵² Denis Sergent, « L'arbre, pilier naturel de la lutte contre le CO2 atmosphérique », *La Croix* 40330, n° 40330 (2 novembre 2015): 27.

⁵³ Pierre Le Hir, « A La Réunion, la promesse de l'autonomie », *Le Monde*, 3 août 2015, 6.

hiérarchie des usages du bois, comme défini dans l'engagement du Grenelle de l'environnement en 2007⁵⁴. Cela signifie, dans le cas de la biomasse forestière, qu'un arbre coupé doit d'abord servir au bois d'œuvre (partie centrale du tronc, grosses branches), puis au bois industrie (papèterie, bois reconstitué), et enfin les résidus peuvent être utilisés en bois-énergie. En effet, pour les associations et ONG, il est regrettable que des troncs de bonne qualité pouvant servir à la construction soient brûlés en énergie immédiatement après la coupe. Un modèle plus vertueux consiste à utiliser ce bois pour la construction, et d'attendre la destruction du bâtiment des décennies plus tard pour enfin expédier le bois non réutilisable en centrale. L'ancienne responsable de FNE déplore le fait que certaines coopératives forestières ne respectent pas cette hiérarchie des usages, en ayant souvent recours à des coupes rases de forêts ayant peu de valeurs et dont l'essentiel du bois sera utilisé en bois-énergie, pour ensuite replanter des résineux plus rentables. Il serait donc préférable qu'un tissu industriel local (scieries, papèteries...) soit présent afin de répondre à la hiérarchie des usages du bois, conjointement aux différents projets de chaufferies à biomasse.

D'après le WWF⁵⁵, l'État subventionne également la biomasse afin de structurer la filière comme il a pu le faire dans les années 1970 pour le nucléaire. Ainsi, cela permet à l'État d'influer sur le mix énergétique visé pour 2050. Cependant, certaines associations comme le WWF considèrent que les subventions accordées aux particuliers comme celles pour les poêles à bois sont une erreur car ce sont justement les installations qui polluent le plus, et qui ne viendront que pour remplacer des installations qui fonctionnent souvent correctement. De surcroît, lorsqu'un particulier réalise un tel investissement il est probable que cela soit pour au moins 20 ou 30 ans, ce qui signifie que cela rend impossible le virage souhaité par l'État dans 10 ans visant à électrifier la production de chaleur⁵⁶.

■ De nouveaux arguments sont invoqués dans la sphère médiatique par les opposants au développement de la biomasse

Nous avons donc vu que malgré la faible efficacité - débattue dans l'arène scientifique - de la biomasse pour réduire les émissions de CO₂, les projets de centrales à biomasse se développent dans notre paysage pour des raisons politiques et économiques, comme à Gardanne ou Vitry-le-François. De nouvelles études scientifiques étant menées autour du développement de ces projets, de nouveaux arguments ont pu être invoqués dans les médias pour critiquer l'exploitation de la biomasse à des fins énergétiques. **De nature plus écologique, avec une approche visant le respect des territoires d'un point de vue sanitaire et environnemental**, ces arguments sont portés principalement par des acteurs militants.

■ Exploitation de la biomasse et enjeux sanitaires

Tout d'abord, d'un point de vue sanitaire, la combustion de biomasse génère des particules fines⁵⁷. Ces particules, décrites par leur taille caractéristique, sont responsables de maladies respiratoires dont les cancers

⁵⁴ Cette hiérarchie des usages est la suivante (par ordre de priorité) : aliments, biofertilisants, matériaux (bois d'œuvre puis fibres, dérivés et matériaux), molécules, carburants liquides, gaz, chaleur, et enfin électricité. (*Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse*)

⁵⁵ Rapport publié prochainement

⁵⁶ « La Transition énergétique au cœur d'une transition sociétale. Synthèse du scénario négaWatt 2022 », Futuribles, consulté le 10 janvier 2022, <https://www.futuribles.com/fr/bibliographie/notice/la-transition-energetique-au-cur-dune-transition-s/>.

⁵⁷ Luke P. Naeher et al., « Woodsmoke Health Effects: A Review », *Inhalation Toxicology* 19, n° 1 (1 janvier 2007): 67-106, <https://doi.org/10.1080/08958370600985875>.

comme le montre ce rapport du CIRC (Centre international de recherche contre le cancer)⁵⁸. Bien que vouées à remplacer des centrales fossiles générant aussi leur lot de particules, un consensus scientifique existe montrant que la question des particules fines ne sera pas réglée par la biomasse⁵⁹. Nicolas Mainville, le responsable de la campagne « Forêts » de Greenpeace, écrit même dans son rapport *Biomascarade*⁶⁰ :

[les centrales électriques nord-américaines fonctionnant à la biomasse] émettent jusqu'à 150% de plus de CO₂, 400% de plus de monoxyde de carbone irritant pour les poumons, et 200% de plus de particules fines qui causent l'asthme.

Selon l'OMS, la pollution aux particules fines est dangereuse lorsque les concentrations dépassent le seuil de 5 µg/m³ en valeur moyenne annuelle ou de 15 µg/m³ de valeur moyenne sur 24 heures⁶¹. Les politiques se sont alors saisies de cet enjeu dans les zones où les concentrations de particules fines dépassent ces seuils, comme en région parisienne⁶². À Paris, la préfecture a ainsi restreint l'utilisation du chauffage au bois par un arrêté publié en 2018⁶³ dans la continuité des politiques menées du côté de l'agence de l'environnement. L'ADEME a en effet renforcé en 2015 le dispositif « Flamme Verte » accordant des subventions aux ménages installant des moyens de chauffage peu polluants en termes de monoxyde de carbone, particules fines et de rendement thermique (75% pour les foyers à bûche par exemple)⁶⁴.

Ce **risque sanitaire** est invoqué par les exploitants de centrales à biomasse pour montrer les avantages des systèmes centralisés plutôt que les installations individuelles dans les maisons. En effet, équipées de filtres à fumées, les centrales émettent beaucoup moins de particules que les foyers ouverts. Les exploitants avancent que « [une cheminée traditionnelle] émet à peu près autant qu'une chaufferie de 10 mégawatts, [...] ça chauffe deux personnes au lieu d'en chauffer 60 000 ou 80 000 ». Cet argument n'est pas suffisant pour certaines associations, comme à Strasbourg où un collectif de citoyen constitué d'une soixantaine de médecins dénonce en 2021 que les modes de chauffage tels que le bois et l'incinération sont « dangereux pour la santé de nos concitoyens et incompatibles avec les politiques d'amélioration de la qualité de l'air »⁶⁵. S'appuyant sur les données chiffrées des maladies respiratoires et de la corrélation prouvée scientifiquement entre les concentrations en particules fines et ces maladies⁶⁶, ils utilisent leur situation de professionnelle de la santé pour faire pression sur leur collectivité et limiter les potentiels dégâts des projets en cours.

D'autres obstacles également révélés par l'arène scientifique lors du développement des projets de biomasse ont été invoqués par les opposants à ces projets. L'exploitation de la biomasse est aussi **problématique sur le plan environnemental**.

⁵⁸ « Les cancers attribuables aux modes de vie et à l'environnement en France métropolitaine » (CIRC, 2018), https://gco.iarc.fr/includes/PAF/PAF_FR_report.pdf.

⁵⁹ Amanda Ruscio, Feyza Kazanc, et Yiannis A. Levendis, « Comparison of Fine Ash Emissions Generated from Biomass and Coal Combustion and Valuation of Predictive Furnace Deposition Indices: A Review », *Journal of Energy Engineering* 142, n° 2 (juin 2016): E4015007, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000310](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000310).

⁶⁰ Greenpeace, « Biomascarade », 2011, <https://fr.scribd.com/document/71162688/Biomascarade>.

⁶¹ OMS, « Qualité de l'air ambiant et santé », consulté le 12 janvier 2022, [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

⁶² Florise Vaubien, « Particules fines : pourquoi le chauffage au bois est interdit en Île-de-France », *www.rtl.fr*, 2020, <https://www.rtl.fr/actu/debats-societe/pollution-pourquoi-le-chauffage-au-bois-est-interdit-en-ile-de-france-7799815484>.

⁶³ DRIEAT Île-de-France, « L'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air », 31 juillet 2019, <http://www.drieet.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/5-l-impact-du-chauffage-au-bois-sur-la-qualite-de-a3791.html>.

⁶⁴ « Flamme verte », consulté le 5 janvier 2022, <https://www.flammeverte.org/aides-disponibles/informations-generales>.

⁶⁵ Charlotte Dorn, « Pollution de l'air. À Strasbourg, un collectif réclame l'arrêt des centrales biomasse », *Dernières nouvelles d'Alsace*, 2021, <https://www.dna.fr/environnement/2021/03/23/a-strasbourg-un-collectif-reclame-l-arret-des-centrales-biomasse>.

⁶⁶ « Les cancers attribuables aux modes de vie et à l'environnement en France métropolitaine ».

■ Exploitation de la biomasse et respect des écosystèmes

Tout d'abord, comme le montre Steven Berry et plus de 500 scientifiques dans une lettre ouverte dénonçant les travers de la biomasse⁶⁷, **la surexploitation des ressources naturelles endommagent les sols**. Steven Berry déclare :

There is a "feel good" aspect of solving the climate problem with plants (biofuels) but the research doesn't back that up.

Il y a un côté « sympathique » à l'idée de résoudre le problème climatique avec des plantes (biocarburants), mais la recherche ne va pas dans ce sens.

En effet, le bois énergie n'est pas rentable économiquement sans culture intensive. Le taillis à très courte rotation (TCR) en est un bon exemple.

Le TCR a été traité plus précisément dans plusieurs articles. Notamment par Marie Stauffer dans sa thèse *Impact des taillis à très courte rotation de saules sur les propriétés fonctionnelles des sols et définition d'indicateurs de qualité*⁶⁸ : c'est une culture ligneuse et non pérenne à usage énergétique ; une forme extrême du traitement en taillis simple conçue pour une récolte fortement mécanisée avec une rotation de 3 à 5 ans. Ce faisant, on retourne la terre et on puise dans le sol ; la terre, après le passage d'une machine, est totalement retournée : le phosphore et le carbone s'évaporent et elle devient non viable. **On se retrouve avec de grands terrains où plus rien ne peut pousser**, les propriétaires forestiers ont alors recours à des engrais massifs et la terre se retrouve dépendante de l'homme. Dans ce cadre, les sols deviennent de simples supports : il n'y a plus de vie à l'intérieur des sols, plus de minéraux et plus assez pour faire vivre les plantes. Il ne reste alors dans ces sols que des arbres qui poussent en ligne (sur www.pousse.com par exemple) et sont voués à être abattus d'ici cinq ans.

Ensuite, ces actions ont aussi un impact sur la biodiversité⁶⁹. Pour reprendre l'exemple des TCR, on peut s'appuyer sur l'article d'IBIS⁷⁰ (*Biodiversité dans les systèmes d'exploitation agricoles*). Par exemple, dans une culture en TCR on trouve des jeunes plants, souvent des conifères. La faune est alors grandement modifiée, tout d'abord car les oiseaux ne sont plus les mêmes (les oiseaux plus rares ne s'installent pas dans les arbres de moins de quatre ans) : on n'y trouve pratiquement que des espèces inféodées. De même, l'utilisation d'engrais empêche la faune du sol de proliférer : il faut attendre quatre ans pour avoir un retour partiel de la composition floristique initiale dans une forêt dite en TCR, néanmoins ce retour ne concerne que 60% des espèces. De plus, les espèces sont presque toutes présentes en quantités inférieures aux chiffres précédant le TCR, à l'exception des espèces *rudérales* – les espèces poussant habituellement dans les friches. Les vieux bois sont propices à des développements de biodiversité présents uniquement sur eux ; leurs coupes en TCR sont donc propices au déclin d'un type de biodiversité, voire à sa disparition.

Le dernier argument sur la conservation des écosystèmes opposé à l'exploitation industrielle de la biomasse est le remplacement des espèces d'arbres. En effet, avec le développement des projets, l'industrie de la biomasse s'est spécialisée dans ce qu'il y a de plus rentable en France : le pin⁷¹. Le phénomène dénoncé ici est l'enrésinement des forêts. Le résineux pousse en effet deux fois plus vite, ses troncs sont droits et font toujours le même diamètre. Toutes ces conditions ont motivé l'État à financer la culture du résineux en délaissant peu à peu les feuillus. L'industrie raffole du résineux... or dans les forêts françaises, il y a principalement du feuillu

⁶⁷ « Scientist Letter to Biden, von der Leyen, Michel, Suga & Moon Re. Forest Biomass.pdf », 2021.

⁶⁸ Marie Stauffer, « Impact des taillis à très courte rotation de saules sur les propriétés fonctionnelles des sols et définition d'indicateurs de qualité » (phdthesis, Université de Lorraine, 2014), <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01750687>.

⁶⁹ Jacopo Giuntoli et al., « Domestic heating from forest logging residues: Environmental risks and benefits », *Journal of Cleaner Production* 99 (14 mars 2015): 206, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.025>.

⁷⁰ « Projet IBIS | Ecophytopic », consulté le 10 janvier 2022, <https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/concevoir-son-systeme/projet-ibis>.

⁷¹ [francetv slash / enquêtes, Le massacre des forêts françaises - Sur le front](https://www.youtube.com/watch?v=N5sdJQ5gOuU), 2021, <https://www.youtube.com/watch?v=N5sdJQ5gOuU>.

(deux tiers environ). La plupart des propriétaires se sont adaptés, et ne plantent plus que du résineux en rang. On se retrouve avec des champs d'arbres aspergés de glyphosates ; la conséquence est la disparition des feuillus en France. Et donc, encore une fois, une partie de la biodiversité. En trente ans, la production de Douglas en France a été multipliée par six, et cela n'est possible qu'en détruisant des forêts. Ce glissement vers des monocultures de résineux (enrésinement des forêts) a entraîné des conséquences sur la structure économique de la filière, où comme le montre France Télévision⁷², les scieries n'acceptent plus que des pins : les petites scieries d'hêtres disparaissent. Bien que dénoncée par les associations protectrices de la forêt car ces pratiques fragilisent les cultures (propos entendus en entretien), le développement de monoculture a été cautionné par l'État qui n'obligeait pas dans le régime de subvention les exploitants à diversifier leurs plantations. Une crise significative pour les exploitants de forêt dans le Grand Est a finalement fait évoluer les politiques : la crise des scolytes⁷³. La douceur des hivers combinée à la sécheresse de 2018 qui a affaibli les épicéas a permis à l'insecte de se multiplier avec beaucoup plus d'intensité dans le Grand-Est, ce qui a conduit à la mort d'un volume de 60 millions de m³ de bois en six mois, soit une année de récolte. Les marchés se sont alors effondrés. D'après les associations de défense de la forêt, une véritable évolution des mentalités a fait suite à cet épisode de la part de tous les acteurs qui veulent que leurs exploitations puissent continuer à être rentables. Une association nous a ainsi confié :

Depuis 2018, on a une vraie bascule dans le monde forestier. L'idée depuis 2018-2019 est qu'il faut vraiment sauver la forêt, et voir à l'horizon 2050. [...] Concrètement, dans le plan de relance 2030, il y a un volet forestier de 200 millions d'euros, dont 150 pour le renouvellement forestier, et il y a un critère de diversité des arbres à planter. C'était impensable il y a quelques années.

Ainsi, il semblerait qu'il y ait vraiment eu un consensus de l'ensemble des parties prenantes, pour sauver la forêt française.

Il y a donc bel et bien une prise de conscience que face à l'urgence climatique, il faut envisager une autre culture des forêts dites durable. En effet, les forêts gardent le CO₂ dans le sol et dans les arbres, mais quand on remplace cet écosystème pour faire de la biomasse on perd beaucoup de carbone. Comme précisé dans les parties précédentes, le bois n'est pas neutre en carbone. Selon les rapports de l'ADEME⁷⁴ et du Ministère de l'Agriculture rédigé par Alice Roux, Antoine Colin, Jean-François Dhôte et Bertrand Schmitt, coordinateurs dans un rapport intitulé *Filière forêt-bois et atténuation du changement climatique* et publié en 2021, le cycle de captation du carbone des arbres ne correspond pas à celui de l'urgence climatique à laquelle on fait face. En effet, selon le rapport de l'ADEME, le cycle pour qu'un arbre capte le carbone perdu lorsqu'on le brûle est de 40 ans : cette situation n'est donc pas viable sur le long terme et face à l'urgence climatique.

■ Peut-on atteindre la neutralité carbone face à l'urgence climatique ?

Finalement, pour atteindre cette culture qui respecte la biodiversité, on s'est mis à envisager une culture plus durable **qui respecte la hiérarchie d'utilisation du bois**. Canopée reprend les engagements du Grenelle dans son article *Gestion forestières et changement climatique : une nouvelle approche de la stratégie nationale d'atténuation*⁷⁵, en écrivant qu'une bonne utilisation du bois ne se fera qu'en laissant « vieillir les arbres ». Ces engagements ont longtemps été mis de côté et Canopée s'engage pour leur respect, notamment en ce qui concerne la hiérarchisation de la biomasse évoquée en première partie. Cet argument est renforcé par le fait que selon une étude récente de la WWF, un arbre vieux continue de capter du carbone bien plus tard que ce que l'on

⁷² francetv slash / enquêtes.

⁷³ « La crise des scolytes en région Grand Est », Office national des forêts, 9 décembre 2020, <https://www.onf.fr/onf/+8e2::la-crise-des-scolytes-en-region-grand-est.html>.

⁷⁴ « ADEME - Transition(s) 2050 », consulté le 10 janvier 2022, <https://transitions2050.ademe.fr/>.

⁷⁵ « Rapport : pour sauver le climat, laisser vieillir les arbres ou exploiter davantage les forêts ? », Canopée, 7 février 2020, <https://www.canopee-asso.org/foret-climat/>.

croît (ce dont on a probablement parlé plus haut d'ailleurs). En effet, un arbre centenaire qui ne grandit que de seulement 1 mm a bien souvent un tronc épais et en superficie cette faible croissance permet une captation de carbone importante. Il est donc possible de faire du bois énergie dans une optique zéro carbone mais à la seule condition de valoriser cette utilisation durable du bois et de laisser les arbres poussés pour ensuite faire du bois d'œuvre et de n'utiliser que les déchets pour le bois énergie. Face à l'urgence climatique, aux enjeux sanitaires et de biodiversité, c'est le meilleur moyen de s'orienter vers un bilan carbone neutre selon le rapport de canopée.

Aujourd'hui, il faut donc laisser pousser les arbres pour respecter la biodiversité et les enjeux climatiques urgents. Les arbres en France sont jeunes, et le taux de captation carbone le plus important que peut atteindre la France n'arrivera que si on ne touche plus aux arbres pendant 30 ans. **Néanmoins cela pose la question de ce qu'on fait à la place ? Si on ne fait plus de bois énergie alors il faut bien trouver un substitut. Si on ne brûle pas de bois, c'est qu'on a brûlé autre chose. Reste à savoir quoi ?**

■ Conclusion

La transition énergétique imposée par le réchauffement climatique pousse de nombreux pays à prendre des mesures afin de réduire leurs émissions et leur consommation finale d'énergie et à développer de nouvelles technologies d'énergies renouvelables afin de limiter ce réchauffement à un niveau bien inférieur à 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et, si possible, à moins de 1,5 °C. Jusqu'à présent, les directives européennes considèrent toujours que l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie est une source renouvelable neutre en carbone. De nombreux scientifiques et ONG alertent les gouvernements sur le danger que nous courons si nous continuons à développer la filière bois-énergie et le débat sur la question de savoir si nous devons arrêter ou encourager cette « alternative » est toujours en cours.

Depuis les chocs pétroliers des années 1970, la biomasse forestière ne cesse de se développer. Cependant, dès la fin des années 1990 naît dans la sphère scientifique la controverse liée à la viabilité de la biomasse forestière comme véritable alternative aux énergies fossiles. Le premier argument à avoir été remis en cause est celui de la neutralité du cycle carbone, suivi quelques années plus tard du faible rendement des centrales à biomasse par rapport aux autres moyens de production d'énergie. La controverse ne cesse de croître encore aujourd'hui, et certains scientifiques commencent même à remettre en cause l'argument selon lequel les arbres jeunes consommeraient moins de CO₂ que les arbres vieux. En réalité, les études scientifiques sont souvent contradictoires car les définitions et les méthodologies employées sont parfois très différentes d'une étude à l'autre.

Pourtant, malgré toutes ces remises en cause croissantes dans la sphère scientifique, de nombreux projets de centrales à biomasse forestière continuent d'émerger. Ce décalage avec la sphère politique s'explique notamment par la redynamisation de territoires en déclin et l'indépendance énergétique permises par la biomasse. Afin de structurer la filière, l'Union européenne et l'État français accordent donc d'importantes subventions par le biais de l'ADEME, créant ainsi un engouement pour la biomasse parfois excessif. En effet, attirées par les subventions et les emplois locaux non délocalisables, certaines collectivités locales lancent des projets où l'approvisionnement local en quantités suffisantes n'est pas toujours possible d'une part, et où la hiérarchie des usages du bois ne l'est pas non plus d'autre part. De surcroît, les collectivités locales ne sont pas les seules à chercher à profiter de ces subventions, les particuliers en bénéficient également. Or, les petites installations étant difficilement contrôlables, ce sont justement celles qui émettent le plus de particules fines.

Face à ces effets secondaires de la biomasse forestière, la controverse est donc arrivée dans la sphère médiatique avec une opposition croissante des ONG à la politique actuelle de fort développement de la biomasse. D'abord à cause des particules fines émises, même si les grandes centrales à biomasse sont aujourd'hui équipées d'importants systèmes de filtration permettant de largement réduire leur émission. Puis surtout à cause de la mise en danger des écosystèmes : le bois énergie n'est pas toujours rentable sans culture intensive, or la culture intensive détruit les sols et la biodiversité.

Ainsi, la biomasse forestière semble bien constituer une alternative aux énergies fossiles, mais une alternative très limitée au respect de la hiérarchie des usages du bois, de la biodiversité et du temps long nécessaire au cycle carbone.

■ Matériel et méthodes

L'analyse de la controverse sur la biomasse comme alternative aux énergies fossiles s'est effectuée en trois grandes étapes.

Tout d'abord, nous avons étudié quelques articles de presse nationale sur le sujet afin de faire émerger les grandes thématiques. À partir de cette première analyse, nous avons défini un corpus de mots-clés pour effectuer de nouvelles recherches.

Nous avons ensuite investigué la presse nationale de manière beaucoup plus exhaustive ainsi que la littérature scientifique afin de compléter cette analyse et avoir un panorama plus complet de la controverse. L'équation de recherche utilisée pour la presse nationale sur Europresse était "TEXT= biomasse & (foret* | forest*) & (bois | sylviculture) & energ*& LG= LONG", et celle utilisée pour la littérature scientifique sur Web of Science était "ALL=((biomass*) AND (fores* OR forêt*) AND (energ* OR éner* OR fossil*) AND (health OR environ* OR emission* OR biodiver*))".

Nous avons enfin confirmé la cartographie avec *Cortext*, mais ce logiciel ne s'avérait pas pertinent pour les articles de presse nationale issus de la plateforme Europresse. Nous avons plus tard utilisé *Iramuteq* mais les résultats obtenus ne nous ont pas apporté de nouveaux éléments. Cette investigation poussée de la presse et de la littérature scientifique nous a permis de définir une liste d'acteurs clés. Enfin, nous avons mené six entretiens avec une partie de ces acteurs que nous avons ciblés pour être représentatifs des arguments de la controverse. Nous avons donc ciblé :

- Un des 500 scientifiques ayant signé la lettre aux dirigeants pour prévenir des dangers de l'utilisation de labiomasse
- Une association défendant la biodiversité dans les forêts
- Une association en interaction au niveau national sur la coordination des politiques forestières
- Un exploitant de centrale à biomasse
- Une scientifique d'un laboratoire R&D d'un énergéticien travaillant sur les sujets de biomasse
- Le directeur de la revue *Bioénergie International*.

Nous avons aussi cherché à entrer en interaction avec l'ONF et avec un exploitant forestier, mais les contacts identifiés n'ont pas abouti.

L'article s'appuie aussi sur la législation et les prises de positions des agences communautaires et nationales comme l'EASAC et l'ADEME et sur leurs rapports. Les feuilles de route nationales fixant les politiques énergétiques ont aussi été étudiées : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, Stratégie Nationale Bas Carbone, Plan Climat, Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse, ainsi que le Plan National pour la Forêt et le Bois.

Nous avons bénéficié de trois mois pour effectuer ce travail, dont environ un mois de prise en main des outils (*Iramuteq*, *Zotero*, *Web of Science*, *Scopus*, *Cortext*, *Europresse*) et de découverte du sujet. Cet article n'a donc pas vocation à être exhaustif sur l'analyse de la controverse.

■ Références

■ Articles de presse généraliste / presse professionnelle

- Catanoso, Justin. « Brûler des forêts pour produire de l'énergie : l'UE et le monde se débattent avec la science de la biomasse ». *Mongabay*, 29 septembre 2021. <https://fr.mongabay.com/2021/09/bruler-des-forets-pour-produire-de-lenergie-lue-et-le-monde-se-debattent-avec-la-science-de-la-biomasse>.
- Dorn, Charlotte. « Pollution de l'air. À Strasbourg, un collectif réclame l'arrêt des centrales biomasse ». *Dernières nouvelles d'Alsace*, 2021. <https://www.dna.fr/environnement/2021/03/23/a-strasbourg-un-collectif-reclame-l-arret-des-centrales-biomasse>.
- Douard, Frédéric. « Encore plus d'efficacité pour le chauffage urbain à bois de Vaulx-en-Velin ». *Bioénergie International* (blog), 2021. <https://www.bioenergie-promotion.fr/87882/encore-plus-defficacite-pour-le-chauffage-urbain-a-bois-de-vaulx-en-velin>.
- « EU Must Not Burn the World's Forests for "renewable" Energy ». *The Guardian*, 14 décembre 2017, sect. Environment. <https://www.theguardian.com/environment/2017/dec/14/eu-must-not-burn-the-worlds-forests-for-renewable-energy>.
- Hir, Pierre Le. « A La Réunion, la promesse de l'autonomie ». *Le Monde*, 3 août 2015. https://www.lemonde.fr/paris-climat-2015/article/2015/08/03/a-la-reunion-la-promesse-de-l-autonomie_4709785_4527432.html.
- Futuribles. « La Transition énergétique au cœur d'une transition sociétale. Synthèse du scénario négaWatt 2022 ». Consulté le 10 janvier 2022. <https://www.futuribles.com/fr/bibliographie/notice/la-transition-energetique-au-cur-dune-transition-s>.
- Leroux, Luc. « Du charbon à la biomasse, la conversion contestée de la centrale de Gardanne ». *Le Monde*, 9 mars 2016, 7. https://www.lemonde.fr/energies/article/2016/03/08/conversion-contestee-de-la-centrale-de-gardanne_4878500_1653054.html.
- Mongabay. « Les forêts sont-elles le charbon d'hier ? » *Les Echos Planète* (blog), 4 janvier 2021. <https://planete.lesechos.fr/enquetes/les-forets-sont-elles-le-charbon-dhier-6737>.
- Mouterde, Perrine. « Pour le climat, brûler du bois n'est pas une alternative à la combustion fossile, alertent 500 scientifiques ». *Le Monde*, 11 février 2021. https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/02/11/pour-le-climat-bruler-du-bois-n-est-pas-une-alternative-a-la-combustion-fossile-alertent-500-scientifiques_6069636_3244.html.
- Sergent, Denis. « L'arbre, pilier naturel de la lutte contre le CO2 atmosphérique ». *La Croix* 40330, n° 40330 (2 novembre 2015): 27. <https://www.la-croix.com/Ethique/Environnement/L-arbre-pilier-naturel-de-la-lutte-contre-le-CO2-atmospherique-2015-11-02-1375401>.
- Vaubien, Florise. « Particules fines : pourquoi le chauffage au bois est interdit en Île-de-France ». *www.rtl.fr*, 2020. <https://www.rtl.fr/actu/debats-societe/pollution-pourquoi-le-chauffage-au-bois-est-interdit-en-ile-de-france-7799815484>.

■ Articles scientifiques

- Berndes, Göran, Bob Abt, Antti Asikainen, Annette Cowie, Virginia Dale, Gustaf Egnell, Marcus Lindner, et al. « Forest Biomass, Carbon Neutrality and Climate Change Mitigation ». From Science to Policy. From Science to Policy. European Forest Institute, 12 octobre 2016. <https://doi.org/10.36333/fs03>.
- Bioenergy International. « Is Energy from Woody Biomass Positive for the Climate? – New IEA Bioenergy Brief », 16 janvier 2018. <https://bioenergyinternational.com/opinion-commentary/energy-woody-biomass-positive-climate-new-iea-bioenergy-brief>.
- Bird, David Neil, Naomi Pena, Dorian Frieden, et Giuliana Zanchi. « Zero, one, or in between : evaluation of alternative national and entity-level accounting for bioenergy ». *GCB Bioenergy* 4, n° 5 (2012): 576-87. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01137.x>.
- Bonan, Gordon B. « Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests ». *Science*, 13 juin 2008. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.
- Chen, Jiaxin, Michael T Ter-Mikaelian, Hongqiang Yang, et Stephen J Colombo. « Assessing the greenhouse gas effects of harvested wood products manufactured from managed forests in Canada ». *Forestry: An International Journal of Forest Research* 91, n° 2 (1 avril 2018): 193-205. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpx056>.
- Cowie, Annette L., Göran Berndes, Niclas Scott Bentsen, Miguel Brandão, Francesco Cherubini, Gustaf Egnell, Brendan George, et al. « Applying a Science-Based Systems Perspective to Dispel Misconceptions about Climate Effects of Forest Bioenergy ». *GCB Bioenergy* 13, n° 8 (2021): 1210-31. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12844>.
- Creutzig, Felix, N. H. Ravindranath, Göran Berndes, Simon Bolwig, Ryan Bright, Francesco Cherubini, Helena Chum, et al. « Bioenergy and Climate Change Mitigation: An Assessment ». *GCB Bioenergy* 7, n° 5 (2015): 916-44. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12205>.
- Fargione, Joseph, Jason Hill, David Tilman, Stephen Polasky, et Peter Hawthorne. « Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt ». *Science*, 2008, Vol. 319, Issue 5867 édition. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1152747>.
- Fthenakis, Vasilis, et Hyung Chul Kim. « Land use and electricity generation: A life-cycle analysis ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, n° 6-7 (2009): 1465-74. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.017>.
- Gardner, A., D. S. Ellsworth, K. Y. Crous, J. Pritchard, et A. R. MacKenzie. « Is Photosynthetic Enhancement Sustained through Three Years of Elevated CO2 Exposure in 175-Year Old Quercus Robur? », 16 décembre 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.12.16.416255>.
- Geyer, Roland, David Stoms, et James Kallaos. « Spatially-Explicit Life Cycle Assessment of Sun-to-Wheels Transportation Pathways in the U.S ». *Environmental Science & Technology* 47, n° 2 (15 janvier 2013): 1170-76. <https://doi.org/10.1021/es302959h>.
- Giuntoli, Jacopo, Stefano Caserini, Luisa Marelli, D. Baxter, et Alessandro Agostini. « Domestic heating from forest logging residues: Environmental risks and benefits ». *Journal of Cleaner Production* 99 (14 mars 2015): 206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.025>.
- Leturcq, Philippe. « La neutralité carbone du bois énergie : un concept trompeur ? » *Revue Forestière Française*, n° 6 (2011). <https://doi.org/10.4267/2042/47204>.

- Madon, Gérard. « Le bois, énergie de première nécessité en Afrique ». *Afrique contemporaine* 261262, n° 1 (2017): 201-22. <https://doi.org/10.3917/afco.261.0201>.
- Marland, Gregg. « Accounting for Carbon Dioxide Emissions from Bioenergy Systems ». *Journal of Industrial Ecology* 14, n° 6 (2010): 866-69. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00303.x>.
- Meinzer, Frederick C., Barbara Lachenbruch, et Todd E. Dawson. *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function*. Springer Science & Business Media, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3>.
- Mitchell, Stephen, Mark Harmon, et Kari O'Connell. « Carbon debt and carbon sequestration parity in forest bioenergy production ». *GCB Bioenergy* 4, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01173.x>.
- Naeher, Luke P., Michael Brauer, Michael Lipsett, Judith T. Zelikoff, Christopher D. Simpson, Jane Q. Koenig, et Kirk R. Smith. « Woodsmoke Health Effects: A Review ». *Inhalation Toxicology* 19, n° 1 (1 janvier 2007): 67-106. <https://doi.org/10.1080/08958370600985875>.
- Norton, Michael, Andras Baldi, Vicas Buda, Bruno Carli, Pavel Cudlin, Mike B. Jones, Atte Korhola, et al. « Serious Mismatches Continue between Science and Policy in Forest Bioenergy ». *GCB Bioenergy* 11, n° 11 (2019): 1256-63. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12643>.
- Pan, Yude, Richard A. Birdsey, Jingyun Fang, Richard Houghton, Pekka E. Kauppi, Werner A. Kurz, Oliver L. Phillips, et al. « A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests ». *Science*, 19 août 2011. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.
- Ruscio, Amanda, Feyza Kazanc, et Yiannis A. Levendis. « Comparison of Fine Ash Emissions Generated from Biomass and Coal Combustion and Valuation of Predictive Furnace Deposition Indices: A Review ». *Journal of Energy Engineering* 142, n° 2 (juin 2016): E4015007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000310](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000310).
- Schlamadinger, B., J. Spitzer, G.H. Kohlmaier, et M. Luedeke. « Carbon balance of bioenergy from logging residues ». *Biomass and Bioenergy* 8, n° 4 (1995): [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00020-8](https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00020-8).
- Searchinger, Timothy D., Tim Beringer, Bjart Holtmark, Daniel M. Kammen, Eric F. Lambin, Wolfgang Lucht, Peter Raven, et Jean-Pascal van Ypersele. « Europe's Renewable Energy Directive Poised to Harm Global Forests ». *Nature Communications* 9, n° 1 (12 septembre 2018): 3741. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06175-4>.
- Stauffer, Marie. « Impact des taillis à très courte rotation de saules sur les propriétés fonctionnelles des sols et définition d'indicateurs de qualité ». Phdthesis, Université de Lorraine, 2014. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01750687>.
- Stephenson, N. L., A. J. Das, R. Condit, S. E. Russo, P. J. Baker, N. G. Beckman, D. A. Coomes, et al. « Rate of Tree Carbon Accumulation Increases Continuously with Tree Size ». *Nature* 507, n° 7490 (mars 2014): 90-93. <https://doi.org/10.1038/nature12914>.
- Walker, Peter, J. Gavin Bremner, Uschi Mason, Jo Spring, Karen Mattock, Alan Slater, et Scott P. Johnson. « Preverbal Infants' Sensitivity to Synaesthetic Cross-Modality Correspondences ». *Psychological Science* 21, n° 1 (1 janvier 2010): 21-25. <https://doi.org/10.1177/0956797609354734>.
- Zhang, Yimin, Jon McKechnie, Denis Cormier, Robert Lyng, Warren Mabee, Akifumi Ogino, et Heather L. MacLean. « Life Cycle Emissions and Cost of Producing Electricity from Coal, Natural Gas, and Wood Pellets in Ontario, Canada ». *Environmental Science & Technology* 44, n° 1 (1 janvier 2010): 538-44. <https://doi.org/10.1021/es902555a>.

■ Littérature grise

- ADEME. « Le Fonds Chaleur en bref ». ademe.fr, 18 août 2021. <https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref>.
- . « Transition(s) 2050 ». Consulté le 10 janvier 2022. <https://transitions2050.ademe.fr>.
- « Are Forests the New Coal? » *Environmental Paper Network*, 2021. <https://environmentalpaper.org/biomass-threat-map-2018>.
- Canopée. « Rapport : pour sauver le climat, laisser vieillir les arbres ou exploiter davantage les forêts ? », 7 février 2020. <https://www.canopee-asso.org/foret-climat>.
- CIBE. « Historique ». Consulté le 8 janvier 2022. <https://cibe.fr/historique>.
- Connaissance des énergies. « Le bois énergie : définition, usages et chiffres clés », 3 novembre 2013. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/bois-energie>.
- EASAC. « Forest Biomass for energy – science, markets and policies », 2021. <https://easac.eu/news/details/note-on-forest-biomass-for-energy>.
- . « The EU's Renewable Energy Ambitions: Bioenergy from Forests Is Not Always Carbon Neutral - and May Even Increase the EU's Carbon Emissions ». Consulté le 13 janvier 2022. <https://easac.eu/media-room/press-releases/details/the-eu-s-renewable-energy-ambitions-bioenergy-from-forests-is-not-always-carbon-neutral-and-may-even-increase-the-eu-s-carbon-emissions>.
- « Flamme verte ». Consulté le 5 janvier 2022. <https://www.flammeverte.org/aides-disponibles/informations-generales>.
- Greenpeace. « Biomascarade », 2011. <https://fr.scribd.com/document/71162688/Biomascarade>.
- DREAL Pays de la Loire. « Le carbone biogénique est-il pris en compte dans le calcul du C ? », 22 août 2019. <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/le-carbone-biogenique-est-il-pris-en-compte-dans-a4864.html>.
- DRIEAT Île-de-France. « L'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air », 31 juillet 2019. <http://www.drie.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/5-l-impact-du-chauffage-au-bois-sur-la-qualite-de-a3791.html>.
- CIRC. « Les cancers attribuables aux modes de vie et à l'environnement en France métropolitaine », 2018. https://qco.iarc.fr/includes/PAF/PAF_FR_report.pdf.
- Ministère de la transition écologique. « Biomasse énergie », 21 octobre 2020. <https://www.ecologie.gouv.fr/biomasse-energie>.
- Nadeau, Vincent. « La carboneutralité de la biomasse à des fins de bioénergie », 2020, 15.
- Office national des forêts. « La crise des scolytes en région Grand Est », 9 décembre 2020. <https://www.onf.fr/onf/+8e2::la-crise-des-scolytes-en-region-grand-est.html>.
- OMS. « Qualité de l'air ambiant et santé ». Consulté le 12 janvier 2022. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

« Projet IBIS | Ecophytopic ». Consulté le 10 janvier 2022. <https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/concevoir-son-systeme/projet-ibis>.

« Scientist Letter to Biden, von der Leyen, Michel, Suga & Moon Re. Forest Biomass.pdf », 2021. <https://www.dropbox.com/s/hdmmcnd0d1d2lq5>.

SER, Syndicat des Énergies Renouvelables. « Questions Réponses Bois Énergie », 2019. https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2019/05/Questions_Reponses_Bois_energie_PAP_mai_2019.pdf.

« UNFCCC Resource Guide For Preparing the National Communications of Non-Annex I Parties - Module 3 », 2009., 36. https://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide3.pdf

Union européenne. « DIRECTIVE 2009/28/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL », 23 avril 2009. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:FR:PDF>.

———. « DIRECTIVE 2018/2001 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL », 11 décembre 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>.

■ Films (documentaire, fiction, ...)

francetv slash / enquêtes. *Le massacre des forêts françaises - Sur le front*, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=N5sdJQ5gOuU>.

■ Images, photographies, tableaux et graphiques

Image de couverture : montage à partir de

- Gauche : photo de [icon0com](#) pour [PxHere](#) (licence [CC0](#) – Domaine public)
- Milieu : photo de [BlancaElenda](#) pour [Pixabay](#) (licence [Pixabay](#) – équivalent CC0)
- Droite : photo de [Mrdidg](#) pour [Pixabay](#) (licence [Pixabay](#) – équivalent CC0)

■ Annexe

Parmi les études complémentaires que nous n'avons pas utilisées directement dans l'article, on peut voir ci-dessous l'évolution des publications dans la presse nationale des articles de presse en lien avec le bois-énergie (cf. l'équation de recherche du corpus *Europresse*, voir *Matériel et méthodes*). Le pic de 2015 par exemple est directement lié aux accords de Paris.

ÉVOLUTION

Pic médiatique : 11 documents le 28 novembre 2015

