

Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat

Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et
Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

Direction Générale de
l'Energie et du Climat
01/01/2020

Table des matières

Principaux messages à retenir.....	2	L'économie circulaire et la prévention de la production de déchets.....	22
La neutralité carbone à l'horizon 2050	2	La valorisation quasi-complète des déchets	22
La décarbonation de l'ensemble de la production d'énergie.....	2	L'amélioration de l'efficacité des procédés de traitement.....	22
Une transition souhaitable pour les citoyens et bonne pour l'économie.....	3	Secteur de l'agriculture.....	24
Un scénario ambitieux mais raisonnable	3	Une alimentation plus saine et de qualité	24
Notice d'utilisation	4	Des pratiques agricoles plus performantes qui permettent à la production de monter en gamme	24
Rôle des scénarios décrits	4	Un secteur central dans la production d'énergie décarbonée et dans la séquestration du carbone.....	25
Méthodologie adoptée.....	5	Secteur de l'utilisation des terres et de la forêt	28
Précaution d'usage	5	La limitation de l'artificialisation des sols et l'afforestation des terres	28
Cadrage du scénario	6	Une gestion raisonnée de la forêt pour maintenir un puits de carbone à long terme et alimenter l'économie en matériaux et énergies à faible empreinte carbone.....	28
Environnement international	6	Secteur de la production d'énergie	31
Économie.....	6	La décarbonation complète du système énergétique et ses conséquences en termes de consommation d'énergie.....	31
Population	7	Une sollicitation plus poussée des ressources en biomasse.....	33
Secteur des bâtiments.....	8	Le développement raisonnable et limité des technologies de stockage de carbone	34
Construction neuve	8	Résultats du scénario.....	36
Rénovation	8	Consommations d'énergie.....	37
Sources d'énergies	9	Emissions de gaz à effet de serre.....	43
Efficacité des appareils et sobriété	9	Etude macro-économique	45
Secteur des transports	13		
Décarbonation et gains de performance énergétique des véhicules.....	13		
Maîtrise de la demande de transport, report modal et optimisation de l'usage des véhicules.....	14		
Secteur de l'industrie	18		
Une économie plus circulaire.....	18		
Une industrie plus efficace et moins émettrice	18		
Des procédés ayant recours à des sources d'énergie complètement décarbonées et à des matériaux plus respectueux de l'environnement.....	18		
Une économie compétitive	19		
Secteur des déchets	22		

Principaux messages à retenir

La neutralité carbone à l'horizon 2050

L'Accord de Paris appelle les différents états signataires à parvenir à un équilibre entre les émissions de gaz à effet de serre et les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle. Il s'agit de la « neutralité carbone » : un équilibre entre les émissions de gaz à effet de serre (qu'elles proviennent de la combustion des énergies fossiles, des procédés industriels, de l'agriculture, du traitement des déchets ou du changement d'utilisation des terres) avec les absorptions de ces mêmes gaz (qu'ils soient issus de la gestion des terres ou de certaines technologies comme la Capture et le Stockage du Carbone (CSC)).

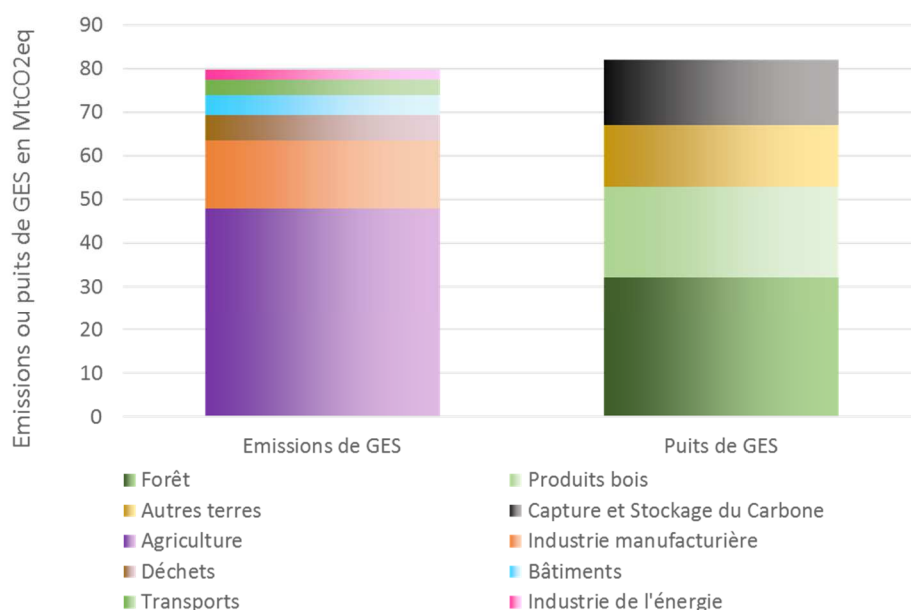
Dans son Plan Climat de juillet 2017, la France s'est engagée vers la neutralité carbone à l'horizon 2050, et cet objectif est désormais inscrit dans la loi. Il s'agit donc d'atteindre cet équilibre entre émissions et absorptions à l'échelle française sans recours à de la compensation via des crédits internationaux.

Le scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat (appelé également scénario « Avec Mesures Supplémentaires », ou scénario AMS) décrit une manière d'atteindre cet objectif de neutralité et intègre les autres objectifs énergétiques et climatiques du pays. Ce scénario cherche également à minimiser l'empreinte carbone et à diminuer la dépendance française aux ressources fossiles importées, et s'inscrit

dans une logique d'économie de plus en plus circulaire. Par ailleurs, les transports internationaux qui sont en dehors des inventaires nationaux de gaz à effet de serre sont pris en compte dans le bilan énergétique et décarbonés à hauteur de la moitié de leur consommation d'énergie en 2050.

La décarbonation de l'ensemble de la production d'énergie

A l'horizon 2050, les puits de carbone ne peuvent que compenser les émissions 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). Cela signifie que l'ensemble de l'énergie consommée et produite en France doit être décarbonée.

Pour cela, trois sources d'énergie décarbonées existent : l'électricité décarbonée, la biomasse et la chaleur renouvelable issue de l'environnement (pompes à chaleur, solaire thermique et

géothermie). Chacune d'entre elles possède un potentiel limité. Au vu du potentiel de mobilisation de la biomasse, seuls 30 % des usages totaux pourraient être satisfaits grâce à l'aide de combustibles décarbonés alors qu'aujourd'hui, près de deux tiers de la consommation d'énergie finale provient des combustibles fossiles. L'atteinte de la neutralité carbone passera donc nécessairement par une électrification importante des usages de l'énergie (transport, procédés industriels, chaleur...).

Une transition souhaitable pour les citoyens et bonne pour l'économie

Le scénario de la stratégie française pour l'énergie et le climat présente de nombreux co-bénéfices pour les citoyens : réduction des émissions de polluants, élimination de la dépendance aux importations fossiles, résilience de la forêt au changement climatique, gestion durable favorable également à la biodiversité, alimentation plus équilibrée, pratiques de consommation plus vertueuses...

L'évaluation macro-économique du scénario AMS montre un impact légèrement positif sur la croissance de l'économie nationale et sur l'emploi en comparaison d'une situation tendancielle. Par ailleurs, la facture énergétique des ménages se réduit à mesure qu'ils font la transition, c'est-à-dire qu'ils investissent dans l'efficacité énergétique et les technologies bas-carbone (rénovation thermique, véhicules électriques, pompes à chaleur, etc.). Cela permettra de réduire la précarité énergétique à terme.

Un scénario ambitieux mais raisonnable

Le scénario de la stratégie française pour l'énergie et le climat trace une voie pour atteindre la neutralité carbone à l'échelle de la France en 2050. Il s'agit donc d'un scénario très ambitieux dans ses objectifs, en cohérence avec les objectifs fixés par l'Accord de Paris.

Le scénario se veut raisonnable dans la façon d'atteindre la neutralité carbone. Il repose sur une sollicitation équilibrée des leviers de sobriété avec des besoins de la population en légère diminution dans l'ensemble des secteurs¹, associés à un changement important des modes de consommation sans perte de confort. Cela intègre en particulier un net renforcement des logiques d'économies circulaire, avec une place importante donnée à la réparation, au recyclage et au réemploi. L'efficacité énergétique est développée en mettant à profit autant que possible les technologies connues aujourd'hui. Il en résulte une forte diminution de la consommation énergétique tous secteurs confondus. La production d'énergie est quant à elle complètement décarbonée via le recours à l'électricité décarbonée, à la biomasse et à la chaleur renouvelable issue de l'environnement.

Le scénario se veut enfin réaliste. A court terme, il n'envisage pas de rupture avec la situation actuelle mais il intègre les politiques sectorielles mises en place au début du quinquennat. A moyen-terme, il les prolonge et les complète. A long-terme, il ne repose pas sur des paris technologiques majeurs, tout en recourant à un certain nombre de technologies nouvelles (capture et stockage du carbone qui n'est cependant pas utilisé massivement, procédés industriels innovants, hydrogène, stockage d'énergie...).

¹ En comparaison à un scénario tendanciel

Notice d'utilisation

Rôle des scénarios décrits

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a créé deux documents stratégiques de gouvernance de l'énergie et du climat. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) établit les priorités d'action du gouvernement en matière d'énergie en métropole continentale dans les 10 années à venir. La stratégie nationale bas carbone (SNBC) donne les orientations stratégiques pour mettre en œuvre en France la transition nécessaire au respect des objectifs relatifs à la lutte contre le changement climatique. Elle définit une trajectoire de long terme de réduction des émissions de gaz à effet de serre et fixe des budgets carbone. Les budgets carbone sont des plafonds d'émissions de gaz à effet de serre à ne pas dépasser sur des périodes de 5 ans. Le scénario de la stratégie française pour l'énergie et le climat est commun à ces deux exercices.

La DGEC réalise deux scénarios énergétiques et climatiques, l'un de type « Avec Mesures Existantes » dit AME et le second de type « Avec Mesures Supplémentaires » dit AMS. Le premier scénario vise à décrire l'effet des politiques publiques actuelles, il prend en compte l'ensemble des mesures de politique publique portées par l'État français² jusqu'à une certaine date (1^{er} juillet 2017 pour cet exercice) et décrit l'effet de ces politiques secteur par secteur en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre. Le second vise à respecter le mieux possible les objectifs que la France s'est fixée en termes d'énergie et

de climat, à court, moyen et long-terme. Il dessine une trajectoire possible de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à la neutralité carbone en 2050, objectif structurant du scénario. La voie privilégiée par l'AMS est indicative à long terme et devra faire l'objet d'améliorations successives pour être précisée. Elle vise une approche raisonnable dans l'équilibre atteint entre les différents secteurs. Le scénario AMS illustre, en particulier, d'autres voies possibles vers la neutralité en envisageant quelques variantes de scénario sur quelques points particulièrement incertains à long-terme³. Il ne s'agit donc pas d'un exercice de prévision mais bien d'un exercice de projection. Le scénario ne décrit pas ce qui se passera nécessairement mais il dresse un tableau de ce à quoi le futur pourrait ressembler si nous réalisons la transition énergétique. Il permet de comprendre quels sont les passages obligés de cette transition énergétique et écologique.

Sur la période couverte par la PPE : 2019-2028, le scénario AMS rend compte de l'évolution des consommations d'énergies et du mix énergétique qui découleront de la mise en œuvre des mesures décidées dans la PPE. Pour cette période, le scénario AMS est le scénario de référence retenu par le gouvernement pour son action publique. Il permet de s'assurer que les choix réalisés dans le cadre de la PPE sont cohérents avec la trajectoire envisagée à long-terme.

Les scénarios AME et AMS sont également utilisés pour répondre aux différents exercices de rapportage que la France doit réaliser dans le cadre de ses engagements auprès de la Commission Européenne et de la Convention-cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC).

² Y compris quand elles découlent de la législation européenne

³ De nombreux chocs potentiels, de natures différentes, pourraient engendrer des écarts notables à la trajectoire considérée dans le scénario : chocs

économiques, technologiques, sociaux ou encore géopolitiques.

Méthodologie adoptée

Le scénario AMS est d'abord basé sur une réflexion en amont sur la neutralité carbone. Il s'agit de dessiner une première image de la France pouvant être neutre carbone à l'horizon 2050. Cette première image permet de donner une idée des cibles à atteindre dans les différents secteurs de l'économie en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre à long-terme. Ce travail a par exemple mis en lumière que le secteur agricole ne pouvait être totalement décarboné mais qu'au contraire, l'ensemble de la consommation d'énergie devait être décarbonée afin d'atteindre la neutralité carbone (à l'exception des transports aériens et maritimes).

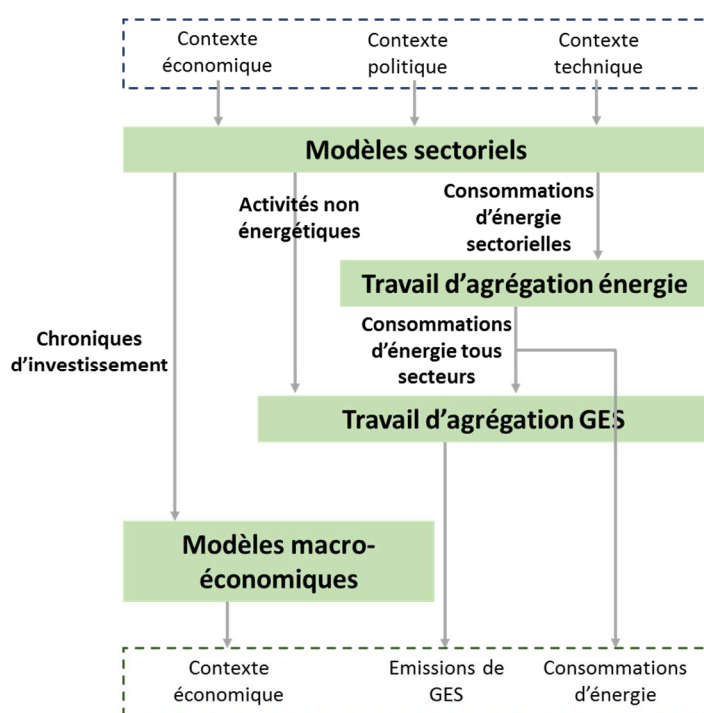
Le travail de scénarisation repose ensuite sur un ensemble de modélisations sectorielles technico-économiques réalisés notamment par l'Ademe et le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)⁴. Ces modèles prennent en entrée des données de cadrage macro-économique (démographie, croissance économique, prix des énergies...), des données sur l'évolution des coûts et des performances des technologies ainsi que des données associées aux choix de politiques publiques. Ils permettent d'estimer certaines données d'activité sectorielles comme par exemple le trafic, le nombre de rénovations, la taille des cheptels ou les consommations d'énergie. Les modèles sont utilisés de façon à comprendre quels types de politique publique permettraient d'atteindre les cibles sectorielles définies par la réflexion amont. Au même titre que les discussions avec les parties prenantes, l'exercice de modélisation nourrit la réflexion et permet de modifier l'image initialement dessinée par la réflexion amont.

⁴ L'Ademe a réalisé les modélisations concernant les secteurs résidentiel (MENFIS) et agricole (Clim'agri en partenariat avec le Ministère de l'Agriculture et de

Un exercice particulier est mené pour les modélisations des territoires ultra-marins afin de prendre en compte leurs principales particularités.

Finalement, les résultats des modélisations sectorielles sont agrégés (travail réalisé par Enerdata et le CITEPA) afin de calculer l'ensemble des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire national.

En fin de parcours, des modélisations macro-économiques et socio-économiques ont été réalisés par l'Ademe, le CGDD et le Cired afin d'évaluer les impacts du scénario notamment sur la facture des ménages, l'emploi et le PIB.



Précaution d'usage

Le scénario aborde un très large spectre de sujets. Les hypothèses de modélisations retenues sont issues de travaux d'experts qui, comme toutes hypothèses, sont sujettes à discussion. A l'horizon 2050, le scénario doit être regardé dans la vision

(l'Alimentation). Le CGDD a réalisé les modélisations des secteurs transports (Modev), secteur tertiaire (modèle tertiaire).

d'ensemble qu'il procure et dans ses grands enseignements. L'importance ne réside pas dans la précision de chacun des chiffres.

Ce scénario a vocation à être actualisé tous les 5 ans, dans le cadre de la révision des programmations nationales, ce qui permettra de prendre en compte les évolutions constatées et d'affiner certains points identifiés.

Enfin, les émissions historiques de gaz à effet de serre prises en compte sont issues de l'inventaire national disponible en 2018, au moment de la réalisation des principaux travaux concernant le scénario. Certains chiffres sont donc susceptibles d'avoir été actualisés par les inventaires plus récents.

les différents secteurs de l'économie sont ainsi pris en compte (réduction des besoins en chauffage dans les bâtiments car la température moyenne augmente, réduction des rendements agricoles car les événements climatiques extrêmes se font plus nombreux...).

Des mesures aux frontières sont également mises en place afin de s'assurer que les concurrents internationaux jouissent des mêmes règles que les producteurs locaux. Celles-ci permettent de s'assurer que l'investissement dans les technologies bas-carbone ou les changements des modes de production, qui sont bénéfiques à moyen et long-terme, ne nuisent pas à la compétitivité de court-terme de notre économie.

Économie

Cadrage du scénario

Environnement international

Si la France se positionne en leader de l'action climatique avec l'objectif d'atteinte de la neutralité carbone dès 2050, elle pourra difficilement y arriver sans actions de la part des autres pays. Le scénario AMS suppose un contexte international favorable dans lequel les autres pays se mobilisent afin d'atténuer le changement climatique et respecter l'Accord de Paris. Cela suppose en particulier que les pays aillent plus loin que leurs contributions déterminées à l'échelle nationale (NDC) déjà transmises, et qu'en particulier chacun vise des objectifs très ambitieux à long-terme.

Les efforts réalisés à l'échelle de la planète permettent de maintenir le réchauffement global en dessous du seuil de 2°C, en ligne avec l'Accord de Paris. Certains impacts du changement climatique à ce niveau sur

La transition écologique telle que présentée dans le scénario AMS a un impact positif pour l'économie. L'économie continue de croître à des rythmes similaires à aujourd'hui. L'activité augmente dans certains secteurs, notamment dans celui de la rénovation. Dans certains autres secteurs, comme l'industrie il n'est pas incompatible avec une hausse de l'activité. Le nombre d'emplois augmente également légèrement par rapport à une trajectoire tendancielle.

Dans les hypothèses prises, les prix des énergies fossiles augmentent avec le temps. Le prix du baril de Brent dépasse durablement les 100€ courants vers 2025. Par ailleurs, le prix des quotas sur le marché européen ETS⁵ augmente également. En revanche, il n'a pas été pris en compte d'augmentation de la composante carbone des taxes énergétiques, qui reste à son niveau actuel de 44,6 €/tCO₂. Un signal prix sur le carbone en cohérence avec le rapport Valeur de l'action pour le

⁵ European Trading Scheme ou Système Communautaire d'Echanges de Quotas d'Emissions

climat de la commission Quinet a cependant été pris en compte dans les différents modèles pour simuler les différentes mesures nécessaires à l'atteinte des objectifs de long terme⁶.

Population

La population française augmente légèrement, selon le scénario central de l'INSEE. Le nombre d'habitants augmente d'environ 0,3 % par an pour atteindre près de 72 millions en 2050. La taille des ménages diminue également avec une baisse du nombre de personnes par ménage de 0,3 % par an.

Avec la hausse des impacts du changement climatique, les citoyens prennent de plus en plus conscience des conséquences de ce phénomène et adaptent progressivement leurs comportements. Les villes évoluent, elles sont mieux adaptées aux évolutions du climat et permettent ainsi de limiter la consommation d'espaces et l'étalement urbain. Les températures de chauffage sont mieux maîtrisées et réduites lorsque cela est possible, la consommation s'oriente vers des objets éco-conçus, ayant des durées de vie plus longues et/ou consommant moins de ressources.

⁶ La valeur de l'action pour le climat, peut s'interpréter comme le signal prix résultant de l'ensemble des mesures supplémentaires nécessaires à l'atteinte des

objectifs climatiques.
https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-l'action-pour-le-climat_0.pdf

Secteur des bâtiments

47% de la consommation d'énergie finale française en 2015

20% des émissions de GES françaises en 2015

Construction neuve

Le rythme de construction neuve diminue au cours de la période que ce soit dans le secteur résidentiel ou tertiaire. Dans le cas du résidentiel, ce rythme passe de 324 000 en 2016 à 205 000 en 2050 à cause d'un ralentissement de la hausse démographique, et ce malgré une décohabitation progressive. Les nouvelles constructions se tournent de plus en plus vers des immeubles collectifs. La part de logements collectifs dans les constructions neuves (par opposition aux maisons individuelles) représenterait en effet 75 % en 2050 contre 61 % en 2015. Dans le tertiaire, ce rythme passe de 10 Mm² en 2015 à 7 Mm² en 2050. Le ralentissement démographique joue également un rôle important tout comme la rationalisation des surfaces par les entreprises. Ces constructions neuves s'intègrent dans un schéma d'urbanisme plus respectueux du climat. Cela permet notamment de lutter contre l'artificialisation des sols ou de réduire les distances de transports.

La réglementation environnementale des bâtiments neufs évolue entre 2015 et 2050, en augmentant progressivement le niveau d'exigence. A partir de 2020, elle inclut un critère sur les émissions de gaz à effet de serre en cycle de vie qui est renforcé au

cours du temps, ce qui permet de favoriser les solutions de chauffage décarbonées ainsi que des matériaux de construction à faible empreinte carbone voire permettant de stocker du carbone comme le bois. Elle traite également des problèmes de confort d'été, ce qui permet de diminuer le besoin en climatisation⁷.

A l'horizon 2050, près d'un tiers du parc de bâtiments est constitué de bâtiments construits après 2015. Une action d'envergure est donc également nécessaire sur le parc existant.

Rénovation

La rénovation thermique est un levier indispensable de la transition énergétique puisqu'elle permet de réduire de manière importante la consommation d'énergie des bâtiments existants. Le scénario AMS repose donc sur la rénovation d'une grande partie du parc de bâtiments d'ici à 2050. Le rythme de rénovation augmente progressivement. Dans le résidentiel, il atteint environ 370 000 rénovations complètes équivalentes⁸ en moyenne sur la période 2015-2030 (soit environ 1 200 000 gestes de rénovation⁹ par an) puis augmente encore pour atteindre un rythme environ deux fois plus important entre 2030 et 2050. Dans le tertiaire, des trajectoires de rénovation similaire sont imaginées avec un rythme de rénovation du parc tertiaire de 3% en moyenne entre 2015 et 2050.

Cela nécessite un changement d'échelle progressif dans les politiques de soutien à la rénovation des bâtiments afin d'assurer les investissements nécessaires et de structurer la filière professionnelle.

⁷ Le scénario inclut une hausse des températures globales de 2°C d'ici la fin du siècle, ce qui affecte les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation.

⁸ Le gain énergétique réalisé lors d'une rénovation complète équivalente correspond au gain réalisé lors de la rénovation de l'ensemble d'un bâtiment à un

niveau performant, et dépend donc de l'état initial du bâtiment. Le scénario ne suppose pas de répartition entre rénovations par étapes ou rénovations en une fois. Cet objectif est globalement cohérent avec l'objectif de 500 000 rénovations du plan rénovation.

⁹ Le nombre de gestes de rénovation indiqué inclut l'ensemble des gestes réalisés sur les parois opaques (murs, toitures...) mais pas les gestes sur les fenêtres.

Sources d'énergies

Le chauffage voit son mix énergétique changer de manière importante. Si le chauffage repose aujourd'hui majoritairement sur les énergies fossiles, le scénario AMS envisage une sortie du charbon puis du fioul. L'accent est mis sur les technologies pouvant extraire une partie de l'énergie de chauffage de l'environnement, en particulier les pompes à chaleur. En 2050, les zones urbaines denses auront très souvent recours aux réseaux de chaleur, les maisons individuelles aux pompes à chaleur. Cela n'empêche pas certains bâtiments d'utiliser de la biomasse voire du gaz renouvelable comme source de chauffage mais la contrainte sur la disponibilité des ressources en biomasse impose d'en limiter l'usage dans les bâtiments.

De la même manière, les autres usages des bâtiments voient leur consommation en combustibles diminuer au profit de l'électricité et de la chaleur issue de l'environnement. L'eau chaude sanitaire se tourne vers les chauffe-eau thermodynamiques ou les technologies de solaire thermique, la climatisation vers les pompes à chaleur double usage, la cuisson vers l'électricité.

Efficacité des appareils et sobriété

Dans l'ensemble des usages, les appareils les plus performants en termes d'efficacité sont utilisés de manière systématique. Par

exemple, pour l'éclairage, les LED prennent petit à petit 100 % des parts de marché, réduisant drastiquement les consommations d'énergie sur ce poste. Pour les autres appareils, les gains d'efficacité suivent les améliorations envisagées dans la directive européenne eco-design puis s'améliorent encore à plus long-terme. En fonction des appareils, on observe des gains de consommation unitaire allant de 15% à 60% entre aujourd'hui et 2050.

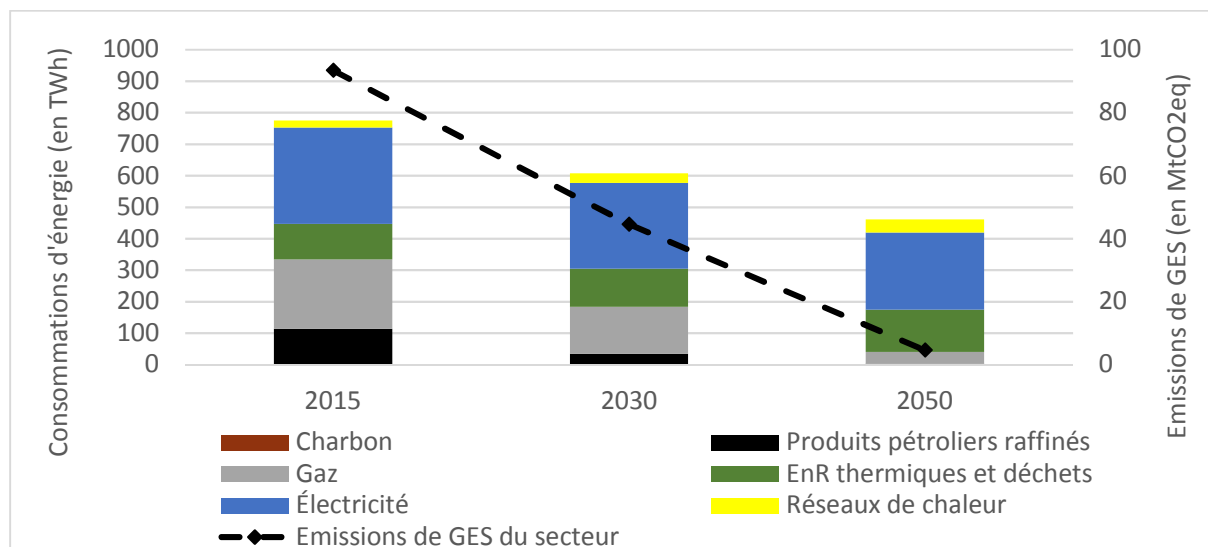
Dans le même temps, la mise en place de technologies intelligentes de gestion de l'énergie permet de lisser les consommations énergétiques des bâtiments et dans une moindre mesure de baisser les consommations. L'utilisation de technologies sobres est encouragée comme les mitigeurs à faible consommation d'eau.

Le scénario repose également sur un changement des comportements. La température de chauffage est abaissée de 1°C en moyenne dans l'ensemble des bâtiments, via un changement volontaire des citoyens ou des mesures comme l'individualisation des frais de chauffage. De nouveaux usages pour l'électricité apparaissent mais la consommation d'électricité spécifique n'augmente pas au total.

49% de la consommation d'énergie finale française en 2050

6% des émissions de GES françaises en 2050

Consommation d'énergie et émissions de GES des bâtiments en 2015, 2030 et 2050



Parts de marché des énergies dans la consommation des bâtiments en 2015, 2030 et 2050

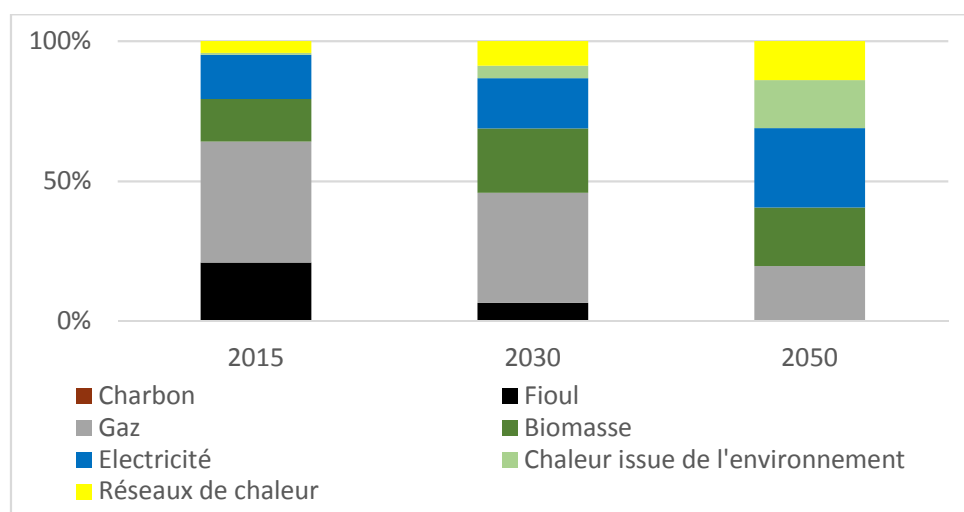
	Charbon	Produits pétroliers raffinés	Gaz	EnR thermiques et déchets	Électricité	Réseaux de chaleur
2015	0%	15%	28%	15%	39%	3%
2030	0%	6%	25%	20%	45%	5%
2050	0%	1%	8%	29%	53%	9%

Consommation d'énergie par usage dans le résidentiel et le tertiaire en 2015, 2030 et 2050 (en TWh)¹⁰

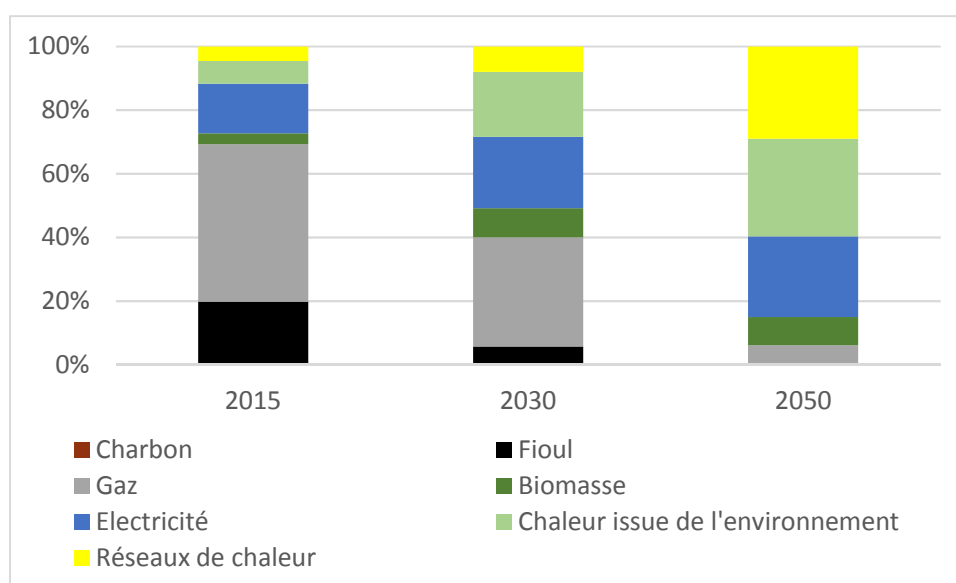
	Résidentiel			Tertiaire		
	2015	2030	2050	2015	2030	2050
Chauffage	322	262	155	114	77	53
Eau chaude	52	38	36	23	23	16
Cuisson	31	31	28	14	15	14
Electricité spécifique	72	57	53	98	84	71
Climatisation	1	1	3	6	6	6
Corrections post-modèles	13	-10	18	29	22	7
Total	490	379	293	285	228	168

¹⁰ Les résultats des modélisations sectorielles fines sur les secteurs résidentiel et tertiaire ne permettent pas de retrouver exactement les consommations d'énergie en 2015 présentée dans le bilan de l'énergie du SDES. Des corrections post-modèles ont donc été intégrées afin de rendre compte du bon volume total de demande d'énergie. Ces corrections ne peuvent cependant pas être attribuées à un usage précis.

Mix de chauffage dans le résidentiel en 2015, 2030 et 2050¹¹



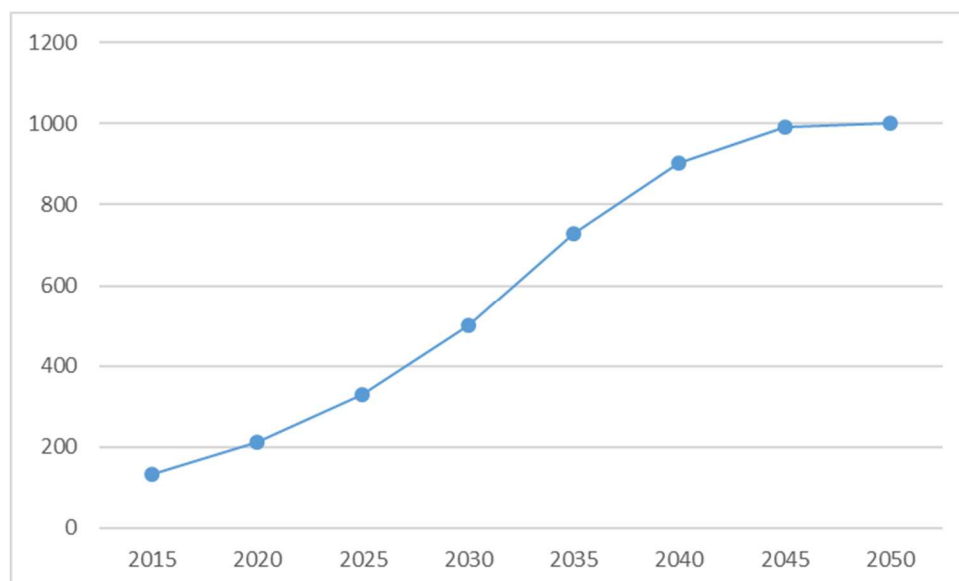
Mix de chauffage dans le tertiaire en 2015, 2030 et 2050¹²



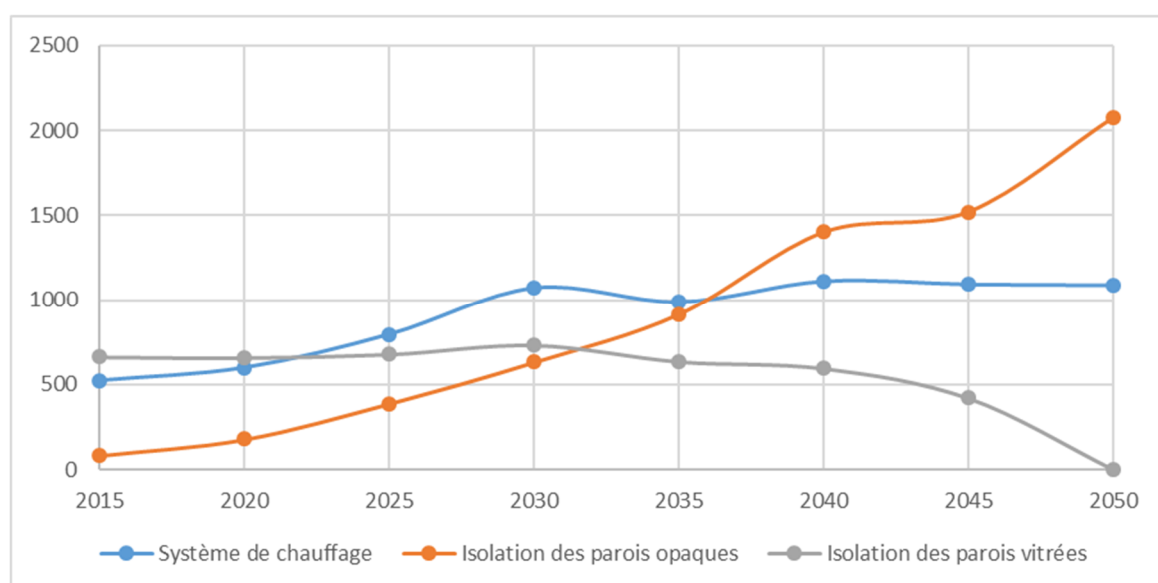
¹¹ Les pompes à chaleur sont reventilées entre électricité, gaz et chaleur issue de l'environnement

¹² idem

Evolution du nombre de rénovations complètes équivalentes dans le résidentiel entre 2015 et 2050 (en milliers)¹³



Evolution du nombre de gestes de rénovations par type de geste de rénovation entre 2015 et 2050 dans le résidentiel (en milliers)¹⁴



¹³ Le nombre de rénovations complètes équivalentes est obtenu en divisant la quantité totale de gain énergétique sur l'ensemble des rénovations énergétiques sur une année par le gain unitaire moyen d'une rénovation complète estimé ici à 250 kWh EF/m²/an. NB : les gains énergétiques associés à chaque geste sont établis à partir du niveau de performance du parc en entrée de scénario (2015) et sont exprimés en consommation énergétique conventionnelle. Ces gains servent donc ici uniquement de métrique pour comparer les gestes de rénovation et ne peuvent en aucun cas être comparés aux gains énergétiques réalisés sur une année donnée.

¹⁴ Seuls les gestes générant un écart minimal de performance avant/après travaux sont comptabilisés, ce qui explique notamment la chute du nombre de travaux d'isolation des parois vitrées en fin de période, en raison d'un niveau élevé de performance atteint sur le parc des parois vitrées.

Secteur des transports

31% de la consommation d'énergie finale française en 2015

29% des émissions de GES françaises en 2015

L'objectif de neutralité à horizon 2050 implique une décarbonation quasi complète du secteur des transports, soit par passage à des motorisations électriques ou à hydrogène, soit par passage aux biocarburants et au biogaz. Une part de carburants fossiles demeure encore utilisée à l'horizon 2050 pour les transports aériens domestiques et internationaux et les soutes maritimes internationales, ce qui explique que la décarbonation du secteur ne soit que quasi-complète.

Le scénario mobilise l'ensemble des cinq leviers suivants : décarbonation de l'énergie consommée par les véhicules, performance énergétique des véhicules afin de limiter les consommations énergétiques, maîtrise de la croissance de la demande, report modal et optimisation de l'utilisation des véhicules pour le transport de voyageurs comme de marchandises.

Décarbonation et gains de performance énergétique des véhicules

L'électrification, environ trois fois plus efficace que les solutions thermiques en termes de rendements énergétiques du véhicule, est privilégiée à long-terme, notamment pour les véhicules particuliers. Cette électrification se développe de manière ambitieuse puisqu'elle suppose une multiplication par 5 des ventes de véhicules électriques d'ici 2022

(correspondant à l'engagement du Contrat stratégique de la filière Automobile 2018-2022) puis l'atteinte en 2030 d'une part de 35 % de voitures particulières électriques et de 10 % de voitures particulières hybrides rechargeables dans les ventes de véhicules neufs. Dès 2040, près de 100 % des véhicules particuliers neufs vendus n'émettent pas de gaz à effet de serre.

Des efforts importants sont également réalisés concernant l'efficacité des véhicules, en particulier les véhicules thermiques. Le scénario vise notamment un niveau de 4L/100km en conditions réelles dans les ventes en 2030. Les véhicules électriques neufs atteignent quant à eux un niveau de 12,5 kWh/100 km à l'horizon 2050 (environ 40 % de consommation en moins par rapport à aujourd'hui).

Un mix plus équilibré (gaz renouvelable, électricité, biocarburants) est recherché pour le transport de marchandises du fait de contraintes plus importantes sur les motorisations associées à ce type de transport. L'électrification se diffuse plus lentement que pour les véhicules particuliers.

D'importants efforts d'efficacité énergétique sont également réalisés pour les poids lourds : en fonction du type de motorisation, des gains de consommation unitaire entre 35 et 40 % sont obtenus à l'horizon 2050 par rapport à aujourd'hui.

Dans le scénario, les gains d'efficacité énergétiques et la décarbonation concernent l'ensemble des modes de transport. Le scénario prévoit notamment un développement progressif des biocarburants dans l'aviation jusqu'à atteindre 50 % à horizon 2050. Le transport maritime et fluvial est entièrement décarboné pour les émissions domestiques à horizon 2050 et décarboné à 50 % pour les soutes internationales.

Maîtrise de la demande de transport, report modal et optimisation de l'usage des véhicules

Le scénario fait l'hypothèse d'une demande de mobilité croissante mais qui se découple progressivement de la croissance économique. Cela mène à une maîtrise de la hausse du trafic à la fois pour le transport de personnes et pour le transport de marchandises, grâce au report modal vers les mobilités actives, les transports collectifs et les transports massifiés ou grâce à l'optimisation de l'usage des véhicules.

Le trafic de voyageurs tous modes confondus augmente de 26 % entre 2015 et 2050 mais de manière plus modérée que dans un scénario tendanciel notamment grâce au développement du télétravail et à la limitation de l'étalement urbain. Le report modal est encouragé. Par exemple, la part modale du vélo est multipliée par 4 dès 2030. Les transports collectifs se développent fortement avec une progression de leur part modale de 7 points d'ici 2050, de même que les mobilités

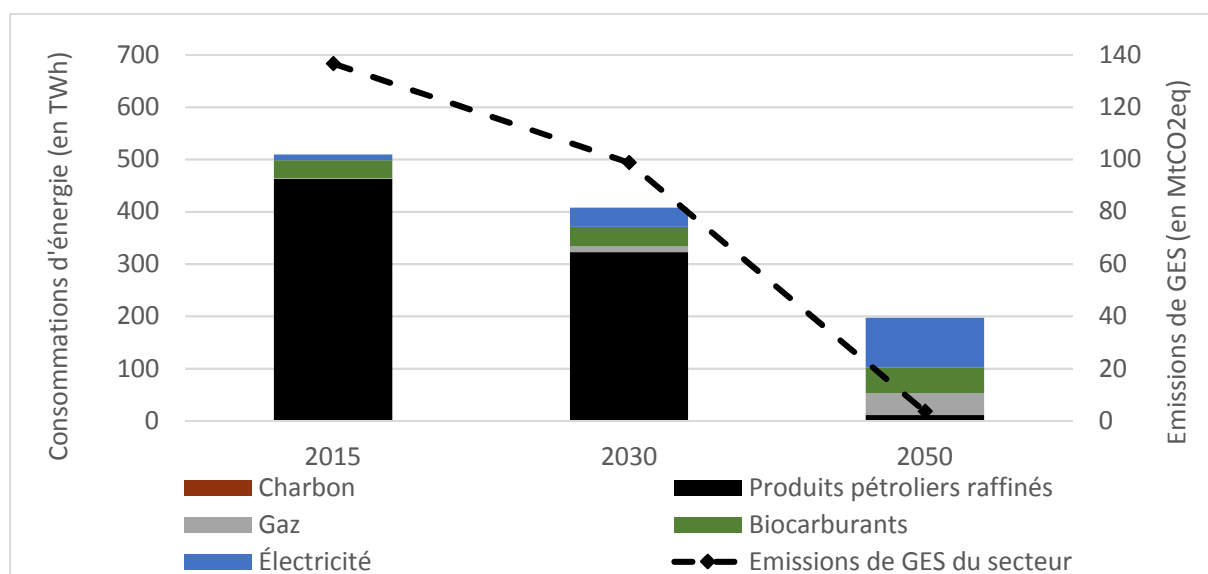
partagées et le covoiturage. Si la mobilité totale continue à croître, la hausse du trafic des voitures particulières en termes de voyageurs-kilomètres est limitée à 12 % entre 2015 et 2050. En termes de véhicules-kilomètres, le trafic diminue de 2 % entre 2015 et 2050, notamment grâce à la hausse du taux d'occupation des véhicules.

Le trafic de marchandises en tonnes-km croît de 40 % entre 2015 et 2050, mais de manière plus limitée que dans un scénario tendanciel grâce au développement de l'économie circulaire et des circuits courts. Le fret ferroviaire et fluvial se développent également avec une part modale qui reste stable entre aujourd'hui et 2050. Le taux de chargement des poids lourds augmente de 9,8 à 12 tonnes par véhicules. La croissance du trafic poids lourds est ainsi contenue à 12 % d'ici à 2050.

21% de la consommation d'énergie finale française en 2050

5% des émissions de GES françaises en 2050

Consommation d'énergie et émissions de GES des transports en 2015, 2030 et 2050



Trafics passagers en 2015, 2030 et 2050 (en Milliards de passagers.km) et parts modales en 2015, 2030 et 2050

	2015	2030	2050	2015	2030	2050
Véhicules particuliers	723	738	812	78,6%	73,9%	70,2%
Transports collectifs terrestres	163	204	281	17,7%	20,4%	24,3%
<i>dont transports ferrés</i>	105	133	188	11,4%	13,3%	16,2%
<i>dont transports routiers</i>	58	71	94	6,3%	7,1%	8,1%
Aérien	14	16	16	1,5%	1,6%	1,4%
Deux roues motorisés	14	14	14	1,5%	1,4%	1,2%
Vélo	5	26	34	0,6%	2,6%	3,0%
Total	920	998	1157	100%	100%	100%

Trafics marchandises en 2015, 2030 et 2050 (en Milliards de tonnes.km) et parts modales en 2015, 2030 et 2050

	2015	2030	2050	2015	2030	2050
Routier (PL>3,5 tonnes)	258	301	358	86,1%	86,2%	85,3%
Ferroviaire	34	40	52	11,4%	11,4%	12,4%
Fluvial	7	8	10	2,4%	2,4%	2,4%
Total	300	350	420	100%	100%	100%

Taux d'occupation des véhicules en 2015, 2030 et 2050

	2015	2030	2050
Taux d'occupation des voitures (passagers/véhicule)	1,63	1,7	1,88
Taux de chargement des poids lourds (tonne/véhicule)	9,75	10,5	12,1

Bilan de la circulation (en Milliards de véhicules.km) en 2015, 2030 et 2050

	2015	2030	2050
Voitures	443	432	432
Poids lourds	26,5	28,7	29,6
Véhicules utilitaires légers	97,5	106,6	116,2
Autobus et autocars	3,7	4,7	6

Taux d'incorporation des biocarburants en 2015, 2030 et 2050

	2015	2030	2050
Essence	7,3%	11,7%	100,0%
Gazole	7,4%	12,0%	100,0%
Kérosène	0,0%	4,0%	50,0%
GNV	0,0%	10,0%	100,0%

Parts de marché des énergies dans les ventes de véhicules neufs

	2015	2030	2050
Voitures			
Thermiques essence ou diesel	99%	54%	0%
Electriques	1%	35%	100%
Hybrides rechargeables	0%	11%	0%
Poids lourds			
Thermiques diesel	100%	67%	10%
GNV	0%	25%	60%
Electriques (y compris hydrogène)	0%	8%	30%
Véhicules utilitaires légers			
Thermiques diesel	99%	62%	10%
GNV	0%	4%	10%
Electriques	1%	34%	80%

Parts de marché des énergies dans le parc roulant de véhicules¹⁵

	2015	2030	2050
Voitures			
Thermiques essence ou diesel	100%	76%	5%
Electriques	0%	16%	94%
Hybrides rechargeables	0%	8%	1%
Poids lourds			
Thermiques diesel	100%	86%	24%
GNV	0%	12%	51%
Electriques (y compris hydrogène)	0%	2%	25%
Véhicules utilitaires légers			
Thermiques diesel	99%	87%	23%
GNV	0%	2%	9%
Electriques	1%	11%	68%

¹⁵ Les évolutions du parc roulant tiennent compte du temps de diffusion des nouvelles motorisations dans l'ensemble du parc

Consommation des véhicules neufs en 2015, 2030 et 2050¹⁶

	2015	2030	2050
Voitures			
Thermiques essence ou diesel (L/100km)	5,7	4	2
Electriques (kWh/100km)	17,8	15,7	12,5
Poids lourds			
Thermiques diesel (L/100km)	33	25,8	20
GNV (kg/100km)	27	21	14,5
Electriques (kWh/100km)	197	163	118
Véhicules utilitaires légers			
Thermiques diesel (L/100km)	8,6	5,4	2,7
GNV (kg/100km)	6,1	3,9	1,9
Electriques (kWh/100km)	24	21,2	16,9

Consommation du parc roulant en 2015, 2030 et 2050¹⁷

	2015	2030	2050
Voitures			
Thermiques essence ou diesel (L/100km)	6,8	5,0	3,3
Electriques (kWh/100km)	17,8	16,3	13,6
Poids lourds			
Thermiques diesel (L/100km)	33,9	29,4	21
GNV (kg/100km)	27,0	22,4	15,1
Electriques (kWh/100km)	197	168	126
Véhicules utilitaires légers			
Thermiques diesel (L/100km)	8,9	7,3	3,9
GNV (kg/100km)	6,3	5,2	2,6
Electriques (kWh/100km)	24,0	22,8	18,5

¹⁶ Il faut remarquer qu'en 2050, il n'y a plus de véhicules thermiques vendus. La consommation des véhicules thermiques neufs pour 2050 n'est donc qu'indicative.

¹⁷ Les évolutions des consommations du parc roulant tiennent compte du temps de diffusion des modèles plus performants dans l'ensemble du parc

Secteur de l'industrie

19% de la consommation d'énergie finale française en 2015

18% des émissions de GES françaises en 2015

Une économie plus circulaire

Le scénario AMS repose sur une consommation plus durable de la part de l'ensemble des citoyens. Cela passe notamment par un recours à des produits ayant des durées de vie plus longues, qui sont plus faciles à réparer ou qui utilisent des matériaux nécessitant moins d'énergie à produire. Cette consommation plus durable n'empêche pas l'activité industrielle de prospérer. L'activité de recyclage augmente de manière très importante, en particulier, pour l'acier, l'aluminium, le papier, les plastiques et le verre. Il s'agit d'un levier crucial de la transition envisagée.

La production industrielle est modélisée selon deux types d'industrie. D'un côté, les Industries Grandes Consommatrices d'Énergie (IGCE) regroupent un certain nombre d'industries intensives en énergie¹⁸. Ces industries présentent une production quasiment constante sur l'ensemble de la période 2015-2050 traduisant une très légère baisse du besoin par habitant¹⁹. De l'autre, les industries dites diffuses voient le besoin par habitant augmenter avec la croissance économique. La croissance de la valeur ajoutée industrielle se situe à environ 1,3 %/an entre 2015 et 2050. Cela traduit une hausse de l'activité industrielle nationale malgré une légère tertiarisation de l'économie dans le scénario principal,

qui peut notamment correspondre à une relocalisation d'une partie de la production.

Une industrie plus efficace et moins émettrice

Le scénario AMS considère que les procédés industriels s'améliorent et sont parfois profondément modifiés. Les gains d'efficacité énergétique atteignent entre 20 et 40 % entre 2015 et 2050 en fonction des potentiels des filières. Une quantité significative de chaleur fatale (15 TWh) est valorisée par injection dans les réseaux de chaleur ou vente à des industries proches et demandeuses.

Les émissions non-énergétiques dus à certains procédés industriels diminuent de 60 % par rapport à 2015. Des gains importants sont réalisés notamment pour la production de *clinker*²⁰ avec le recours systématique à des ciments moins émetteurs, pour la production d'hydrogène et d'ammoniac, et surtout dans le recours aux gaz fluorés qui sont progressivement remplacés par des fluides à bas pouvoir radiatif global comme le CO₂.

Des procédés ayant recours à des sources d'énergie complètement décarbonées et à des matériaux plus respectueux de l'environnement

La décarbonation complète des consommations d'énergie touche également le secteur industriel. En 2050, un taux d'électrification de 70 % des consommations du secteur est atteint. Cela signifie que de nombreux procédés, y

¹⁸ Sidérurgie, Aluminium, Ethylène, Chlore, Ammoniac, Verre, Clinker, Papier, Sucre

¹⁹ Des études à venir devraient permettre de parfaire la vision sur les besoins en matériaux intensifs en énergie dans une France bas carbone.

²⁰ Principal constituant des ciments, produit à base de calcaire et d'argile

compris thermiques, sont électrifiés. Le reste du mix est assuré par de la biomasse solide, du gaz renouvelable, voire des biocarburants. Cela sert notamment pour des procédés spécifiques ayant des particularités expliquant que l'électricité ne puisse être utilisée systématiquement.

Pour la production de matériaux, l'industrie française se détourne progressivement des énergies fossiles. Certaines productions résiduelles sont toujours assurées par des produits pétroliers ou du gaz naturel. Cependant, la majeure partie des consommations non-énergétiques sont désormais assurées par l'hydrogène décarboné produit à partir d'électrolyse ou par des ressources en biomasse. La bioéconomie (bois dans la construction, chimie biosourcée...) se développe de manière importante. L'économie circulaire permet de réduire le besoin en matériaux particuliers, notamment grâce au recyclage.

Une économie compétitive

Ces modifications structurelles de l'appareil productif industriel sont importantes et pourraient mettre en danger la compétitivité de l'industrie française. Cependant, d'une part ces modifications nécessaires pour avancer dans la transition fourniront à terme un avantage compétitif aux industriels français face à leurs concurrents qui n'auront pas encore fait la transition. D'autre part, cette transition sera accompagnée par les pouvoirs publics. Par exemple, l'innovation sera soutenue sur de nombreuses applications clés de la transition. Il est également envisagé, dans le scénario AMS, de mettre progressivement en place des mécanismes d'inclusion carbone aux frontières afin de s'assurer que l'ensemble de la

consommation nationale respecte un certain nombre de standard, en particulier en termes d'empreinte carbone.

Le scénario AMS prévoit une augmentation substantielle de la production industrielle nationale, permettant d'augmenter le nombre d'emplois industriels à terme. Cette action participe à la réduction de l'empreinte carbone du pays. Une variante de scénario envisageant une réindustrialisation plus poussée du pays a été étudiée.

Variante réindustrialisation

Le scénario initial suppose une augmentation de la valeur ajoutée industrielle. Cependant, la part de l'industrie dans le PIB diminuerait légèrement de 11% en 2015 à 10% en 2050. La variante réindustrialisation du scénario étudie le cas de figure où la part de l'industrie dans le PIB passerait à 16% en 2050.

Dans ce cas précis, les consommations d'énergie augmenteraient de 30TWh de ressources en biomasse ou de gaz naturel et de 60TWh d'électricité. Une évaluation sommaire indique que l'empreinte carbone des Français pourrait diminuer de l'ordre de 3 à 10% en 2050 grâce à cette réindustrialisation par rapport au scénario de référence²¹. Les résultats dépendent des actions menées par les autres pays en matière de lutte contre le changement climatique et des types de biens dont la production est relocalisée en France.

26% de la consommation d'énergie finale française en 2050

20% des émissions de GES françaises en 2050

²¹ Les travaux menés dans le cadre de ces scénarios n'ont pas permis d'arriver à une quantification précise de l'empreinte carbone des Français à l'horizon 2050. Des projections sur l'intensité carbone des autres pays, sur le contenu précis de la balance commerciale et sur la nature des activités développées en France

doivent être réalisées, ce qui n'a pu être le cas ici. L'ordre de grandeur de l'empreinte carbone des Français à l'horizon 2050 se situerait entre 1 et 2MtCO₂eq (en émissions brutes annuelles, contre environ 11MtCO₂eq aujourd'hui).

Consommation d'énergie et émissions de GES de l'industrie en 2015, 2030 et 2050

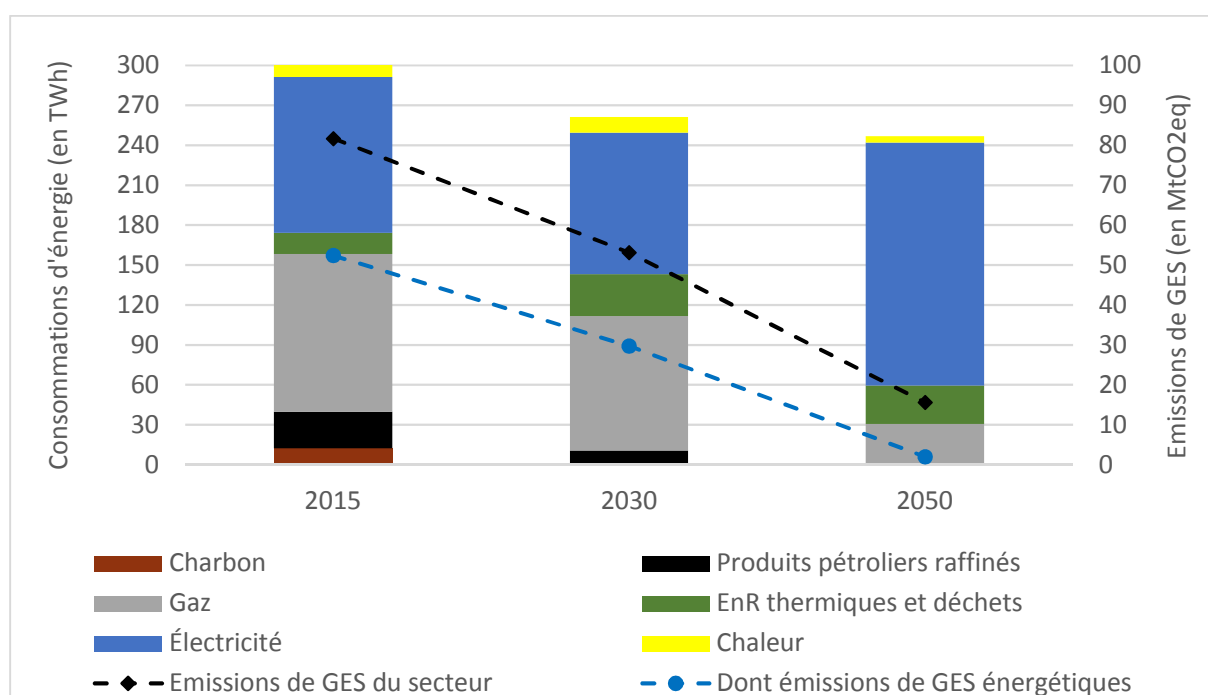


Tableau des parts de marché des énergies dans l'industrie en 2015, 2030 et 2050

	Charbon	Produits pétroliers raffinés	Gaz	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur	Demande totale (TWh)
2015	4%	9%	39%	5%	38%	4%	305
2030	0%	4%	39%	12%	41%	4%	261
2050	0%	0%	12%	12%	74%	2%	247

Tableau des consommations d'énergie (en TWh) et des taux d'électrification par filière en 2015, 2030 et 2050²²

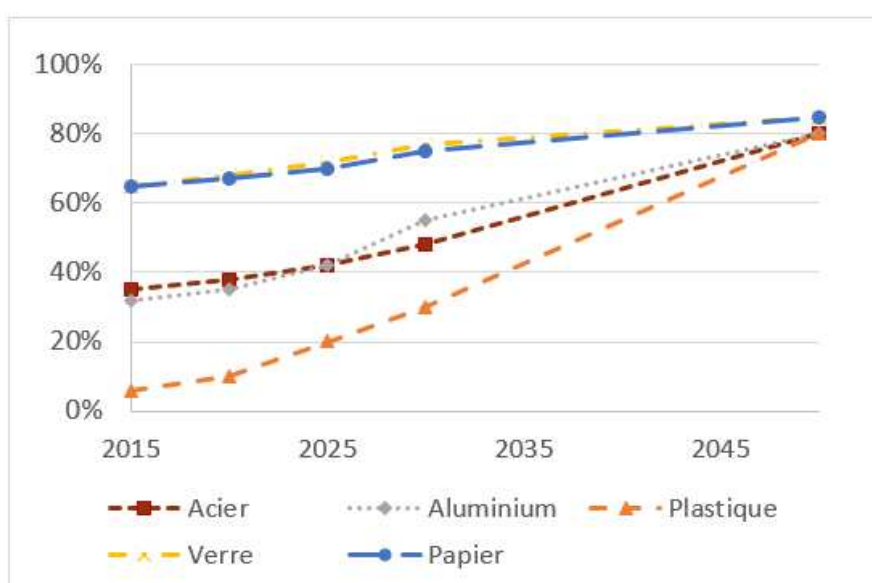
	Consommations d'énergie			Taux d'électrification		
	2015	2030	2050	2015	2030	2050
Métaux Primaires	60	47	27	28%	35%	60%
Chimie	101	85	62	30%	35%	66%
Non métalliques	40	41	41	23%	26%	61%
Agroalimentaire	68	59	52	30%	33%	69%
Équipement	45	43	44	51%	55%	95%
Autres	56	45	35	28%	30%	58%
Corrections post-modèles	-66	-59	-14	-	-	-
Total	305	261	247	38%	41%	74%

²² Les résultats des modélisations sectorielles fines sur les secteurs résidentiel et tertiaire ne permettent pas de retrouver exactement les consommations d'énergie en 2015 présentée dans le bilan de l'énergie du SDES. Des corrections post-modèles ont donc été intégrées afin de rendre compte du bon volume total de demande d'énergie.

Tableau des valeurs ajoutées par filière en 2015, 2030 et 2050 (en Md€)

	2015	2030	2050
Métaux Primaires	26	33	43
Chimie	41	51	70
Non métalliques	8	11	17
Agroalimentaire	42	47	58
Equipement	73	95	137
Autres	83	97	101
Total	273	334	427

Evolution des taux d'incorporation en matières recyclées des principaux matériaux recyclables entre 2015 et 2050



Secteur des déchets

4% des émissions de GES françaises en 2015

L'économie circulaire et la prévention de la production de déchets

De façon générale, le secteur des déchets, s'il pèse peu en termes d'émissions de gaz à effet de serre face aux secteurs les plus émetteurs, est un indicateur puissant de notre modèle de production et de consommation que la transition implique de transformer. Ce changement de paradigme vers une économie plus circulaire qui conçoit toute matière comme une ressource valorisable est nécessaire pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Il permettra des baisses d'émissions, y compris en termes d'empreinte carbone, et des économies dans le domaine des déchets mais également dans tous les autres secteurs.

Dans ce secteur, le premier levier sur lequel se base le scénario AMS est celui de la prévention des déchets. En moyenne, chaque français devrait produire au moins 20 % de déchets en moins d'ici 2050. Cette réduction s'explique d'une part par une consommation plus durable avec des produits ayant des plus grandes durées de vie, plus facilement réparables, recyclables et réutilisables, d'autre part par la réduction du gaspillage, en particulier alimentaire.

La valorisation quasi-complète des déchets

Les déchets sont ensuite presque systématiquement valorisés. La réutilisation et le recyclage sont privilégiés afin de réduire la production primaire de certains matériaux. La valorisation sous forme de compostage ou de méthanisation prend également une place plus importante. Les déchets deviennent ainsi une ressource. S'ils ne peuvent être valorisés via les filières précédentes, certains déchets sont valorisés énergétiquement en étant brûlés par certaines industries ou dans des réseaux de chaleur. Au total, cela permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge de 90 % d'ici 2035.

L'amélioration de l'efficacité des procédés de traitement

Les émissions du secteur déchets diminuent donc de manière très importante. De plus, chaque filière de traitement voit son efficacité en termes d'émissions de gaz à effet de serre par unité traitée s'améliorer. Sur le poste principal des émissions des décharges, la diminution des déchets envoyés vers cette filière ainsi que l'augmentation du captage du méthane émis permettent de réduire drastiquement les émissions. Par ailleurs, les émissions dues à l'incinération des déchets dangereux ou médicaux sont globalement maintenues tout comme celles pour le traitement des eaux usées. Au contraire, les émissions liées au traitement biologique des déchets augmentent en lien avec l'augmentation des activités de compostage et de méthanisation.

7% des émissions de GES françaises en 2050²³

²³ Les émissions du secteur déchets baisse de 66% entre 2015 et 2050 dans le scénario de référence. Les émissions du secteur déchets baissant moins en proportion que celles des autres secteurs, la part relative des émissions du secteur déchets augmente.

Emissions de GES du secteur déchets par poste en 2015, 2030 et 2050 (en MtcO₂eq)

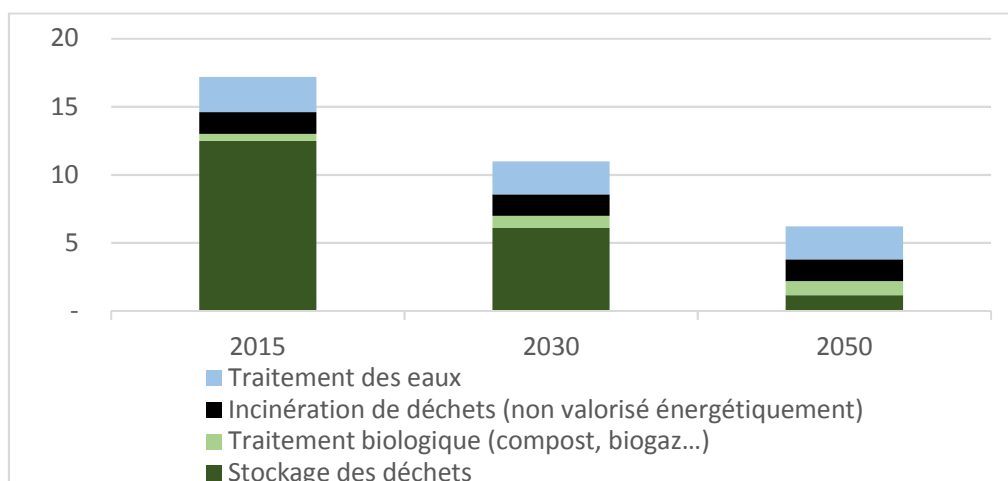


Tableau des consommations des flux de déchets par filière (en Mt)

	2010	2020	2030	2050
Valorisation matière				
Recyclage	37,6	41,0	47,0	47,0
Compostage	7,2	9,2	12,0	12,0
Epandage + remblais	0,8	0,8	0,8	0,8
Methanisation	0,7	1,4	3,0	5,0
Valorisation énergétique				
Co-incinération	0,5	1,4	3,0	2,0
Incinération avec valorisation énergétique	6,7	7,0	6,0	3,0
Production thermique avec déchets de bois	3,3	3,3	3,3	3,3
Elimination				
Incinération à faible rendement	6,5	4,9	1,5	0,0
Incinération sans aucune récupération d'énergie	0,6	0,3	0,0	0,0
Stockage	21,0	14,0	6,1	2,0
Total				
Total	84,9	84,6	82,7	75,1

Secteur de l'agriculture

3% de la consommation d'énergie finale française en 2015

19% des émissions de GES françaises en 2015

Une alimentation plus saine et de qualité

Dans le scénario AMS, les citoyens mangent plus sainement. La demande alimentaire nationale se rapproche des recommandations sanitaires comme celles du Haut Conseil de la santé publique jusqu'en 2035 et les prolonge ensuite. En particulier, les excès de consommation de viandes (hors volaille) et charcuteries se résorbent et les protéines végétales prennent une place plus importante. Le gaspillage alimentaire diminue fortement d'ici 2050²⁴.

En parallèle, la demande nationale en produits de qualité augmente, en se tournant de plus en plus vers des aliments issus de l'agriculture biologiques ou vers des produits issus de l'élevage de plein air.

La baisse de la demande intérieure en produits animaux agit essentiellement sur les niveaux de production nationaux, de sorte que l'export est relativement préservé en volume pour l'élevage. Il peut être développé en valeur, en lien avec les montées en gamme. En effet, en termes de valeur ajoutée brute, le secteur pourra voir ses résultats s'améliorer par rapport à un scénario tendanciel du fait d'une part des montées en gamme, d'autre part d'une efficacité accrue limitant les consommations intermédiaires et enfin d'une baisse de la dépendance aux

produits carbonés (énergie et intrants) dont les prix sont inévitablement amenés à augmenter.

Des pratiques agricoles plus performantes qui permettent à la production de monter en gamme

L'évolution de la demande ainsi que le soutien public permettent aux agriculteurs d'adopter des pratiques plus performantes du point de vue environnemental et d'augmenter leurs revenus²⁵. Les mesures permettant une réduction des émissions de GES correspondent largement aux leviers de l'étude INRA de 2013²⁶, et leur cohérence repose largement sur une approche globale systémique, permise par le projet agro-écologique. Parmi les leviers, on peut citer le développement des légumineuses ou l'amélioration de l'efficacité de l'apport à l'azote à la plante (en privilégiant certains engrais plutôt que d'autres ou certaines pratiques) qui permettent de réduire les émissions liées à la fertilisation azotée. Les pratiques plus respectueuses et plus intégrées comme l'agriculture bio, l'agroforesterie ou les systèmes de polyculture-élevage sont développées.

Concernant l'élevage, la baisse de la demande en protéines animales explique en grande partie une baisse des cheptels. On peut noter que l'ordre de grandeur des évolutions envisagées dans les trente ans à venir est du même ordre de grandeur que celle observée les trente dernières années. Des efforts importants sont également effectués sur la modification des rations animales, la limitation de la mortalité à la naissance ou la gestion de l'âge au premier vêlage.

²⁴ Le gaspillage post-production évitable passe de 14% en 2015 à 5% en 2050.

²⁵ Etude économique en cours sur les impacts économiques du scénario AMS sur le secteur agricole

²⁶ Sylvain Pellerin et al., 2013, « Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? »

La performance énergétique des activités agricoles s'améliore profondément. Les tracteurs sont de plus en plus efficaces et se tournent progressivement vers le gaz renouvelable ou l'électricité lorsque cela est possible. Les pompes à chaleur et le solaire thermique se développent pour diverses activités. La consommation d'énergie du secteur agricole diminue ainsi massivement et le secteur se décarbone via l'électrification de nombreux procédés et l'utilisation d'énergies renouvelables.

Un secteur central dans la production d'énergie décarbonée et dans la séquestration du carbone

Si les revenus des agriculteurs augmentent dans le scénario AMS, c'est également grâce au développement des activités de production d'énergie renouvelable et de matériaux disponibles pour développer la bio-économie.

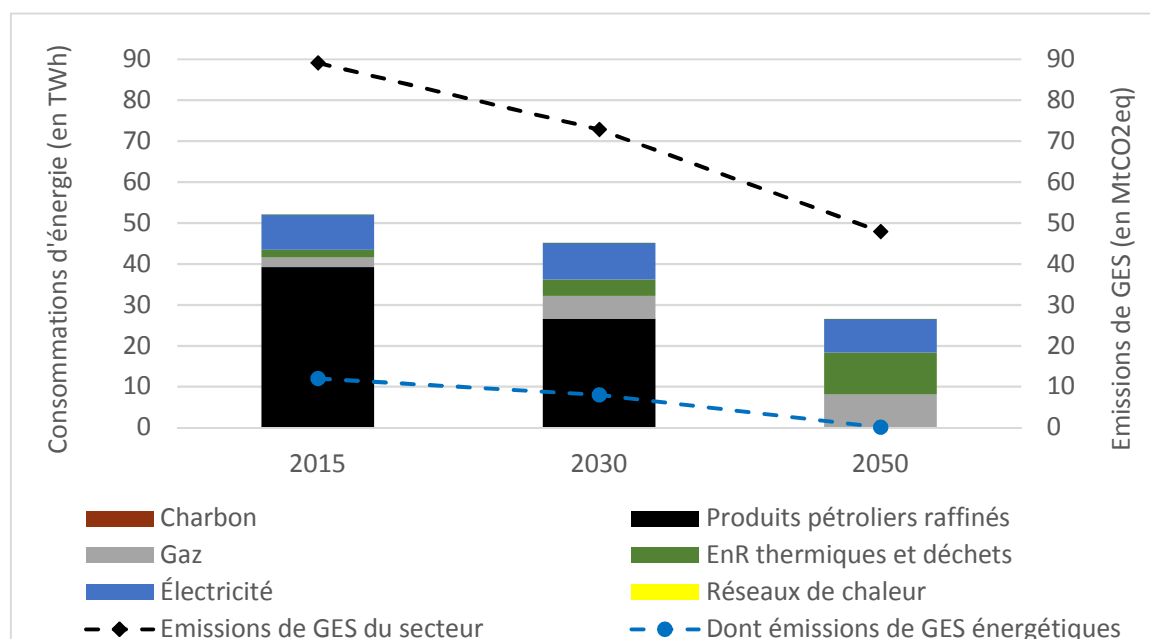
L'agriculture compte environ pour deux-tiers du potentiel de mobilisation de ressources en biomasse à l'horizon 2050 (cf. Secteur de la Production d'énergie). Cela nécessite un changement d'échelle par rapport aux pratiques actuelles, ce qui permettra à terme de valoriser plus largement les effluents d'élevage et les résidus de culture (tout en veillant à préserver la fertilité des sols via un retour

suffisant de matière organique aux sols). Les surfaces dédiées à la production de biocarburants de première génération restent constantes. L'agroforesterie, les haies et les cultures intermédiaires à vocation énergétique se développent, permettant d'augmenter la production d'énergie décarbonée issue de l'agriculture tout en ayant un impact positif sur des aspects environnementaux non-climatiques.

L'agriculture joue également un rôle important pour le climat grâce à la séquestration de carbone dans les sols, paramètre clé dans l'augmentation du puits du secteur des terres prévue dans le scénario. Ce type de levier n'est que partiellement quantifié dans l'inventaire national et des incertitudes demeurent. Cependant, le scénario AMS prend en compte une amélioration des pratiques sur ce levier comme le développement de l'agroforesterie, des techniques simplifiées de labour associées à une couverture plus systématique des sols via des cultures intermédiaires et à un allongement des rotations.

3% de la consommation d'énergie finale française en 2050 60% des émissions de GES françaises en 2050
--

Consommation d'énergie et émissions de GES de l'agriculture en 2015, 2030 et 2050



Parts de marché des énergies dans la consommation de l'agriculture en 2015, 2030 et 2050

	Charbon	Produits pétroliers raffinés	Gaz	EnR thermiques et déchets	Électricité	Réseaux de chaleur	Demande totale (TWh)
2015	0%	75%	4%	4%	17%	0,1%	52
2030	0%	59%	12%	9%	20%	0,2%	45
2050	0%	0%	30%	38%	31%	0,3%	27

Emissions de GES de l'agriculture par grand poste en 2015, 2030 et 2050 (en MtCO2eq)

	2015	2030	2050
Elevage	42	35	27
Cultures	36	30	21
Consommation d'énergie	12	8	0
Total	89	73	48

Chiffres clés dans le secteur de l'agriculture

	2015	2030	2050
Part des surfaces en grande culture en agriculture bio	2%	32%	44%
Surfaces en protéagineux - dont soja (Mha)	0,4	0,7	1,6
Emprise des haies et des arbres en surfaces agricoles (Mha)	0,4	0,6	1,9
Surfaces de cultures intermédiaires à vocation énergétique (Mha)	0,0	1,8	4,3
Surfaces biocarburants 1G (Mha)	2,1	2,1	2,1
Utilisation d'engrais minéraux (MtN)	2,23	1,69	1,15
Part de valorisation énergétique des résidus de culture	0%	13%	23%
Part de valorisation énergétique des effluents	1%	30%	85%
Taille du cheptel bovin (millions)	19	16	13
Taille du cheptel porcin (millions)	14	13	10
Taille du cheptel volaille (millions)	289	302	290
Autres cheptels (millions)	11	8	8

Secteur de l'utilisation des terres et de la forêt

41 MtCO₂eq de puits pour l'ensemble du secteur des terres en 2015²⁷

Le secteur des terres est le principal contributeur au puits de carbone aujourd'hui. Les enjeux sur ce secteur sont de stocker durablement du carbone ainsi que d'orienter plus de matériaux à faible empreinte carbone vers l'économie.

La limitation de l'artificialisation des sols et l'afforestation des terres

Afin de limiter les émissions liées au changement d'affectation des terres, le scénario AMS suppose le ralentissement de l'artificialisation jusqu'à l'atteinte vers 2050 du «zéro artificialisation nette». De la même manière, l'emprise des prairies, très efficace en termes de stockage de carbone et indispensable pour la préservation de la biodiversité, diminue peu au cours du temps grâce à l'augmentation de la part des cheptels élevés en plein air.

En parallèle, les surfaces forestières augmentent. La tendance d'afforestation naturelle observée aujourd'hui se poursuit à court-terme puis diminue petit-à-petit. À cela s'ajoutent de nouvelles plantations en dehors de la forêt existante par un plan de boisement. Au total, les deux effets combinés permettent d'augmenter la capacité de séquestration de carbone sur le territoire national à long-terme d'environ 12 MtCO₂eq en 2050.

Cela signifie par conséquent une légère diminution des surfaces de terres agricoles et des autres terres (landes, etc.).

Une gestion raisonnée de la forêt pour maintenir un puits de carbone à long terme et alimenter l'économie en matériaux et énergies à faible empreinte carbone

La gestion forestière proposée dans le scénario AMS est une gestion plus dynamique que celle d'aujourd'hui. Celle-ci présente en effet plusieurs bénéfices. Elle permet d'abord le prélèvement de plus de ressources en bois. Ce surplus de bois prélevé est orienté en majorité vers des applications à longue durée de vie notamment dans la construction afin de stocker du carbone plus durablement et de bénéficier d'effets de substitution importants, mais aussi vers d'autres usages à plus courte durée de vie. La quantité de bois issue de la récolte ayant un usage énergétique (directement ou indirectement par la valorisation énergétique des produits connexes de scierie) est globalement la même en 2050 qu'aujourd'hui – une légère hausse de la production de bois énergie a lieu entre 2015 et 2030. La part orientée vers des usages à longue durée de vie est quant à elle presque triplée.

La gestion forestière proposée permet ensuite de maintenir un puits de carbone plus durablement en rendant la forêt plus résiliente aux effets du changement climatique. En effet, une gestion moins dynamique conduirait à court terme à une augmentation plus rapide du puits de carbone en forêt mais ce dernier serait moins durable du fait du risque de

²⁷ Comme indiqué en préambule, les émissions historiques sont issues de l'inventaire national disponible en 2018, au moment de la réalisation des principaux travaux concernant le scénario. Certains

chiffres sont donc susceptibles d'avoir été actualisés par les inventaires plus récents. En particulier, le secteur des terres et forêts fait régulièrement l'objet de corrections significatives en raison des incertitudes liées à la comptabilisation des émissions associées.

saturation du puits (vieillessement des forêts), et d'une plus grande sensibilité aux risques naturels (tempêtes, incendies, sécheresses, risques sanitaires) susceptibles de générer un déstockage, la forêt étant moins adaptée aux changements climatiques. Cette hausse des prélèvements en forêt se fait dans un cadre de gestion durable (reboisement) et avec une gestion des stocks de bois mort en forêt permettant de ne pas avoir d'impacts négatifs sur la biodiversité et les sols.

Si la quantité de bois orientée directement vers les applications énergétiques

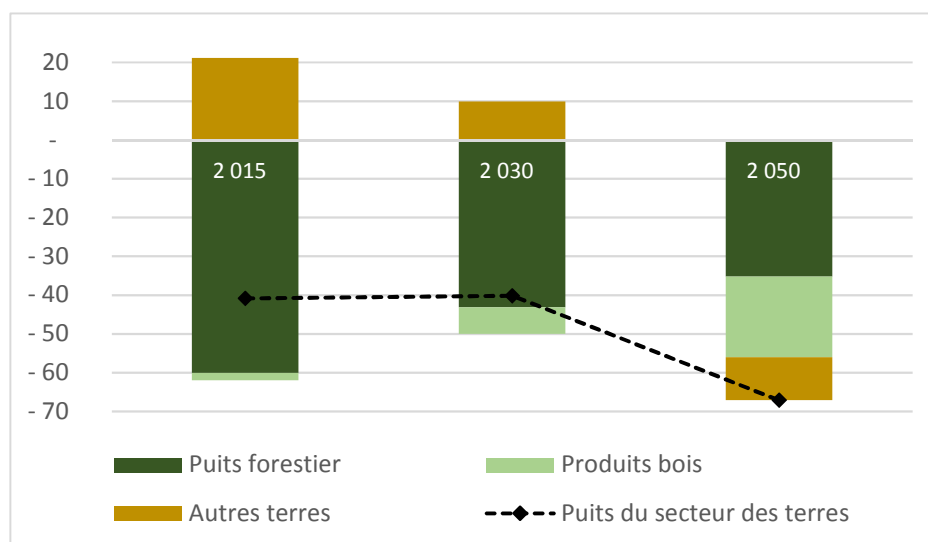
n'augmente pas réellement (biomasse fraîche et coproduits), la valorisation plus systématique des déchets de bois en fin de vie permet de bénéficier de nouveaux gisements de biomasse. A long-terme, développer la bio-économie permet d'alimenter l'ensemble de l'économie en énergie et matériaux renouvelables et décarbonés.

67 MtCO₂eq de puits pour l'ensemble du secteur des terres en 2050

Bilan des surfaces françaises en 2015, 2030, 2050 (en MHa)

	2015	2030	2050
Terres agricoles	29,1	28,2	27,7
Dont Prairies de plus de 5 ans	9,3	9,1	8,8
Terres forestières	16,5	17,0	17,7
Terres artificialisées	5,2	5,9	6,1
Autres terres	4,1	3,7	3,4

Evolution du puits de carbone du secteur des terres par grands segments entre 2015 et 2050 (en MtCO₂eq)



Chiffres clés sur les hypothèses du scénario concernant la forêt (en MtCO₂eq)²⁸

		2015	2030	2050
Flux de carbone entrant en forêt	Accroissement biologique brute de la forêt actuelle	150	150	150
	Accroissement biologique brute des nouvelles forêts	0	5	12
	Séquestration de carbone dans les sols	5	5	5
	Séquestration par le bois mort	8	5	2
Flux de carbone sortant de la forêt	Mortalité en forêt	18	19	19
	Déboisement	11	7	4
	Prélèvements de bois en forêt	73	94	115
Résultante	Puits de carbone en forêt	62	45	31
Utilisation du bois	Usage matériaux à longue durée de vie	11	18	37
	Usage matériaux à courte durée de vie	3	2	3
	Usage énergie (bois primaire et coproduits)	34	41	36
	Usage énergie (bois en fin de vie)	6	8	16

²⁸ Les chiffres présentés dans ce tableau en termes de puits de carbone en forêt sont légèrement différents de ceux utilisés dans le graphique ci-dessus. Le graphique présente les chiffres au format de l'inventaires utilisés dans le cadre des reportages aux Nations Unies. La séquestration de carbone dans les sols et le bois mort n'est pas comptabilisée aujourd'hui dans cet inventaire, les déboisements sont comptabilisés dans la partie « autres terres » de l'inventaire. A l'inverse, le chiffre « puits de carbone en forêt » du tableau prend en compte les aspects séquestration de carbone dans les sols et les bois morts ainsi que les déboisements.

Secteur de la production d'énergie

10 % des émissions de GES françaises en 2015

La décarbonation complète du système énergétique et ses conséquences en termes de consommation d'énergie

L'un des messages clés apportés par le scénario AMS est qu'il faut presque entièrement décarboner le système énergétique afin d'atteindre la neutralité carbone sur le territoire français. Les émissions liées à la consommation et à la production d'énergie en 2050 sont effectivement réduites à quelques émissions résiduelles difficilement compressibles (aviation, fuites de gaz, procédés de méthanisation ou de raffinage...). En particulier, il n'y a presque plus d'émissions liées à la combustion des énergies fossiles. Ces énergies sont réservées à certains rares usages : aviation, production de certains matériaux comme le plastique ou l'acier. Au cours du temps, la consommation énergétique finale voit disparaître le charbon puis le pétrole (à l'exception des carburants aériens). Le gaz garde une place dans le système énergétique sous la forme de gaz renouvelable ou d'hydrogène, tout comme la biomasse solide ou les biocarburants.

Un travail sur les potentiels de production des énergies décarbonées a été mené au début des travaux. Ces potentiels sont basés sur des réalités physiques, des enjeux de disponibilité des gisements, d'acceptation sociale, et de diversification du mix électrique. A l'horizon 2050, les potentiels de production d'énergie décarbonée ont été estimés à 400 à 450 TWh de biomasse, 100 TWh de chaleur renouvelable issue de l'environnement (pompes à chaleur, géothermie, solaire thermique) et au moins 650 TWh d'électricité décarbonée.

Dès lors que ces potentiels ont été identifiés, une tension forte apparaît sur les consommations en combustibles qui servent dans l'ensemble des secteurs de l'économie puisque les ressources en biomasse demeurent limitées à très long-terme. Par ailleurs, le scénario repose, pour des raisons d'efficacité énergétique, sur un recours raisonnable aux technologies comme l'hydrogène, le power-to-gas ou le power-to-X qui permettent de produire des combustibles à partir d'électricité.

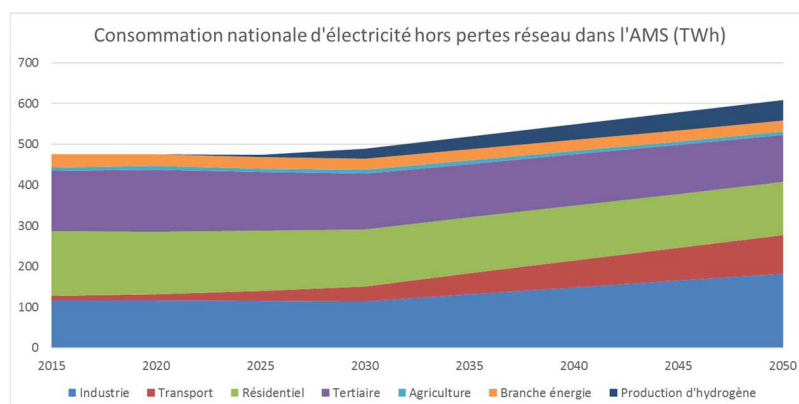
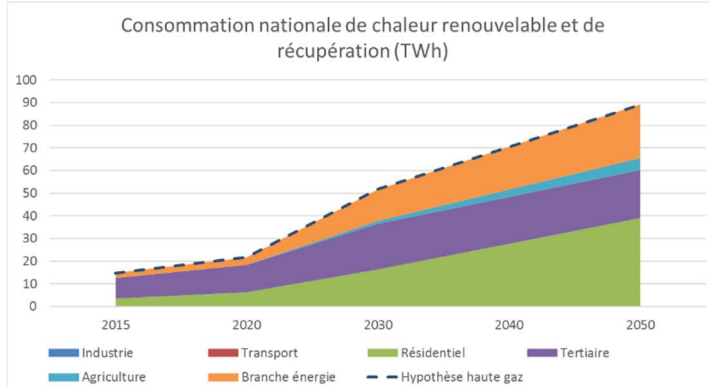
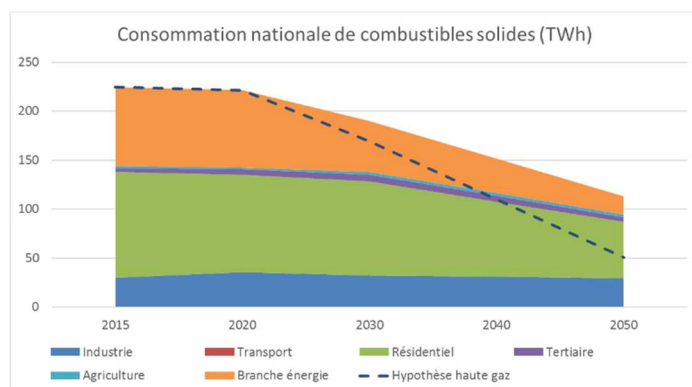
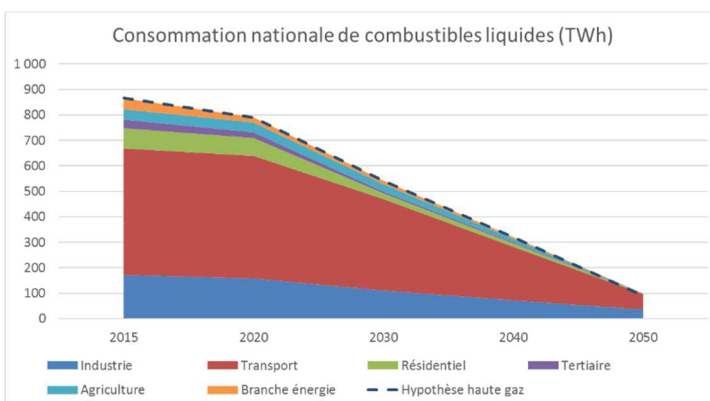
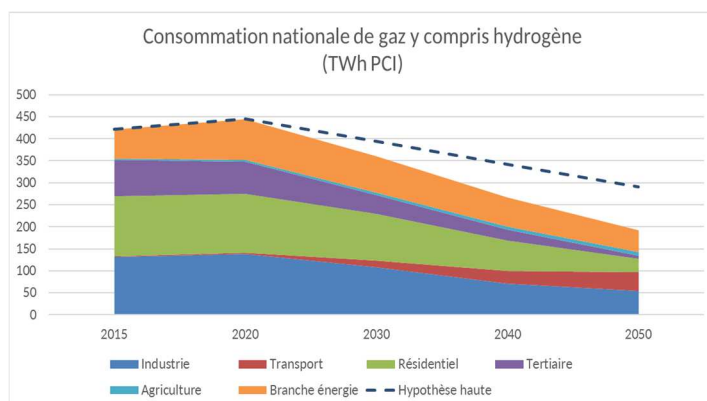
Cela signifie que les consommations en combustibles vont diminuer fortement. Dans le scénario principal, la consommation en combustibles solides (charbon et biomasse solide) passe de 225 TWh en 2015 à environ 110 TWh en 2050, la consommation en combustibles liquides (pétrole et biocarburants) de 865 TWh en 2015 à 100 TWh en 2050 (hors soutes internationales), la consommation en combustibles gazeux (gaz naturel, renouvelable et hydrogène) de 470 TWh en 2015 à 195 TWh en 2050 (hors soutes internationales).

Variante hypothèse gaz haut

La répartition des ressources en biomasse sous forme de vecteurs (solide, liquide ou gazeux) demeure assez incertaine à l'horizon 2050. Le scénario initial présente une répartition raisonnable et pragmatique. D'autres seraient possibles. Parmi elles, une autre répartition laisserait plus de place au vecteur gaz via la conversion au gaz des poids lourds roulant aux biocarburants, de la biomasse solide servant au chauffage des bâtiments ou encore une production supérieure d'électricité à partir de gaz. Cette seconde répartition appelée « variante hypothèse gaz haut » aboutit à une consommation de gaz d'environ 295 TWh à l'horizon 2050 (contre 195 TWh pour le scénario initial).

Cette seconde variante requiert néanmoins de mobiliser plus de ressources en biomasse ou d'avoir recours à du gaz naturel en 2050 qu'il faudrait à termes compenser avec du CSC par exemple.

Consommations nationales des principaux vecteurs énergétiques entre 2015 et 2050



Par conséquent, les consommations d'énergie doivent se reporter vers d'autres sources d'énergie. La consommation en chaleur renouvelable issue de l'environnement est multipliée par un facteur entre 5 et 6 de 2015 à 2050. La consommation d'électricité reste stable ou diminue légèrement (hors production d'hydrogène) entre aujourd'hui et 2030. Elle augmente ensuite après 2030 en raison de l'électrification nécessaire des différents secteurs, en particulier les transports, l'industrie mais aussi à cause de la

production d'hydrogène. Elle atteint en 2050 environ 600 TWh.

Au vu des travaux préliminaires sur les potentiels de mobilisation des ressources décarbonées en énergie, ces niveaux de consommation peuvent être assurés sur le territoire national. La question du mix électrique à l'horizon 2050 n'a pas été traitée dans le cadre de ce scénario. En revanche, une production d'électricité par le gaz ou l'hydrogène apparaît nécessaire pour assurer une flexibilité à long-terme du

système électrique, en particulier la flexibilité saisonnière. Dans le scénario, elle atteint environ 50 TWh en 2050.

Une sollicitation plus poussée des ressources en biomasse²⁹

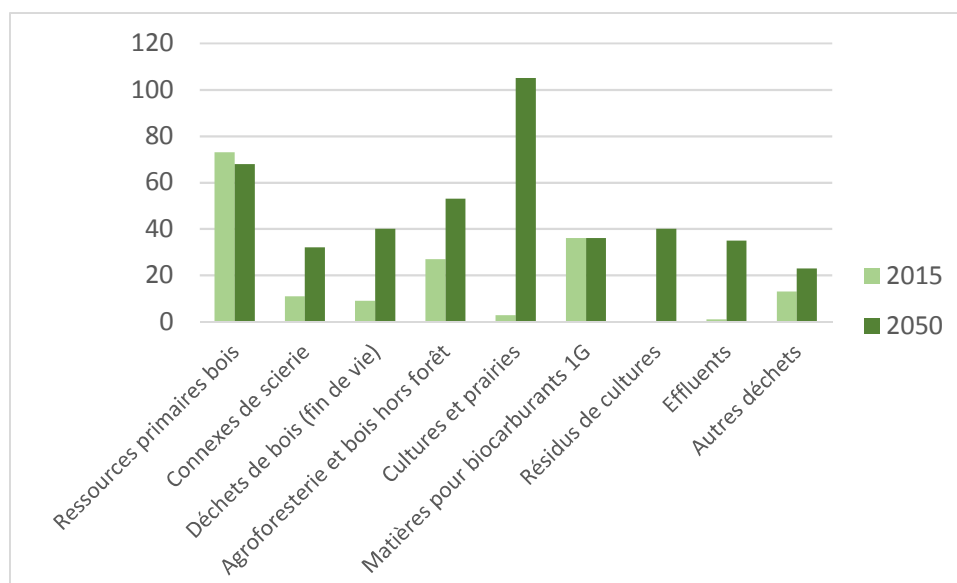
La question de la sollicitation des ressources en biomasse demeure centrale dans le scénario. En effet, il s'agit d'atteindre une production de ressources en biomasse environ 2,5 fois plus importante qu'aujourd'hui. Cette mobilisation importante des ressources en biomasse est réalisée de manière durable en améliorant la gestion forestière, la gestion des terres agricoles ainsi que la gestion des déchets, en particulier ceux issus de l'agriculture et des produits fabriqués en bois.

Concernant la mobilisation forestière, les ressources en bois prélevées en forêt pour faire directement de l'énergie sont sensiblement les mêmes en 2050 qu'aujourd'hui. En revanche, le développement de la bioéconomie permet une valorisation énergétique plus importante de biomasse via les co-produits et la fin de vie des produits biosourcés.

Concernant la mobilisation agricole, la quantité de ressources produites pour les biocarburants de première génération n'évolue pas beaucoup. A l'inverse, la valorisation des résidus de culture et des effluents d'élevage devient la norme. Les cultures énergétiques se développent, en particulier les cultures intermédiaires.

3 % des émissions de GES françaises en 2050

Evolution de la production de ressources en biomasse par segment entre 2015 et 2050 (en TWh de ressources)



²⁹ Le scénario AMS arrive à une mobilisation de 430 TWh de ressources en biomasse pour une consommation d'environ 460 TWh de ressources en

biomasse. Des études complémentaires seront réalisées afin de réconcilier les trajectoires de long terme.

Le développement raisonnable et limité des technologies de stockage de carbone

L'atteinte de la neutralité carbone suppose une augmentation substantielle des puits de carbone à l'horizon 2050. A côté des puits naturels du secteur des terres, il est possible d'avoir recours à un puits de carbone technologique pour le stockage de carbone. Le scénario suppose qu'à l'horizon 2050, la capacité française à capturer et stocker technologiquement du carbone atteindra environ 15MtCO₂.

Pour cela, il faudra capturer du dioxyde de carbone issu des fumées de sources ponctuelles (cheminées d'usines ou centrales de production d'énergie) et qui sont si possible localisées à proximité des lieux de stockage géologique, ou de plateformes permettant de transporter le carbone vers les lieux de stockage. Les centrales thermiques de production d'énergie à partir de biomasse permettent alors de réaliser des « émissions négatives ». Une dizaine de millions de tonnes de dioxyde de carbone sont ainsi capturées. Le reste provient de l'industrie où la capture du carbone est utilisée pour réduire les émissions dues à certains procédés.

En termes de stockage du carbone, plusieurs options sont possibles. La France dispose de différents lieux de stockage géologique, mais le scénario AMS suppose un recours plus important aux gisements offshore pour des questions d'acceptabilité sociale. Il s'agirait donc principalement de stocker le carbone dans des formations géologiques profondes en mer.

L'utilisation de dioxyde de carbone pour la production de méthane à partir d'hydrogène est limitée à 1,6 TWh de méthane produit, essentiellement pour des raisons d'efficacité énergétique.

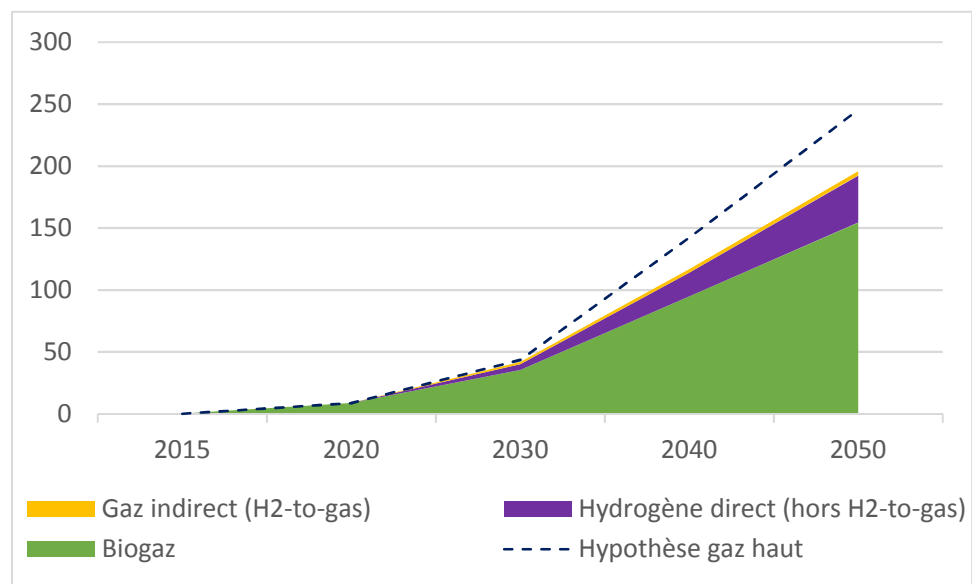
Le recours aux technologies de capture et de stockage de carbone se veut prudent et raisonnable. Le déploiement de ces technologies dans l'AMS est limité aux émissions biogéniques ou aux émissions irréductibles de certains procédés industriels. En particulier, elles ne sont pas utilisées pour capter et stocker des émissions issues de la combustion d'énergies fossiles.

Ces technologies représentent in fine un peu plus de 3% des émissions actuelles de GES.

Evolution des émissions de GES de l'industrie de l'énergie entre 2015 et 2050 (en MtCO₂eq)

	2015	2030	2050
Emissions de GES	47	31	2

Evolution de la production d'hydrogène et de gaz renouvelable en France entre 2015 et 2050 (en TWh PCS)



Résultats du scénario

Les pages suivantes présentent les résultats de modélisation obtenues dans le cadre du scénario AMS. Dans un premier temps, sont affichés les bilans énergétiques au périmètre France métropolitaine en 2015, 2020, 2025, 2030 et 2050. Dans un second temps, sont présentées les émissions de gaz à effet de serre par secteur dans le format utilisé dans le cadre de la SNBC au périmètre Kyoto (France métropolitaine et départements et régions d'Outre-Mer) chaque année de 2015 à 2050. Les périmètres des deux objets ne sont pas totalement identiques.

L'année de référence pour les travaux de l'AMS est l'année 2015. Les résultats doivent être considérés comme corrigés des variations climatiques. Enfin, les émissions présentées pour les années 2016, 2017 et 2018 sont simulées et non observées.

Consommations d'énergie

Bilan 2015

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	Nucléaire	EnR électriques	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	1,0	0,0	0,0	114,0	7,2	17,6	0,0	0,0	0,0	139,8
Importations	8,8	58,8	41,3	39,4	0,0	0,0	0,6	0,9	0,0	0,0	149,7
Exportations	-0,1	-0,1	-21,2	-4,9	0,0	0,0	-0,2	-6,4	0,0	0,0	-32,8
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,6
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,9
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,1	0,1	-0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
Total approvisionnement / consommation primaire	8,8	59,8	12,5	35,0	114,0	7,2	18,1	-5,5	0,0	0,0	249,8
Transferts	0,0	-0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Écart statistique	0,3	0,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	2,2
Production d'électricité seule	2,8	0,0	0,5	1,7	114,0	7,2	1,3	-47,2	0,0	0,0	80,3
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,2	0,0	0,2	2,1	0,0	0,0	2,4	-1,4	-1,9	0,0	1,5
Production de chaleur seule	0,2	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0	0,8	0,0	-1,9	0,0	-0,2
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Raffinage de pétrole	0,0	61,2	-60,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres transformations	2,9	-1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
Usages internes de la branche énergie	1,0	0,0	1,8	1,2	0,0	0,0	0,1	2,8	0,1	0,0	7,0
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	3,0	0,8	0,0	4,3
Consommation nette de la branche énergie	7,4	59,8	-54,7	6,2	114,0	7,2	4,5	-42,9	-3,0	0,0	98,4
Industrie	1,0	0,0	2,4	10,2	0,0	0,0	1,4	10,1	1,1	0,0	26,2
Transport	0,0	0,0	39,8	0,1	0,0	0,0	2,9	0,9	0,0	0,0	43,8
Résidentiel	0,0	0,0	6,7	11,8	0,0	0,0	8,8	13,6	1,2	0,0	42,2
Tertiaire	0,0	0,0	3,0	7,1	0,0	0,0	0,9	12,7	0,7	0,0	24,5
Agriculture	0,0	0,0	3,4	0,2	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	4,5
Consommation finale énergétique	1,1	0,0	55,2	29,4	0,0	0,0	14,2	38,1	3,1	0,0	141,1
Consommation finale non énergétique	0,3	0,0	12,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9
Consommation finale	1,4	0,0	67,7	30,5	0,0	0,0	14,2	38,1	3,1	0,0	155,0

Bilan 2020

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	Nucléaire	EnR électriques	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	0,8	0,0	0,0	106,2	10,3	20,1	0,0	0,0	0,0	137,5
Importations	6,1	47,8	25,6	37,4	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	119,2
Exportations	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,1	0,0	0,0	-5,1
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,1
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,3
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total approvisionnement / consommation primaire	6,1	48,6	18,2	37,5	106,2	10,3	22,3	-5,1	0,0	0,0	244,1
Transferts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Écart statistique	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production d'électricité seule	2,6	0,0	0,0	4,2	106,2	10,3	2,8	-49,1	0,0	0,0	76,9
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production de chaleur seule	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	2,7	0,0	-4,1	0,0	0,4
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,2
Raffinage de pétrole	0,0	48,6	-46,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres transformations	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
Usages internes de la branche énergie	0,0	0,0	1,7	1,2	0,0	0,0	0,1	2,5	0,0	0,0	5,5
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	3,1	0,8	0,0	4,4
Consommation nette de la branche énergie	5,6	48,6	-44,8	7,2	106,2	10,3	6,4	-43,5	-3,3	0,0	92,8
Industrie	0,3	0,0	1,9	10,9	0,0	0,0	1,8	10,1	1,1	0,0	26,2
Transport	0,0	0,0	38,4	0,2	0,0	0,0	3,0	1,3	0,0	0,0	42,9
Résidentiel	0,0	0,0	5,9	11,5	0,0	0,0	9,4	13,2	1,3	0,0	41,2
Tertiaire	0,0	0,0	2,1	6,3	0,0	0,0	1,5	13,1	0,8	0,0	23,8
Agriculture	0,0	0,0	3,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	0,0	4,3
Consommation finale énergétique	0,3	0,0	51,3	29,2	0,0	0,0	15,9	38,4	3,3	0,0	138,4
Consommation finale non énergétique	0,2	0,0	11,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9
Consommation finale	0,5	0,0	62,9	30,3	0,0	0,0	15,9	38,4	3,3	0,0	151,3

Bilan 2025

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	Nucléaire	EnR électriques	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	0,7	0,0	0,0	102,4	15,0	23,8	0,0	0,0	0,0	141,9
Importations	2,8	44,0	19,1	32,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	99,3
Exportations	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,6	-0,2	0,0	-8,8
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,1
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,8
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total approvisionnement / consommation primaire	2,8	44,7	11,2	32,6	102,4	15,0	24,1	-8,6	-0,2	0,4	224,5
Transferts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Écart statistique	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production d'électricité seule	0,0	0,0	0,0	4,2	102,4	15,0	2,4	-51,9	0,0	0,0	72,1
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production de chaleur seule	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	3,1	0,0	-4,6	0,0	0,0
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	-1,9	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,5
Raffinage de pétrole	0,0	44,7	-43,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	-0,4	0,1
Autres transformations	2,4	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,2	2,5
Usages internes de la branche énergie	0,0	0,0	1,4	1,2	0,0	0,0	0,1	2,4	0,0	0,0	5,1
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	3,2	0,9	0,0	4,5
Consommation nette de la branche énergie	2,6	44,7	-41,7	5,7	102,4	15,0	7,9	-45,9	-3,7	-0,2	86,7
Industrie	0,2	0,0	1,4	9,8	0,0	0,0	2,3	9,6	1,1	0,0	24,3
Transport	0,0	0,0	33,3	0,6	0,0	0,0	3,1	2,1	0,0	0,0	39,1
Résidentiel	0,0	0,0	3,9	10,3	0,0	0,0	8,8	12,4	1,6	0,0	36,9
Tertiaire	0,0	0,0	1,5	5,0	0,0	0,0	1,9	12,4	0,8	0,0	21,7
Agriculture	0,0	0,0	2,7	0,4	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	4,0
Consommation finale énergétique	0,2	0,0	42,8	26,1	0,0	0,0	16,2	37,3	3,4	0,0	126,1
Consommation finale non énergétique	0,1	0,0	10,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	11,7
Consommation finale	0,3	0,0	52,9	26,9	0,0	0,0	16,2	37,3	3,4	0,6	137,7

Bilan 2030

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	Nucléaire	EnR électriques	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	0,6	0,0	0,0	96,6	19,6	27,9	0,0	0,0	0,0	144,7
Importations	2,1	40,1	11,9	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,0
Exportations	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,5	-10,9	-0,4	0,0	-12,8
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,1
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-7,3
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total approvisionnement / consommation primaire	2,1	40,7	3,4	27,9	96,6	19,6	26,4	-10,9	-0,4	0,0	205,4
Transferts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Écart statistique	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production d'électricité seule	0,0	0,0	0,0	4,1	96,6	19,6	2,4	-54,9	0,0	0,0	67,8
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production de chaleur seule	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	3,5	0,0	-5,1	0,0	-0,5
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	-3,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,8
Raffinage de pétrole	0,0	40,7	-39,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	-1,7	0,4
Autres transformations	2,1	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,4	2,2
Usages internes de la branche énergie	0,0	0,0	1,1	1,2	0,0	0,0	0,1	2,4	0,0	0,0	4,7
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	3,3	1,0	0,0	4,7
Consommation nette de la branche énergie	2,1	40,7	-38,7	3,9	96,6	19,6	9,7	-47,3	-4,0	-1,3	81,4
Industrie	0,0	0,0	0,9	8,7	0,0	0,0	2,7	9,1	1,0	0,0	22,4
Transport	0,0	0,0	27,5	1,2	0,0	0,0	3,2	3,2	0,0	0,0	35,1
Résidentiel	0,0	0,0	1,9	9,1	0,0	0,0	8,1	11,6	1,8	0,0	32,6
Tertiaire	0,0	0,0	1,0	3,7	0,0	0,0	2,3	11,8	0,8	0,0	19,6
Agriculture	0,0	0,0	2,3	0,5	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	3,9
Consommation finale énergétique	0,0	0,0	33,6	23,2	0,0	0,0	16,7	36,5	3,6	0,0	113,6
Consommation finale non énergétique	0,0	0,0	8,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	10,5
Consommation finale	0,0	0,0	42,1	23,9	0,0	0,0	16,7	36,5	3,6	1,3	124,0

Scénario AMS 2050

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	EnR thermiques et déchets	Nucléaire	EnR électriques	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	0,0	0,0	0,0	44,7			0,0	0,0	0,0	
Importations	0,7	9,7	0,0	0,3	0,0			0,0	0,0	0,0	10,8
Exportations	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			-0,8	0,0	0,0	-0,8
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-0,3	-0,6	-0,3			0,0	0,0	0,0	-1,1
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-4,9	0,0	-4,9			0,0	0,0	0,0	-9,9
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Total approvisionnement / consommation primaire	0,7	9,7	-5,2	-0,3	39,5			-0,8	0,0	0,0	
Transferts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Écart statistique	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Production d'électricité seule	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0			-55,7	0,0	0,0	
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Production de chaleur seule	0,0	0,0	0,0	0,9	3,4			0,0	-5,2	0,0	-0,9
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	-13,5	16,9			0,0	0,0	0,0	3,4
Raffinage de pétrole	0,0	9,7	-9,5	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,2
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			4,3	0,0	-3,4	0,9
Autres transformations	0,7	0,0	0,0	-0,3	0,0			-1,0	0,0	1,6	1,0
Usages internes de la branche énergie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1			2,3	0,0	0,0	2,4
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0			3,7	1,1	0,0	4,9
Consommation nette de la branche énergie	0,7	9,7	-9,5	-10,7	20,4			-46,4	-4,1	-1,8	
Industrie	0,0	0,0	0,0	2,6	2,5			15,7	0,4	0,0	21,2
Transport	0,0	0,0	0,9	3,6	4,2			8,2	0,0	0,1	17,0
Résidentiel	0,0	0,0	0,2	2,7	9,1			11,1	2,1	0,0	25,2
Tertiaire	0,0	0,0	0,0	0,5	2,4			9,9	1,5	0,0	14,5
Agriculture	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9			0,7	0,0	0,0	2,3
Consommation finale énergétique	0,0	0,0	1,1	10,1	19,1			45,6	4,1	0,1	80,2
Consommation finale non énergétique	0,0	0,0	3,2	0,3	0,0			0,0	0,0	1,7	5,2
Consommation finale	0,0	0,0	4,3	10,4	19,1			45,6	4,1	1,8	85,4

Note : Après 2035, le scénario ne fait plus de distinction entre ENR électriques et nucléaire pour la production d'électricité. En 2050, la production totale d'électricité s'élève à 55,7Mtep dans le tableau.

Scénario AMS 2050 – Hypothèse gaz haut

Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	EnR thermiques et déchets	Nucléaire	EnR électriques	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8			0,0	0,0	0,0	
Importations	0,7	9,7	0,0	4,8	0,0			0,0	0,0	0,0	15,2
Exportations	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			-2,4	0,0	0,0	-2,4
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-0,3	-0,6	-0,3			0,0	0,0	0,0	-1,1
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-4,9	0,0	-4,9			0,0	0,0	0,0	-9,9
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Total approvisionnement / consommation primaire	0,7	9,7	-5,2	4,2	38,5			-2,4	0,0	0,0	
Transferts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Écart statistique	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Production d'électricité seule	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0			-57,3	0,0	0,0	
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Production de chaleur seule	0,0	0,0	0,0	0,9	3,4			0,0	-5,2	0,0	-0,9
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	-17,4	21,7			0,0	0,0	0,0	4,3
Raffinage de pétrole	0,0	9,7	-9,5	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,2
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			4,3	0,0	-3,4	0,9
Autres transformations	0,7	0,0	0,0	-0,3	0,0			-1,0	0,0	1,6	1,0
Usages internes de la branche énergie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1			2,3	0,0	0,0	2,4
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0			3,7	1,1	0,0	4,9
Consommation nette de la branche énergie	0,7	9,7	-9,5	-12,0	25,2			-48,0	-4,1	-1,8	
Industrie	0,0	0,0	0,0	2,6	2,5			15,7	0,4	0,0	21,2
Transport	0,0	0,0	0,9	4,2	3,6			8,2	0,0	0,1	17,0
Résidentiel	0,0	0,0	0,2	7,4	4,4			11,1	2,1	0,0	25,2
Tertiaire	0,0	0,0	0,0	0,9	2,0			9,9	1,5	0,0	14,5
Agriculture	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9			0,7	0,0	0,0	2,3
Consommation finale énergétique	0,0	0,0	1,1	15,9	13,4			45,6	4,1	0,1	80,2
Consommation finale non énergétique	0,0	0,0	3,2	0,3	0,0			0,0	0,0	1,7	5,2
Consommation finale	0,0	0,0	4,3	16,2	13,4			45,6	4,1	1,8	85,4

Note : Après 2035, le scénario ne fait plus de distinction entre ENR électriques et nucléaire pour la production d'électricité. En 2050, la production totale d'électricité s'élève à 57.3Mtep dans le tableau.

Emissions de gaz à effet de serre

Inventaire d'émissions de GES (format SECTEN)												
Emissions par secteur (en MtCO ₂ eq)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Extraction, transformation et distribution d'énergie	47	48	49	50	51	52	48	45	42	39	36	35
Industrie manufacturière et construction	82	81	80	78	76	74	72	70	68	67	65	63
Traitement centralisé des déchets	17	16	16	15	14	14	14	13	13	12	12	12
Résidentiel, tertiaire, commercial, institutionnel	93	92	91	88	85	82	78	75	71	68	64	60
Agriculture, sylviculture et aquaculture hors UTCATF	89	88	87	86	85	83	82	81	80	79	78	77
Transports	137	136	135	134	133	132	129	125	122	119	116	112
Emissions totales hors UTCATF hors CCS	464	460	456	450	443	436	423	410	397	384	370	358
CCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions totales hors UTCATF	464	460	456	450	443	436	423	410	397	384	370	358
Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie	-41	-40	-40	-40	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38
Total avec UTCATF	423	420	416	410	404	397	384	372	359	346	333	320
Emissions par secteur (en MtCO ₂ eq)	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Extraction, transformation et distribution d'énergie	34	33	32	31	30	28	27	25	24	23	21	20
Industrie manufacturière et construction	60	58	55	53	51	49	47	46	44	42	40	38
Traitement centralisé des déchets	11	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	9
Résidentiel, tertiaire, commercial, institutionnel	56	53	49	45	43	41	39	37	35	33	31	29
Agriculture, sylviculture et aquaculture hors UTCATF	76	75	74	73	72	70	69	68	67	65	64	63
Transports	109	106	102	99	94	89	84	80	75	70	65	61
Emissions totales hors UTCATF hors CCS	347	335	323	311	300	288	276	265	253	242	230	219
CCS	0	0	0	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-7
Emissions totales hors UTCATF	347	335	323	310	298	286	273	261	249	237	224	212
Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie	-39	-39	-40	-40	-42	-43	-44	-46	-47	-48	-50	-51
Total avec UTCATF	308	296	283	270	256	243	229	215	202	188	175	161
Emissions par secteur (en MtCO ₂ eq)	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Extraction, transformation et distribution d'énergie	18	17	15	14	12	11	9	8	7	5	4	2
Industrie manufacturière et construction	36	34	32	31	29	27	25	23	21	19	17	16
Traitement centralisé des déchets	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6
Résidentiel, tertiaire, commercial, institutionnel	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5
Agriculture, sylviculture et aquaculture hors UTCATF	62	60	59	58	57	55	54	53	52	50	49	48
Transports	56	51	46	42	37	32	27	23	18	13	8	4
Emissions totales hors UTCATF hors CCS	207	195	184	172	161	149	138	126	114	103	91	80
CCS	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-12	-12	-13	-14	-14	-15
Emissions totales hors UTCATF	200	187	175	163	151	138	126	114	102	89	77	65
Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie	-52	-54	-55	-56	-58	-59	-60	-62	-63	-64	-66	-67
Total avec UTCATF	147	134	120	107	93	79	66	52	38	25	11	-2

Budgets carbone

Budgets carbone (valeur moyenne annuelle en MtCO ₂ eq)	2015-2018	2019-2023	2024-2028	2029-2033
Extraction, transformation et distribution d'énergie	48	48	35	30
Industrie manufacturière et construction	80	72	62	51
Traitement centralisé des déchets	16	14	12	10
Résidentiel, tertiaire, commercial, institutionnel	91	78	60	43
Agriculture, sylviculture et aquaculture hors UTCATF	87	82	77	72
Transports	135	128	112	94
TOTAL hors UTCATF	458	422	359	300
Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie	-40	-39	-38	-42
Total avec UTCATF*	417	383	320	258

**Les budgets carbone ne prennent pas en compte la capture et le stockage du carbone*

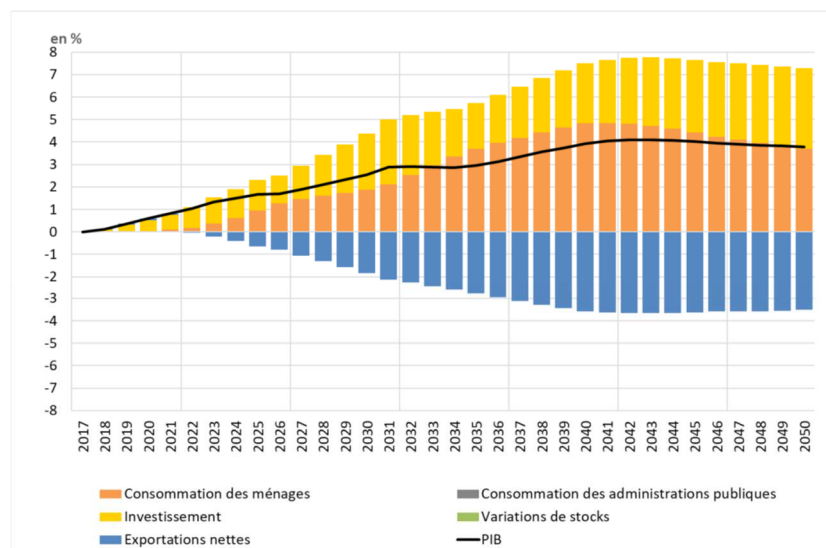
Etude macro-économique

Le scénario SNBC-PPE a fait l'objet d'une évaluation macro-économique (réalisée par l'Ademe, le CGDD et le Cired) ainsi que d'une analyse des impacts sociaux sur la facture des ménages et la précarité énergétique (réalisée par le CGDD). Les résultats détaillés de cette évaluation sont présentés dans le rapport d'accompagnement de la SNBC.

Impacts macro-économiques :

Les résultats de l'évaluation macro-économique suggèrent un double dividende, à la fois économique et environnemental à long terme. La transition énergétique modifie peu la trajectoire tendancielle de PIB. La transition énergétique procurerait un supplément de PIB de l'ordre de 1% à 2% de PIB en 2030 et de l'ordre de 3% à 4% de PIB à horizon 2050 par rapport au scénario tendanciel. Elle engendrerait par ailleurs la création de 300 000 à 500 000 emplois supplémentaires à l'horizon 2030 et de 700 000 à 900 000 emplois à l'horizon 2050 par rapport au scénario tendanciel, dans un contexte de transition bas-carbone international.

Effets de la SNBC sur le PIB, et ses contributions



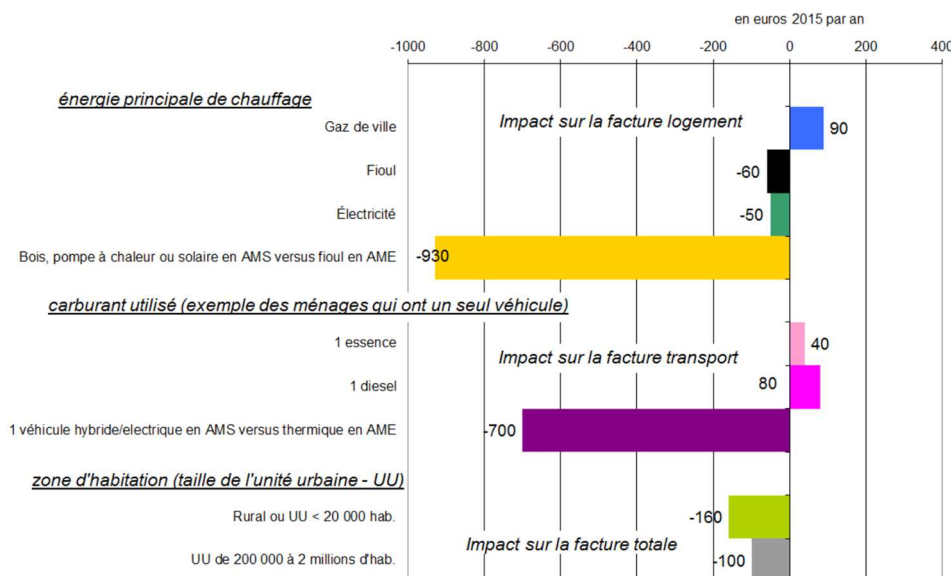
Source : Ademe-CGDD (Threeme - cadrage SNBC)

Impacts sociaux :

La transition énergétique présente des bénéfices sur le pouvoir d'achat des ménages : l'effet de relance de l'économie augmente les revenus distribués aux ménages et augmente les emplois et donc les revenus disponibles pour les ménages pris dans leur ensemble.

Pour ce qui est de la facture énergétique, sur le long terme, les gains de performance énergétique l'emportent sur les hausses de prix des énergies. Sur la période de transition l'impact sur le budget des ménages peut dépendre des diverses situations : coûts des investissements dans la rénovation des logements ; hausse de facture énergétique pour les ménages chauffés au gaz et au fioul dans des logements mal isolés n'ayant pas encore fait l'objet de travaux de rénovation ; gains sur la facture énergétique pour les ménages effectuant la transition rapidement. Si les investissements dans la transition énergétique sont rentables sur le long terme, la phase de transition nécessite ainsi un accompagnement, particulièrement à destination des ménages aux revenus modestes. C'est pourquoi la PPE inclut des incitations particulières pour la maîtrise de l'énergie des ménages modestes : primes accrues pour l'acquisition de véhicules à faible émission, remplacement du crédit d'impôt par une prime à la rénovation pour les ménages modestes, etc...

En 2025, surcoût de facture énergétique des ménages entre AMS et AME, selon l'énergie principale de chauffage, le carburant utilisé ou la zone d'habitation



source : CGDD (Prometheus-cadrage SNBC)