



GOUVERNEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité

SNBC 3

Les enjeux de long terme de la Stratégie Nationale Bas Carbone n°3

Le changement climatique exige des pays du monde entier qu'ils collaborent.

En 2015, les dirigeants du monde entier sont convenus d'objectifs ambitieux pour la lutte contre le changement climatique : **contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C.** Il s'agit de l'Accord de Paris.

Parvenir à ces objectifs implique **une action immédiate, rapide et de grande ampleur pour réduire les émissions de GES et atteindre la neutralité carbone¹ (zéro émission nette) au niveau mondial autour de 2050.**

Pour relever ces défis, l'Union européenne (UE) a inscrit dans le droit européen, via le règlement « établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique » dit « Loi européenne sur le climat », le principe de la neutralité climatique en 2050.

Conformément à son engagement pris lors de l'Accord de Paris, la France s'est fixée dès juillet 2017 l'objectif d'atteindre la neutralité carbone dès 2050, inscrit ensuite dans la loi relative à l'énergie et au climat en 2019. La France s'engage également, au-delà de la baisse de ses émissions territoriales, à baisser ses émissions importées². La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) constitue l'outil de pilotage national pour parvenir à ces objectifs : il s'agit de la feuille de route de la France en matière de lutte contre le changement climatique.

Cette stratégie repose sur un travail de modélisation prospective, construit de manière itérative, en vue de définir un scénario de transition climatique et énergétique de référence, pour guider l'action collective pour parvenir à nos objectifs. Ce travail fait l'objet de vérification spécifique pour s'assurer de la cohérence d'ensemble des résultats entre eux (« bouclage »). L'horizon long terme est particulièrement sensible à ces vérifications, compte tenu de la multiplicité des défis sectoriels à y relever.

L'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 figure d'ores et déjà dans la SNBC en vigueur (SNBC 2³) adoptée en 2020, pour lequel, le scénario de référence prévoyait l'équilibre entre les émissions résiduelles anthropiques⁴ et les absorptions anthropiques de gaz à effet de serre.

¹ La neutralité carbone ou neutralité climatique est entendue comme un équilibre entre les émissions de GES et les absorptions de GES par les écosystèmes gérés par l'être humain (forêts, sols agricoles) et par les procédés technologiques (capture et stockage ou réutilisation du carbone)

² L'indicateur associé à cet objectif correspond à « l'empreinte carbone ». Cet indicateur prend en compte l'ensemble de la consommation française, qu'elle soit issue d'une production en France ou à l'étranger.

³ https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

⁴ Emissions de gaz à effet de serre incompressibles, principalement des gaz à courte durée de vie liés aux usages non énergétiques (en particulier de l'agriculture, de certains procédés industriels ou du secteur des déchets) et certaines émissions énergétiques très difficilement évitables (transport aérien et fuites de gaz principalement)

Depuis l'engagement des travaux d'élaboration de la troisième édition de la SNBC, l'accent a été mis sur l'horizon de moyen terme 2030, auquel les émissions devront être réduites de moitié par rapport à 1990. Ce travail, conduit dans le cadre de la planification écologique, se traduit par le plan de bataille présenté dans le document « Premières orientations de la SNBC-3 à l'horizon 2030 », mobilisant tous les secteurs émetteurs de notre économie, basé sur un scénario cible ainsi que des mesures et orientations de politique publique.

L'horizon 2050, auquel la neutralité carbone devra être atteinte, est un horizon plus lointain. 25 ans, soit l'équivalent d'une génération, nous en sépare. De ce fait, il est soumis à davantage d'incertitudes et mérite une réflexion spécifique en lien avec les équilibres offre-demande de plusieurs ressources (biomasse, électricité, emplois...).

L'atteinte de la neutralité carbone est un défi immense qui nécessite des transformations en profondeur de notre société qui doivent être planifiées. Elle reposera en particulier sur des choix sociétaux importants parmi plusieurs futurs possibles (évolution du système alimentaire, de la consommation, développement technologique, recours à la sobriété, etc.). Ainsi, si les décisions et orientations à l'horizon 2030 présentées dans le document « Premières orientations de la SNBC-3 à l'horizon 2030 » intègrent déjà l'engagement de changements structurels nécessaires pour placer la France sur le chemin de la neutralité carbone en 2050, la trajectoire de l'horizon post 2030 reste à être précisée. **Il s'agit de fournir à l'ensemble des parties de la lisibilité quant aux évolutions à engager en identifiant les décisions indispensables à prendre à court terme et les grandes orientations à donner sur le plus long terme pour atteindre la neutralité carbone.**

Les travaux sur cet horizon sont en cours et l'objet de la présente annexe est de partager l'état des premières réflexions.

Les enjeux de long terme de la stratégie nationale bas carbone n°3

Les objectifs de la SNBC 3

1. La neutralité carbone

Atteindre la **neutralité carbone** en faisant face aux incertitudes sur l'évolution du puits forestier.

2. L'empreinte carbone

Intégrer pour la première fois un objectif de réduction de **l'empreinte carbone de la France en 2050**.

3. Consommation d'énergie et énergies fossiles

Réduire de **-50% la consommation totale d'énergie en 2050 par rapport à 2012** (code de l'énergie L100-4) grâce à de l'efficacité énergétique et de la sobriété énergétique.

Sortir du **charbon en 2030, du pétrole à l'horizon 2040-2045 et du gaz à horizon 2050**, conformément aux engagements pris à la COP 28.

4. Et après 2050

S'assurer du **maintien de la neutralité carbone** après 2050 compte tenu de la dégradation attendue du **puits forestier**, en identifiant les leviers permettant d'atteindre **des baisses d'émissions supplémentaires à long-terme**, et les mesures à mettre en œuvre à court ou moyen terme pour les activer.

Les enjeux de bouclage

1. Le bouclage électrique

Assurer la compatibilité entre l'électrification des usages et des hypothèses réalistes de production électrique à long terme.

2. Le bouclage biomasse

Assurer le bouclage offre-besoin en biomasse, à tous les horizons temporels, en limitant les importations.

3. Allocation de l'espace

S'assurer que les **surfaces consommées et libérées** à l'échelle du territoire français sont **équivalentes** : augmentation de la surface forestière, diminution des surfaces de cultures dédiées à l'alimentation animale, etc.

4. Ressources critiques

Etudier les enjeux liés aux ressources critiques pour la transition énergétique.

Les défis de mise en œuvre

1. Equilibre entre paris technologiques et comportementaux

S'assurer d'un juste équilibre entre les **paris technologiques et comportementaux** pour crédibiliser les orientations de la SNBC et limiter les risques associés.

2. Enjeux des compétences

Anticiper les créations et destructions d'emplois liées à la mise en œuvre de la SNBC et accompagner les **filères** dans leur restructuration.

3. La résilience au changement climatique

Prendre en compte les incertitudes sur l'évolution du climat futur pour assurer la résilience de la SNBC et accroître les co-bénéfices des politiques d'atténuation et d'adaptation déployées pour la société et la biodiversité.

I. Les objectifs de la SNBC 3 à horizon 2050

1) La neutralité carbone : un défi de taille compte-tenu de la dégradation du puits forestier et des limites des puits technologiques

L'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 sur l'ensemble des émissions des activités françaises⁵ constitue **un défi que la SNBC 3 devra relever**, via l'intégration de **mesures très ambitieuses, y compris en matière de sobriété**.

L'évolution des puits naturels et technologiques sera déterminante pour l'atteinte de la neutralité carbone. Dans la SNBC 2 les puits étaient évalués à 82 Mt CO₂e en 2050 dont 67 Mt CO₂e stockés par des puits naturels et 15 Mt CO₂e par des puits technologiques.

Or, le puits naturel a fortement baissé ces dernières années au regard d'une crise forestière majeure (perte de 25 Mt CO₂e de puits en 10 ans), ce qui impacte également le potentiel de puits de produits bois, remettant en cause les hypothèses du scénario de la SNBC 2. En 2022, l'absorption du secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt) est de 18 Mt CO₂e (Citepa, Secten 2024).

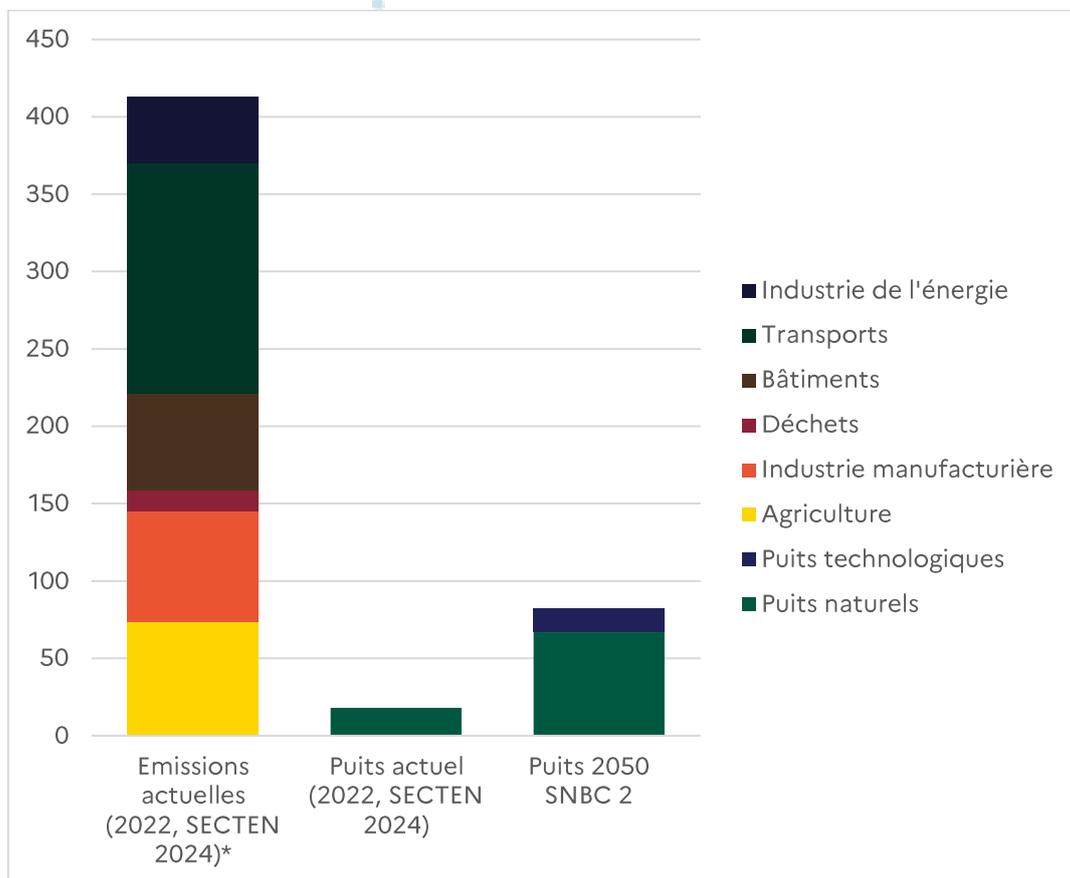


Figure 1 : Comparaison entre les émissions actuelles et les puits actuels et projetés. *Inclut les sources internationales.

⁵ A savoir, les émissions couvertes par l'inventaire français (SECTEN) et celles imputables aux sources internationales

Afin de sortir de cette période de crise, des mesures d'adaptation sont et seront mises en place pour renouveler les forêts existantes et planter des essences plus adaptées au climat futur de la France. De nouveaux boisements seront réalisés sur des surfaces en déprise agricole, et auront vocation à faire émerger de nouvelles forêts de manière plus maîtrisée que par des accrus forestiers. Cependant, l'impact de ces plans de renouvellement sur le puits de carbone ne pourra être observé qu'à long terme et parfois postérieurement à 2050. En effet, seuls les peuplements plantés dans les dix prochaines années pourront atteindre leur maturité et devraient être en mesure de séquestrer à terme des quantités significatives de carbone d'ici 2050. Dans tous les cas, de fortes incertitudes demeurent sur l'évolution du puits de carbone naturel.

Par ailleurs, de nombreuses incertitudes persistent quant à l'évolution du puits en fonction du climat. Ainsi, à politiques publiques constantes, jusqu'à 35 MtCO₂e en 2050 peuvent séparer les scénarios les plus optimistes des plus pessimistes en termes de puits forestier. De façon générale, tous les scénarios prévoient une baisse d'absorption du puits, en lien avec le réchauffement du climat. Ces données devront être fiabilisées et un suivi des expertises sur le sujet devra être assuré afin de diminuer au maximum les incertitudes.

La SNBC 3 pourrait faire intervenir **plusieurs technologies d'absorption d'émissions de gaz à effet de serre (voir encadré)** pour atteindre la neutralité carbone, en appui aux secteurs ne disposant pas d'autres alternatives, mais le développement de ces dernières restera limité à l'horizon 2050 (voir encadré 1 et partie II-4- Industrie).

Encadré 1: Puits technologiques

Les technologies d'absorption (émissions négatives) envisagées dans la SNBC sont les suivantes :

- Les technologies de capture et de stockage du carbone d'origine biogénique, (Bioenergy with Carbon Capture and Storage – **BECCS**), qui proviennent de la production d'énergie ou du secteur industriel et permettent de capter des émissions biogéniques puis de les stocker dans des couches géologiques profondes.
La mise en place d'un cadre créant une incitation financière à la capture de ces émissions biogéniques sera nécessaire pour crédibiliser le développement de ces technologies.
- Les technologies de capture directe de CO₂ dans l'air (Direct Air Capture - **DAC**) et de stockage, qui retirent du CO₂ de l'atmosphère pour le stocker également en couche géologique. Le recours à ces technologies est cependant incertain, étant donné leur fort besoin en consommation d'énergie, leur coût significatif, l'importante emprise au sol nécessaire et le manque de maturité des projets.

Il existe par ailleurs d'autres technologies d'émissions négatives, mais leur maturité est encore moindre et elles ne sont pas considérées dans le scénario à ce stade.

Compte tenu de ces éléments, il est crucial de viser la mobilisation de l'ensemble des secteurs émetteurs **pour réduire à leur maximum les émissions résiduelles à l'horizon 2050.**

C'est sous cette double contrainte (dégradation des puits naturels et puits technologiques limités) **que la SNBC 3 devra atteindre la neutralité carbone en 2050, tout en assurant les différents bouclages** et la crédibilité du scénario.

2) La diminution de l'empreinte carbone : un objectif quantifié à fixer dans la SNBC 3

Si les engagements internationaux de la France dans le cadre de l'Accord de Paris ne portent que sur ses émissions territoriales, le Gouvernement s'est engagé à réduire également l'empreinte carbone de la France.

L'empreinte carbone de la France mesure les émissions associées à la consommation des Français, qu'elles soient réalisées en France ou importées.

Selon l'estimation la plus récente du SDES, elle atteint **623 Mt CO₂e** soit, ramenée à l'ensemble de la population, **9,2 tCO₂e/habitant en 2022**. L'empreinte est composée à 44 % d'émissions intérieures et 56 % d'émissions importées. Après une relative stagnation entre 1995 et le milieu des années 2000, le niveau de l'empreinte par habitant amorce une décroissance sur la dernière décennie (-18 % entre 1995 et 2022). Cette réduction s'explique principalement par une baisse des émissions intérieures, partiellement contrebalancée par une hausse des émissions importées. Compte tenu de la hausse de la population, la réduction de l'empreinte totale entre 1995 et 2022 est de 7%. Sur la même période, les émissions territoriales ont diminué de 25% (Citepa, Secten 2024).

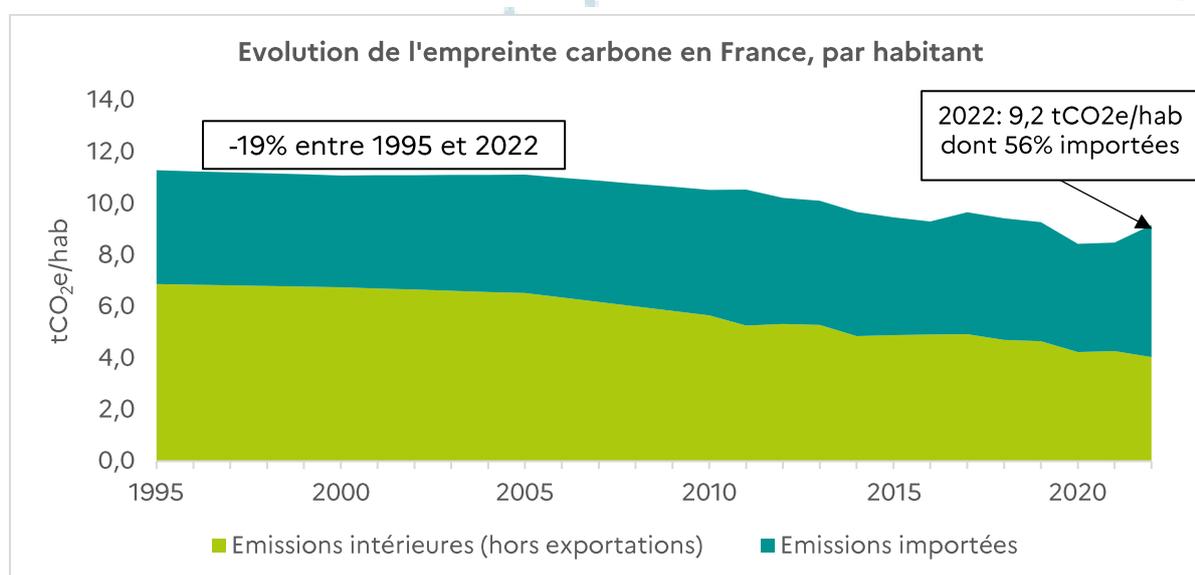


Figure 2 : Evolution de l'empreinte carbone française par habitant de 1995 à 2022. Données SDES 2023. Les données 2020 à 2022 sont estimées.

Pour traduire son engagement de baisse de l'empreinte carbone de la France et afin de s'assurer que l'action climatique de la France sur ses émissions territoriales ne se fait pas au détriment de l'empreinte carbone (notamment en substituant des émissions territoriales par des émissions importées), **la SNBC 3 intégrera, au-delà des budgets carbone indicatifs prévus par le Code de l'environnement jusqu'en 2038⁶, un objectif de réduction de l'empreinte carbone de la France en 2050**. C'est une nouveauté par rapport à la SNBC 2 dans laquelle cette réduction était bien visée mais pas quantifiée.

Plusieurs enjeux seront à prendre dans la fixation de cet objectif. Il devra s'inscrire dans la logique de l'Accord de Paris, en tenant compte des recommandations scientifiques pour limiter la hausse des températures bien en-dessous de 2°C d'ici 2100, et en suivant le principe d'équité énoncé dans l'Accord, pour que les efforts de décarbonation soient répartis de manière juste entre les pays. Dans un contexte mondial où la décarbonation avance de manière inégale selon les pays, le contenu carbone de nos importations sera dépendant du contexte international, ce qui devra également être pris en compte dans la fixation de l'objectif. Enfin, la mesure de l'empreinte carbone et les modélisations prospectives en matière d'empreinte

⁶ Article L222-1 B du Code de l'environnement

carbone sont soumises à de fortes incertitudes techniques, dont le traitement constituera également un défi à relever.

Cet objectif s'accompagnera d'orientations de mesures spécifiques, complémentaires aux mesures de réduction des émissions territoriales. La politique commerciale française et européenne devront continuer à évoluer pour intégrer nos engagements climatiques. Ceci s'inscrit également dans la lignée de la stratégie du Gouvernement de réindustrialiser la France, en produisant sur le territoire national des biens industriels à haute performance environnementale, plutôt que de les importer. La transition vers des modes de vies bas-carbone sera enfin un levier essentiel pour réduire durablement et structurellement notre empreinte carbone et nécessitera l'adoption de mesures supplémentaires à court et moyen terme.

3) La baisse de consommation d'énergie et la sortie des énergies fossiles : une condition nécessaire pour atteindre la neutralité carbone

La baisse de consommation d'énergie

La réduction de nos **consommations énergétiques est indispensable pour l'atteinte de nos objectifs climatiques**, elle permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre mais également de sécuriser notre capacité à répondre à court, moyen et long terme à nos besoins énergétiques en énergie décarbonée. Elle permet également d'améliorer notre indépendance énergétique.

Le code de l'énergie (article L. 100-4) fixe un objectif de baisse de consommation d'énergie finale totale de -50 % entre 2012 et 2050. Il existe deux principaux leviers pour réduire la consommation d'énergie :

- **L'efficacité énergétique**, qui consiste à consommer moins d'énergie pour le même service (par exemple, en améliorant l'isolation de son logement ou en utilisant une voiture qui consomme moins).
La substitution des énergies fossiles par des énergies décarbonées, par exemple par de l'électricité, peut permettre d'atteindre une meilleure efficacité énergétique. En effet, l'électrification des usages peut s'accompagner de gains d'efficacité énergétique (par exemple, une voiture électrique consomme moins d'énergie qu'une voiture thermique classique pour parcourir la même distance, car un moteur thermique relâche la majorité de l'énergie contenue dans l'essence ou le diesel sous forme de chaleur).
- **La sobriété énergétique**, qui consiste à réduire la consommation énergétique par des changements de comportement (baisse de la température de chauffage, réduction d'éclairage, recours aux mobilités actives, etc.).

La SNBC 3 devra activer l'ensemble de ces leviers afin de tendre vers l'objectif de baisse de consommation d'énergie finale de -50 % entre 2012 et 2050, déjà prévu par le code de l'énergie.

La sortie des énergies fossiles

Comme dans la plupart des grands pays industrialisés, **notre bouquet énergétique reste encore dominé par les énergies fossiles**, avec 37 % de pétrole et 21 % de gaz naturel dans notre consommation d'énergie finale. Cela engendre, pour la France, une dépendance délétère à la fois pour le climat, en raison des conséquences en termes d'émissions de gaz à effet de serre, mais également en termes économiques, en exposant la France et les Français aux aléas géopolitiques et de marché.

L'atteinte de la neutralité carbone en 2050 nécessite de réduire drastiquement les consommations d'énergies fossiles et les émissions associées.

Lors de la COP28, le **Président de la République a fixé un objectif de sortie des consommations énergétiques de charbon à horizon 2030, de pétrole d'ici 2045 et de gaz naturel à horizon 2050**⁷. Ces objectifs permettent de donner un cap et d'engager les transformations structurelles dans la perspective de la sortie des énergies fossiles et de l'amélioration de la souveraineté énergétique française.

Encadré 2 : La sortie des consommations énergétiques de pétrole à horizon 2045



Annoncée par le Président de la République lors de la COP28, la sortie de la consommation de pétrole d'ici 2045 sera intégrée dans la SNBC-3. Son périmètre géographique et les usages concernés seront précisés. Les **mesures importantes à court et moyen termes** à mettre en œuvre pour la concrétiser seront identifiées, en tenant compte de la pression potentielle sur les ressources de biomasse et sur la consommation d'électricité. **Cette échéance nécessite en particulier** d'accélérer fortement la sortie des véhicules thermiques, la durée de vie d'un véhicule étant de l'ordre de 15 à 20 ans, et la transition vers des sources d'énergie neutres en carbone (électricité, hydrogène, biocarburants, e-fuel). L'avenir des infrastructures pétrolières (raffineries, stations-essences...) devra également être anticipé.

4) Après 2050 : l'enjeu de maintenir à minima la neutralité carbone

L'atteinte de la neutralité carbone en 2050 est un point de passage qui guide l'action climatique. Elle devra être pérennisée après 2050.

Afin de garantir le maintien de la neutralité carbone après 2050, un certain nombre de mesures sont à engager à court et moyen termes, à la fois pour garantir une réduction des émissions brutes et pour développer ou maintenir les puits de carbone naturels et technologiques.

En effet, les projections de puits de carbone forestier restent pessimistes après 2050, où l'ensemble des scénarios étudiés aujourd'hui montrent une baisse continue de l'accroissement et une hausse continue de la mortalité de la forêt, y compris ceux prenant en compte des politiques publiques ambitieuses qui permettraient une chute amoindrie. **L'atteinte de la neutralité carbone en 2050 ne garantit donc pas son maintien en 2055 ou 2060.**

Les tendances post-2050 dépendent fortement des actions des dix prochaines années sur le renouvellement forestier. Un renouvellement forestier de 10% de la forêt en 10 ans, en ciblant les peuplements les plus vulnérables, et en replantant de manière rigoureuse en élaborant des stratégies précises sur la résilience des essences, la diversification, la protection des sols et de la biodiversité, permettra de réduire les risques d'une baisse trop importante du puits post-2050. **A plus long terme, un puits naturel tend vers des absorptions égales à ses émissions : à partir d'un certain horizon (lointain), le maintien de la neutralité carbone reposera donc essentiellement sur des puits technologiques.**

Après 2050, l'atteinte d'émissions nettes négatives est également visée au niveau de l'Union Européenne dans la loi climat de 2021⁸. Atteindre des émissions nettes négatives nécessitera d'amplifier les actions permettant de réduire les émissions résiduelles en 2050 et de renforcer les absorptions de gaz à effet de serre. Il s'agira d'identifier les émissions résiduelles qui pourraient encore être abattues après 2050 par le progrès technique et l'innovation, ainsi que

⁷ Les consommations non-énergétiques ne font pas partie du périmètre.

⁸ Règlement (UE) 2021/1119 du Parlement européen et du Conseil du 30 juin 2021 établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique et modifiant les règlements (CE) no 401/2009 et (UE) 2018/1999 (« loi européenne sur le climat »)

par des changements additionnels de modes de vies. **Ces orientations nécessiteront des mesures à court et moyen-terme, pour enclencher des modifications profondes à long terme.**

II. Les enjeux de bouclage de la SNBC 3 à horizon 2050

Compte tenu de la multiplicité des objectifs à relever à l'horizon 2050, cet horizon est particulièrement sensible aux questions de vérification de cohérence (bouclage) des décisions sectorielles.

1) Le bouclage électricité : une contrainte majeure dans un contexte de forte augmentation des besoins en électricité décarbonée

La consommation d'électricité va continuer à augmenter après 2030, principalement en raison de l'électrification des usages pour remplacer les énergies fossiles. Cela inclut :

- L'installation de pompes à chaleur dans les logements chauffés à partir de combustibles fossiles ;
- Le développement des véhicules électriques ;
- La conversion de certains procédés industriels à l'électricité ;
- L'augmentation de la production française liée à la réindustrialisation ;
- La production d'hydrogène bas carbone ;
- L'expansion de la place du numérique et l'avènement de nouveaux usages ;
- L'augmentation de la production d'e-fuels, notamment pour le trafic aérien. En 2050, pour 1 TWh d'efuels, le scénario de référence prévoit 2 TWh d'électricité. Un levier pour limiter la hausse de la consommation électrique associée serait l'importation d'e-fuels mais la capacité d'importation serait probablement restreinte en raison des besoins croissants des autres pays.

Par ailleurs, les leviers de maîtrise de la consommation électrique (sobriété et efficacité) ne seront pas en mesure de contrebalancer la forte augmentation des besoins en électricité. En fonction de ces leviers, l'évolution de la consommation électrique totale pourrait être de +25% à +75% en 2050 par rapport à 2023 d'après les scénarios étudiés par RTE dans le rapport *Futurs énergétiques 2050* (voir partie II.7).

Il est par conséquent impératif, dans la stratégie française énergie-climat, de développer au maximum l'ensemble des moyens de production d'énergie décarbonée. Pour cela, des projections de développement des différents moyens de production d'électricité décarbonée seront réalisées afin de **disposer d'une trajectoire d'offre à long terme, et vérifier qu'elle permette de répondre aux consommations anticipées** (voir plus loin les principaux enjeux de long terme pour la production d'électricité, partie IV- 6).

2) Le bouclage biomasse : modérer l'augmentation de la demande en biomasse pour ne pas excéder l'offre

Pour assurer la décarbonation des différents secteurs, la consommation d'énergie issue de biomasse va augmenter d'ici 2050. En effet, la combustion de biomasse durable est comptabilisée comme neutre puisque le carbone émis lors de sa combustion a été auparavant absorbé lors de la croissance de la biomasse. En se substituant aux énergies fossiles, les biocarburants, le biogaz, le bois ou les déchets organiques permettent de décarboner de nombreux usages : réseaux de chaleur, biocarburants pour les transports, injection de biogaz

dans le réseau de gaz, utilisation de bois dans certains procédés industriels nécessitant de la chaleur haute température, etc.

Ainsi, les projections montrent que la consommation de biomasse devrait augmenter fortement après 2030. C'est le cas dans les transports pour diminuer les émissions du trafic aérien et maritime, mais également des véhicules thermiques restants, (en particulier les véhicules lourds et les engins agricoles). C'est également le cas dans l'industrie, pour décarboner la production de chaleur dans certains secteurs (ciment, sucre, etc.), et dans les bâtiments, pour remplacer le gaz par du biogaz et produire de la chaleur pour les réseaux de chaleur urbains.

Cependant, la biomasse possède de nombreux autres usages non énergétiques, et les ressources en biomasse potentielles de notre territoire sont limitées. Ainsi, la question de l'adéquation entre offre et demande de biomasse se pose, en particulier autour de 2040. Une solution envisageable serait d'importer cette ressource, mais la disponibilité n'est pas assurée au vu des besoins croissants des autres pays pour leurs propres stratégies de décarbonation. Par ailleurs, la France ayant la première surface agricole de l'UE et la quatrième surface forestière, **il semble raisonnable de viser à terme un équilibre global entre l'offre et la demande domestique de biomasse sur le territoire hexagonal.** Une analyse devra être menée pour s'assurer dans la SNBC 3 de cette adéquation sur l'ensemble de la trajectoire, sur chaque type de biomasse : biocarburants, biogaz et biomasse solide.

Sécuriser ce bouclage à long terme est l'un des enjeux du travail complémentaire sur la planification qui doit se poursuivre dans les prochains mois.

Dans ce contexte, le gouvernement promeut une modération nécessaire de la demande via une hiérarchisation des usages, en s'appuyant en particulier sur la disponibilité d'alternatives énergétiques à la biomasse pour certains usages (exemple : le recours accru aux pompes à chaleur ou à la géothermie pour le chauffage des bâtiments résidentiels ou tertiaires), et sur l'efficacité énergétique ainsi que les coûts de décarbonation (pour la biomasse-énergie). Cette priorisation des usages est présentée dans les « Premières orientations de la SNBC-3 à l'horizon 2030 »⁹.

Enfin, l'encadrement environnemental des pratiques de cultures ou gestion et de récolte de biomasse, reste une préoccupation prégnante afin que l'usage énergétique de la biomasse ne conduise pas à réduire la capacité des écosystèmes à fournir l'ensemble de leurs services (alimentation, biodiversité, puits de carbone...), a fortiori dans un contexte de changement climatique venant les impacter. Cela reste un important sujet de travail pour le futur, en particulier pour garantir la conformité des installations et filières françaises au droit européen.

3) Allocation de l'espace: anticiper les impacts de la stratégie sur les modes d'occupation des sols

Les évolutions envisagées dans les projections à l'horizon 2050 **entraînent des changements significatifs de modes d'occupation des sols (espaces agricoles, naturels, forestiers et urbains).** En particulier, la surface forestière augmente, permettant d'accroître la captation de carbone. Les surfaces nouvellement artificialisées sont limitées via la diminution progressive des rythmes d'artificialisation, en cohérence avec l'objectif de Zéro Artificialisation Nette (traduit par un équilibre en 2050 entre les surfaces artificialisées et renaturées). Enfin, des évolutions différenciées surviennent pour les sols agricoles¹⁰ : forte hausse des surfaces de légumineuses

⁹ « Premières orientations de la SNBC-3 à l'horizon 2030 », partie IV, 4. d

¹⁰ Dans la pratique, les évolutions de surfaces totales sont le fruit de choix des agriculteurs fondés sur les facteurs pédoclimatiques, agronomiques, économiques, sociaux, etc. et s'insèrent dans des rotations plus ou moins longues. Dans

en lien avec l'évolution des régimes alimentaires, baisse des cultures fourragères en lien avec l'évolution du cheptel, maintien des prairies permanentes productives, etc. Les projections mettent donc en avant des enjeux de concurrence entre les différents modes d'occupation des sols, qu'il convient d'arbitrer et d'anticiper afin d'obtenir un scénario de la SNBC cohérent et réaliste.

4) La question des métaux critiques : un enjeu pour limiter la pression sur les ressources essentielles à la transition énergétique

Si la consommation d'énergies fossile va fortement diminuer avec la mise en œuvre de la transition énergétique, la consommation de biomasse et de matériaux spécifiques devraient augmenter pour répondre au développement de la production d'électricité décarbonée, permettre la production de véhicules électriques, permettre la modernisation des infrastructures énergétiques ou encore pour décarboner l'industrie.

Ressources	Batteries	Réseau	Photovoltaïque	Eolien	Nucléaire
Graphite naturel	●		●		
Lithium	●				
Cobalt	●				
Aluminium	●	●	●	●	●
Terres rares				●	
Manganèse	●	●	●	●	●
Cuivre	●	●	●	●	●
Chrome	●	●	●	●	●
Zirconium					●
Silicium		●	●		
Zinc	●	●	●	●	●
Argent	●		●		●
Nickel	●	●	●	●	●
Uranium					●
Béton	●	●	●	●	●
Acier	●	●	●	●	●

● Ressource mobilisée dans la structure ou pour le combustible
 ● Ressource mobilisée dans des alliages

Criticité de la ressource
 Faible Forte

Figure 3 : Utilisation et criticité des ressources (figure établie par la DGEC via l'analyse croisée de données du BRGM (Substance critique et stratégique », MinéralInfo) et de RTE (Rapport « Futurs Energétiques 2050 », RTE, Février 2022))

Parmi les ressources indispensables à la transition énergétique, certaines, telles que le cuivre, les terres rares, le cobalt et le lithium, présentent des tensions potentielles en matière d'approvisionnement. La criticité de certaines de ces ressources découle de la disponibilité géologique des ressources, des projets d'extraction identifiés, ainsi que de la concentration de la production dans un nombre restreint de pays, entraînant des situations de monopole, susceptibles de générer des risques économiques et géopolitiques. L'évaluation de la disponibilité des ressources critiques reste incertaine¹¹ et dépend des orientations prises à l'échelle mondiale. **Ainsi, des mesures de sobriété et d'économie circulaire sont essentielles pour réduire la pression sur les ressources critiques et assurer la transition énergétique.** Si la diminution de l'empreinte matière de la France n'est pas l'objet premier de la SNBC, **l'empreinte matière du scénario de la SNBC 3 et l'impact sur la consommation de ressources**

le cadre de la scénarisation de la SNBC, les assolements résultent bien évidemment des assolements passés, ainsi que des évolutions envisagées sur un certain nombre de cultures et surfaces du territoire français. Ainsi, l'assolement est construit dans les projections de la SNBC mais n'est pas le fruit d'une simulation par un modèle économique d'offre et de demande.

¹¹ En mars 2024, le conseil de l'Union européenne (UE) a approuvé le règlement sur les matières premières critiques - Critical Raw Materials Act (CRMA) – qui encadre les pratiques sur une liste de 34 matériaux stratégiques.

critiques seront ainsi quantifiés et pris en compte dans l'élaboration des politiques publiques climatiques.

III. Les défis de mise en œuvre de la SNBC 3 à horizon 2050

1) Les paris technologiques et les paris comportementaux : un juste équilibre à trouver

L'atteinte de la neutralité carbone en 2050 nécessite à la fois une transformation importante des modes de vies et de l'innovation technologique. Ces deux dynamiques sont soumises à de nombreuses incertitudes. Par exemple, des technologies telles que les puits technologiques posent des questions en raison de leur maturité et de leurs coûts. En matière de modes de vie, l'adhésion des citoyens aux transformations nécessaires pose des questions en particulier dans un contexte où les politiques publiques sur les comportements restent de portée limitée (évolution de la consommation, des modes de transport et de l'alimentation). **La SNBC s'attachera à assurer un bon équilibre entre les paris technologiques et ceux concernant l'évolution des comportements pour crédibiliser les orientations du scénario et limiter les risques entourant la trajectoire.**

Pour cela, la SNBC proposera des orientations de politiques publiques pour développer une sobriété structurelle en mobilisant l'ensemble des acteurs impliqués dans la transition : Etat, citoyens, entreprises, territoires. De même, la SNBC précisera les orientations permettant d'encourager le développement des technologies sur lesquelles elle repose.

2) Les emplois : une anticipation nécessaire pour réussir la transition écologique

La SNBC va mobiliser l'ensemble des filières économiques, en tenant compte de l'ambition de réindustrialisation du pays et en développant l'innovation au service de la transition.

D'ici 2030, la transition créera de nombreux emplois dans plusieurs secteurs, comme la rénovation énergétique des bâtiments, le développement des énergies bas carbone, l'industrie via la réindustrialisation ou encore la transition agro-écologique.

A plus long terme, la reconversion de certains sites, et la décroissance voire l'abandon de certaines activités, appelleront des **mesures d'accompagnement à l'échelle territoriale** et des évolutions importantes de l'offre de formation. L'accompagnement de ces évolutions est indispensable à l'atteinte de nos objectifs. En particulier, le secteur de la rénovation fera face à un pic de demande d'emplois à court et moyen terme, qui devrait diminuer à plus long terme. Il conviendra également d'accompagner le secteur pour faciliter le transfert de compétences entre construction et rénovation et assurer les pics de demande.

3) La résilience au changement climatique de la SNBC 3 : la traduction d'une politique climatique et énergétique systémique, ambitieuse et opérationnelle

Le climat sur le territoire national a déjà changé et continuera de changer au cours des prochaines décennies. C'est la raison pour laquelle l'Etat agit à la fois pour limiter au maximum les émissions de GES mais également pour anticiper et limiter les effets du changement climatique, déjà à l'œuvre, sur la population, l'économie et les milieux naturels (via le plan national d'adaptation au changement climatique).

Ces deux politiques climatiques (atténuation et adaptation) doivent néanmoins être pleinement articulées, pour deux raisons.

La première est **d'éviter la mal-adaptation**. Si les liens entre adaptation et atténuation ne sont pas correctement pensés, les politiques déployées en matière d'adaptation pourraient conduire à une hausse des émissions (par exemple via une augmentation de la consommation énergétique et des émissions de gaz frigorigènes liée à l'usage de la climatisation). A l'inverse, la végétalisation des espaces urbanisés, par exemple, permet à la fois de lutter contre les îlots de chaleur urbains et d'augmenter les puits de carbone, tout en contribuant au maintien de la biodiversité en ville. Ce sont des mesures « sans regret » apportant de multiples co-bénéfices pour la société et l'environnement.

La deuxième est de **concevoir une stratégie d'atténuation résiliente aux effets au changement climatique**. Parvenir à nos objectifs climatiques de long terme (2050 et au-delà) implique ainsi de se projeter dans l'avenir et d'anticiper les modifications climatiques prévisibles.

La multiplication et l'intensification des événements climatiques extrêmes liées au changement climatique se ressentiront dans tous les secteurs économiques français. A titre d'exemples, l'augmentation de la fréquence de tempêtes ou d'incendies entrainera des fermetures d'axes de transport (routier ou ferroviaire) fréquentes ; les variations extrêmes de températures et la raréfaction de la ressource en eau impacteront les récoltes agricoles ; la question de la disponibilité de l'eau sera centrale pour les industriels particulièrement dans un contexte de réindustrialisation ; la multiplication des épisodes de sécheresse augmentera les risques de retrait-gonflement des argiles et donc les risques de fissurations des façades de bâtiments ; les niveaux de production d'énergie seront modifiés avec par exemple des modifications du régime du vent impactant la production éolienne.

La SNBC 3 veillera à étudier ces effets pour proposer une trajectoire d'atténuation robuste aux effets du changement climatique.

IV. Les principaux enjeux sectoriels pour l'atteinte des objectifs à l'horizon 2050

1) Enjeux du secteur des transports pour 2050

Réduire les émissions du secteur des transports nécessite d'agir sur l'ensemble des leviers : maîtrise de la demande, report modal, augmentation du taux d'occupation pour le transport de voyageurs (ou taux de chargement des véhicules pour le transport de marchandises), amélioration de la performance énergétique des moyens de transport, progression de la part de véhicules électriques notamment ceux produits en France et en Europe et électrification des moyens de transport/utilisation d'énergies alternatives telles que les biocarburants de manière résiduelle pour les cas d'usage non électrifiables.

La SNBC 2 vise une décarbonation complète des transports terrestres, maritimes domestiques et fluviaux, hors fuites résiduelles incompressibles de gaz (gaz fluorés, gaz renouvelables), via la mobilisation conjointe de l'ensemble des leviers précités.

Dans la SNBC 3 pour parvenir à nos objectifs climatique, le secteur des transports terrestres devra également être entièrement décarboné en 2050. Pour ce faire, **la décarbonation de l'énergie consommée par les véhicules est un levier clé notamment** avec l'électrification du parc de voitures qui permettra, outre la décarbonation du secteur, des gains importants d'efficacité énergétique (les véhicules électriques étant trois fois plus efficaces que leurs équivalents thermiques). Les poids lourds seront quant à eux, pour une large part, électriques, une partie roulera à l'hydrogène décarboné ; il restera aussi une petite part de poids lourds thermiques roulant aux biocarburants et au bioGNV. Cette décarbonation du parc de véhicules devra s'accompagner d'une maîtrise du trafic, d'un fort report modal vers les modes

alternatifs au routier, d'une augmentation du taux d'occupation des voitures et d'une augmentation du taux de chargement des poids lourds.

Dans les secteurs qui ne pourront pas être électrifiés (aviation et maritime), des gains d'efficacité énergétique lors du renouvellement des flottes ainsi qu'une maîtrise de la demande seront recherchés. En parallèle, les carburants alternatifs durables devront se développer : biocarburants durables et e-fuels.

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC 3 : l'évolution du trafic aérien

Le secteur aérien représente de forts enjeux pour la décarbonation du secteur et l'atteinte du bouclage énergétique du scénario. D'une part, le trafic aérien croît fortement ces dernières années : +3,1%/an sur la période 2000-2019 pour le trafic total intérieur et international. D'autre part la décarbonation du secteur passe par le développement des biocarburants ainsi que le développement des e-fuels, fortement consommateurs de biomasse et d'électricité (la production d'1TWh d'efuel nécessite ainsi 1,8 TWh d'électricité). **Plus le trafic aérien croitra, plus les ressources à lui dédier pour le décarboner seront importantes.**

L'évolution du trafic aérien constitue ainsi un enjeu fort pour la décarbonation et les bouclages du scénario, et impliquera des paris technologiques et/ou comportementaux importants.

2) Enjeux du secteur de l'agriculture pour 2050

Le **secteur agricole fait face à de nombreux défis dans le cadre de la transition écologique** : assurer la souveraineté alimentaire du pays à long terme tout en s'adaptant au changement climatique et en diminuant les émissions de GES, accroître le stockage de carbone dans les sols agricoles alors qu'ils sont aujourd'hui une source nette d'émissions, préserver la biodiversité et l'eau et produire des énergies et matériaux biosourcés pour la décarbonation de l'économie française.

La SNBC 2 vise une réduction d'un peu moins de 50% (46%) des émissions du secteur à l'horizon 2050 par rapport à 2015 (hors sols agricoles dont les émissions et absorptions sont comptabilisés dans le secteur des terres UTCATF), notamment par la transformation du système agricole (agriculture de précision, etc.) et l'évolution des modes de consommation agricole et alimentaire.

Dans la SNBC 3, **une réduction plus importante des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole sera visée d'ici 2050**, en conservant des émissions incompressibles des systèmes de cultures (liées notamment à l'utilisation d'engrais organiques et minéraux), et d'élevages (liées en particulier à la fermentation entérique des bovins). **Le système agricole devra se transformer profondément** en réduisant la consommation d'azote minéral, en augmentant la part des systèmes non-conventionnels (dont ceux en agriculture biologique) et en développant massivement les cultures intermédiaires, notamment pour produire des bioénergies et contribuer à la décarbonation des autres secteurs. Par ailleurs, l'agroforesterie, et en particulier les haies, devront se développer. La part de pâture des systèmes d'élevage bovin devra augmenter et les émissions de méthane liées à la fermentation entérique devront être réduites en optimisant la conduite des troupeaux, en adaptant l'alimentation des cheptels et en effectuant des progrès génétiques. **Les régimes alimentaires des français devront évoluer progressivement** vers une consommation plus importante de fruits et légumes frais, de légumineuses et de céréales complètes, et une consommation globale moindre de protéines animales au profit d'autres sources de protéines (cf. encadré *infra*), notamment en réduisant la surconsommation. Enfin, le parc d'engins agricoles devra se décarboner en ayant recours à des vecteurs énergétiques non fossiles (biocarburants, électricité, H₂, BioGNV) et les consommations d'énergie des équipements, des serres et des bâtiments seront réduites par le

renforcement de l'efficacité énergétique et l'installation de modes de chauffage alternatifs (pompes à chaleur, géothermie, chaleur fatale, biomasse, etc.).

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC 3 : l'évolution de la consommation de viande rouge

L'hypothèse qui sera retenue dans la SNBC 3 sur la trajectoire de consommation de viande bovine sera structurante sur les projections d'émissions de gaz à effet de serre. En effet, **le cheptel bovin représente 50 % (36 MtCO₂e) des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture**, du fait de la fermentation entérique, un processus biologique qui entraîne des émissions significatives de méthane (le méthane étant un gaz à effet de serre 28 fois plus puissant que le CO₂ sur une période de 100 ans). Cependant, le cheptel bovin, lorsqu'il pâture sur les prairies permanentes, **maintient leurs capacités de stockage de carbone**. Ses effluents peuvent également fournir des **engrais organiques** permettant de limiter le recours aux engrais minéraux, ou être méthanisés pour produire du biogaz.

La consommation de viande rouge moyenne par français devrait être amenée à diminuer dans les prochaines décennies, en cohérence avec les **repères nutritionnels du Programme National Nutrition Santé**, en prévoyant des mesures d'accompagnement pour les consommateurs et les professionnels¹².

L'évolution des régimes alimentaires sera à mettre au regard de l'évolution de la taille du cheptel bovin français, dont la réduction (rapide au cours des dernières années avec un phénomène de décapitalisation observé depuis 2016) devra être maîtrisée, afin d'éviter une hausse des importations qui ne ferait que déplacer les émissions de gaz à effet de serre associées à la production de viande en dehors du territoire national.

3) Enjeux du secteur bâtiments pour 2050

Réduire rapidement les émissions directes du secteur des bâtiments suppose l'accélération de la dynamique de décarbonation des vecteurs de chauffage et une forte réduction de la consommation d'énergie (notamment par des rénovations performantes, et de la sobriété), avec un enjeu de bouclage en électricité notamment.

En 2050, le secteur des bâtiments devra être « zéro émission » avec notamment l'objectif de disposer d'un parc immobilier dont l'ensemble des bâtiments sont rénovés en fonction **des normes BBC¹³ ou des normes à venir via la Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB)**.

La SNBC 2 vise l'atteinte d'un parc au niveau BBC ou équivalent en moyenne en 2050 grâce à une accélération des rénovations dans le résidentiel et dans le tertiaire. Par ailleurs, la SNBC 2 prévoit des efforts très ambitieux en matière d'efficacité énergétique, un recours accru à la sobriété ainsi que le recours exclusif à des énergies décarbonées.

La SNBC 3 s'inscrit dans la continuité de ces travaux. En 2050, il n'y aura déjà plus de chauffage au fioul depuis plusieurs années. Par ailleurs, les chaudières à gaz restantes devront toutes être entièrement alimentées par du biogaz. Or, en raison de la pression exercée sur la biomasse (voir partie II-2), le nombre de chaudières gaz devra nécessairement être significativement réduit en 2050. Les deux principaux systèmes de chauffage du parc immobilier seront les pompes à chaleur et les réseaux de chaleur urbains. La majorité des

¹² Programme National Nutrition Santé 2019-2023, prolongé en 2024 - https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnns4_2019-2023.pdf

¹³ BBC « Bâtiment Basse Consommation » à savoir DPE A, B voire C dans certains cas ; objectif inscrit dans le Code de l'énergie (art. L. 100-4)

rénovations d'ampleur devront avoir eu lieu avant 2050, ce qui nécessitera la mise en œuvre de politiques de rénovation ambitieuses.

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC 3 : la trajectoire de décarbonation des systèmes de chauffage

Un levier majeur de réduction des émissions de GES du secteur bâtiment est la décarbonation des systèmes de chauffage. En particulier, l'hypothèse relative à l'évolution du **parc de chaudières à gaz** est structurante pour les différents objectifs de la SNBC : la part de biogaz dans les réseaux augmentera progressivement dans la SNBC 3 pour atteindre 100% en 2050. **L'évolution du parc de chaudières à gaz dimensionne donc fortement la réduction des émissions de GES du secteur et les contraintes sur le bouclage biogaz.**

Toutefois, **cette décarbonation se heurte à des freins techniques, économiques et organisationnels** dans certaines configurations de bâtiments. Cela inclut des contraintes architecturales comme l'installation d'unité extérieure de pompes à chaleur en façade ou les contraintes organisationnelles en copropriété.

Il est également essentiel de prévoir une gestion adaptée des réseaux de distribution. La diminution de la consommation de gaz pour le chauffage soulève en effet la question de l'avenir des réseaux de distribution. Le maintien à l'identique de ces réseaux pour une demande réduite de gaz entraînerait une augmentation du coût unitaire, risquant ainsi d'impacter la facture du consommateur de façon non soutenable.

4) Enjeux du secteur de l'industrie pour 2050

Réduire les émissions de l'industrie nécessite une transformation en profondeur des différentes filières via la mobilisation de différents leviers, dont l'efficacité énergétique, le passage d'énergies fossiles à des énergies bas-carbone (électricité bas-carbone, hydrogène décarboné, biomasse/biogaz, déchets), la décarbonation des procédés de production (électrification, remplacement du carbone par de l'hydrogène dans les réactions chimiques, abattement de gaz fluorés (notamment agroalimentaire) ou de protoxyde d'azote (notamment chimie)), et la capture, le stockage et la valorisation du carbone résiduel, ainsi que l'utilisation efficace des ressources et la sobriété (augmentation du recyclage, réduction du taux de clinker pour le ciment, moindre consommation de plastique, etc.).

La SNBC 2 vise une réduction très ambitieuse des émissions du secteur (-81% par rapport à 2015) par une transformation en profondeur de l'industrie. A cet horizon, l'énergie consommée est entièrement décarbonée et les émissions résiduelles sont issues de la production de produits minéraux, de la métallurgie primaire, de certains procédés chimiques et des gaz fluorés.

Dans la SNBC 3, la réduction des émissions du secteur s'intensifie. Comme pour la SNBC 2, l'énergie consommée est entièrement décarbonée. Concernant les émissions issues des procédés industriels (hors consommation d'énergie), les enjeux sont très différents d'une filière à l'autre en 2050 : **pour certaines filières, une transformation profonde vers des procédés bas carbone peut s'opérer**, permettant de réduire la majeure partie, voire la quasi-totalité, de leurs émissions. Par exemple, la production d'acier à partir de hauts-fourneaux disparaîtra au profit de la réduction directe du fer associée aux fours à arc électrique. Pour d'autres filières, **le recours à la capture de carbone devra être mobilisé pour abattre les émissions résiduelles incompressibles**. L'atteinte des objectifs du secteur implique la mise en place de **mesures incitant à la sobriété dans la consommation de biens** traduisant une plus forte appétence du consommateur et des entreprises pour des produits de qualité, durables, « made in France », ou pour davantage de mutualisation, menant à une baisse de l'empreinte carbone. Cela aura pour effet de limiter la hausse de production tendancielle dans certains secteurs. Dans le même temps, les balances commerciales de la plupart des industries grandes consommatrices d'énergie s'amélioreront et les productions de l'industrie diffuse augmenteront, avec **la mise**

en place de la réindustrialisation. Il convient de donner la visibilité nécessaire aux acteurs concernés dès aujourd'hui compte tenu **de l'inertie du changement des procédés industriels et du niveau d'anticipation nécessaire.**

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC 3 : la capture de carbone

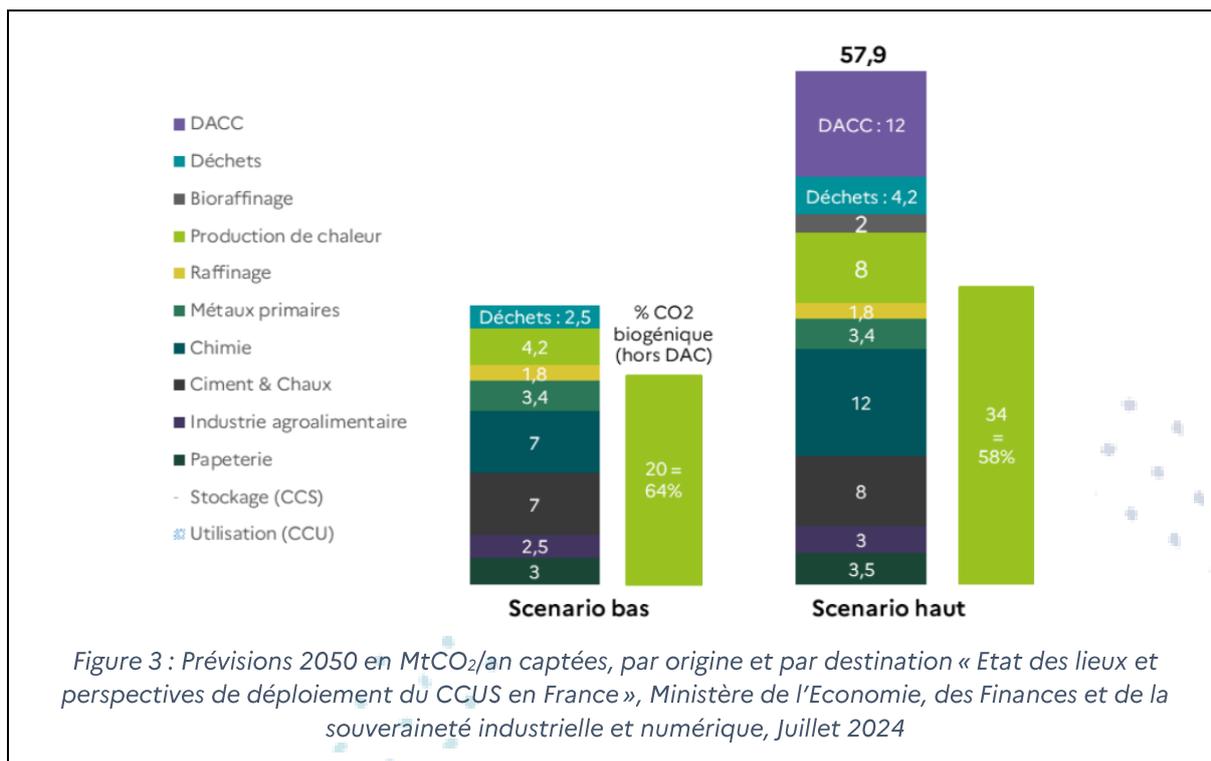
La capture technologique de carbone est vouée à se développer pour aider à abattre les émissions résiduelles des secteurs de l'industrie pour lesquels il n'existe pas d'alternative bas carbone. C'est notamment le cas de nombreuses émissions industrielles incompressibles, directement liées au procédé employé (production de ciment, de chaux, chimie, etc.), qu'il n'est pas possible de réduire par une sortie des énergies fossiles.

Une fois capté à l'issue d'un processus industriel, **le carbone peut être stocké dans le sous-sol (Carbon Capture and Storage) ou bien réutilisé (Carbon Capture and Use).** Cette deuxième option permet notamment de produire des carburants synthétiques pour le maritime et l'aviation. Ces technologies nécessitent des réseaux de transport du carbone ainsi que des infrastructures de stockage.

Les « premières orientations de la SNBC 3 à horizon 2030 » prévoient un volume capté de l'ordre de 6,6 Mt de CO₂ en 2030. A horizon 2050, *l'Etat des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France*¹⁴, publié début Juillet 2024, présente un intervalle des volumes potentiellement captables en 2050. **Dans l'industrie, cet intervalle se situe entre 23MtCO₂e et 30MtCO₂e** (hors Direct Air Capture - DAC et procédés ne relevant pas de l'industrie manufacturière). Hors du périmètre de l'industrie, la question du volume potentiellement mobilisable par capture directe du carbone atmosphérique (DAC) se posera. Le DAC, associé au stockage en couches géologiques profondes du carbone capté, pourrait éliminer quelques MtCO₂ supplémentaires, tout en restant un **pari technologique risqué, fortement consommateur d'énergie et de foncier.** Il peut aussi permettre de réutiliser le carbone capté, selon la même logique que le CCU.

La mise en place d'un cadre créant une incitation financière à la capture de ces émissions biogéniques et retirées de l'air sera nécessaire pour crédibiliser le développement de ces technologies.

¹⁴ *Etat des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France*, Ministère de l'Economie, des Finances et de la souveraineté industrielle et numérique, Juillet 2024 <https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/industrie/etat-des-lieux-et-perspectives-de-deploiement-du-ccus-en-france.pdf>



5) Enjeux du secteur des déchets pour 2050

Réduire les émissions du secteur des déchets nécessite d'agir sur la prévention de la production de déchets, la réorientation des déchets vers les filières de valorisation matière et énergétique et le captage du méthane dans les installations de stockage.

La SNBC 2 vise une réduction de 66% des émissions du secteur en 2050 par rapport à 2015 via la réduction des volumes de déchets (promotion de l'économie circulaire), l'amélioration de la collecte, l'amélioration de la gestion des déchets grâce au développement de la valorisation matière (recyclage) en priorité et de la valorisation énergétique ensuite.

Dans la SNBC 3, la stabilisation du volume de déchets non dangereux non inertes est également prévue dès 2030 et jusqu'en 2050, avec une réduction des déchets ménagers et assimilés mais une augmentation des déchets industriels en lien avec la réindustrialisation. L'essentiel des efforts de réduction des émissions du secteur devra avoir lieu dès 2030 : il ne devrait plus avoir d'incinération des déchets sans récupération d'énergie et la valorisation matière et énergétique devra augmenter fortement (compostage, méthanisation, recyclage, CSR¹⁵, augmentation de la performance énergétique du parc d'unités d'incinération des ordures ménagères). Les émissions de méthane provenant des installations de stockage seront significativement réduites grâce, d'une part, à la réduction des volumes de déchets fermentescibles entrants notamment via la prévention (lutte contre le gaspillage alimentaire) et via le développement du tri à la source des biodéchets et d'autre part, grâce à l'amélioration du taux de captage du méthane.

¹⁵ Combustible Solide de Récupération

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC : la réduction des émissions de méthane en installations de stockage

En 2022, les émissions de méthane liées à la dégradation des déchets fermentescibles en installations de stockage représentaient 79% des émissions du secteur. L'enjeu pour 2050 est donc de poursuivre l'atténuation des émissions de méthane.

Le premier levier de réduction de ces émissions est l'amélioration du taux de captage du méthane dans les installations de stockage. Le CITEPA estime que le taux de captage moyen français en installations de stockage atteignait 51% en 2022. Augmenter ce taux de captage est un enjeu majeur pour réduire les émissions du secteur des déchets. Une fois capté, ce méthane peut ensuite être valorisé sous forme de biogaz.

L'augmentation de ce taux de captage repose sur des améliorations technologiques en installations de stockage.

6) Enjeux du secteur de la production d'énergie pour 2050

La décarbonation de la production d'énergie concerne la production d'électricité, la production de chaleur vendue (via des réseaux de chaleur notamment), la production d'hydrogène, mais également du raffinage, et de la réponse à la demande croissante d'énergie décarbonée.

La SNBC 2 vise une décarbonation quasi-complète de la production d'énergie à l'horizon 2050 (la partie résiduelle étant constituée de production de carburants fossiles destinés à l'aviation et aux transports maritimes, des fuites résiduelles, notamment des fuites de méthane, et des procédés de méthanisation ou de raffinage).

La Programmation pluriannuelle de l'énergie 3 (PPE) présente les orientations et priorités d'action des pouvoirs publics pour la gestion de l'ensemble des formes d'énergie sur le territoire de l'hexagone continental sur la période 2025 – 2030 et 2031 – 2035.

En 2050, dans la SNBC 3 la production d'énergie devra être presque totalement décarbonée : la production d'électricité décarbonée augmentera fortement pour répondre aux nouveaux besoins et remplacer la production fossile, les réseaux de chaleur se développeront massivement et seront alimentés par des énergies renouvelables et de récupération (biomasse, chaleur fatale, géothermie...), la production d'hydrogène par électrolyse s'accroîtra pour répondre aux nouvelles demandes et remplacer la production carbonée à partir de gaz naturel, et les émissions liées au raffinage résiduel seront captées. Des émissions résiduelles pourront éventuellement subsister, principalement de la valorisation énergétique de déchets fossiles.

Aussi, compte-tenu du temps caractéristique de développement des projets, ainsi que de l'augmentation des nouveaux besoins en énergie décarbonée, il est nécessaire de disposer d'une visibilité de long terme et des équilibres entre demande et capacités de production anticipées. **A cette fin, la SNBC 3 intégrera des trajectoires de développement de l'ensemble des filières énergétiques décarbonées au-delà de l'horizon de la programmation pluriannuelle de l'énergie.**

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC 3 : la production d'électricité bas-carbone

Afin de répondre à une consommation d'électricité grandissante, rendue nécessaire par notre stratégie de décarbonation, la France doit assurer le déploiement de capacités de production d'électricité décarbonée : pour cela, le choix est fait de miser à la fois sur le nucléaire et sur les renouvelables. Cette trajectoire de développement des capacités de

production électrique devra être en adéquation, temporellement et quantitativement, avec l'essor attendu de la consommation.

La Programmation pluriannuelle de l'énergie 3 (PPE) présente les objectifs de production et d'installation d'ici 2035 pour l'ensemble de ces sources nucléaires et renouvelables ainsi que les priorités d'action pour les atteindre.

Au-delà de 2035, la poursuite du fonctionnement des réacteurs nucléaires existants au-delà de 50 ans, la mise en service progressive de nouveaux réacteurs nucléaires de grande puissance et le déploiement de petits réacteurs modulaires ou innovants contribueront à renforcer significativement les capacités de production d'électricité bas-carbone, en complément de la poursuite du développement des énergies renouvelables. Un premier **programme industriel de construction de trois paires de nouveaux réacteurs EPR2** porté par EDF, successivement à Penly, Gravelines et Bugey, vise la mise en service de près de 10 GW de nouvelles capacités nucléaires entre 2038 et 2045.

Au-delà de 2035, les énergies renouvelables électriques continueront également à être développées pour augmenter la capacité de production d'électricité bas-carbone. Que ce soit pour l'éolien terrestre, l'éolien en mer ou le solaire photovoltaïque, l'installation d'énergies renouvelables sera accompagnée du développement des réseaux de transport et de distribution ainsi que des technologies de stockage, tout en prenant en compte les enjeux environnementaux de biodiversité et de paysage.

Ces objectifs permettront ainsi d'atteindre, à l'horizon 2050, un mix électrique équilibré, composé de 35% d'électricité d'origine nucléaire et 65% d'électricité d'origine renouvelable.

7) Enjeux de l'utilisation des terres, changements d'affectation de terres, foresterie pour 2050

Le secteur UTCATF **contribue de façon primordiale à l'atteinte de la neutralité en 2050**, étant un secteur permettant l'équilibre entre émissions et absorptions, et en particulier le compartiment forêt, responsable de la majeure partie des absorptions de carbone.

La SNBC 2 visait un renforcement des absorptions du secteur UTCATF permettant le stockage de 67 Mt CO₂e en 2050 (35 Mt CO₂e par la forêt, 21 Mt CO₂e par les produits bois et 11 Mt CO₂e par les autres terres). Pour le secteur forêt vois, ce renforcement se traduit notamment par un renforcement de la « pompe à carbone » en amont (plantation hors forêt) et une augmentation des effets de stockage et de substitution à l'aval via l'augmentation de la récolte

Une chute du puits de carbone rapide, notamment liée à l'augmentation de la mortalité en forêt, a néanmoins été observée ces dernières années, ce qui conduit à une division par deux du rythme d'absorption en l'espace de 10 ans. En 2022, l'absorption du secteur est de 18 MtCO₂e (Citepa, Secten 2024).

La récente étude de référence « Projections des disponibilités en bois et des stocks et flux de carbone du secteur forestier français » pilotée par l'IGN et le FCBA¹⁶ sur les projections de carbone dans la forêt et produits bois à horizon 2020-2080 montre **d'importantes incertitudes concernant les projections du puits forestier**, liées aux rythmes de mortalité et d'accroissement brut des forêts ces prochaines décennies. A politiques publiques constantes, des différences allant jusqu'à 35MtCO₂e en 2050 existent entre les scénarios les plus optimistes et pessimistes. Le scénario pessimiste met en exergue la possibilité que la forêt devienne

¹⁶ L'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et l'Institut technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement)

émettrice de carbone au regard d'une mortalité accrue, comme c'est déjà le cas pour plusieurs pays européens (Allemagne, Suisse, Finlande, etc.)

Il convient donc de **poursuivre l'action engagée pour lutter contre les effets du changement climatique afin d'établir des politiques dont les effets seront visibles à plus long terme**, car suivant le rythme lent de la croissance forestière. **Les décisions prises aujourd'hui seront donc structurantes pour le puits forestier à 2050 et a posteriori.**

Il convient dans un premier temps de continuer les efforts d'adaptation des forêts au changement climatique, afin que celles-ci soient résilientes, mais également de poursuivre l'adaptation de l'industrie de transformation du bois, notamment du bois de crise. Les actions consistant à cibler prioritairement les peuplements sinistrés, dépérissants et vulnérables ainsi que les bois de crise, et à les valoriser en produits bois, puis à planter des peuplements en choisissant des essences et des modalités visant une plus grande résilience vis-à-vis du changement climatique, s'appuyant sur les conclusions de travaux scientifiques doivent aujourd'hui être au cœur des réflexions afin d'avoir une forêt en bonne santé et séquestratrice de carbone en 2050 et au-delà. La valorisation du bois, dont le bois de crise, en visant prioritairement les usages à moyenne et longue durée de vie sera également un enjeu certain afin d'atteindre la neutralité carbone.

Focus sur une hypothèse structurante de la SNBC : un niveau de récolte répondant à différentes injonctions

Les trois hypothèses majeures concernant les modélisations du puits forestier sont **la mortalité, l'accroissement et la récolte**. Le niveau de récolte est particulièrement structurant car doit permettre de répondre à différents enjeux croisés :

- Le niveau de puits forestier : **une augmentation des prélèvements au niveau national induit de facto une baisse du puits forestier à court terme, en attendant que les nouveaux peuplements prennent le relai**. Sur l'ensemble du bois prélevé, une partie reste sur place et se décompose au cours de plusieurs années entraînant des émissions de carbone (branches et racines), une autre est transféré au sein du compartiment des produits bois (bois d'œuvre, bois d'industrie et connexes de scierie valorisés en matière), une dernière partie est valorisée en énergie entraînant directement des émissions (bois énergie, coproduits de transformation valorisés en énergie). Ainsi, malgré le passage d'une partie du carbone au sein des produits bois, le caractère durable de la récolte est essentiel afin d'éviter toute chute du puits : ce facteur est donc dimensionnant pour l'atteinte de la neutralité carbone.
- La réponse à la demande en bois matériau. Les études « Projections des disponibilités en bois et des stocks et flux de carbone du secteur forestier français » pilotées par IGN-FCBA et « Scénario de convergence de filière » pilotée par Carbone 4 montrent un potentiel d'**augmentation à terme de l'utilisation du bois matériaux de plusieurs millions de m³. Celui-ci se retrouve en particulier dans le secteur du bâtiment et de la rénovation** sous l'impulsion de la réglementation environnementale des bâtiments neufs (RE2020) : l'utilisation du bois dans la construction est particulièrement importante puisqu'elle peut permettre de décarboner le secteur en se substituant pour certains travaux au béton ou à l'acier.
- Le bouclage biomasse en matière énergétique. La majeure partie de la biomasse solide vient de la forêt, et il est nécessaire d'établir un équilibre entre l'offre - le bois dit « primaire », les connexes de scierie, les déchets et le bois hors forêt (haies) – et la demande accrue. L'objectif majeur, en lien avec la priorisation donnée aux usages de moyenne et longue durée de vie des produits bois, consiste à **respecter l'usage en cascade des bois récoltés**.

Les concertations menées dans le cadre de l'élaboration de la SNBC3 conduisent au constat partagé que **les niveaux de récolte ne pourront pas être aussi élevés que ceux ambitionnés**

dans la SNBC2 en 2050 (à hauteur de 83Mm3 contre 55Mm3 en 2021), pour les raisons évoquées précédemment, et notamment en lien avec les impacts du changement climatique.

