

Quel rôle pour la biomasse en tant que source d'énergie dans une France neutre en carbone ?

Par Claire TUTENUIT
et David LAURENT
EpE

Face au changement climatique qui oblige à réduire voire à arrêter à terme la consommation des énergies fossiles, tous les secteurs, en particulier celui de l'énergie, espèrent assurer leurs approvisionnements futurs par des matières premières renouvelables issues de la biomasse. Or, la production de biomasse n'est pas illimitée. Quelle peut être sa contribution à la satisfaction des besoins en énergie ?

La réponse, partielle, que nous apportons dans cet article, est tirée de l'étude ZEN 2050 faite par Entreprises pour l'Environnement et récemment publiée ⁽¹⁾. Cette étude explore la faisabilité de la neutralité carbone du territoire français en 2050, par le jeu d'une égalité entre des absorptions par les puits de carbone passant de 60 à 100 MtCO₂eq et des émissions fortement réduites, de 480 à 100 MtCO₂eq.

Même si la biomasse jouera un rôle clé dans le système énergétique, il existe de nombreuses concurrences et synergies entre les différents usages et services qu'elle propose (alimentation humaine, alimentation animale, biodiversité, capture de carbone, amendement des sols, matériaux). Ainsi, la croissance du puits suppose à la fois une extension des zones de forêts, une limitation voire l'arrêt de l'artificialisation des sols, une gestion des terres et des pratiques agricoles qui accroissent le contenu carbone des sols.

Cette gestion des sols permet d'accroître significativement la quantité de biomasse disponible pour des usages énergétiques, mais cette quantité reste un des facteurs limitants de l'offre énergétique.

L'étude conclut donc en recommandant aux pouvoirs publics de mettre en place une gouvernance renouvelée de l'usage des sols et de la biomasse qui prenne en compte les différents usages et services.

L'étude ZEN 2050

Les travaux du GIEC et l'Accord de Paris ont appelé les nations à atteindre la neutralité carbone au niveau mondial dans le courant du XXI^e siècle. La France, pays ayant déjà engagé sa transition et qui dispose des capacités pour la concrétiser, a retenu une trajectoire visant la neutralité carbone du territoire dès 2050.

Conscientes de l'urgence climatique, vingt-sept entreprises membres d'EpE ont décidé, fin 2017, de réaliser l'étude « Zéro Émissions Nettes en 2050 : imaginer et construire une France neutre en carbone » sur la faisabilité de la neutralité carbone de la France à cette échéance. Partant des émissions et du puits de carbone existants, cette étude explore les modes de vie envisageables, puis

les évolutions des grands systèmes qui structurent notre société, adoptant un cadre méthodologique rigoureux et des hypothèses précises. Elle formule quatorze recommandations de court terme pour que l'objectif de neutralité reste tenable. Les analyses et données qui suivent sont pour l'essentiel extraites de cette étude. L'étude a été réalisée par un consortium (Enerdata, Carbone 4, Solagro et le sociologue Stéphane Labranche) et pilotée par un comité formé par les entreprises conduisant l'étude, qui a arbitré un certain nombre de choix et validé les différentes analyses et étapes.

La méthodologie de l'étude ZEN a consisté à explorer la taille possible du puits de carbone national en 2050, puis à examiner les moyens permettant de réduire les émissions des différents secteurs pour que l'ensemble de celles-ci arrivent au niveau de ce puits. L'analyse du secteur énergétique est donc faite en cohérence avec celle des autres secteurs, et en cohérence avec la disponibilité de biomasse produite sur le territoire national. L'une des

(1) L'étude a été publiée le 20 mai, et est disponible gratuitement sur le site : www.epe-asso.org

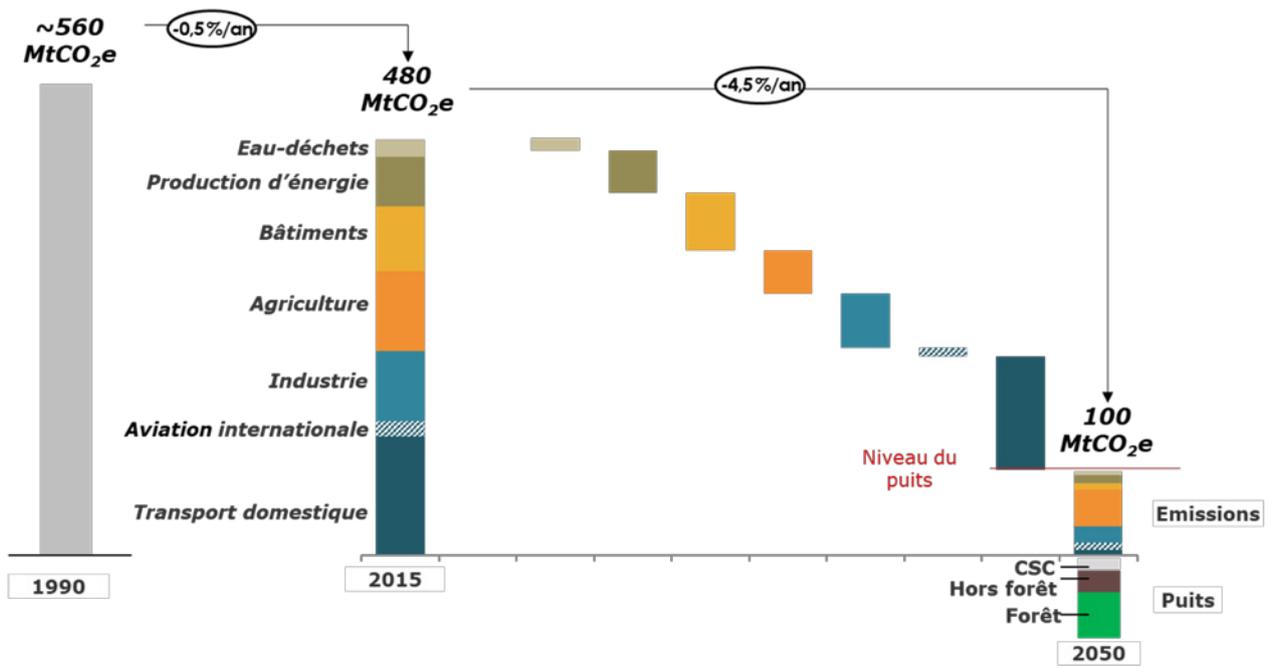


Figure1 : Émissions de GES en France (2015-2050, MtCO₂eq), étude ZEN 2050, EpE

hypothèses de travail de l'étude est en effet que la neutralité est obtenue avec les ressources du territoire. Ce choix, commode pour les modélisations, est aussi cohérent avec le fait que la France est bien dotée en terres fertiles ou forestières, elle se situe à peu près dans la moyenne européenne. Si elle devait en plus avoir lourdement recours à une biomasse importée, ou à une compensation de ses émissions résiduelles par des forêts à l'étranger, il est probable qu'elle entrerait en concurrence avec d'autres pays (Chine, Inde...) eux aussi demandeurs de cette biomasse importée ; les pressions induites sur l'accès à la ressource pourraient créer des déstockages massifs de carbone par le jeu de déforestations.

Zéro émissions nettes en 2050

L'étude fait l'hypothèse que le puits de carbone pourrait atteindre un niveau de 100 MtCO₂eq ; elle en déduit la réduction des émissions à opérer pour que leur total soit égal à ce puits estimé, et donc pour atteindre la neutralité carbone.

Un changement sans précédent

Le rythme annuel de réduction des émissions de gaz à effet de serre requis entre 2015 et 2050 (environ 4,5 %) apparaît très largement supérieur à celui effectivement constaté entre 1990 et 2015 (environ 0,5 % par an, obtenu surtout par des réductions dans l'industrie) ; le puits est pour sa part presque doublé en 2050. Atteindre la neutralité à l'échéance 2050 suppose des transformations profondes des grands systèmes sociotechniques constitutifs de la société et de l'appareil productif. Cet article se concentre sur deux d'entre eux : le système de la biomasse – de l'agriculture et la sylviculture à l'alimentation –, et le système énergétique.

Il convient de préciser que l'étude ZEN est construite sur la base des mêmes hypothèses de progression annuelle

du PIB de l'économie française que les scénarios préparés par le ministère de la Transition écologique et solidaire, soit des valeurs de 1,3 à 1,4 % jusqu'à 2030, puis de 1,7 % par an jusqu'à 2050. Les analyses sont donc compatibles avec ces hypothèses de croissance.

Alimentation, agriculture, forêt et usage des sols

Le système alimentation-agriculture-forêts-usage des sols peut être décrit ainsi : les terres agricoles et forestières fournissent des bioressources consommables permettant de répondre aux besoins de la société (alimentation humaine et animale, matériaux, énergie). Leurs modes d'exploitation mobilisent des intrants, énergétiques ou non. L'ensemble des pratiques agricoles et sylvicoles contribue à l'émission de GES et d'autres polluants, et influe également sur la capacité de ces surfaces à stocker du carbone, à préserver la biodiversité et à offrir des services environnementaux, culturels et économiques. La recherche d'une meilleure gestion de ce système, dans la perspective de la neutralité carbone, est ainsi extrêmement complexe.

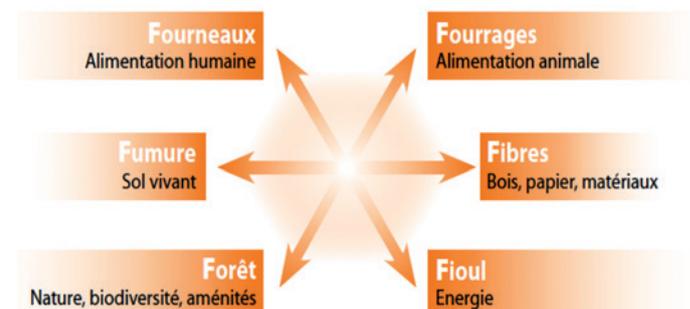


Figure 2 : Les « 6F » des usages de la biomasse, Afters2050.

2050 : des puits de carbone largement accrus

En 2015, la capacité annuelle d'absorption des puits était estimée à 50-60 MtCO₂ (selon le périmètre et la méthode de calcul, les incertitudes étant fortes). Dans la projection 2050 proposée par l'étude, les puits de carbone sont en forte augmentation et sont estimés à un montant net de 100 MtCO₂. Ils sont au nombre de trois :

- Le puits forestier vient de l'accroissement biologique annuel de la biomasse forestière. Son dimensionnement correspond à un choix de scénario de sylviculture : des prélèvements élevés réduisent la capacité des puits. Mais ils permettent de produire plus de bois matériau et d'énergie, évitant ainsi des émissions de CO₂ par leur substitution à des énergies fossiles ou à des matériaux d'origine minérale, tout en réduisant le risque de déstockage accidentel (incendies, maladies, tempêtes) et en augmentant la résilience de la forêt. Au-delà de l'arbitrage entre puits et production de biomatériaux, il s'agit aussi de maintenir la multifonctionnalité des forêts, d'une part, en préservant leur biodiversité et leur vocation récréative et, d'autre part, en assurant leur adaptation au changement climatique. Le puits de carbone forestier retenu dans l'étude ZEN 2050 est adapté du scénario « dynamiques territoriales » de l'étude INRA-IGN⁽²⁾, un scénario médian entre les approches extensification et intensification. Ce niveau d'exploitation de la forêt permet de générer un niveau plus important de bois que la situation actuelle (environ 60 Mm³ en 2050, contre

42 Mm³ en 2015). Les grumes sont orientées vers des usages en tant que matériaux, les houppiers vers le bois-énergie pour satisfaire une demande de bois-énergie (individuelle ou collective) essentiellement locale, ou alimenter des unités de pyrogazéification ou méthanisation fournissant du gaz plus facile à transporter, stocker ou utiliser.

- Le puits non forestier est obtenu en limitant fortement l'artificialisation des sols, et surtout en adoptant des pratiques favorisant le stockage du carbone dans les sols agricoles : agroforesterie, couvert permanent, cultures intermédiaires... Ces pratiques permettent d'aboutir à un puits d'environ 20 MtCO₂ en 2050, alors que le solde actuel est une source nette d'émissions de 7 MtCO₂. Comme pour le bois, le choix de ces différentes stratégies influence la quantité de biomasse disponible.
- Le troisième puits réside dans le captage du CO₂ en sortie de cheminée et dans son stockage en souterrain, ou dans son utilisation comme matière première industrielle. Sa faisabilité technique est avérée, son acceptation par la population encore incertaine, ce qui conduit à retenir une hypothèse prudente de volume. Nous n'en reparlerons pas davantage dans cet article.

Le gisement de biomasse, fruit de ce nouveau système agro-alimentaire

L'étude ZEN 2050 recense les quantités de biomasse disponibles pour les usages énergétiques dans ce système agricole transformé pour être un meilleur puits de carbone.

Cette étude retient l'hypothèse que les usages non énergétiques bénéficient d'une certaine priorité par rapport aux usages énergétiques. L'alimentation reste prioritaire : l'alimentation animale est significativement réduite

(2) « Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? », INRA, IGN, novembre 2017.

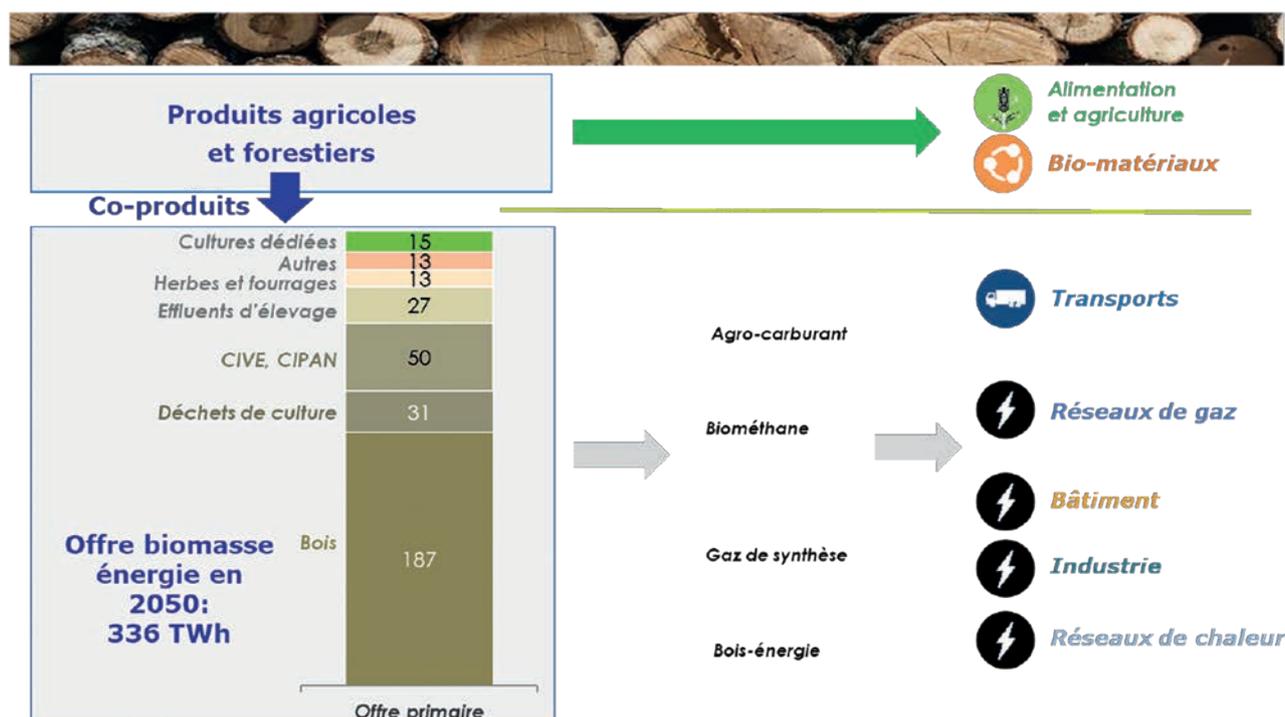


Figure 3 : Offre d'énergie primaire et finale pour la biomasse (2050, TWh). Source Étude ZEN 2050, EpE, Solagro.

par la baisse du cheptel et par l'élevage au pré, ce qui correspond à une transformation du contenu de l'assiette non détaillée ici, mais bien réelle. Les usages du bois et de la biomasse pour la fourniture de matériaux (papier, mobilier, construction bois, fibres textiles...) ou d'intrants (biogaz en remplacement du naphtha), produits et matières premières d'une nouvelle chimie verte, sont eux aussi privilégiés, car ils constituent une alternative à l'utilisation de ressources fossiles et préservent la fonction de stockage du carbone dans les produits. La priorité donnée à ces usages (y compris pour leur exportation) limite la quantité de biomasse disponible pour des usages énergétiques.

L'étude fait en revanche l'hypothèse que les pratiques agricoles accroissent la biomasse produite, au travers de cultures intermédiaires (CIVE⁽³⁾) et CIPAN, dont les racines font du sol un puits de carbone et les feuilles constituent une biomasse méthanisable ou un aliment pour animaux), d'effluents d'élevage mieux valorisables, de déchets de culture orientés vers la méthanisation ou autres procédés. Les cultures dédiées restent au même niveau qu'actuellement et servent essentiellement à la production de bio-carburants.

L'étude arrive ainsi à une biomasse utilisable pour des usages énergétiques d'environ 330 à 350 TWh, le bois inclus comme décrit *supra*. Une certaine prudence est néanmoins de rigueur, car l'étude ne prend pas en compte les effets du changement climatique sur la biomasse, alors qu'ils peuvent être significatifs : en 2018, la sécheresse a anéanti sur une large partie de la France les cultures intermédiaires semées après la moisson et qui n'ont donc pas pu lever. L'usage de la biomasse doit aussi être conçu au niveau local, des territoires, compte tenu du coût énergétique de son transport. L'estimation ci-dessus dépend donc de nombreux facteurs.

En 2050, rien ne se perd !

Dans l'étude ZEN 2050, une autre source de biomasse est envisagée, celle constituée par les déchets. Fidèle aux principes de la hiérarchie de traitement des déchets, la réduction des émissions des déchets passe d'abord par une diminution de la quantité de ceux-ci (de 290 kt en 2015, à 240 kt en 2050).

Dans un second temps, l'augmentation du recyclage des déchets (50 % en 2015, contre 80 % en 2050) limite l'incinération et l'enfouissement.

Enfin, l'électrification des procédés (entre autres dans les stations de traitement des eaux usées) et le captage du méthane (80 % en 2050, contre 45 % en 2015) permettent non seulement de réduire les émissions relatives au traitement des déchets, mais aussi, par leur valorisation, de contribuer à l'augmentation de la part d'énergie dite renouvelable dans le mix gazier.

L'étude esquisse aussi les usages de cette énergie tirée de la biomasse.

(3) CIVE : culture intermédiaire à vocation énergétique ; CIPAN : culture intermédiaire piège à nitrates.

Une transformation du modèle énergétique

La limite sur la biomasse disponible oblige à s'interroger sur les alternatives aux énergies fossiles pour chaque usage. Le système énergétique présenterait en 2050 des caractéristiques radicalement différentes par rapport à ce qu'il est aujourd'hui, notamment du point de vue de la production et de la décarbonation des différents vecteurs. La construction de l'image ZEN 2050 a conduit à privilégier les solutions économes en biomasse : l'émergence de la voiture électrique et des transports collectifs électrifiés en est l'exemple le plus perceptible.

La demande en énergie prend en compte la problématique de l'acceptation par la population de différentes sources d'énergie et l'exigence de conserver les terres pour la végétation (puits de carbone) plutôt que pour des usages artificiels (emprise au sol des éoliennes ou des panneaux photovoltaïques).

Les contraintes pesant sur toutes les sources d'énergie (conflit d'usages des sols, acceptabilité, contraintes physiques) ont ainsi conduit à privilégier l'efficacité dans l'usage de l'énergie : la consommation finale d'énergie serait, en 2050, divisée par deux pour atteindre un peu moins de 1 000 TWh, dont un tiers serait satisfait par la biomasse. La Figure 4 ci-dessous montre une répartition plausible de cette demande finale par secteur.



Figure 4 : Consommation d'énergie finale en France (2015-2050, TWh), étude ZEN 2050, EpE.

- **Le transport** : l'électrification est une solution qui peut être massive, même si les véhicules électriques affichent encore certaines limites. Le rendement du moteur électrique est aussi meilleur que celui du moteur thermique, ce qui diminue les besoins en énergie. En revanche, le véhicule électrique ne peut satisfaire les besoins en transport routier lourd ou de longue distance, qui pourra avoir recours au bio-GNL et au GNL. La possibilité d'utiliser de l'hydrogène vert (produit à partir de sources renouvelables) dépendra de ruptures technologiques et d'une massification permettant d'en réduire les coûts ;
- **Le résidentiel-tertiaire** : même bien isolés et largement électrifiés (pompes à chaleur), les bâtiments ont besoin d'énergie pour le chauffage en hiver. Le système électrique ne permettra pas d'y répondre intégralement, une part de ces besoins serait donc satisfaite par des réseaux de chaleur, du bois et du gaz. L'étude envisage

même que quelques centrales au gaz seraient encore en service pour couvrir ces pointes hivernales ;

- **Le transport aérien** : le kérosène n'est pas remplaçable par d'autres formes d'énergie compte tenu de ses qualités de densité énergétique, à l'exception des biocarburants, dont le caractère durable répond à des critères précis. Les quantités disponibles, si l'on accorde la priorité aux usages de chauffage ou d'industrie, ne permettraient pas de fait de soutenir la croissance du trafic envisagée aujourd'hui par le secteur. C'est l'un des secteurs où l'étude ZEN 2050 suggère que des ruptures technologiques soient recherchées et développées si l'on veut poursuivre la croissance du secteur au rythme mondial actuel.
- **L'industrie**, quant à elle, s'engage déjà dans des démarches d'électrification accélérée de ses *process*, ainsi que dans la substitution de biomasse (combustibles solides de récupération) aux énergies fossiles dans certains procédés comme la fabrication de clinker.

Les différents leviers mobilisables par les différents secteurs et les émissions résiduelles peuvent être résumés dans le tableau ci-après.

L'intérêt de l'étude ZEN est d'avoir rassemblé les acteurs et les *roadmaps* de tous les secteurs. Elle a ainsi pu rassembler les demandes de biomasse par les différents secteurs, soit pour des usages chaleur (résidentiel-tertiaire), pour produire soit du gaz vert (méthanisation, pyrogazéification, biogaz), soit des carburants liquides (biocarburants) ou de l'électricité (centrales au gaz renouvelable ou au bois). Leur addition fait apparaître une forte concurrence entre ces demandes et augure de tensions probables sur les marchés. C'est pourquoi le choix a été fait, dans tous les secteurs, d'utiliser les autres alternatives plutôt qu'un recours massif à la biomasse. La demande en

biomasse des différents secteurs, en plus des demandes déjà existantes en matière d'alimentation, de matériaux et d'énergie, viendrait empêcher la fourniture de services écosystémiques vitaux, puits de carbone ou maintien de la biodiversité : l'ensemble du territoire ne peut passer à la culture intensive.

Une recommandation : développer, gérer et valoriser les différents services de la biomasse

Dans l'étude ZEN 2050, comme dans la Stratégie nationale bas carbone récemment publiée, la biomasse issue des déchets, de l'agriculture et de la forêt jouerait ainsi un rôle clé pour remplacer les énergies fossiles. De ce fait, sa disponibilité serait, hors importations, un facteur contraignant pour l'économie, même dans l'hypothèse faite d'une efficacité énergétique accrue.

La gestion des concurrences et des synergies entre ces usages et ces services (alimentation humaine, alimentation animale, biodiversité et services associés, capture de carbone, amendement des sols, matériaux) à satisfaire par la biomasse agricole et forestière pourrait sans doute être encadrée localement et nationalement par une gouvernance intersectorielle. L'étude fait en effet l'hypothèse que la très large majorité des usages énergétiques valoriserait des coproduits ou des déchets agricoles et forestiers (cultures intermédiaires, rejets...) non utilisables pour l'alimentation. Le marché ne pouvant seul faire cet arbitrage, cela pourrait être assuré par un mécanisme dédié ; c'est l'une des principales recommandations formulées en conclusion de l'étude ZEN 2050.

Au-delà du seul usage énergétique de la biomasse et de la transformation du système énergétique dans le sens de l'efficacité et de la sobriété, l'étude ZEN 2050 suggère de réfléchir à une nouvelle économie de l'agriculture et des espaces ruraux et, plus largement, à de nouveaux modes de vie. Cette nouvelle économie accompagnerait des transformations profondes du secteur de l'alimentation et serait conçue à l'échelle de territoires localement plus polyvalents. Enfin, l'importance accordée à l'équilibre énergétique et les tensions sur la disponibilité de la biomasse conduiraient à un nouvel aménagement du territoire intégrant une forte limitation de l'étalement urbain, de façon à privilégier, entre autres, la fourniture de biomasse et l'accroissement du puits de carbone.

Ces transformations sont d'une telle profondeur, que leur acceptation est subordonnée à leur compréhension et à leur appropriation par une large majorité des Français. Au-delà de l'examen du rôle de la biomasse dans le système énergétique, c'est ce que proposent et à quoi œuvrent les entreprises porteuses de l'étude ZEN 2050.

	Secteur	Principaux leviers mobilisables	Emissions résiduelles
Modérée (~50%)	Agriculture alimentaire	Pratiques agricoles, assiette (élevage), fabrication des engrais, biocarburants et efficacité énergétique	Fermentation entérique, machines, décomposition des engrais
	Aviation internationale	Biokérosène, efficacité énergétique, nouvelles technologies	Combustion de carburants fossiles
Forte (70-90%)	Industrie	Economie circulaire, efficacité énergétique, substitution et décarbonisation des vecteurs, optimisation des process (ciment, réfrigération...)	Certains process industriels (clinker, chimie, acier, verre ...)
	Eau et déchets	Diminution gaspillage, valorisation matière et énergie, réduction fuite méthane	Incinération déchets médicaux et dangereux, fuites de méthane, émissions stations d'épuration
Quasi-totale (>90%)	Production énergie	Décarbonation des vecteurs (électricité, chaleur), mobilisation de la biomasse (bois-énergie, biogaz), flexibilité et stockage	Gaz réseau non décarboné dont fuites, combustion biomasse
	Bâtiments	Rénovation, Etiquette énergie BBC, changement vecteur énergétique (gaz, PAC), construction A, Systèmes de gestion de l'énergie, domotique et comportements, limitation fuites de climatisation	Densification, attractivité des centre-ville et bourgs
+ 50 à 100%	Transport domestique	Décarbonation, optimisation du remplissage, report modal, efficacité moteur, aménagements urbains	Aviation, véhicules hybrides, GNV non décarboné
	Puits carbone	Intensité de la sylviculture, pratiques agricoles, CCS, réduction de l'artificialisation des sols	-

Figure 5 : Évolutions des émissions, leviers et émissions résiduelles par secteur, étude ZEN 2050, EpE.